

УДК 911+504

Ю. А. БІЛЯВСЬКИЙ, кандидат с.-г. наук, доцент
Житомирський національний агроекологічний університет
E-mail: byrty41@yahoo.com

ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЇСТІВНИМИ ГРИБАМИ

*Досліджений рівень вмісту важких металів (Cu, Pb, Cd і Zn) у їстівних грибах, що зростають на території поліської частини Житомирської області. Встановлені особливості міграції полютантів у системі «грунт – лісова підстилка – гриб». Визначено, що найменш забрудненими важкими металами є плодове тіла *Boletus edulis* Bull. ex Fr., а найбільш забрудненими – плодове тіла *Agaricus campestris* Fr.*

Ключові слова: *грунт, гриби, лісова підстилка, важкі метали, забруднення, біоаккумуляція*

Вступ. Сучасна економічна ситуація, що склалася в Україні, спричинила зростання інтересу населення до поповнення харчового раціону за рахунок дарів природи, одним із важливих джерел надходження яких є збирання дикорослих грибів [4]. Крім того, такий продукт харчування як гриби є традиційним для мешканців лісових регіонів держави, до яких належить і поліська частина Житомирської області. Поширення різних видів їстівних грибів у лісах Житомирського Полісся, їх висока врожайність та традиційне використання у їжу місцевими мешканцями обумовлюють надходження мікроелементів, у тому числі й полютантів, за харчовими ланцюгами в організм людини. В умовах несприятливої екологічної ситуації дикоросла грибна продукція може бути дуже забруднена і небезпечна для здоров'я населення, оскільки мікобіота має високу здатність до акумуляції забруднюючих речовин [6 - 8]. У зв'язку з цим актуальності набувають дослідження у галузі екології, присвячені вивченню особливостей накопичення їстівними макроміцетами різноманітних хімічних елементів, зокрема важких металів.

Одним із основних факторів, що впливає на ступінь концентрації важких металів у плодових тілах грибів, є їх приналежність до певної еколого - трофічної групи: сапротрофів, симбіотрофів чи ксилофітів, а для грибів-симбіотрофів - ще й глибина локалізації міцелію у ґрунті [2]. Залежно від цього закономірності акумуляції важких металів у грибах різних видів мають певні відмінності. Крім того, на концентрацію хімічних елементів у грибах може впливати хімічний склад лісової підстилки та ґрунту, оскільки всі компоненти лісової екосистеми взаємопов'язані та мають прямий чи опосередкований вплив один на одного [2, 4]. Виходячи з того, що основні характеристики лісових підстилок та ґрунтів досить мінливі, а у різних видів грибів міцелій може знаходитися на різній глибині та формуватися у різних типах лісорослинних умов, постає необхідність поглибленого вивчення даного питання.

Метою досліджень стало вивчення особливостей накопичення важких металів у системі «гриб - лісова підстилка - ґрунт» та визначення закономірностей і шляхів надходження забруднювачів до дикорослих їстівних грибів, що зростають на території природних екосистем Радомишльського району Житомирської області.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводилось протягом 2010 – 2012 рр. на території лісового масиву Меньківського лісництва Малинського держлісгоспу (с. Меньківка Радомишльського району). Ґрунтові зразки, лісову підстилку та плодове тіла грибів відбирали у липні – серпні. Зразки ґрунту та лісової підстилки відбирали згідно з вимогами ДСТУ ISO 10381-4:2005. (ISO 10381-4:2003, IDT) в межах 3-х пробних ділянок. Площа пробної ділянки становила 100 м², в межах пробної ділянки зразки ґрунту відбирались методом конверту з формуванням одного репрезентативного зразка вагою не менше 1 кг з 5-ти точкових проб. Глибина відбору ґрунтових зразків складала 0 - 20 см, лісової підстилки – 0 – 5 см. У ґрунтових зразках визначались рухомі форми Cd, Cu, Pb, Zn у буферній амонійно-ацетатній витяжці (рН 4,8) методом атомно-абсорбційної спектрометрії. Мікологічна про-

