

## БАЗИДІАЛЬНІ ГРИБИ ЯК ІНДИКАТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИРОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ

О.В. КОРОЛЬЧУК<sup>1</sup>, О.П. ВІТРЯК<sup>2</sup>, Л.Р. РЕШЕТНЯК<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ

<sup>2</sup>Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ

*Досліджено зразки базидіальних грибів природної екосистеми лісу біля оз. Алмазне Деснянського району м. Києва для виявлення накопичення важких металів. Екосистема розташована близько від антропогенного джерела забруднення – ТЕЦ-6. Виявлено, що максимальна кількість важких металів накопичено у *Boletus edulis* та *Lycoperdon perlatum*, мінімальна – у *Cantharellus cibarius*, що перевищує ГДК і коефіцієнт небезпеки ( $K_{nb}$ ). Доведено, що базидіальні гриби можуть бути використанні як індикатори стану навколишнього середовища у технологіях біоремедіації ґрунтів.*

**Ключові слова:** базидіальні гриби, біоремедіація, біоіндикатори, важкі метали.

**Вступ.** Базидіальні гриби використовують для отримання дієтичних, лікувально-профілактичних та лікарських препаратів, використовують як продукти харчування. В результаті техногенної діяльності людини в біологічні системи потрапляє значна кількість токсичних речовин, найбільш небезпечними з яких є іони важких металів [1,2]. Оцінка забруднення наземних екосистем екоотоксикантами є однією з найважливіших задач фонових і імпаکتного моніторингу природних середовищ. Деякі живі організми мають здатність до накопичення хімічних елементів, однак основна увага зазвичай приділяється моніторингу елементів-полютантів у природних середовищах і об'єктах - воді, повітрі, ґрунті, рослинах.

Відомі дослідження нігерійських вчених з Департаменту хімії (Університет Уо, м. Уо, Нігерія), Сільськогосподарського університету м. Упсала (Швеція) щодо вивчення закономірностей накопичення важких металів базидіальними макроміцетами; вчені Туреччини оцінювали рівні забруднення екосистем на території західного Чорноморського регіону Турції тощо [3,4,12,17]. У сучасній вітчизняній науковій літературі практично відсутні відомості стосовно довготривалих систематичних досліджень щодо вивчення особливостей накопичення у грибах важких металів і оцінки можливої небезпеки для людини при вживанні забрудненої мікологічної продукції. Відомі дослідження українських вчених: Ю.А. Білявського, П.П. Надточій, Т.М. Мисливої, С.М. Бігули щодо визначення екологічної безпечності їстівних макроміцетів, що зростають у межах лісових екосистем на території Житомирського Полісся; оцінено канцерогенний ризик для здоров'я населення внаслідок споживання забруднених важкими металами макроміцетів, а також наведено відомості про способи зниження вмісту важких металів у грибах [4].

Отже, питання оцінки значення грибів у ланках харчового ланцюга урбаногенних територій України вивчено недостатньо; актуальною проблемою є з'ясування ймовірності використання окремих видів макроміцетів в якості біоіндикаторів стану навколишнього середовища у технологіях біоремедіації ґрунтів.

Мета роботи – оцінка накопичення важких металів базидіоміцетами як індикаторами забруднення навколишнього середовища природною екосистемою лісу поблизу ТЕЦ-6 Деснянського району м. Києва.

**Матеріали і методи досліджень.** Для оцінки вмісту важких металів (ВМ) в базидіомах шапінкових грибів відбір зразків здійснювався в лісовій прилеглий екосистемі, розташованій близько до антропогенного джерела забруднення – ТЕЦ-6. Тому в якості екосистем, схильних до інтенсивного техногенного впливу, було досліджено примикаючий ліс біля оз. Алмазне. Озеро Алмазне розташоване в 2,9 км від ТЕЦ-6 в Деснянському районі північно-східної

околиці м.Києва. Здатність грибів накопичувати важкі метали дає підстави для досліджень базидіальних макроміцетів, що піддаються значному забрудненню антропогенного впливу, а також виокремлення серед інших грибів найкращих біоіндикаторів стану екосистеми. Автотранспорт, також є одним з основних джерел надходження в навколишнє середовище забруднюючих речовин. Тому для вивчення впливу антропогенної діяльності об'єкту забруднення ТЕЦ-6 на процес накопичення важких металів зразки плодових тіл базидіоміцетів відбиралися в безпосередній віддаленості від шосейної дороги на відстані не ближче 3 - 4 км, в радіусі 3 - 5 км на південний-схід від озера. Всього було зібрано 20 зразків, що відносяться до 4 видів. Всі гриби збиралися у серпні-вересні 2020 року. Здатність до біоабсорбції досліджуваних елементів оцінювалася в умовах різних підтипів сірих лісових ґрунтів: ліс змішаний, переважає сосна, ялина, місцями осики, берези.

