

## ГРОДЗИНСЬКА

**Ганна Андріївна** —  
кандидат біологічних наук,  
старший науковий співробітник  
відділу фітоекології ДУ  
«Інститут еволюційної екології  
НАН України»

## НЕБЕСНИЙ

**Віталій Борисович** —  
науковий співробітник відділу  
фітоекології ДУ «Інститут  
еволюційної екології  
НАН України»

## САМЧУК

**Анатолій Іванович** —  
доктор хімічних наук,  
старший науковий співробітник  
Інституту геохімії, мінералогії  
та рудоутворення  
ім. М.П. Семененка  
НАН України

# МУЛЬТИЕЛЕМЕНТНИЙ АНАЛІЗ ДИКОРОСЛИХ МАКРОМІЦЕТІВ

*Мас-спектрометричне дослідження вмісту 27 елементів у плодкових тілах дикорослих шапінкових грибів, зібраних у локалітетах лісових екосистем Київської, Житомирської, Чернігівської, Рівненської, Волинської, Івано-Франківської та Закарпатської областей України зі слабо вираженим антропогенним навантаженням, показало, що концентрації елементів варіюють у досить широкому діапазоні. Літературні дані та отримані нами результати свідчать про потенційну значущість макроміцетів як джерела багатьох мінеральних елементів у раціоні людини. Гриби активно акумулюють P, Mg, Cu, Fe, Zn та ін., причому у представників родини *Boletaceae*, серед яких є найбільш цінні їстівні види (білий гриб, маслюк, підберезовик, польський гриб, синяк, моховики тощо), спостерігається підвищена біоаккумуляційна здатність як щодо токсичних мікроелементів (Cd, Pb, Hg, Be), так і щодо важливих есенціальних елементів, що мають фармакологічне значення (Se, Ge, Ag, Au). Для оцінки біодоступності і безпеки акумульованих у плодкових тілах мінеральних елементів необхідні додаткові медико-біологічні дослідження. Зазначене явище видоспецифічності накопичення окремих елементів деякими видами макроміцетів дозволяє використовувати їх як біоіндикатори. Зокрема, підстилкові і гумусові сапротрофи з родини *Agaricaceae* рекомендовані як біоіндикатори забруднення ґрунтів важкими металами.*

**Ключові слова:** біоаккумуляція, макроміцети, мінеральні елементи, важкі метали.

Шапінкові гриби (макроміцети) завдяки своїм смаковим властивостям, аромату і харчовій цінності є традиційним делікатесом багатьох народів світу. На сьогодні відомо близько 16 тис. видів шапінкових грибів, серед яких є їстівні різного ступеня якості, неїстівні, отруйні, галюциногенні та лікарські. Вважають, що це лише 10 % від загальної кількості видів, решта яких ще невідомі науці [1]. На сьогодні інтерес до макроміцетів невпинно зростає завдяки їх біологічним властивостям і тому, що вони є функціональним продуктом у здоровому харчуванні, а також джерелом для отримання новітніх фармацевтичних препаратів.

Дійсно, макроміцети є невичерпним і до останнього часу нереалізованим джерелом біологічно активних речовин широкого спектру дії. Загалом нині описано понад 130 фармакологічних ефектів вищих грибів, серед яких протипухлинний, серцево-судинний, гепатопротекторний, антиоксидантний,

імуностимулюючий, антибактеріальний, детоксифікуючий, антидіабетичний, протівірусний, проти ожиріння, проти старіння, нейрорегенеруючий тощо [1–5].

Завдяки ефективному механізму акумуляції з ґрунту/субстрату макроміцети нерідко мають підвищені концентрації важких металів і токсичних елементів (кадмію, свинцю, міді, нікелю, ртуті, кобальту, хрому, олова, цинку, миш'яку) у плодкових тілах, що зростають у техногенно забруднених локалітетах (поблизу металургійних підприємств, автомагістралей з інтенсивним рухом тощо). Це створює потенційну загрозу здоров'ю людини при включенні цих елементів у трофічні ланцюги [6–18]. Акумуляційні властивості макроміцетів, з одного боку, дозволяють використовувати їх для оцінки і контролю забруднення довкілля, з іншого, створюють небезпеку за умови їх лікарського та харчового споживання.