дукція відбиралась на тих самих ділянках, що і зразки ґрунту. У кожному зразку було не менше 3-х плодкових тіл. Вміст Cd, Cu, Pb, Zn у плодкових тілах грибів визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії після сухої мінералізації [5]. Для оцінки ступеня небезпечності елемента-забруднювача використовували коефіцієнт безпеки – співвідношення між концентрацією поллютанта у ґрунті чи плодovому тілі гриба та його гранично допустимою концентрацією. Для встановлення особливостей поведінки важких металів у системі «ґрунт – лісова підстилка – гриб» використовували коефіцієнт біологічного накопичення елемента, що визначався як співвідношення між концентрацією поллютанта у плодovому тілі гриба та його концентрацією у лісовій підстилці. Для більш достовірної оцінки ступеня небезпечності елемента-забруднювача визначали токсичність ґрунту та лісової підстилki у цинковому еквіваленті [1]. Елювіально – акумулятивний коефіцієнт для валових і міцнофіксованих форм хімічних елементів $K_{e/a}$ визначали як частку від ділення величини вмісту валових чи міцнофіксованих форм елемента у окремому генетичному горизонті ґрунтового профілю на їх вміст у ґрунтоутворній породі [3]. Статистична обробка експериментальних даних була проведена з використанням пакету прикладних програм Microsoft Excel та Statistica 6.0.

Результати досліджень. Проведеними дослідженнями встановлено, що ґрунтовий покрив пробних ділянок, на яких проводили збір плодкових тіл грибів, представлений дерново-середньопідзолистими ґрунтами супіщаного гранулометричного складу, які сформувались на водно-льодовикових відкладах. Основні ґрунтоутворюючі породи, на яких сформувались ґрунти досліджуваної території, традиційно бідні міддю і цинком, у зв'язку з чим і самі ґрунти характеризуються відносно низькими запасами валових міді і цинку та невисоким умістом їх рухомих форм. Достатньо низьким є вміст у ґрунтоутворюючих породах і таких елементів як свинець і кадмій, що позначається на концентрації валових і рухомих форм цих елементів у різних генетичних горизонтах (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл важких металів за профілем дерново-середньопідзолистого супіщаного ґрунту, 2010 р.

Назва елемента	Горизонт	Глибина відбору зразка, см	Вміст мг/кг			
			валовий	рухомих форм	Елювіально-акумулятивний коефіцієнт $K_{e/a}$	
					валових форм	рухомих форм
Cu	HE	5-15	4,4	0,61	1,8	1,0
	Eh	35-45	2,6	0,53	1,1	0,8
	I ₁	60-70	3,6	0,72	1,5	1,2
	I ₂	100-110	3,6	0,71	1,5	1,2
	P	130-140	2,4	0,42	-	-
Zn	HE	5-15	40,5	0,22	1,3	4,4
	Eh	35-45	37,2	0,08	1,2	1,6
	I ₁	60-70	35,3	0,15	1,2	3,0
	I ₂	100-110	37,4	0,15	1,2	3,0
	P	130-140	30,1	0,05	-	-
Pb	HE	5-15	6,8	1,06	2,1	4,8
	Eh	35-45	6,1	0,87	1,9	4,0
	I ₁	60-70	6,5	0,88	2,0	4,0
	I ₂	100-110	6,3	0,45	2,0	2,0
	P	130-140	3,2	0,22	-	-
Cd	HE	5-15	0,19	0,07	0,9	1,0
	Eh	35-45	0,11	0,03	0,5	0,4
	I ₁	60-70	0,15	0,05	0,7	0,7
	I ₂	100-110	0,18	0,06	0,9	0,9
	P	130-140	0,21	0,07	-	-

Загальною особливістю досліджуваних ґрунтів є також концентрація кадмію і цинку у верхніх генетичних горизонтах, про що свідчить і величина їх елювіально – акумулятивного коефіцієнта. Варто відзначити, що хімічні і фізико-хімічні властивості ґрунтів у межах поліської частини Житомирської області достатньо сприятливі для підвищеної міграції важких металів у системі «ґрунт – рослина» або «ґрунт – вода», тому навіть на мало забруднених ґрунтах можливе отримання забрудненої продукції, у тому числі й мікологічної.

Зазначимо, що вміст як валових, так і рухомих форм міді, цинку, свинцю та кадмію у ґрунтах досліджуваної території не перевищував гранично встановлених нормативів. Про це свідчить і коефіцієнт концентрації важких металів (табл. 2), який у жодному з випадків не перевищував одиниці. Зазначимо, однак, що коефіцієнти концентрації хімічних елементів у лісовій підстилці були у 1,2 – 2,8 рази (залежно від елемента) більшими за такі у лісовому ґрунті, причиною чого є закріплення важких металів органічною речовиною даного субстрату внаслідок утворення комплексних органо-мінеральних сполук – хелатів.