Плодові тіла базидіальних макроміцетів очищалися від рештків ґрунту, висушувалися за температури 80°C, а потім досушувалися в сушильній шафі за температури 105°C до повітряно-сухої маси. Висушені гриби розтиралися в ступці до порошкоподібного стану. Наважки грибів у вигляді порошку масою 0,5 г змочували водою об'ємом 4 мл та додавали 6 мл HNO<sub>3</sub>, обережно перемішували і витримували протягом 10-15 хв [2,методики ЄЕК]. Колби, придатні для мікрохвильового випромінювання, герметично закривали та поміщали в ротор мікрохвильової системи. Далі проводили обробку за етапами, наведеними в табл. 1.

*Таблиця 1*

**Програма обробки проб в системі мікрохвильового розкладання [2]**

Етап	Час, хв	Температура, °C	Потужність випромінювання, Вт
I	9	80	до 550
II	7	160	до 1500
III	10	200	до 1800
IV	14	200	до 1500

Для руйнування органічних речовин після охолодження додавали 3 мл 30%  $H_2O_2$  і догрівали протягом 5-10 хв. Нагрівання проводили до припинення виділення червоно-бурих парів. В кінці циклу колби охолоджували на повітрі, обережно відкривали і отриманий прозорий або з невеликим осадом розчин фільтрували в мірні колби та доводили водою до мітки 50 мл. Отримані нітратно-пероксидні розчини після фільтрації використовували для визначення вмісту важких металів на спектрофотометрі «Analyst 800» при відповідних довжинах хвиль, які відповідали максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів (табл. 2). Одночасно проводили два контрольних досліди: в порожні колби додавали ті ж кількості реактивів, що і в колби з пробами та здійснювали всі стадії підготовки для контролю рівня забруднень.

Вміст металів визначали методом калібрувальної кривої згідно спектра поглинання відомих концентрацій стандартних розчинів відповідних іонів (табл.2). [5]

Таблиця 2

**Довжини хвиль металів для визначення їх оптичної густини**

Метал	Довжина хвилі $\lambda$ , нм
Цинк (Zn)	213,8
Сурма (Sb)	217,6
Кадмій (Cd)	228,8
Нікель (Ni)	232
Кобальт (Co)	240,7
Залізо (Fe)	248,3
Ртуть (Hg)	253,7
Марганець (Mn)	279,5
Свинець (Pb)	283,3
Мідь (Cu)	324,7
Хром (Cr)	357,9

За графіком залежності оптичної густини  $D$  розчину від його концентрації визначали концентрацію того чи іншого елемента в досліджуваному і контрольних розчинах.

Масову частку елемента в пробі ( $m$ ), мг/кг, розраховували за формулою [6]:

$$m = \frac{(C_x - C_k) \times V \times K}{P}$$

де  $C_x$  – концентрація елемента у випробовуваному розчині, мкг/см<sup>3</sup>;

$C_k$  – середньоарифметична концентрація елемента для паралельних контрольних розчинів, мкг/см<sup>3</sup>;  $V$  – вихідний об'єм випробовуваного розчину, см<sup>3</sup>;  $P$  – наважка проби, г;  $K$  – коефіцієнт розведення.

Дані щодо вмісту ВМ у плодових тілах досліджуваних базидіоміцетів порівнювалися із ГДК елемента-полютанта [8]. Для кожного такого елемента було розраховано коефіцієнт небезпеки ( $K_{нб}$ ), що являє собою співвідношення між концентрацією ВМ в плодовому тілі гриба до ГДК цього ВМ.  $K_{нб}$  має бути меншим або рівним одиниці за нормальних умов. Формула визначення [7]:

$$K_{нб} = \frac{m_i}{ГДК_i}$$

де  $m_i$  – масова частка  $i$ -го елемента-полютанта в плодовому тілі гриба, мг/кг сирої маси;  $ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -го елемента-полютанта, мг/кг сирої маси.

Статистична обробка даних проводилася за допомогою програмних пакетів Microsoft Office Excel та Mathcad з достовірністю 95% ( $X \pm m$ ;  $m \leq 0.05$ ). Для підтвердження правильності та повторюваності значень дослідження виконували три паралельних досліди трьох окремих випробовуваних проб з додаванням відповідного стандартного зразка з відомою концентрацією елемента. Показники стандартних відхилень обчислювали за загальноприйнятими формулами.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Зібрані зразки плодових тіл базидіоміцетів (рис.1) досліджувалися на вміст наступних ВМ (всього 11): мідь (Cu), кобальт (Co), свинець (Pb), кадмій (Cd), нікель (Ni), цинк (Zn), залізо (Fe), марганець (Mn), хром (Cr), ртуть (Hg), сурма (Sb). Результати досліджень представлені в табл. 3:



Рис. 1. Загальний вид базидіоміцетів: 1 – *Boletus edulis* (білий гриб); 2– *Lycoperdon perlatum* (дощовик їстівний); 3 – *Cantharellus cibarius* (лисичка звичайна); 4 – *Agaricus arvensis* (печериця польова)