Численні публікації останніх десятиліть присвячені біоаккумуляційним властивостям грибів, дослідженню механізмів накопичення (зокрема, важких металів) дикорослими макроміцетами в умовах антропогенного забруднення, потенційним токсикологічним наслідкам їх високого вмісту у плодкових тілах, визначенню ролі іонів металів і окремих рідкісноземельних елементів у фізіології грибів, дослідженню вмісту есенціальних елементів у дикорослих макроміцетах, «фортифікації» лікарських грибних продуктів (так званих функціональних грибних харчових добавок) цими елементами, явищу видоспецифічності накопичення, біоіндикаційним властивостям макроміцетів, застосуванню макроміцетів для біоремедіації забруднених ґрунтів тощо [8, 13, 14, 17, 19–36].

Склад субстрату і співвідношення в ньому певних хімічних форм елементів (обмінних, пов'язаних з органічними речовинами тощо) є найважливішими факторами, які впливають на рівень біоаккумуляції мінеральних елементів плодовими тілами [14, 17, 37]. Іншими важливими чинниками, що сприяють зростанню рівнів накопичення, вважають вік міцелію і більш тривалий період між «хвилями» плодоношень.

Більшість елементів розподіляються у плодовому тілі нерівномірно, і зазвичай найвищий вміст спостерігається у спороутворюючому шарі шапинки (проте не в спорах), середній — в інших частинах шапинки і найнижчий — у ніжці. Водночас вміст деяких елементів іноді вищий у ніжці, ніж у шапинці [17].

Здатність до накопичення хімічних елементів плодовими тілами в різному ступені виражена в усіх еколого-трофічних групах і має специфічний характер. Крім того, біоабсорбція деяких з досліджених елементів пов'язана з таксономічною належністю видів [38]. Результати 20-річних досліджень елементного складу плодкових тіл аскоміцетів і базидіоміцетів (близько 9000 зразків) свідчать про видоспецифічність накопичення деяких з них, хоча склад субстрату також може впливати на наявність важких металів у міцелії та плодкових тілах [22].

Дослідження біоаккумуляції важких металів дикорослими їстівними сапротрофними і ектомікоризними грибами показало, що концентрація всіх важких металів істотно різнилася у цих екологічних групах [39]. Н.О. Голубкіна та В.Є. Миронов [40], у свою чергу, зазначають, що значне екологічне навантаження посилює міжвидові відмінності в акумуляції елементів грибами. Водночас К. Сазанова та ін. [30], аналізуючи літературні дані, стверджують, що, незважаючи на припущення щодо таксономічної специфічності накопичення, наразі неможливо виділити групу видів, яка становить найбільшу небезпеку як акумулятор металів. Слід зазначити також, що біологічний сенс накопичення окремих елементів та їх фізіологічна роль у метаболізмі грибів, механізми акумуляції і біодоступність елементів за умови споживання грибів і досі залишаються недостатньо вивченими і потребують проведення додаткових досліджень.

Отже, визначення елементного складу різних видів дикорослих макроміцетів становить особливий інтерес з огляду на те, що вони не лише є потенційним джерелом фізіологічно важливих елементів у сучасному здоровому харчуванні, а й здатні накопичувати деякі токсичні елементи, в тому числі важкі метали.

**Матеріали та методи.** Методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) (Element-2, Німеччина) [41] ми досліджували вміст 27 елементів (Mg, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Mo, Zr, Nb, Cu, Pb, Se, Ag, Bi, Zn, Be, Ce, La, P, Sr, Ba, Cr, Hg, Cd, Au, As і Ge) у плодкових тілах 29 видів дикорослих макроміцетів (див. Додаток), зібраних у Київській, Житомирській, Чернігівській, Рівненській, Волинській, Івано-Франківській та Закарпатській областях України на ділянках лісових екосистем зі збереженим рослинним покривом і слабо вираженим антропогенним навантаженням. Для оцінки ступеня біоаккумуляції елемента плодovими тілами розраховували коефіцієнт біоаккумуляції ( $K_6$ ) — співвідношення вмісту елемента у грибі і в ґрунті (субстраті) у місці збору.