Таблиця 2

Коефіцієнти концентрації важких металів у 0–20 см шарі ґрунту та лісовій підстилці, середнє за 2010-2012 рр.

Назва субстрату	Коефіцієнт концентрації елемента, Кр			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Дерново-середньопідзолистий ґрунт	0,52	0,20	0,42	0,15
Лісова підстилка	0,63	0,55	0,59	0,35

Вміст важких металів у листовому опаді, що є основою субстрату, на якому зростають істивні макроміцети в межах природних ландшафтів, свідчить, що в цілому він відповідає середнім значенням, що наводяться в літературі, і диференціюється залежно від виду деревних рослин (табл. 3).

Таблиця 3

Вміст важких металів у листовому опаді, середнє за 2010–2012 рр., n = 18

Назва субстрату	Вміст елемента, мг/к			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Листовий опад (осика)	14,5±1,21	108,6±11,4	10,8±0,85	0,75±0,05
Листовий опад (дуб)	20,8±1,74	73,2±7,8	7,5±0,59	0,61±0,04
Листовий опад (береза)	6,8±0,57	32,1±3,5	7,3±0,56	0,19±0,01
Середній вміст [5]	5 – 30	27 – 150	5 – 10	0,05 – 0,20

Загальний екологічний стан лісового ґрунту оцінювався нами за величиною цинкового еквівалента токсичності (табл. 4), який на відміну від сумарного показника забруднення, враховує токсичність хімічних елементів.

Таблиця 4

Цинковий еквівалент вмісту важких металів у 0–20 см шарі ґрунту та лісовій підстилці

Назва субстрату	Цинковий еквівалент елемента, E _{Zn}			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Дерново-середньопідзолистий ґрунт, n = 9	3,85	0,08	3,31	0,69
Лісова підстилка, n = 9	4,62	0,22	4,03	1,61

Сумарний вміст еквівалентів цинку склав: для дерново - середньопідзолистого ґрунту – 7,93, для лісової підстилki – 10,48, що відповідає рівню «не забруднений» відповідно до класифікації, наведеної в роботі [1].

Хімічний склад макроміцетів залежить від хімічного складу ґрунтів, на яких зростають гриби, але не повторює його, тому що представники мікобіоти вибірково поглинають необхідні їм елементи відповідно до своїх специфічних фізіологічних і біохімічних потреб. Це підтверджують і результати виконаних експериментальних досліджень щодо оцінки екологічної якості мікологічної продукції (рис. 1 – 4).

Встановлено, що вміст таких важких металів як Cu, Zn і Pb у плодкових тілах їстівних грибів не перевищує ГДК і варіює від сотих до десятих її часток. Вміст цинку в частках ГДК складає 0,35-0,71, міді – 0,03-0,23, свинцю – від 0,33 до 0,85, кадмію – від 1,22 до 3,26 залежно від виду гриба. Таким чином, мінімальне коливання концентрацій виявилось характерним для Zn (2 рази). Загальною особливістю виявилось те, що у всіх грибах фіксувалось перевищення ГДК вмісту Cd: у *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Gray – у 1,35 – 1,84 рази, у *Boletus edulis* Bull. ex Fr. - в 1,22 – 1,74 рази, у *Russula xerampelina* (Schff) Fr. – в 2,12 – 2,73 рази і у *Agaricus campestris* Fr. – у 2,87 – 3,26 рази. Максимальне перевищення ГДК – у 3,26 рази було зафіксоване для печериці лучної (див. рис. 4). Дана особливість, на нашу думку, пов'язана з тим, що в умовах достатнього (а іноді й надмірного) вологозабезпечення Поліського регіону кадмій проявляє свої високі транслокаційні здібності, але його концентрація в їстівних грибах виявилася на порядок нижчою за концентрацію в ґрунті.

Результати проведених досліджень підтверджують неоднакову селективність грибів щодо накопичення важких металів. Встановлено, що Zn максимально поглинається *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Gray та *Boletus edulis* Bull. ex Fr., Cu - *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Gray, Cd - *Agaricus campestris* Fr. та *Russula xerampelina* (Schff) Fr. Таким чином, накопичення важких металів детермінується як хімічною природою самого елемента, так і біологічними особливостями грибів.