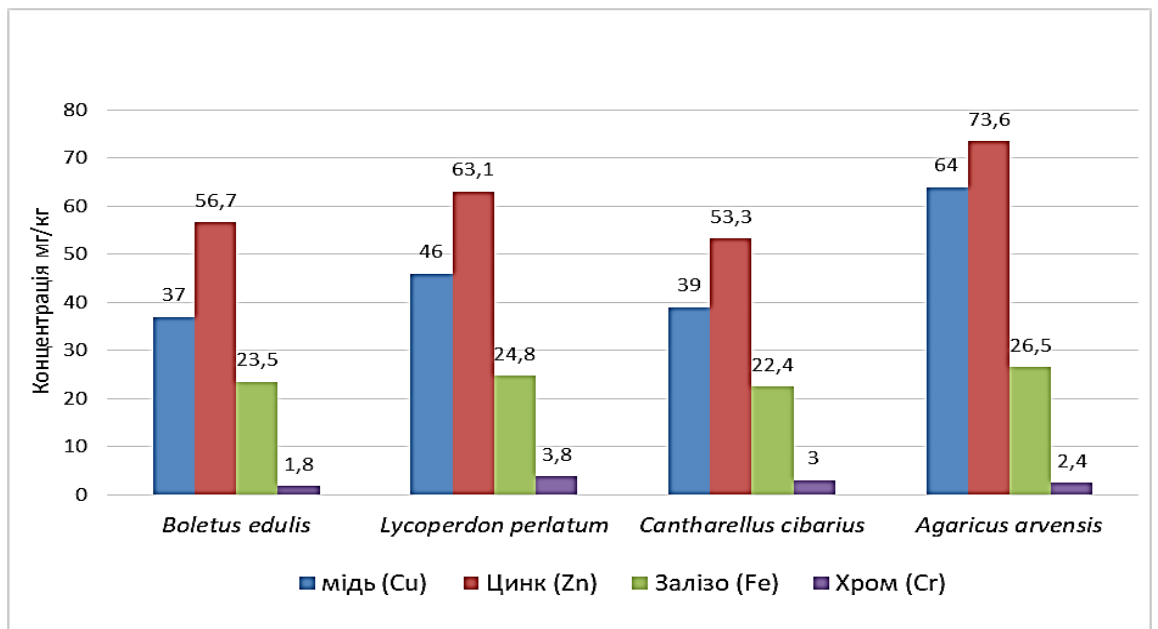
Таблиця 3

Вміст важких металів у плодових тілах досліджуваних базидіоміцетів  
( $X \pm m$ ;  $m \leq 0.05$ )

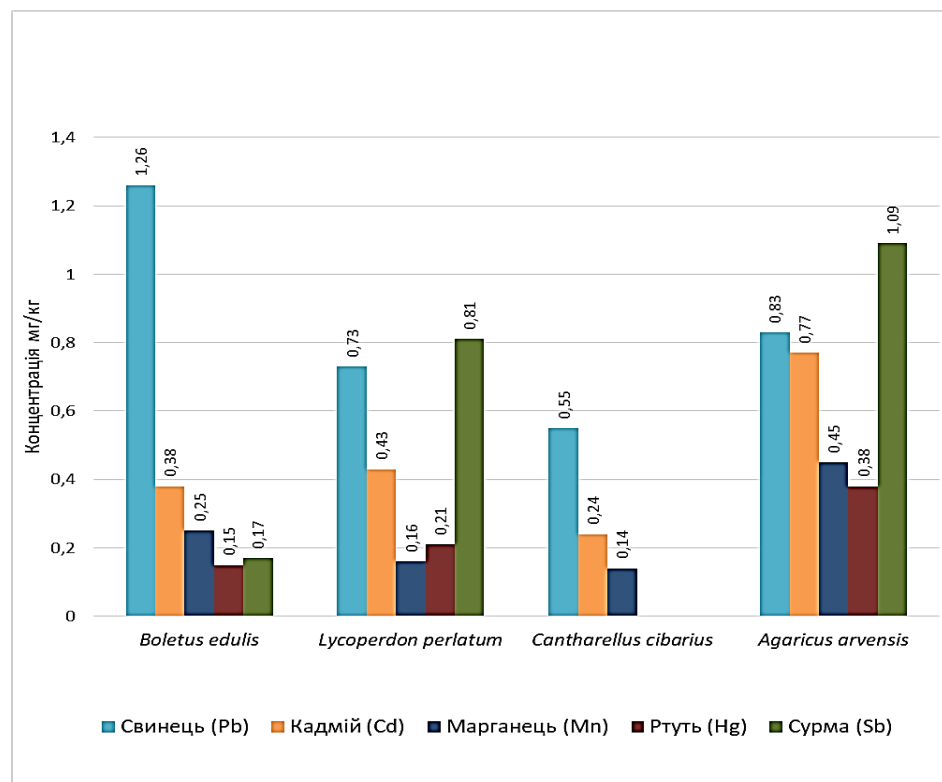
Важкий метал, мг/кг сухої маси	<i>Boletus edulis</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Cantharellus cibarius</i>	<i>Agaricus arvensis</i>
Мідь (Cu)	37,1	46,6	39,0	64,4
Кобальт (Co)	-	-	-	-
Свинець (Pb)	1,26	0,73	0,55	0,83
Кадмій (Cd)	0,38	0,43	0,24	0,77
Нікель (Ni)	0,02	0,03	-	-
Цинк (Zn)	56,7	63,1	53,3	73,6
Залізо (Fe)	23,5	24,8	22,4	26,5
Марганець (Mn)	0,25	0,16	0,14	0,45
Хром (Cr)	1,8	3,8	3,0	2,4
Ртуть (Hg)	0,15	0,21	-	0,38
Сурма (Sb)	0,17	0,81	-	1,09

У досліджуваних видів грибів було виявлені всі вище згадані ВМ, окрім кобальту (Co) (рис. 2,3).

