

46. *Szkudelski T.* The mechanism of alloxan and streptozotocin action in B cells of the rat pancreas // *Physiol. Res.* — 2001. — Vol. 50. — №6. — P. 537–546.
47. *Turk J., Corbett J.A., Ramanadham S. et al.* Biochemical Evidence for Nitric Oxide Formation from Streptozotocin in Isolated Pancreatic Islets // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* — 1993. — Vol. 197. — № 3. — P. 1458–1464.
48. *Stevens R.B., Sutherland D.E., Ansite J.D. et al.* Insulin down-regulates the inducible nitric oxide synthase pathway: nitric oxide as cause and effect of diabetes? // *J. Immunol.* — 1997. — 159. — № 11. — P. 5329–5335.
49. *Yang H., Wright J.R.* Human beta-cells are exceedingly resistant to streptozotocin in vivo // *Endocrinology.* — 2002. — Vol. 143. — № 7. — P. 2491–2495.
50. *Caedinal J.W., Allan D.J., Cameron D.P.* Poly(ADP-ribose)polymerase activation determines strain sensitivity to streptozotocin-induced beta-cell death in inbred mice // *J. Mol. Endocrinol.* — 1999. — Vol. 22. — P. 65–70.
51. *Bernard C., Berthault M.F., Saulnier C., Ktorza A.* Neogenesis vs. apoptosis as main components of pancreatic beta cell changes in glucose-infused normal and mildly diabetic adult rats // *FASEB J.* — 1999. — Vol. 13. — №10. — P. 1195–1205.

Л. Кот, О. Богданова, Л. Остапченко

СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО БІОХІМІЧНІ МЕХАНІЗМИ ПАТОГЕНЕЗУ ІНСУЛІННЕЗАЛЕЖНОГО ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ

Резюме

У статті проаналізовано дані сучасної літератури щодо біохімічних механізмів патогенезу інсуліннезалежного цукрового діабету. Основну увагу зосереджено на порушеннях, які лежать в основі розвитку інсулінорезистентності й діабету, на рецепторному та пострецепторному рівнях. Охарактеризовано метаболічні ефекти активації інсулінового рецептора.

L. Kot, O. Bogdanova, L. Ostapchenko

MODERN OVERVIEW OF BIOCHEMICAL MECHANISMS OF PATHOGENESIS OF DIABETES MELLITUS TYPE 2

Summary

Contemporary data about biochemical mechanisms of pathogenesis of diabetes mellitus type 2 were analyzed. Main attention is focused on the receptor and postreceptor abnormalities causing the insulin resistance and diabetes mellitus. Metabolic effects of insulin receptor activation were described.

Г. ГРОДЗИНСЬКА, С. СИРЧИН, М. КУЧМА, В. КОНІЩУК

МАКРОМІЦЕТИ — БІОІНДИКАТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОЦЕЗІЄМ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ

Біоіндикація як метод оцінювання екологічної безпеки довкілля в останні роки набула концептуального значення. Широкий спектр біологічних об'єктів (безхребетні, лишайники, водорості, гриби та ін.) залучено до тестування наявності і ступеня забруднення навколишнього середовища різноманітними полютантами хімічного походження та радіонуклідами, оцінювання якісних змін стану водних і наземних екосистем, прогнозування несприятливих екологічних наслідків антропогенного впливу. Переважання ступенів забруднення окремих видів шапінкових грибів щодо лісової підстилки, яка впродовж усього постчорнобильського періоду вважається основним депо радіонуклідів, надає їм особливого статусу в системі біоіндикації. Тому використання цього методу є актуальним для радіологічного моніторингу лісових екосистем України.

© ГРОДЗИНСЬКА Ганна Андріївна. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник відділу фікології Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України.

СИРЧИН Сергій Олександрович. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України.

КУЧМА Микола Дмитрович. Кандидат сільськогосподарських наук. Заступник директора Інституту агроекології УААН.

КОНІЩУК Василь Васильович. Кандидат біологічних наук. Старший науковий співробітник цього ж інституту. (Київ) 2008

Індикаційні властивості проявляються на різних рівнях біологічної організації — як на рівні популяції чи організму, так і в змінах молекулярних, біохімічних, фізіологічних, тканинних та інших параметрів (International bioindicators, 2005). Здатність шапінкових грибів накопичувати важкі метали та радіонукліди описано в спеціальній літературі (Grüter, 1971, Tylor, 1980; Haselwandter et al., 1988; 1989; Bakken, Olsen, 1990; Fraiture et al., 1990; Muramatsu et al., 1991; Yoshida, Muramatsu, 1994; Вассер та ін., 1995; Kalac et al., 1996; Поддубный и др., 1998; Bannai et al., 2004; Collin-Hansen et al., 2005).

За даними Дж. Геда, гриби можуть безпосередньо зв'язувати або фіксувати радіонукліди, вони також опосередковано можуть впливати на їхню форму знаходження та рухливість у лісових ґрунтах (Gadd, 1996). Гриби відіграють ключову роль у мобілізації, поглинанні та перенесенні поживних речовин і, очевидно, є важливим чинником довготривалого утримання радіоцезію в органічному шарі лісових ґрунтів (Steiner et al., 2002). Переважання ступенів забруднення окремих видів макроміцетів щодо лісової підстилки, яку впродовж усього постчорнобильського періоду вважають основним депо радіонуклідів, надає грибам особливого статусу в системі біоіндикації. У результаті багаторічних досліджень стану забруднення радіоцезієм макроміцетів України (Grodzinska et al., 1995; 2003; 2007) встановлено ряд біоіндикаторних видів — представників родин *Boletaceae*, *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Paxillaceae*, *Gomphidiaceae*. За іронією долі, серед біоіндикаторних макроміцетів опинилися найбільш цінні їстівні види з родини *Boletaceae* — представники родів *Xerocomus*, *Suillus* та *Leccinum scabrum*, а в останні роки і *Boletus edulis* (білий гриб). Ці види не лише традиційно входять до раціону слов'янських народів, але й як було доведено останніми роками (Hobbs, 1996; Wasser, Weis, 1999), проявляють широкий

спектр лікарської дії (протипухлинної, гепатопротекторної, антибактеріальної, антидіабетичної тощо); їх продовжує масово збирати населення України. Цей факт зумовлює актуальність не лише дослідження із залученням макроміцетів, але й оцінювання ступеня відповідності (адекватності) індикаторів, використовуваних для картографування території, реальної ситуації.