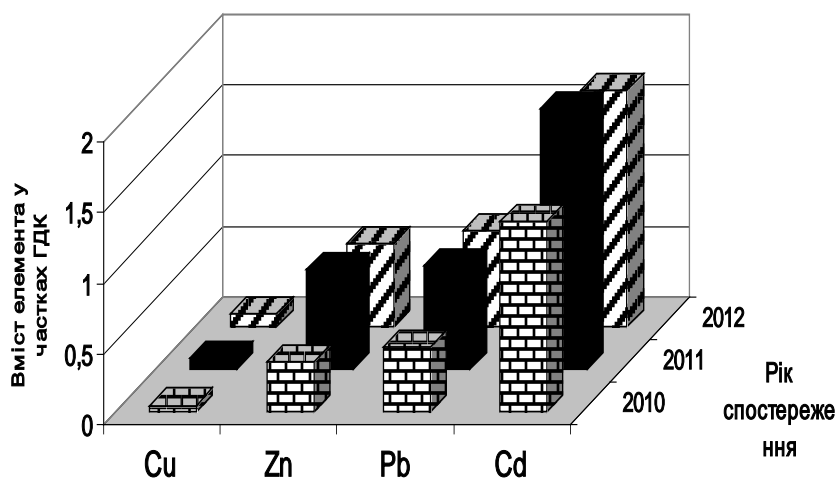


Рис. 1. Динаміка вмісту важких металів у *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Gray

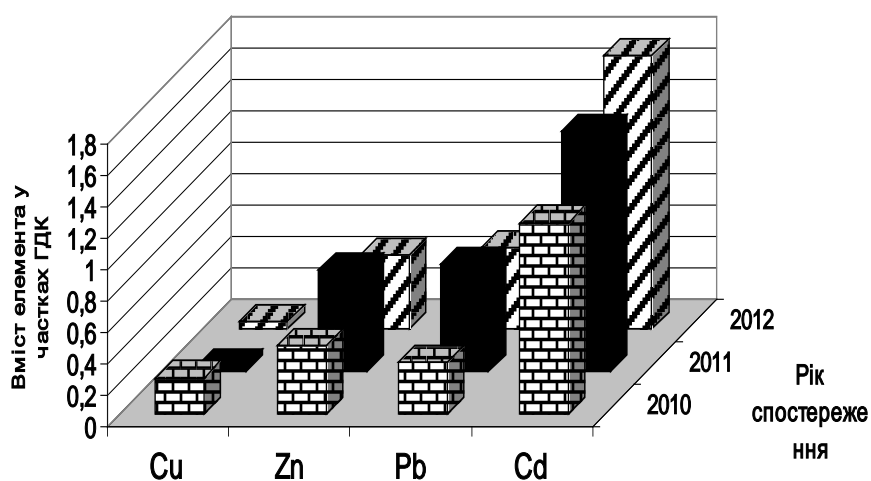


Рис. 2. Динаміка вмісту важких металів у *Boletus edulis* Bull. ex Fr.

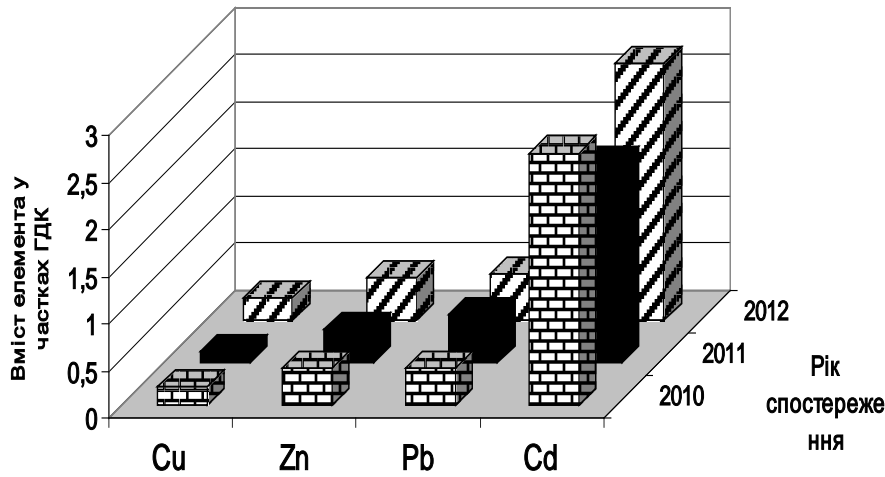


Рис. 3. Динаміка вмісту важких металів у *Russula xerampelina* (Schff) Fr.