За кількістю виявлених елементів гриби розташовуються в ряд: *Boletus edulis*, *Lycoperdon perlatum* – по 10 елементів; *Agaricus arvensis* – 9; *Cantharellus cibarius* – 7. В накопиченні різних ВМ можна спостерігати вагому різницю у зазначених видах, що представлено на рис. 2,3.



**Рис. 2.** Порівняння значень акумульованих концентрацій міді, цинку, заліза та хрому дослідженими базидіоміцетами ( $X \pm m$ ;  $m \leq 0.05$ )



**Рис. 3.** Порівняння значень акумульованих концентрацій свинцю, кадмію, марганцю, ртуті та сурми дослідженими ( $X \pm m$ ;  $m \leq 0.05$ )

З наведених даних, мідь посідає перше місце серед усіх накопичених металів досліджених грибів із найбільшим вмістом у *Agaricus arvensis* (64

мг/кг). Окрім міді, найвищі значення кадмію (0,77 мг/кг), цинку (73,6 мг/кг), марганцю (0,45 мг/кг), ртуті (0,38 мг/кг) та сурми (1,09 мг/кг) також виявлені в *Agaricus arvensis*. Найбільший вміст Pb спостерігається у *Boletus edulis* (1,26 мг/кг), в той час як вміст Cr – у *Lycoperdon perlatum* (3,8 мг/кг). Вміст заліза практично однаковий у всіх плодових тілах базидіоміцетів із невеликим відривом у *A. arvensis* (26,5 мг/кг). Концентрації Hg, Sb взагалі не були виявлені у *Cantharellus cibarius*, а концентрації Ni не спостерігались у плодових тілах ні *C. cibarius*, ні *A. arvensis*. Окрім міді, *Agaricus arvensis* має найвищі показники майже всіх акумульованих ВМ, ніж інші види. *Lycoperdon perlatum* має менші концентрації аналізованих ВМ, а іноді ці значення є дуже близькими до значень *Agaricus arvensis*, як у випадку із свинцем (0,73 мг/кг) та стибієм (0,81 мг/кг). Найменші показники в процесі біоаккумуляції ВМ відображаються у *Cantharellus cibarius*, перевищуючи тільки значення вмісту Cu у *Boletus edulis* (39 мг/кг) та значення вмісту Cr у *Boletus edulis* та *Agaricus arvensis* (3,0 мг/кг).

Після перерахунку концентрації елементів, за якими встановлено норму, на сиру вагу грибів, їх значення були порівняні із значеннями ГДК цих елементів [8], що представлено у табл. 4:

Таблиця 4

**Концентрації важких металів виявлених у грибах порівняно з ГДК**

( $X \pm m$ ;  $m \leq 0.05$ )

Вид грибів	Важкий метал, мг/кг сирої маси									
	Мідь	ГДК	Свинець	ГДК	Кадмій	ГДК	Цинк	ГДК	Ртуть	ГДК
<i>Boletus edulis</i>	370,1	10	12,6	0,5	3,8	0,1	567,1	20	1,5	0,05
<i>Lycoperdon perlatum</i>	460,5		7,3		4,3		631,9		2,1	
<i>Cantharellus cibarius</i>	390,2		5,5		2,4		533,5		-	
<i>Agaricus arvensis</i>	640,2		8,3		7,7		736,1		3,8	

Із вище наведених даних можна спостерігати, що усі елементи-полютанти значно перевищують затверджену норму ГДК, однак базидіоміцети



накопичують ці метали у більшій або меншій мірі. Так, наприклад, *Boletus edulis* має найбільше перевищення вмісту свинцю, що у 25,2 рази вище ніж ГДК, і у 1,73, 2,29, 1,52 рази більше за *Lycoperdon perlatum*, *Cantharellus cibarius* і *Agaricus arvensis* відповідно. Щодо інших даних, то остання акумулює мідь, кадмій, цинк, ртуть у 64, 77, 36,8, 76 разів більше зазначеної норми, що також має найвищий показник біосорбції цих ВМ порівняно із *Boletus edulis* (у 1,73 рази), *Lycoperdon perlatum* (у 1,39 разів) та *Cantharellus cibarius* (у 1,64 рази). Найменші значення вмісту елементів-забруднювачів відображаються у *Cantharellus cibarius*, але і ці показники мають вагому різницю ніж ГДК у декілька разів, зокрема Cu – у 39 разів, Pb - у 11 разів, Cd – у 24 рази, Zn – у 26,7 разів. І хоча найвищі концентрації зберігаються за міддю та цинком (від 370 до 640 мг/кг; від 567 до 736 мг/кг відповідно), а найменші – за ртуттю (від 1,5 до 3,8 мг/кг), всі вони мають великі перевищення щодо затверджених ГДК у свіжих грибах.