За допомогою гамма-спектрометрії (Гедетектор Canberra GLX-4019 і гамма-спектрометр СА-0,5) вивчали активність ^{137}Cs у плодкових тілах дикорослих *Basidiomycetes* (112 видів) та субстратів із їх місцезростань, зібраних у 2002–2007 рр. у 53 місцезнаходженнях Київської, Волинської, Житомирської, Рівненської та Чернігівської областей. У деяких зразків із Чорнобильської зони радіохімічним методом на основі акумуляції ^{90}Y визначали вміст ^{90}Sr . Вага відібраних грибних зразків (що містили від 3 до 30 плодкових тіл) була від 1 до 200 г. Зразки ґрунтів відбирали із шару 0–5 см. Гриби очищували від часточок ґрунту й рослинних решток і висушували при 40–50°C. Після цього впродовж 24 годин зразки сушили при 80 °C і переносили в чашки Петрі або пластикові пакети. Середні рівні забруднення поверхні ґрунтів ^{137}Cs визначали під час польових досліджень та за допомогою карти, наведеної в Національній доповіді (20 років..., 2006).

Прогнозне оцінювання поглинання радіонуклідів об'єктами біоти ускладнене через плямистий і неоднорідний характер радіаційного забруднення території України. Дослідження накопичення радіонуклідів грибами Українського Полісся — найбільш забрудненого регіону внаслідок Чорнобильської катастрофи — показало, що весь післяаварійний період гриби стабільно акумулюють високі рівні радіоцезію. Деякі з аналітичних результатів щодо активності ^{137}Cs наведено в таблицях 1–4 і

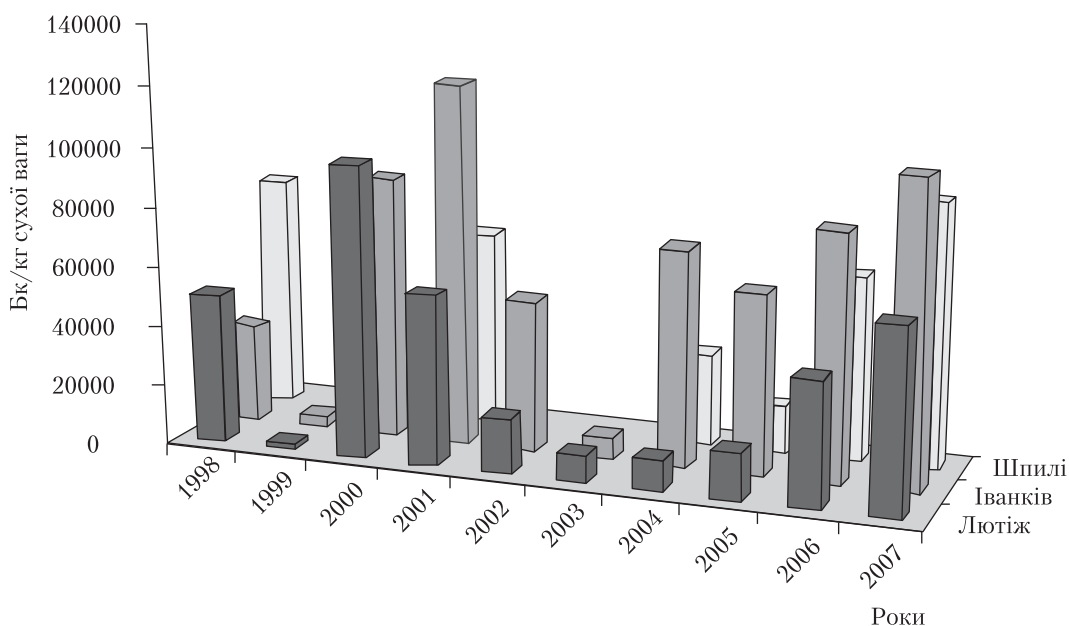


Рис. 1. ^{137}Cs у плодових тілах польського гриба – *Xerocomus badius* (при середньому рівні поверхневого забруднення ґрунтів – 1–5 Кі/км²)

на рис.1. Рівень забруднення грибів залежить передусім від щільності і типу забруднення ґрунтів. Так, максимальну активність радіоцезію зафіксовано в зразках мікосимбіотрофних видів із зони відчуження – свинухи тонкої – *Paxillus involutus* (Batsch.:Fr.) Fr. – 31090 кБк/кг сухої ваги (Старошепелицьке лісництво, 1996 р.), моховика зеленого – *Xerocomus subtomentosus* (L.: Fr.) Quéf. – 20000 (Старошепелицьке лісництво, 2004), мокрухи клейкої – *Gomphidius glutinosus* (Schaeff.: Fr.) Fr. – 17117 («Рудий» ліс, 1993), хряща-молочника оливково-чорного – *Lactarius turpis* (Weinm.) Fr. – 18713, масляка звичайного – *Suillus luteus* (L.: Fr.) S.F.Gray – 14880 (с. Копачі, 2004), польського гриба – *Xerocomus badius* (Fr.: Fr.) Kuhn.ex Gilb. – 11828 («Рудий» ліс, 1996), білого гриба – *Boletus edulis* Bull.: Fr. – 10833 кБк/кг сухої ваги (с. Янів, 1998). Співвідношення ^{137}Cs / ^{90}Sr у грибних зразках із зони перебувало в межах від 7,5 до 10000 (Табл. 1). Це свідчить про те, що накопичення ^{90}Sr дикорослими шапин-

ковими грибами відбувається менш інтенсивно, ніж ^{137}Cs . Проте роль радіостронцію не можна ігнорувати з огляду на його особливу небезпеку для організму людини. На прикладі шії-таке – *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. та гливи звичайної – *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) P. Kumm. показано, що в умовах штучного культивування лігнотрофних грибів спостерігається підвищений перехід ^{90}Sr у плоді тіла (Кучма, Гродзинська, 2004). Це явище може бути пов'язане з більшою біологічною доступністю радіостронцію для грибного міцелію, що утилізує подрібнені та зволожені субстрати рослинного походження, які зазвичай застосовують у грибівництві. Слід зазначити, що спостережуване в останні роки зростання забруднення деревини ^{90}Sr (на забруднених територіях) неминуче призведе до зростання його активності в культивованих на відходах лісівництва і рослинництва видах грибів. Тому нагально необхідний вибіркового контролю вмісту ^{90}Sr у штучно вирощуваних видах грибів навіть у

Таблиця 1. Активність ^{137}Cs у грибах Чорнобильської зони відчуження (2004 р.), Бк/кг сухої ваги