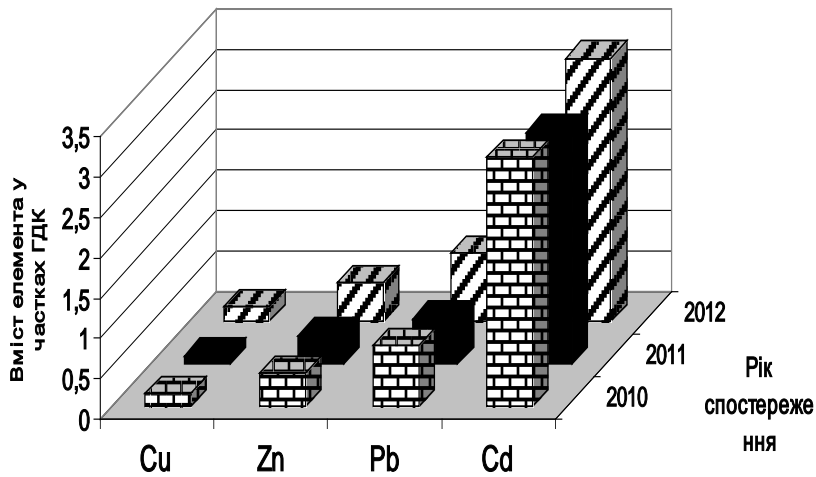


Рис. 4. Динаміка вмісту важких металів у *Agaricus campestris* Fr.

Проведені дослідження та одержані результати дозволяють провести аналіз поведінки важких металів у компонентах системи «грунт – лісова підстилка – гриб» за допомогою визначення коефіцієнтів біоаккумуляції для кожного хімічного елемента, що аналізувався (табл. 5).

Таблиця 5

Динаміка коефіцієнтів біоаккумуляції важких металів для грибів

Елемент	2010 р.				2011 р.				2012 р.			
	По	Бг	Ск	Пч	По	Бг	Ск	Пч	По	Бг	Ск	Пч
Cu	2,18	1,07	0,42	1,35	3,85	2,04	0,55	1,45	3,67	1,23	0,67	1,39
Zn	3,02	3,68	3,51	1,97	2,54	2,18	2,74	2,01	1,65	1,35	1,94	2,05
Pb	0,17	0,13	0,15	0,18	0,10	0,08	0,09	0,19	0,09	0,08	0,14	0,21
Cd	0,11	0,29	0,38	0,20	0,25	0,20	0,33	0,32	0,17	0,18	0,27	0,28

Примітки: По - *Leccinum aurantiacum*; Бг - *Boletus edulis*; Ск - *Russula xerampelina*; Пч - *Agaricus campestris*.

Результати аналізу дозволяють зробити висновки про те, що всі гриби, що досліджувалися, виявляють акумулятивні здібності по відношенню до міді та цинку. Так коефіцієнт біоаккумуляції по цинку для *Boletus edulis* Bull. ex Fr. складав 1,35 – 3,68, для *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Gray – 1,65 – 3,02, для *Russula xerampelina* (Schff) Fr. – 1,94 –

3,51, для *Agaricus campestris* Fr. – 1,97 – 2,05. Для міді коефіцієнти біологічної акумуляції залежно від періоду досліджень та виду гриба були такими: для *Boletus edulis* Bull. ex Fr. складав 1,07 – 2,04, для *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Gray – 2,18 – 3,85, для *Russula xerampelina* (Schff) Fr. – 0,42 – 0,67, для *Agaricus campestris* Fr. – 1,35 – 1,45. Мінімальними виявились коефіцієнти біологічного накопичення свинцю та кадмію, які не є фізіологічно необхідними мікроелементами. Мінімальними коефіцієнтами накопичення свинцю характеризується *Boletus edulis* Bull. ex Fr., а кадмію - *Leccinum aurantiacum* (Bull. ex Fr.) S. F. Загалом можна стверджувати, що як пластинчасті, так і трубчасті гриби мають коефіцієнти біологічної акумуляції важких металів однакового порядку. Зауважимо, що чим більше значення коефіцієнта біоакумуляції, тим більшою є вірогідність потрапляння хімічного елемента по трофічних ланцюгах у організм людини.