Після обробки даних щодо коефіцієнта небезпеки ( $K_{нб}$ ) ВМ (табл. 5), отримані значення елементів-полютантів в усіх видах досліджуваних грибів значно перевищують одиницю, яка взята за оптимальну норму.

Таблиця 5

**Коефіцієнт небезпеки ( $K_{нб}$ ) важких металів, виявлених у базидіоміцетах ( $X \pm m$ ;  $m \leq 0.05$ )**

Вид грибів	Важкий метал				
	Мідь	Свинець	Кадмій	Цинк	Ртуть
<i>Boletus edulis</i>	37,0	25,2	38,0	28,4	30,0
<i>Lycoperdon perlatum</i>	46,1	14,6	43,0	31,6	42,0
<i>Cantharellus cibarius</i>	39,0	11,0	24,0	26,7	-
<i>Agaricus arvensis</i>	640,0	16,6	77,0	36,8	76,0

Найбільші показники мають ртуть (76,0), кадмій (77,0), мідь (64,0) у *Agaricus arvensis*, в той час як найменші – свинець: 11,0, 14,6, 16,6 у

*Cantharellus cibarius*, *Lycoperdon perlatum*, *Agaricus arvensis* відповідно. Значення Cd мають більший показник ніж Cu у 1,03 та 1,20 разів у *B. edulis* та *A. arvensis* відповідно, тоді як  $K_{\text{нб}}$  міді перевищує  $K_{\text{нб}}$  кадмію в 1,07 та 1,63 разів у *L. perlatum* та *C. cibarius* відповідно. Усі значення коефіцієнта небезпеки Zn є вищими за значення Pb в усіх грибів. Різниця складає: у 1,13 разів – *Boletus edulis*, у 2,16 разів – *Lycoperdon perlatum*, у 2,43 разів – *Cantharellus cibarius*, у 2,23 разів – *Agaricus arvensis*.  $K_{\text{нб}}$  ртуті у 1,23 та 1,27 разів менший за  $K_{\text{нб}}$  міді та  $K_{\text{нб}}$  кадмію відповідно в *Boletus edulis*, у 1,1 та 1,02 разів – в *Lycoperdon perlatum*, але в 1,19 та 0,99 разів більший в *Agaricus arvensis*.

**Ефективність використання базидіоміцетів як індикаторів навколишнього середовища.** Наведені вище дані дають змогу стверджувати, що ТЕЦ-6 можна віднести до об'єктів техногенного навантаження із характерним порушенням якісного складу екосистем. Оскільки у ґрунті, повітрі, об'єктах прилеглих екосистем, що знаходиться поблизу, існує підвищений вміст таких ВМ, як Cu, Fe, Cr, Zn, Cd, Sb, не дивно, що підвищені значення концентрацій цих елементів були виявлені у досліджуваних видів шапинкових базидіоміцетах.

Сильна варіабельність вмісту ВМ у плодових тілах базидіальних макроміцетів частково може бути пояснена еколого-трофічними особливостями і таксономічною приналежністю окремих видів [9]. Наприклад, в районах сильно забруднених ВМ, неподалік яких розташовані автотранспортні чи залізничні магістралі, підприємства гірничо-здобувальної, кольорової металургії, електростанції різного виду і потужності, вміст металів не тільки в базидіоміцетах, а й у всіх об'єктах екосистеми буде мати вищий ступінь, ніж в зонах екологічно-чистих. Тому визначальним фактором накопичення ВМ в плодових тілах грибів є не тип лісу, а ступінь забруднення атмосфери та ґрунту внаслідок шкідливих викидів техногенної діяльності, в даному випадку, ТЕЦ-6.

Деякі дослідники наголошують, що вищі концентрації ВМ спостерігаються у молодих плодових тілах порівняно із зрілими грибами [10]. Базидіальні

макроміцети здатні краще акумулювати метали і транспортувати їх від міцелію до плодового тіла на початку періода спороносіння. Із подальшим збільшенням маси плодового тіла, вміст ВМ зменшується. Акумуляція елементів-полютантів із повітряного середовища грибами здійснюється значно в меншій кількості з причини короткого циклу життя плодового тіла, яке зазвичай складає від 10 до 14 днів [11]. Тому існує невелика похибка в експериментальному дослідженні щодо зрілості зростання базидіоміцетів, хоч всі зразки були зібрані в один і той самий день.

У вищих грибів спостерігається вибірковість у накопиченні металів з ґрунту, хоча суворої кореляції між концентрацією в грибах і ґрунті не виявлено. Вміст важких металів у плодових тілах грибів варіює в широких межах. У порівнянні з ґрунтом у грибах виявляють в 30 - 500 разів більше таких металів, як ртуть, кадмій, свинець тощо. За накопиченням ВМ мікологи відносять гриби до макроконцентраторів [12]. Таким чином, враховуючи період життєвого циклу та однакові умови зростання, базидіальні макроміцети можуть виступати ефективними біоіндикаторами ґрунтового покриву, який поглинув певну кількість ВМ із атмосфери, але не є занадто підходящими об'єктами для біомоніторингу повітряного середовища. Подальший розвиток технологій біоремедіації ґрунтів може забезпечити культивування базидіальних грибів у великих обсягах.