Види	^{137}Cs	K_a	K_n	^{90}Sr	K_a	K_n	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$
с. Копачі, середній рівень поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs – 54 Кі/км² (1998 кБк/м²), ^{90}Sr – 23 Кі/км² (861 кБк/м²)							
Мухомор цитриновий <i>Amanita citrina</i> (Schaeff.: Fr.) S.F. Gray	289000	9,7	144,6	2440	0,3	2,8	118,4
Клітоцибе ароматний <i>Clitocybe odora</i> (Bull.: Fr.) Kumm.	364000	12,2	182,1	1000	0,1	1,2	364
Клітоцибе лійковидний <i>C. infundibuliformis</i> (Schaeff.: Fr.) Quél.	26700	0,9	13,4	1600	0,2	1,9	16,7
Лисичка справжня <i>Cantharellus cibarius</i> (Fr.: Fr.) Fr.	567000	20,0	283,8	2500	0,3	2,9	226,8
Лисичка несправжня <i>Hygrophoropsis aurantiaca</i> (Wulf.: Fr.) R. Mre	62300	2,1	31,2	1640	0,2	1,9	38,0
Гриб-зонтик строкатий <i>Macrolepiota procera</i> (Scop.: Fr.) Singer	6810	0,2	3,4	912	0,1	1,1	7,5
Рижик смачний <i>Lactarius deliciosus</i> (L.: Fr.) S.F. Gray	42600	1,4	21,3	249	0,03	0,3	171,1
Хрящ-молочник оливково-чорний <i>L. turpis</i> (Weinm.) Fr.	18712799	628	9365	—	—	—	—
Свинуха тонка <i>Paxillus involutus</i>	653000	21,9	326,8	1200	0,1	1,4	544,2
Сироїжка вицвітаюча <i>Russula decolorans</i>	197000	6,6	98,6	660	0,1	0,8	298,48
Сироїжка ароматна <i>R. xerampelina</i> (Schaeff. Secr.) Fr.	127000	4,3	63,6	625	0,1	0,7	203,2
Маслюк звичайний <i>Suillus luteus</i>	14880218	499,3	7477	—	—	—	—
Польський гриб <i>Xerocomus badius</i>	5530000	185,3	2767	630	0,1	0,7	8777,8
Види	^{137}Cs	K_n	^{90}Sr	K_n	$^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$		
с. Старі Шепеличі, середній рівень поверхневого забруднення ґрунту ^{137}Cs – 837 Кі/км² (30969 кБк/м²), ^{90}Sr – 492 Кі/км² (18217 кБк/м²)							
Мухомор цитриновий <i>A. citrina</i>	600000	19,3	3900	0,2	153,9		
Опеньок осінній справжній <i>Armillariella mellea</i> (Vahl.: Fr.) P. Kumm	340000	11,0	6700	0,4	50,8		
Лисичка справжня <i>C. cibarius</i>	3400000	109,8	4900	0,3	693,9		
Лисичка несправжня <i>H. aurantiaca</i>	330000	10,7	4900	0,3	67,4		
Рижик смачний <i>L. deliciosus</i>	6900000	222,8	3200	0,2	2156		
Хрящ-молочник оливково-чорний <i>L. turpis</i>	8700000	281,0	11000	0,6	790,9		
Хрящ-молочник повстистий <i>L. vellereus</i> (Fr.: Fr.) Fr.	3900000	125,9	26000	1,4	15,0		
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	17000000	548,9	5100	0,3	3333		
Сироїжка ароматна <i>R. xerampelina</i>	2600000	84,0	3200	0,2	812,5		
Строфарія синьо-зелена <i>Stropharia aeruginosa</i> (W. Curt.: Fr.) Quél.	5300000	171,1	13000	0,7	407,7		
Польський гриб <i>X. badius</i>	1800000	58,1	3900	0,2	461,5		
Моховик зелений, решітка <i>X. subtomentosus</i>	20000000	645,8	2000	0,1	10000		

K_n – коефіцієнт переходу (Tf – transfer factor), що дорівнює співвідношенню активності забруднення в плодкових тілах грибів у Бк/кг сух. ваги із щільністю поверхневого забруднення ґрунту, K_n – коефіцієнт накопичення, що дорівнює співвідношенню активності радіонукліда в грибі з його активністю в ґрунті (субстраті) з місцезнаходження.

Таблиця 2. ^{137}Cs у грибах у зоні обов'язкового гарантованого відселення [околиці смт Поліське, середній рівень поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs – 13 Кі/км² (48,1 кБк/м²)]

Види	^{137}Cs (Бк/кг с.в.)	K_n	K_a
Мухомор червоний <i>A. muscaria</i> (L.: Fr.) Hook	12600	262,0	1,7
Білий гриб <i>Boletus edulis</i> (Bull.: Fr.)	38100	792,1	5,2
Боровик зернистоногий <i>B. erythropus</i> (Fr.: Fr.) Secr.	325000	6756	44,0
Гіфолома вохряно-оранжева <i>Huophiloma carnoides</i> (Fr.: Fr.) Kumm.	29100	605,0	3,9
Гірчак <i>L. rufus</i>	204000	4241	27,6
Хрящ-молочник оливково-чорний <i>L. turpis</i>	20900	434,5	2,8
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	194000	4033	26,3
Сироїжка зелена <i>R. aegeruginea</i> Lindbl.	17000	2432	15,9
Сироїжка ароматна <i>R. xerampelina</i>	81200	1688	11,0
Маслюк звичайний <i>S. luteus</i>	222000	4615	30,0
Маслюк зернистий <i>S. granulatus</i> (L.: Fr.) O. Kuntze	219000	4533	29,7
Ґрунт	7380		
Мухомор червоний <i>A. muscaria</i>	29500	613,3	1,2
Білий гриб <i>B. edulis</i>	76800	1597	3,2
Павутинник <i>Cortinarius</i> sp.	1323122	27507	43,3
Дощовик їстівний <i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	12465	259,1	0,5
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	285000	5925	12,0
Маслюк звичайний <i>S. luteus</i>	194000	4,033	8,2
Зеленушка <i>Tricholoma flavovirens</i> (Pers.: Fr.) Lund. et Nannf.	52300	1087	2,2
Польський гриб <i>X. badius</i>	89000	1850	3,7
Ґрунт	23800		

регіонах із низьким рівнем забруднення радіостронцієм.

Другу групу зразків зібрано в регіонах із середнім рівнем поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs – 10–15 Кі/км² (зона добровільного відселення – смт. Поліське). Серед них найвищі рівні акумуляції радіоцезію також спостережено в мікосимбіотрофних видів – сотні тисяч Бк/кг сухої ваги (Табл. 2).