Висновки: 1) мікологічні об'єкти як індикатор екологічного стану лісових ландшафтів здатні акумулювати хімічні елементи, що мають надлишкові концентрації у навколишньому середовищі; 2) накопичення важких металів детермінується хімічною природою самого елемента та біологічними особливостями макроміцетів; 3) пріоритетним забруднювачем мікологічної продукції, вирощеної у межах природних лісових ландшафтів на території Радомишльського району Житомирської області, є кадмій; 4) в умовах достатнього вологозабезпечення Поліського регіону кадмій проявляє свої високі транслокаційні здібності, але його концентрація в їстівних грибах є на порядок нижчою, ніж концентрація у ґрунті; 5) всі гриби, що досліджувалися, виявляють акумулятивні здібності по відношенню до міді та цинку; 6) найменш забрудненими важкими металами виявились плодові тіла *Boletus edulis* Bull. ex Fr., а найбільш забрудненими – плодові тіла *Agaricus campestris* Fr.

Список використаних літературних джерел:

1. Балюк С.А. Проведення ґрунтово - геохімічного обстеження урбанізованих територій / С.А. Балюк, А.І. Фатеев, М.М. Мірошніченко Харків: ННЦ «ІГА ім. О.Н.Соколовського» УААН, 2004. – 62 с.
2. Бурова Л.Г. Загадочный мир грибов / Л.Г. Бурова. – М.: Наука, 1991. – 93 с.
3. Дмитрук Ю.М. Оцінка вмісту нікелю в ґрунтах Покутсько-Буковинських Карпат на основі геохімічних коефіцієнтів / Ю.М. Дмитрук // Ґрунтознавство. – 2003. – Т. 4. – № 1 – 2. – С. 78-83.
4. Некос А.Н. Особливості накопичення важких металів у системі «гриб - лісова підстилка - ґрунт» (на прикладі Дубровицького району Рівненської області) / А.Н. Некос, О.О. Руквичка // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2008 – № 1-2. – С. 54-61.
5. Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов: ГОСТ 26929-86. – [Введен в действие с 01.12.1986]. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 13 с. – (Міждержавний стандарт СНД, діє в Україні).
6. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненко. – М: Наука, 2002. – 191 с.
7. Ita B.N. Heavy metal levels in fruiting bodies of edible and non-edible mushrooms from the Niger Delta Region of Nigeria / B.N. Ita, J.P. Essien, G.A. Ebong // J. Agri. Soc. Sci. – Vol. № 2. – 2006. – P. 84-87.
8. Muhsin K. Minor element and heavy metal contents of wild growing and edible mushrooms from western black sea region of Turkey / K. Mushin, A. Afyon, D. Yağız // Fresenius Environmental Bulletin – Vol. 16. – № 11a. – 2007. – P. 1359-1362.

Аннотація

Белявский Ю. А.

Особенность накопления тяжелых металлов съедобными грибами

Исследован уровень содержания тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd и Zn) в съедобных грибах, произрастающих на территории полесской части Житомирской области. Установлены особенности миграции поллютантов в системе «почва – лесная подстилка – гриб».

*Определено, что наименее загрязненными тяжелыми металлами являются плодовые тела *Boletus edulis* Bull. ex Fr., а наиболее загрязненными – плодовые тела *Agaricus campestris* Fr.*

Ключевые слова: почва, грибы, лесная подстилка, тяжелые металлы, загрязнение, биоаккумуляция

Annatation

Bilyavsky Yu.

Features of accumulation of heavy metals of edible mushrooms

*The level of maintenance of heavy metals (Cu, Pb, Cd and Zn) in edible mushrooms which grow on the territory of Polissya part of the Zhytomyr region is investigated. The features of migration of pollutants in the system «soil - forest bedding - mushroom» are set. It was measured that the least heavy metals contamination is in the fruit bodies of *Boletus edulis* Bull. ex Fr., and the most heavy metals contamination is in the fruit bodies of *Agaricus campestris* Fr.*

Keywords: soil, mushrooms, forest bedding, heavy metals, contamination, bioaccumulation