Для порівняння різних територій необхідно досліджувати однакові види грибів, а для біомоніторингу та характеристики певної екосистеми - кілька видів, які досить добре покажуть, наскільки данна місцевість забруднена ВМ. При цьому треба враховувати, що сапротрофні базидіоміцети більше накопичують свинець, цинк, миш'як, ксилотрофні макроміцети – залізо, марганець, хром; симбіотрофи – кобальт [13]. Проте цей розподіл несе змінний характер і для біомоніторингу будь-якої території із використанням базидіоміцетів в якості індикаторів необхідно стежити за умовами, властивим

досліджуваній екосистемі, а також приділяти увагу антропогенному навантаженню, яке має безпосередній вплив на дану місцевість.

Відмінності мінеральних складів грибів, наведені в різних дослідженнях, можуть бути пояснені умовами і факторами існування, притаманним екосистемам, в яких зростають базидіоміцети. Причинами для таких результатів є клімат, рослинне різномайття, склад і вид ґрунту, антропогенне навантаження тощо. Всі ці обставини в сукупності спричиняють широкий спектр ВМ та їх концентрацій у міцелії та плодових тілах грибів.

**Небезпека вживання їстівних грибів із акумульованими металами.** У ВМ можна відокремити 2 групи елементів: есенціальні, тобто необхідні організму (залізо, хром мідь, цинк та інші), і токсичні, які не несуть ніякої біологічної функції, здатні до кумуляції, сприяють розвитку отруєнь. До них відносяться, наприклад, ртуть, свинець, талій. Наслідки споживання з їжею ВМ мають, зазвичай, накопичувальний характер, хоча існує припущення, що аномальні випадки отруєнь їстівними грибами пов'язані саме з металами [14,15]. Як згадувалося, у плодових тілах грибів найбільше накопичуються Zn, Cu, Mn, Pb, Cr, Hg і Ni.

Концентрація цинку в плодових тілах дикорослих грибів варіює в межах 20-80 мг/кг і рідко перевищує 100 мг/кг сухої маси [14]. Цинк є есенціальним елементом. Нестача металу, як і його надлишок, згубливо впливають на здоров'я людини. Патологічні стани, що виникають при зайвому цинку, зумовлені порушенням функції залізо- і мідь-вмісних ензимів, вторинним дефіцитом кальцію. Денна норма його надходження в організм становить 10-15 мг [14]. Цинк стимулює поділ клітин і загоєння уражених тканин, але у високих дозах породжує утворення ракових клітин.

У плодових тілах більшості дикорослих грибів мідь накопичується приблизно в межах 10-70 мг/кг сухої маси, але у довкіллі заводів із переробки міді концентрація її в грибах досягає 300 мг/кг [15]. Надходження в організм людини міді понад 200 мг на добу викликає отруєння (особливо сульфатом

міді). Клінічна картина гострої інтоксикації залежить від хімічної структури сполуки. Однак, як і у випадку з цинком, навіть при вживанні в їжу грибів, що накопичують мідь у концентрації 200-300 мг/кг сухої маси, надходження в організм Cu в токсичних дозах малоймовірно. Біомікроелемент мідь приймає участь у тканинному диханні та кровотворенні. Кишківник всмоктує близько 30% цього елемента, його споживання за добу не повинно перевищувати 0,5 мг/кг (до 30 мг/кг у раціоні) за нормального вмісту в їжі молібдену і цинку, що є фізіологічними антагоністами міді [15].

Вміст кадмію в плодових тілах більшості видів їстівних грибів, зібраних в незабруднених районах, знаходиться в межах 0,1-5,0 мг/кг сухої ваги. У промислових районах концентрація в міцелію може досягати 300 мг/кг сухої ваги, а допустима кількість кадмію для дорослої людини в день становить 1,0 мкг/кг маси тіла [16].

При концентрації Cd 5 мг/кг сухої біомаси без урахування інших джерел надходження в організм, для перевищення допустимих кількостей досить споживати близько 200 г сирих грибів в день. Гострі отруєння кадмієм рідкісні і можливі при тривалому вживанні таких грибів в їжу. Кадмій пригнічує роботу тіолових ферментів, завдяки зв'язуванню з реактивними групами активних центрів. Він є політропною отрутою та відноситься до токсикантів з високою здатністю акумулюватися в тканинах. Період виведення цього металу з організму – 13-40 років, а 150 мг/кг – смертельна доза для людини [16].