Найчисленнішу групу зразків макроміцетів і ґрунтів із їх місцезростань відібрано в регіонах із рівнем поверхневого забруднення ґрунтів 1–5 Кі/км² (зона посиленого радіаційного контролю) (Табл. 3). На сьогодні понад 1,5 млн жителів України проживають при такому рівні забруднення (20 років..., 2006). Гриби тут збирають і споживають майже без будь-якого контролю. У наш час головною небезпекою для здоров'я людей є внутрішнє опромінення, яке пов'язане із вживанням забруднених продуктів харчування, зокрема дикорослих грибів, що традиційно становлять вагомую частку раціону жителів Полісся. Згідно з оцінкою радіоекологів, у такому разі доза внутрішнього опромінення може досягати 80 % (Ипатьев и др., 1999). Офіційно затвержені в Україні граничнодопустимі рівні забрудненості ^{137}Cs сухих і сирих грибів становлять відповідно 2500 і 500 Бк/кг ваги (ДР-2006).

Серед зазначеної групи зразків, незважаючи на значну варіабельність отриманих даних, можна констатувати достатньо високий рівень акумульованого грибами радіоцезію. Коефіцієнти накопичення досягали десятків, сотень, а впродовж перших післяаварійних років навіть тисяч. Протягом 2002–2007 рр. максимальні рівні ^{137}Cs у плодкових тілах дикорослих грибів із місцезростань з таким рівнем забруднення відзначено в гірчака – *Lactarius rufus* – 375294 Бк/кг сух. ваги (Іванківський р-н, с. Колінці), свинухи тонкої – *Paxillus involutus* – 282764 (Іванківський р-н, с. Феневичі), па-

Таблиця 3. Забруднення ^{137}Cs грибів у деяких місцезростаннях Київської та Чернігівської областей (зона посиленого радіаційного контролю, 1–5 Кі/км², Бк/кг сух. ваги

Види	^{137}Cs	K_a	K_n
Київська область, Іванківський р-н, околиці м. Іванків (середній рівень поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs – 5 Кі/км² (18,5 кБк/м²))			
Мухомор пантерний <i>Amanita pantherina</i> (DC: Fr.) Krombh.	4017	1,2	217,1
Клітоцибе <i>Clitocybe</i> sp.	24379	7,4	1318
Павутинник <i>Cortinarius</i> sp.	62343	18,9	3370
Гірчак <i>L. rufus</i>	107392	32,5	5805
Хряц-молочник оливково-чорний <i>L. turpis</i>	2619	0,8	141,6
Підберезник, бабка темна <i>L. scabrum</i>	4952	1,5	267,7
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	47308	14,3	2557
Сироїжка ароматна <i>R. herampelina</i>	36067	10,9	1950
Польський гриб <i>X. badius</i>	70502	21,3	3811
Ґрунт	3304		
Іванківський р-н, околиці с. Феневичі (^{137}Cs – 4,5 Кі/км², 16,7 кБк/м²)			
Мухомор червоний <i>A. muscaria</i>	1408	5,9	84,3
Білий гриб <i>B. edulis</i>	11378	47,8	681,3
Сухлянка дворічна <i>Coltricia perennis</i> (L.: Fr.) S.F. Gray	351	1,5	21,0
Павутинник іржавий <i>Cortinarius subferrugineus</i> (Batsch. ex Fr.) Fr.	109900	461,8	6581
Павутинник <i>Cortinarius</i> sp.	146670	616,3	8783
Опеньок сірчано-жовтий несправжній <i>Huophiloma fasciculare</i> (Huds. Fr.) P. Kumm.	1889	7,94	113,1
Опеньок цегляно-оранжевий несправжній <i>H. sublateritium</i> (Schw.: Fr.) Quél.	697	2,9	41,7
Хряц-молочник оливково-чорний <i>L. turpis</i>	2150	9,0	128,7
Підосичник, бабка червона <i>Leccinum aurantiacum</i> (Bull.: St-Am.) S.F. Gray	1568	6,6	93,9
Підберезник <i>L. scabrum</i>	5589	23,5	334,7

Продовження табл. 3

Види	^{137}Cs	K_a	K_n
Гриб-зонтик строкатий <i>M. procera</i>	272	1,1	16,3
Рядовка червоніюча <i>Tricholomopsis rutilans</i> (Schaeff.: Fr.) Sing.	1829	7,7	109,5
Маслюк звичайний <i>S. luteus</i>	20869	87,7	1250
Ґрунт	238		
Вишгородський р-н, с. Снітки (^{137}Cs – 4 Кі/км², 14,8 кБк/м²)			
Мухомор цитриновий <i>A. citrina</i>	7295	5,6	492,9
Павутинник <i>Cortinarius</i> sp.	11758	9,0	794,5
Грузлик <i>L. rufus</i>	122424	93,4	8272
Валуй <i>Russula foetens</i> (Pers.: Fr.) Fr.	1205	0,9	81,4
Сироїжка чорніюча <i>R. nigricans</i> (Bull.) Fr.	21161	16,1	1430
Сироїжка ароматна <i>R. herampelina</i>	1694	1,3	114,5
Польський гриб <i>X. badius</i>	31410	24,0	2122
Ґрунт	1311		
Вишгородський р-н, с. Лютіж (^{137}Cs – 3 Кі/км², 11,1 кБк/м²)			
Гімнопіл помітний <i>Gymnopilus spectabilis</i> (Fr.: Fr.) A.H. Sm.	1315	1,5	118,5
Опеньок сірчано-жовтий несправжній <i>H. fasciculare</i>	1099	1,2	99,0
Лаковиця рожева <i>L. laccata</i>	908	1,0	81,8
Дошовик істівний <i>L. perlatum</i>	372	0,4	33,5
Польський гриб <i>X. badius</i>	10380	11,7	935,1
Моховик тріщинуватий <i>X. chrysenteron</i> (Bull.: St-Am.) Quél	2996	3,4	270,0
Ґрунт	886		
Павутинник <i>Cortinarius</i> sp.	269692	226,4	24297
Опеньок сірчано-жовтий несправжній <i>H. fasciculare</i>	4424	3,7	398,6
Гірчак <i>L. rufus</i>	35694	30,0	3216
Гриб-зонтик строкатий <i>M. procera</i>	152	0,1	13,7
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	32851	27,6	2960
Зеленушка, рядовка зелена <i>T. flavovirens</i>	9053	7,6	815,6