**Результати та обговорення.** Відомо, що біогенні елементи N, P, K та деякі інші, які є невід'ємною складовою метаболічних процесів і компонентів грибної клітини, у загальному мінеральному складі грибів представлені в макрокілках. Вміст **фосфору** в досліджених макроміцетах перебував у межах від 4000 до 10 000 мг/кг с.м.; максимальне значення виявлено в зразках *X. chrysenteron* (Київ. обл., Виш. р-н). У більшості зразків  $K_6$  фосфору був у межах 2–2,5 і лише у *A. muscaria* (Київ. обл., Іван. р-н, с. Феневиці) досягав 13,3.

Слід зазначити, що в докількі за ступенем небезпечності хімічні елементи розподіляють на три класи [42]: 1 клас — As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, F; 2 клас — B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr; 3 клас — Ba, V, W, Mn, Sr. Біологічна роль і вплив на організм людини окремих елементів є надзвичайно важливими. Так, за впливом на живі організми виділяють: 1) фізіологічно необхідні мікроелементи, що беруть участь у диханні (Fe, Cu, Mn, Co), синтезі білків (Mn, Co, Cu, Ni, Cr), кровотворенні (Fe, Co, Cu, Mn, Ni, Zn), обміні речовин (Mo, V, Co, Mn, Zn, W) тощо; 2) ті, що мають переважно токсикологічне значення (Hg, As, Be, Cd, Pb) [31]. У фундаментальній оглядовій праці, присвяченій мінеральному складу та радіоактивності їстівних грибів, P. Kalač [17] серед мікроелементів виділяє три групи відповідно до їх фізіологічної

ролі в організмі людини: 1) головні (незамінні, обов'язкові) — B, Co, Cr, Cu, F, Fe, I, Mn, Mo, Ni, Se, Si і Zn; 2) токсичні (detrimental) елементи — Ag, As, Ba, Be, Cd, Hg, Pb і Tl; 3) неосновні (nonessential) елементи — Al, Au, Bi, Br, Cs, Li, елементи платинової групи (ПГЕ), рідкісноземельні елементи, Rb, Sn, Sr, Te і V — загалом близько 40 елементів.

Дослідження мінерального складу макроміцетів різних екологічних груп з різних локалітетів України показало високий рівень вмісту фізіологічно важливих, незамінних для людини металів — Mg, Fe, Zn, Cu, Mn і Mo. Вміст **магнію**, який також належить до макроелементів у мінеральному складі макроміцетів і відіграє надзвичайно важливу роль у метаболічних процесах організму людини (зокрема, в нормальному функціонуванні м'язів, нервової системи, регулюванні рівня цукру у крові тощо), був у межах від 713 до 1464 мг/кг с.м., причому максимальні його рівні спостерігалися у симбіотрофних видів. Слід зауважити, що ми фіксували високу варіабельність вмісту цього елемента в плодкових тілах різних видів роду *Russula* з Національного природного парку «Синевир» (Закарп. обл., Хуст. р-н). У публікації [43] наведено середній вміст Mg у грибах 800–1800 мг/кг с.м., а Y. Uzun et al. [44] для 45 видів досліджених дикорослих грибів з двох провінцій Туреччини подають значення від 180 до 1930 мг/кг с.м. Також, за літературними даними, найвищі рівні Mg було встановлено в культивованих видів, зокрема в *Lentinus edodes* (шіїтаке) — до 4560 мг/кг с.м. [17]. Варто зазначити, що на добу дорослим чоловікам необхідно 250–350 мг магнію, жінкам — 200–300 мг, при сильних стресах — 500–700 мг [45].