Концентрація свинцю в плодових тілах грибів рідко перевищує 5 мг/кг, хоча деякі види накопичують його в концентраціях до 30 мг/кг. У випадках гіперакумуляції свинцю (більше 10 мг/кг сухої маси) допустиме споживання грибів становить 1-2 кг. В організмі людини свинець перешкоджає одній із ступенів біосинтезу гема, а також володіє нейротоксичною дією. Особливо свинець небезпечний для дітей, а хронічне отруєння ним викликає порушення функцій нирок, нервової системи, анемії. Абсорбція і токсичність свинцю зростає при нестачі в організмі кальцію, цинку і заліза. Свинець, попадаючи в

клітину, зв'язується з білками, витісняючи  $Zn^{2+}$  і  $Ca^{2+}$ , блокує карбокси-, аміно-, фосфатні, сульфгідрильні функціональні групи ферментів, чим і зменшує їх активність. Субклінічна безсимптомна форма отруєння пов'язана з підвищенням концентрації свинцю в крові і вмісту протопорфірину в еритроцитах. У разі отруєння свинцем можуть проступити як загальні (зростання чутливості до інфекції, зменшення тривалості життя), так і специфічні порушення, що проявляються в нефрологічних та енцефалопатичних змінах [17]. За перорального надходження свинець, залежно від сполуки, засвоюється дорослими на 10%, а дітьми — на 20%. Максимально допустимою дозою для організму людини має бути концентрація у межах 0,0004–0,005 мг/кг [8].

Хром рідко накопичується в грибах у концентраціях понад 10 мг/кг сухої маси. Вважається, що тривалентний хром у вигляді комплексу з ніотиною кислотою і аліфатичними амінокислотами працює в організмі в якості «фактора толерантності до глюкози». Його робота полягає в посиленні гіпоглікемічної дії інсуліна. Механізм токсичності хроматами зумовлений проникненням в клітину і взаємодією з нуклеїновими кислотами, двовалентний Cr всередині клітини окислюється до тривалентного, приводячи до хромосомних аберацій [17].

Концентрація ртуті в грибах рідко перевищує 10 мг/кг сухої маси, але в забруднених районах вміст в плодових тілах може збільшуватись і досягати 200 мг/кг сухої ваги. Згідно з рекомендаціями ВООЗ допустима концентрація ртуті при надходженні в організм з їжею для дорослої людини становить 5 мкг/кг маси тіла [8]. Ртуть — це тіолова отрута, чим і пояснюється поліморфність клінічних проявів при гострих і хронічних інтоксикаціях. Гриби, зібрані в забруднених районах, можуть бути джерелом надходження ртуті, як токсичного чинника малої інтенсивності.

Нікель відіграє важливу роль в гормональній регуляції організму і входить до складу провідних ферментів. Його надмір, як і недолік, негативно відображається на стані імунної системи. Механізм токсичності Ni внаслідок змінного ступеня окислення обумовлений блокуванням окислювальних

ферментів. Для перевищення допустимої концентрації нікелю, рекомендованої ВООЗ (2,1 мг на тиждень для дорослої людини), достатньо спожити 3 кг грибів (у перерахунку на сиру масу), що накопичують цей метал в надмірних кількостях [8].

Детоксикація металів шляхом їх хелатування специфічними білками і особливо зв'язування металів на поверхні клітинної стінки, ймовірно, може знижувати їх токсичність при вживанні в їжу. Серед метаболітів грибів, які беруть участь в детоксикації металів, небажаним для організму людини є щавлева кислота. Щавлева кислота міститься в плодових тілах дуже багатьох видів грибів. У деяких видів їстівних грибів, наприклад *Agaricus bisporus*, *Boletus armeniacus*, *Boletus edulis*, *Boletus reticulatus*, *Suillus variegates*, *Marasmius oreades*, її вміст в плодових тілах досягає 15-50 мг/кг сухої ваги міцелію, а під впливом металів її кількість може зростати [18]. Щодо метиленової ртуті, то ці дані дуже незначні. Існують відомості, що вона накопичується в дуже низьких концентраціях, рідко досягаючи 16% від загального обсягу ртуті.

Концентрація ВМ у грибах у процесі зберігання і кулінарної обробки може знижуватися. Відомо, що очищення, миття та термічна обробка зменшує вміст ртуті і кадмію приблизно на одну третину [18].

## ВИСНОВКИ

Отже, досліджено, що накопичення важких металів у досліджених базидіальних макроміцетов можна представити як ряд від найбільшого до найменшого їх вмісту: *Agaricus arvensis* > *Lycoperdon perlatum* > *Boletus edulis* > *Cantharellus cibarius*. Концентрації елементів-поллютантів при порівнянні із ГДК дає змогу стверджувати, що всі метали значно перевищують ГДК і коефіцієнт небезпеки ( $K_{нб}$ ). Дані види базидіальних макроміцетів можуть успішно використовуватися в якості високоінформативних біоіндикаторов забруднення ґрунтового покриву навколишнього середовища із подальшим залученням в технології біоремедіації ґрунтів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пересічний М.І. Харчування людини і сучасне довкілля: теорія і практика: монографія / М.І. Пересічний, В.Н. Корзун, М.Ф. Кравченко та ін. — Київ: КНТЕУ, 2003. — 526 с.
2. СЕК. Тяжелые металлы и мышьяк в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.eurasiancommission.org>
3. 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. –2006. –Vol. No 2. –P.84-87.
4. Атлас розподілу важких металів у плодкових тілах макроміцетів : практичний порадник / Ю. А. Білявський, П. П. Надточій, Т. М. Мислива, С. М. Бігула; за ред. доктора с.-г. наук Т. М. Мисливої. – Житомир: Видавець О. О. Євенок, 2016. – 48 с.
5. МУ № 01-19/47-11 «Атомно-абсорбционные методы определения токсичных элементов (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr) в пищевых продуктах и пищевом сырье».
6. Carvalho M., Pimentel A., Fernandes B. Study of heavy metals in wild edible mushrooms under different pollution conditions by absorption spectrometry // Analytical Sciences: the International Journal of the Japan Society for Analytical Chemistry. – 2005. – Vol. 21. №7. – P. 747–750.
7. Tuzen, M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry // Microchem. - 2003. – Vol. 74. – P. 289-297.
8. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. – М.: ФГУП «ИнтерСЭН», 2002. – 168 с