Продовження табл. 3

Види	¹³⁷ Cs	K _a	K _п
Польський гриб <i>X. badius</i>	5380	4,5	484,7
Моховик тріщинуватий <i>X. chrysenteron</i>	10889	9,1	981,0
Ґрунт	1191		
Бориспільський р-н, с. Старе (¹³⁷ Cs – 2,5 Кі/км ² , 9,25 кБк/м ²)			
Сухлянка дворічна <i>Coltricia perennis</i>	725	2,3	78,4
Гриб-зонтик строкатий <i>M. proserpa</i>	53	0,5	16,5
Гірчак <i>L. rufus</i>	6774	21,9	732,3
Хрящ-молочник сірий <i>L. flexuosus</i> (Pers.: Fr.) S.F. Gray	7870	25,4	850,8
Рижик-вовнянка, мохначка <i>L. tomentosus</i> (Schaeff. Fr.) S.F. Gray	12941	41,8	1399
Хрящ-молочник оливково-чорний <i>L. turpis</i>	3822	12,3	413,2
Підберезуик <i>L. scabrum</i>	1380	4,5	149,2
Дошовик їстівний <i>L. perlatum</i>	344	1,1	37,2
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	10964	35,4	1185
Ґрунт	310		
Броварський р-н, с. Рожни (¹³⁷ Cs – 1 Кі/км ² , 3,7 кБк/м ²)			
Мухомор червоніючий <i>Amanita rubescens</i> (Pers.: Fr.) S.F. Gray	1354	1,0	366,0

вугинника – *Cortinarius sp.* – 269692 (Вишгородський р-н, с. Лютіж), плютея оленячого – *Pluteus cervinus* – 161643, польського гриба – *Xerocomus badius* – 120711, масляка звичайного – *Suillus luteus* – 117771 (окол. м. Іванків), гебеломі клейкої – *Hebeloma crustuliniforme* (Bull.: Fr.) Quél. – 100519 Бк/кг с. в. (окол. смт Клавдієво-Тарасове). Високі рівні накопичення радіоцезію стабільно визначають у плодкових тілах цінного їстівного виду – польському грибу з різних місцезнаходжень (Рис. 2). Суттєве зниження рівнів накопичення радіоцезію відзначають лише в посушливі роки. Узагалі слід зазначити наявність позитив-

Закінчення табл. 3

Види	¹³⁷ Cs	K _a	K _п
Білий гриб <i>V. edulis</i>	3048	2,2	823,8
Гірчак <i>L. rufus</i>	4871	3,6	1316
Свинуха тонка <i>P. involutus</i>	6793	5,0	1836
Псагирела Кандоля <i>P. candolleana</i> (Fr.) R. Mre	1122	0,8	303,2
Маслюк звичайний <i>S. luteus</i>	21733	15,9	5874
Польський гриб <i>X. badius</i>	2228	1,6	602,2
Ґрунт	1369		
Мухомор червоний <i>A. muscaria</i>	2509	27,0	678,1
Павутинник <i>Cortinarius sp.</i>	29579	318,1	7994
Їжовик черепичастий <i>Sarcodon imbricatus</i> (L.: Fr.) P. Karst.	4650	50,0	1257
Ґрунт	93		
Сироїжка ароматна <i>R. xerampelina</i>	1800	6,0	486,5
Ґрунт	302		
Чернігівська обл., Козелецький р-н, с. Соколовка (¹³⁷ Cs – 1 Кі/км ² , 3,7 кБк/м ²)			
Мухомор червоний <i>A. muscaria</i>	1125	3,9	304,1
Осиковик, бабка червона <i>L. aurantiacum</i>	544	1,9	147,0
Сироїжка ароматна <i>R. xerampelina</i>	115	0,4	31,1
Маслюк звичайний <i>S. luteus</i>	12294	42,8	3323
Ґрунт	287		

ної кореляції між кількістю опадів і рівнем акумуляції радіоцезію. Публікації свідчать, що зростання вологості ґрунтів призводить до різкого підвищення переходу радіоцезію в гриби (Behaviour., 1999). Зокрема, описано вплив типу ландшафту (водного режиму) на вміст ¹³⁷Cs у видах грибів. У видів, що зростають на перезволожених ділянках акумулятивних ландшафтів, рівень накопичення завжди вищий, ніж у тих, що зростають на автоморфних ділянках елювіальних ландшафтів (Shcheglov et al., 2001).

При рівні поверхневого забруднення ґрунтів ¹³⁷Cs ≤ 1 Кі/км² (зона умовно чистої території) також спостережено підви-

Таблиця 4. ^{137}Cs у грибах деяких місцезнаходжень Київської, Житомирської та Волинської областей ($< 1 \text{ Кі/км}^2$), Бк/кг сух.ваги

Види	^{137}Cs	K_a	K_n
Волинська обл., с. Маневичі (Черемський природний заповідник: $^{137}\text{Cs} - 0,9 \text{ Кі/км}^2 (3,3 \text{ кБк/м}^2)$)			
Мухомор червоний	6018	86,0	1824
<i>A. muscaria</i>			
Ґрунт	70		
Опеньок осінній	1533	12,3	464,5
справжній <i>A. mellea</i>			
Ґрунт	125		
Білий гриб <i>V. edulis</i>	4602	33,6	1395
Ґрунт	137		
Дубовик, синяк <i>V. luridus</i>	21950	313,6	6652
Ґрунт	70		
Лисичка справжня	900	2,9	272,7
<i>C. cibarius</i>			
Ґрунт	314		
Хряц-молочник сірий	24294	485,9	7362
<i>L. flexuosus</i>			
Ґрунт	50		
Свинуха тонка	32129	353,1	9736
<i>P. involutus</i>			
Ґрунт	91		
Польський гриб <i>X. badius</i>	29292	271,2	8876
Ґрунт	108		
Житомирська обл., Радомишльський р-н, с. Кочерів ($^{137}\text{Cs} - 0,7 \text{ Кі/км}^2, 2,6 \text{ кБк/м}^2$)			
Мухомор червоний	6330	11,5	2435
<i>A. muscaria</i>			
Павутинник <i>Cortinarius sp.</i>	36742	66,8	14132
Гірчак <i>L. rufus</i>	7110	12,9	2735
Дощовик їстівний	615	1,1	236,5
<i>L. perlatum</i>			

щенний вміст цього радіонукліда в плодових тілах грибів (Табл. 4). Привертають увагу високі коефіцієнти накопичення радіоцезію, спостережувані в макроміцетах Черемського природного заповідника (Волинська обл., Маневицький р-н, с. Замостя). Очевидно, вони пов'язані із специфічною структурою і високою гідроморфністю ґрунтів заповідника (торфово-болотні, з низьким вмістом гумусу).