Як відомо, середня рекомендована добова доза **заліза** становить 10–15 мг. В організмі людини Fe потрібен для перенесення кисню еритроцитами, функціонування низки ферментів, роботи м'язів, імунної системи, щитоподібної залози та печінки, синтезу ДНК тощо. Середні значення Fe у досліджених видів сапротрофів було в межах від 62 у *Ch. rhacodes* до 187 мг/кг с.м. у *C. comatus* з ППСІМ «Феофанія» (м. Київ),  $K_6$  — від 0,03 до 0,08. Май-

же у такому самому діапазоні перебували рівні Fe в плодкових тілах лігнотрофів — від 66 у *G. frondosa* (ППСПМ «Феофанія») до 199 мг/кг с.м. у *Rh. roseus* (НПП «Синеvir»),  $K_6$  — від 0,01 до 0,05. Для мікоризоутворювачів характерна тенденція до зростання вмісту Fe від 25–52 мг/кг с.м. у представників родів *Russula*, *Leccinum* (40–145), *Amanita* (80–140), *B. edulis* (7–300), *Imleria* (98–400), *Boletus* spp. (41–500), *C. cibarius* (320–480), *S. luteus* (до 500 мг/кг с.м.). Деякі автори виокремлюють саме *S. variegatus* як вид — акумулятор заліза [8]. Найвищу варіабельність значень вмісту Fe виявлено у зразках *G. cyanescens* — від 36,1 (ППСПМ «Феофанія») до 5044 мг/кг с.м. (берег оз. Синеvir).  $K_6$  у симбіотрофів був у межах від 0,013 у *L. aurantiacum* (Київ. обл., Бород. р-н, с. Микуличі) до 2,4 у *G. cyanescens* (ППСПМ «Феофанія»). Водночас M. Mleczek et al. [46] для *B. badius* з незабруднених та забруднених локалітетів Польщі наводять відповідно такі рівні Fe: 1313–1569 та 3820–6599 мг/кг с.м. У публікації P. Kalač [17] середній вміст Fe коливається в межах від 50 до 1000 мг/кг с.м., і, як зазначає автор, часто рівень заліза понад 1000 мг/кг спостерігається у видів роду *Boletus*.

Біологічне значення **цинку** надзвичайно важливе — він бере участь у всіх видах обміну, входить до складу 7200 ферментів, відіграє роль у синтезі білків та нуклеїнових кислот, є необхідним для стабілізації структури ДНК, РНК та рибосом, бере участь у процесі трансляції, росту та поділу клітин, формуванні антиоксидантного статусу як протектор вільнорадикальних реакцій, впливає на імунну систему, остеогенез, гемопоез, клітинне дихання, формування мозку та його трансмітерну функцію, репродукцію та розвиток плоду, механізми пам'яті [47]. У більшості досліджених зразків вміст Zn перебував у межах від 30 до 100 мг/кг с.м., а  $K_6$  — від 3,0 до 5,8 (найвищі значення  $K_6$  (14,7 та 10,9) спостерігалися відповідно у *M. procera* і *A. mellea* з ППСПМ «Феофанія»). Найвищі рівні цього елемента ми виявили у симбіотрофів *I. badia* — до 560 мг/кг (Жит. і Черніг. обл.) та *S. luridus* — 350 мг/

кг, а також у лігнотрофа *T. rutilans* (Київ. обл., Іван. р-н) — 300 мг/кг с.м. У публікації [44] вміст Zn в деяких дикорослих грибах становив 15–450 мг/кг с.м. Для незабруднених територій P. Kalač [43] наводить середній вміст Zn у плодкових тілах шапинкових грибів у межах від 30 до 150 мг/кг с.м., зазначаючи при цьому, що акумуляторами цього елемента є симбіотрофи *S. variegatus*, *S. luteus* і сапротрофний вид *L. perlatum*. Для *B. badius* з незабруднених та забруднених локалітетів Польщі наведено рівні Zn 16–21 і 40–47 мг/кг с.м. відповідно [46].