9. Ingrao G., Belloni P., Santaroni G.P. Mushrooms as biological monitors of trace elements in the environment // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 1992. Vol. 161. №1. P. 113–120.
10. Щеглов А.И. Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения // А.И. Щегло, О.Б. Цветнова. – *Природа*. – 2002 – № 11. – 39 – 46 с.
11. Liu J.F., Hu L.J., Liao D.X., Su S.M., Zhou Z.K., Zhang S. Bioremediation of heavy metal pollution by edible fungi: a review // *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. – 2011. – Vol. 22, N 2. - P. 543-548.
12. Spiegel H. Trace element accumulation in selected bioindicators exposed to emission along the industrial facilities of Danube Lowland // *Turkish Journal of Chemistry*. – 2002. – Vol. 26. – P. 815–823.
13. Чураков Б.П. Микоиндикация загрязнения лесных экосистем тяжёлыми металлами / Б.П. Чураков [и др.] // *Микология и фитопатология*. – 2000. – Т. 34. – Вып. 2. – 57–61 с.
14. Kalač P., Niznanska M., Bevilaqua 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 // *The Science of the Total Environment*. – 1996. - Vol. 177. - P. 251-258.
15. Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжёлые металлы и здоровье человека // *Вестник РУДН*. - 2004. - №1. – 125-134 с.
16. Зинина О.Т. Влияние некоторых тяжёлых металлов и микроэлементов на биохимические процессы в организме человека // *Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы*. - 2001. - №4. - 99-105 с.
17. Chemical composition of four wild edible mushroom species collected from southwest Anatolia / F. Kalyoncu [et al.] // *Gasi University Journal of Science*. – 2010. – V. 23(4). – P. 375–379. 13. Colak A., Faiz Ö., Sesli E. Nutritional composition of some wild edible mushrooms // *Turkish Journal of Bio-chemistry*. – 2009. – V. 34(1). – P. 25–31.

18. Кармазиненко С.П. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С.П. Кармазиненко, І.В. Кураєва, А.І. Самчук, Ю.Ю. Войтюк, В.Й. Манічев. – К.: Інтерсервіс, 2014. – 168 с.

## **БАЗИДИАЛЬНЫЕ ГРИБЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ**

**А.В. КОРОЛЬЧУК<sup>1</sup>, О.П. ВИТРЯК<sup>2</sup>, Л.Р. РЕШЕТНЯК<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, г. Киев

<sup>2</sup> Киевский национальный торгово-экономический университет, г. Киев

*Исследованы образцы базидиальных грибов природной экосистемы леса вблизи оз. Алмазное Деснянского района г. Киева с целью анализа накопления тяжелых металлов. Экосистема расположена близко от антропогенного источника загрязнения - ТЭЦ-6. Выявлено, что максимальное количество тяжелых металлов накоплено в грибах *Boletus edulis* и *Lycoperdon perlatum*, минимальное - в *Cantharellus cibarius*, что превышает ПДК и коэффициент опасности ( $K_{on}$ ). Доказано, что базидиальные грибы могут быть использованы как индикаторы состояния окружающей среды в технологиях биоремедиации почв.*

**Ключевые слова:** *базидиальные грибы, биоремедиация, биоиндикаторы, тяжелые металлы.*

# BASIDIAL MUSHROOMS AS INDICATORS OF NATURAL ECOSYSTEM POLLUTION

**O. KOROLCHUK<sup>1</sup>, O. VITRIAK<sup>2</sup>, L. RESHETNIAK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>National Aviation University, Kyiv,

<sup>2</sup> Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

*Samples of basidiomycetes of the natural forest ecosystem near the lake Diamond in Desnyansky district of Kyiv were studied to detect the accumulation of heavy metals. The ecosystem is located close to the anthropogenic source of pollution - CHP-6. It was found that the maximum amount of heavy metals accumulated in *Boletus edulis* and *Lycoperdon perlatum*, the minimum - in *Cantharellus cibarius*, which exceeds the MPC and the hazard factor ( $F_h$ ). It is proved that basidiomycetes can be used as indicators of the state of the environment in soil bioremediation technologies.*

**Key words:** *basidiomycetes, bioremediation, bioindicators, heavy metals.*