У цілому навіть при цьому «майже безпечному» рівні поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs в останні роки вміст радіо-

Продовження табл. 4

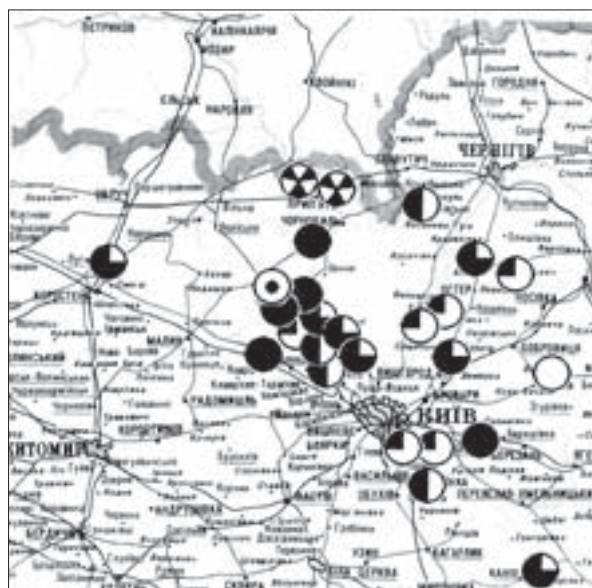
Види	^{137}Cs	K_a	K_n
Гриб-зонтик строкатий	1620	2,9	623,1
<i>M. proserpa</i>			
Маслюк звичайний	72800	132,4	28000
<i>S. luteus</i>			
Польський гриб <i>X. badius</i>	11600	21,1	4462
Ґрунт	550		
Житомирська обл., околиці м. Коростишів ($^{137}\text{Cs} - 0,5 \text{ Кі/км}^2, 1,9 \text{ кБк/м}^2$)			
Мухомор червоний	851	1,6	447,9
<i>A. muscaria</i>			
Мокруха пурпурова	3000	5,7	1579
<i>Gomphidius rutilus</i>			
(Schaeff.: Fr.) Lund.			
et Nannf.			
Дощовик їстівний	BDL		
<i>L. perlatum</i>			
Маслюк зернистий	2200	4,2	1158
<i>S. granulatus</i>			
Ґрунт	528		
Хряц-молочник	11900	53,1	6263
перцевий <i>Lactarius</i>			
<i>piperatus</i> (L.: Fr.) S.F. Gray			
Свинуха тонка	3640	16,3	1916
<i>P. involutus</i>			
Сироїжка ароматна	1040	4,6	547,4
<i>R. xerampelina</i>			
Строфарія синьо-зелена	BDL		
<i>Stropharia aeruginosa</i>			
Маслюк звичайний	5850	26,1	3079
<i>S. luteus</i>			
Польський гриб <i>X. badius</i>	2210	9,9	1163
Ґрунт	224		

цезію в понад 80% зразків їстівних грибів (маслюки, польські гриби, моховики, підберезники, білі гриби, лисички – види родів *Xerocomus*, *Suillus*, *Boletus*, *Leccinum* і *Cantharellus cibarius*) перевищував граничнодопустимі рівні (Grodzinskaya et al., 2003, 2007). Упродовж усього періоду досліджень спостережено значні коливання вмісту радіоцезію в плодових тілах дикорослих грибів, що також ускладнює прогнозне оцінення забруднення грибів залежно від рівня забруднення ґрунту в місці зростання (Табл. 5).

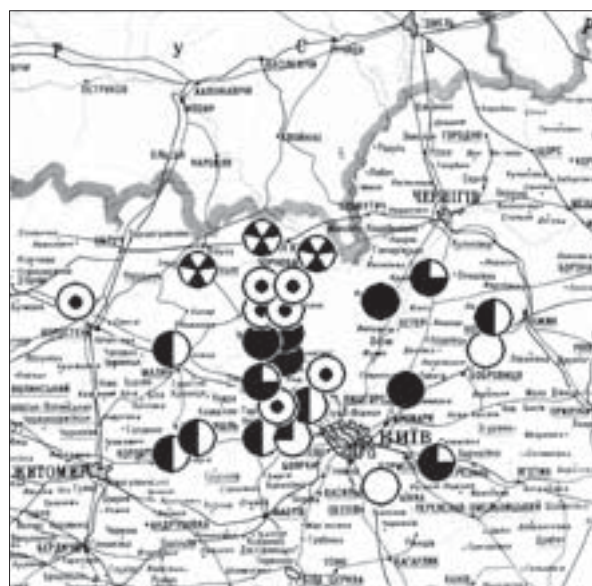
Таблиця 5. Оцінювання рівнів забруднення макроміцетів у місцезнаходженнях із різним ступенем поверхневого забруднення ґрунтів

Середній рівень поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs , Кі/км ²	Спостережувані рівні забруднення макроміцетів ^{137}Cs , Бк/кг сухої ваги
0,1 – 0,5	0 – 17000
0,5 – 1,0	0 – 100000
1 – 5	0 – 200000
5 – 10	100 – 350000
10 – 15	600 – 1000000
15 – 40	4000 – 17000000
> 40	до 32000000

Слід зазначити, що описана раніше тенденція зростання накопичувальної здатності залежно від екологічної належності видів макроміцетів у послідовності від лігнотрофів → гумусових сапротрофів → підстилкових сапротрофів → мікосимбіотрофів (Вассер та ін., 1995; Grodzinskaya et al., 1995, 2003) стосується насамперед накопичення радіоцезію. Очевидно, що стосовно акумуляції ^{90}Sr ця послідовність матиме інший характер. Друга тенденція, спостережувана в макроміцетів, – це видоспецифічність накопичення. При різних рівнях забруднення деякі представники мікосимбіотрофних родин павутинникових – *Cortinariaceae* (види роду *Cortinarius*, ковпак – *Rozites caperata*, гебелома клейка – *Hebeloma crustuliniformes*), свинухових (свинуха тонка), мокрухових – *Gomphidiaceae* (мокруха клейка *G. glutinosus*, мокруха пурпурова – *G. rutilus* (Schaeff.: Fr.) Lund. et Nannf., сиріожкових (особливо представники роду *Lactarius* – хрящі-молочники, рижики, вовнянки), болетових – *Boletaceae* (маслюки, моховики, білі і польські гриби, підберезники – *Suillus spp.*, *Xerocomus spp.*, *Boletus spp.*, *L. scabrum*) та родини їжовикових – *Hydnaceae* (їжовик черепчастий *Sarcodon imbricatus* (Fr.) Karst., їжовик жовтий – *Hydnum repandum* Fr.) завжди вирізнялися надзвичайно високими рівнями забруднення радіоцезієм, що потенційно до-



Boletus edulis



Suillus luteus

Рис. 2. Забруднення плодових тіл дикорослих

зволяє використовувати їх для біоіндикації (Grodzinskaya et al., 1995, 2003).

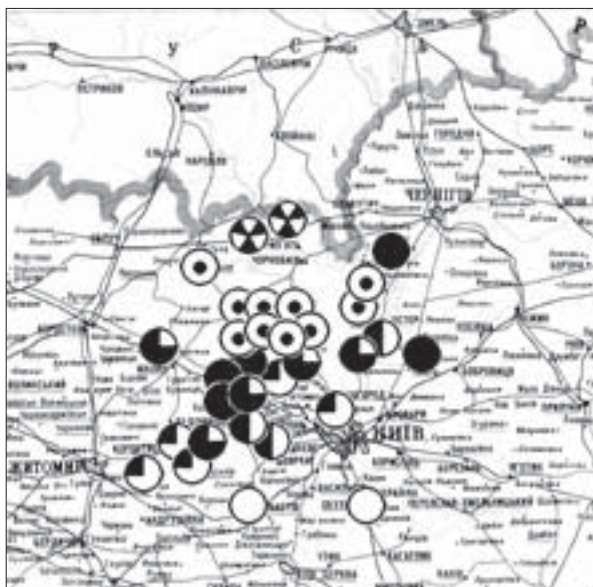
Підґрунтям для підбору індикаторних видів слугували наявність високої акумулятивної здатності щодо ^{137}Cs , достатня чисельність і поширеність виду на території України для проведення довгострокових моніторингових досліджень. Гіперакумуля-



Lactarius rufus



Paxillus involutus



Xerocomus badius

макроміцетів ^{137}Cs .

тори радіоцезію з родів *Suillus*, *Xerocomus* і *Boletus* — цінні їстівні види, які масово збирає населення України, тому їх використання ускладнене. Разом із тим застосування польського гриба як індикатора становить інтерес насамперед з погляду порівняння даних із відомостями для інших країн (Fraiture et al., 1990). На нашу думку,

Символ	Активність Бк / кг сухої ваги
○	< 750
◐	750 – 3500
◑	3500 – 8500
◒	8500–15 000
◓	15 000 – 30 000
◔	30 000 – 100 000
⊛	> 100 000

поширені види, які не використовують із харчовою метою: неїстівний гірчак *L. rufus* і токсична свинуха тонка *P. involutus*, — найбільш придатні тест-об'єкти для довгострокового моніторингу радіоцезієвого забруднення лісових екосистем України.

Картографування, проведене за допомогою деяких із видів-гіперакумуляторів, показує наявність градієнта зниження радіаційно індукованого забруднення плодівих тіл макроміцетів із північної і північно-західної частини в напрямку південної і центральної частини Київської області (Рис. 2). Спостережувана картина в цілому збігається зі щільністю забруднень, представлених на картах Національної доповіді (20 years..., 2006a).

Використання для експрес-діагностики обраних біоіндикаторних видів дозволяє оцінити ризик вживання дикорослих грибів, прогнозувати стан забрудненості ґрунтів, інших дикорослих грибів та ягід на певній території і уникнути проведення масштабних висококошторисних досліджень. Проте слід зазначити, що мікоіндикація в такому разі не дає статистично достовірних даних щодо рівня забруднення території через високий рівень варіабельності вмісту радіоцезію в зразках грибів навіть у межах зборів одного виду з одного місцезнаходження.

ВИСНОВКИ:

1. У результаті багаторічних досліджень виявлено види грибів із гіпернакопичувальними (щодо радіоцезію) властивостями, серед яких деякі представники мікосимбіотрофних родин *Cortinariaceae*, *Gomphidiaceae*, *Russulaceae*, *Boletaceae* та *Hydnaceae*. Для довгострокового радіоекологічного моніторингу рекомендовано поширені *L. rufus* і *P. involutus*.
2. Картографування із застосуванням індикаторних видів показало наявність виразного градієнта радіаційно індукваного забруднення плодових тіл макроміцетів із північної та північно-західної до центральної та південної частин Київської області.
3. Аналіз динаміки накопичення ^{137}Cs дикорослими грибами свідчить про довгострокову небезпеку від використання їх із харчовою і лікарською метою.

Вассер С.П., Болюх В.О., Брунь Г.О. та ін. Накопичення радіонуклідів споровими рослинами і вищими грибами України / За заг. ред. С.П. Вассера. — К., 1995. — 131 с.

ДР-2006. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді. Державні гігієнічні нормативи. Затверджені наказом МОЗ України від 03.05.2006 №256. Зареєстр. Мін'юст. України 17.07.2006 р. за № 845/12719.

Поддубний А.В., Христофорова Н.К., Ковековдова Л.Т. Макромицеты как индикаторы загрязнения среды

тяжелыми металлами // Микол. и фитопатол. — 1998. — Вып. 32. — №6. — С. 47–51.

20 років Чорнобильської катастрофи: Погляд у майбутнє. Національна доповідь України. — К.: Атіка, 2006. — 224 с.

Ипатьев В.А., Багинский В.Ф., Булавик И.М. и др. Лес. Человек. Чернобыль: Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения и реабилитация / Под общ. ред. акад. В.А. Ипатьева. — Гомель, 1999. — 454 с.

Кучма М.Д., Гродзинська Г.А. Накопичення ^{137}Cs і ^{90}Sr лігнотрофними дикорослими макроміцетами Зони відчуження ЧАЕС // Укр. ботан. журн. — 2004. — Вип. 61. — №5. — С. 36–43.

20 years after the Chornobyl accident: conclusions and perspectives // Supreme Soviet (Verhovna Rada) of Ukraine: Parliament edition (Series «Parliamentary readings»). — 2006. — 640 p.

Bakken L. & Olsen R.A. Accumulation of radiocaesium in fungi // Can. J. Microbiol. — 1990. — Vol. 36. — P. 704–710.

Bannai T., Muramatsu Y. & Yoshida S. Concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K in mushrooms consumed in Japan and radiation dose as a result of their dietary intake // J. Radiat. Res. — 2004. — Vol. 45 — №2. — P. 325–332.

Behaviour of radionuclides in natural and seminatural environments: Final report ECP-5 /M. Belli, F. Tikhomirov, A. Dvornik et al. By ed. M. Belli — ECSC-EC-EAEC, Brussels-Luxemburg, 1996. — 147 p.

Collin-Hansen Ch., Andersen R.A., Steinnes E. Molecular defense systems are expressed in the king bolete (*Boletus edulis*) growing near metal smelters // Mycologia. — 2005. — Vol. 97. — №5. — P. 973–983.

Fraiture A., Guillitte O., Lambinon J. Interest of fungi as bioindicators of the radiocontamination in forest ecosystems. In: G. Desmet, P. Nassimbeni & M. Belli (Eds.). Transfer of radionuclides in natural and seminatural environments. — Luxemburg: Elsevier Applied Science, 1990. — P. 477–484.

Gadd G.M. Influence of microorganisms on the environmental fate of radionuclides // Endeavour. — 1996. — Vol. 20. — P. 150–156.

Grodzinskaya A.A., Berreck M., Hasekwardter K., Wasser S.P. Radiocaesium Contamination of Wild-Growing Medicinal Mushrooms in Ukraine // Int. J. Med. Mushrooms. — 2003. — Vol. 5. — №1. — P. 61–86.

Grodzinskaya A.A., Berreck M., Wasser S.P., Hasekwardter K. Radiocesium in fungi: Accumulation pattern in the Kiev district of Ukraine including the Chernobyl zone // Nova Hedw. Beihefte. — 1995. — P. 88–94.

Grodzinskaya A., Konischuk V., Kuchma N. ^{137}Cs in macrofungi of Cheremsky national reserve (Volyn' region of Ukraine) // The 35th Annual Meeting of the European Radiation research Society. The 4th Annual Meeting of the Ukrainian Society for Radiation Biology. — Kyiv, 2006. — P. 187.

- Grüter H. Radioactive fission product ^{137}Cs in mushrooms in W. Germany during 1963-1970 // Health Physics. — 1971. — Vol. 20. — P. 655–656.
- Haselwandter K., Berreck M. Accumulation of radiocaesium in fungi. In: Metal ions in fungi / G. Winkelmann and D.R. Winge (eds.) Marcel Dekker. New York; Basel; Hong Kong/. — 1989. — P. 259–277.
- Haselwandter K., Berreck M., Brunner P. Fungi as bioindicators of radiocaesium contamination: pre- and post-Chernobyl activities // Trans. Brit. Mycol. Soc. — 1988. — Vol. 90. — P. 171–174.
- Hobbs C. Medicinal mushrooms. An exploration of Tradition, Healing, et Culture. (Third edition). Botanica Press. Is an imprint of interweave Press. — 1996. — 252 p.
- International bioindicators. International Conference on Environmental bioindicators. Praha, June 6-10, 2005.
- Kalac P., Niznanska M., Bevilacqua D., Staskova I. Concentrations of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in the vicinity of a mercury smelter and a copper smelter // Sci Total. Environ. — 1996. — Vol. 177. — P. 251–258.
- Muramatsu Y., Yoshida S. and Sumiya M. Concentrations of radiocaesium and potassium in basidiomycetes collected in Japan // Sci. Total. Environ. — 1991. — Vol. 105. — P. 29–39.
- Poddubny A.V., Khristoforova N.K., Kovekovdova L.T. Macromycetes as indicators of environmental pollution by heavy metals // Mycol. & Phytopathol. — 1998. — Vol. 32. — №6. — P. 47–51.
- Shcheglov A.I., Tsvetnova O.B., Klyashtorin A.L. Biogeochemical migration of technogenic radionuclides in forest ecosystems. — Moscow: Nauka, 2001. — 235 p.
- Steiner M., Linkov I., Yoshida S. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems // J. Environ. Radioactivity. — 2002. — Vol. 58. — P. 217–241.
- Tylor G. Metals in sporophores of Basidiomycetes // Trans. Brit. Mycol. Soc. — 1980. — Vol. 74. — P. 41–49.
- Wasser S.P., Bolukh V.O., Brun G.A. et al. Accumulation of radionuclides by cryptogamic plants and higher fungi of Ukraine / Ed. by S.P. Wasser. — Kyiv, 1995. — 131 p.
- Wasser S.P., Weis A.L. Medicinal properties of substances occurring in higher Basidiomycetes mushrooms: Current perspectives (Review) // Int. J. Med. Mushr. — 1999a. — Vol. 1. — P. 31–62.
- Wasser S.P., Weis A.L. Therapeutic effects of substances occurring in higher Basidiomycetes mushrooms: a modern perspective // Crit. Rev. Immunol. — 1999b. — Vol. 19. — P. 65–96.
- Yoshida S. & Muramatsu Y. Accumulation of radiocaesium in basidiomycetes collected // Environ. — 1994. — Vol. 157. — P. 197–205.

Г. Гродзинська, С. Сирчин, М. Кучма, В. Коніщук

МАКРОМІЦЕТИ — БІОІНДИКАТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОЦЕЗІЄМ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ УКРАЇНИ

Резюме

У лісових екосистемах України вміст ^{137}Cs у макроміцетах у середньому на один-два порядки вищий, ніж у лісовій підстилці, яку впродовж усього післячорнобильського періоду вважають основним депо радіонуклідів. Цей факт дає можливість використовувати їх для біоіндикації забруднення радіоцезієм. Серед досліджених видів грибів визначено гіперакумулятори, до яких належать деякі представники мікосимбіотрофних родин *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Boletaceae*, *Paxillaceae*, *Hydnaceae* і *Gomphidiaceae*. Широко представлені в лісових екосистемах України види-біоіндикатори — *Xerocomus badius* (Fr.: Fr.) Kühn. ex Gilb., *Lactarius rufus* (Scop.: Fr.) Fr. і *Paxillus involutus* (Batsch.: Fr.) Fr., рекомендовані для довгострокового радіоекологічного моніторингу. ^{90}Sr дикорослі гриби накопичують меншою мірою. Так, у зразках плодових тіл грибів із 10-кілометрової зони ЧАЕС співвідношення $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$ перебувало в межах від 7,5 до 10000. Використання макроміцетів-біоіндикаторів дозволяє прогнозувати ситуації з рівнями забруднення ^{137}Cs ґрунтів, інших дикорослих грибів і ягід.

A. Grodzynska, S. Syrchn, M. Kuchma, V. Konischuk

MACROMYCETES — BIOINDICATORS OF RADIOCAESIUM CONTAMINATION OF UKRAINIAN FOREST ECOSYSTEMS

Summary

In forest ecosystems of Ukraine ^{137}Cs content in macromycetes is up to 2-fold higher than in forest litter (which during the all post-Chernobyl period is the main depot of radionuclides). That is why it is possible to use them for bioindication of radiocaesium contamination. Between mushroom species investigated we have defined some species as hyperaccumulators of ^{137}Cs , these include certain representatives of mycosymbiotrophic families *Cortinariaceae*, *Russulaceae*, *Boletaceae*, *Paxillaceae*, *Hydnaceae* і *Gomphidiaceae*. For the long-term monitoring of ^{137}Cs it is recommended to use widely spread in Ukrainian forest ecosystems species-bioindicators such as: *Xerocomus badius* (Fr.: Fr.) Kühn. ex Gilb., *Lactarius rufus* (Scop.: Fr.) Fr. і *Paxillus involutus* (Batsch.: Fr.) Fr. Accumulation of ^{90}Sr in wild growing mushrooms is not as high as radiocaesium. Samples of the fruiting bodies from the 10-km zone of ChNPP are showing a range of $^{137}\text{Cs} / ^{90}\text{Sr}$ from 7.5–10000. Data of ^{137}Cs content in macromycetes-bioindicators will allow to forecast the levels of contamination in soils, other wild mushrooms and berries.