**Мідь** є кофактором ферментів антиоксидантного захисту, бере участь у підтриманні еластичності зв'язок, сухожилів, шкіри і стінок легеневих альвеол, стінок капілярів, а також міцності кісток. Мідь входить до складу захисних оболонки нервових волокон, бере участь у процесах пігментації, впливає на вуглеводний обмін і має протизапальні властивості. За звичайних умов потреба у Cu для дорослих становить 1,5–3 мг, при напруженій м'язовій роботі — 4–5 мг [45]. У більшості досліджених зразків середній вміст Cu становив 30–60 мг/кг с.м. ( $K_6$  від 1,5 до 10). Найнижчі значення (4 мг/кг с.м.) ми виявили у симбіотрофа *S. bovinus* (Черніг. обл., Коз. р-н, с. Смолин) та лігнотрофа *T. rutilans* (Київ. обл., Іван. р-н, с. Феневиці), високі (до 100 мг/кг с.м.) — у деяких зразках *M. procera*, *B. edulis*, *L. aurantiacum* (Черніг. обл., Коз. р-н та м. Київ, ППСПМ «Феофанія») і найвищий рівень (понад 140 мг/кг с.м.,  $K_6$  — до 62,3) у *Ch. rhacodes* (ППСПМ «Феофанія»). Слід зазначити, що вміст Cu навіть у плодкових тілах макроміцетів одного виду з одного місцезнаходження сильно варіював. У публікації Y. Uzun et al. [44] для дикорослих грибів вміст Cu перебував у діапазоні 5–23 мг/кг с.м. P. Kalač [43] наводить середній вміст Cu у плодкових тілах грибів з незабруднених територій 10–70 мг/кг с.м., відзначаючи серед акумуляторів цього елемента сапротрофні види р. *Agaricus*, *M. procera*. Надалі цей автор зазначає, що у культивованих видів макроміцетів вміст Cu зазвичай нижчий — до 30 мг/кг с.м. Найвищий  $K_6$  для Cu (до 66,3) встановлено для *M. procera*, а найнижчий

(0,1–0,2) — для *X. badius* (в умовах зростання на сильно забруднених субстратах) [17].

Як відомо, в організмі людини **манган** є важливим елементом для репродуктивної функції і нормальної роботи нервової системи, входить до складу ферментів або активує їх, бере участь у синтезі нейромедіаторів, забезпечує розвиток сполучної та кісткової тканин, підсилює ефекти інсуліну. Щоденна потреба у Mn для дорослої людини становить 2–3 мг [45]. Вміст Mn у більшості зразків лігнотрофів був у межах від 20 до 40 мг/кг с.м. ( $K_6$  — 0,07–0,15), але встановлений діапазон значень для цієї екологічної групи коливався від 3,7 у *Rh. roseus* (НПП «Синеvir») до 200 мг/кг с.м. у *T. rutilans* (Київ. обл., Іван. р-н, с. Коленці). У сапротрофів вміст Mn перебував у діапазоні від 20 у *C. comatus* (ППСПМ «Феофанія») до 100 мг/кг с.м. у *Ch. rhacodes* (Черніг. обл., Коз. р-н, с. Карпилівка). У симбіотрофів, зокрема представників родини Boletaceae, спостерігалися значні коливання вмісту цього елемента в плодових тілах з різних місцезнаходжень. Загалом  $K_6$  Mn у мікосимбіотрофів перебував у межах 0,04–0,12. За даними літератури, середній вміст Mn у грибах був у межах 25–75 мг/кг с.м.,  $K_6$  — зазвичай 0,5 і дуже рідко більший за 1, а серед видів — акумуляторів цього елемента вказують види роду *Agaricus* [17, 43].

**Нікель** входить до складу низки ферментів, його нестача призводить до інгібування печінкових ензимів, дезорганізації функціонування ендоплазматичного ретикулулу гепатоцитів, дихальних процесів у мітохондріях, змінює вміст ліпідів у печінці. В організмі людини з середньою вагою 70 кг є в середньому 10 мг Ni, близько 49 % цього мікроелемента зосереджено у м'язовій тканині, багато його в легенях, шкірі, печінці. Нікель, що потрапив в організм з їжею або водою, всмоктується у кількості 3–10 % переважно у верхніх відділах тонкої кишки [45]. У досліджених зразках встановлено доволі низькі рівні Ni: у лігнотрофів — 0,06–0,17, виняток становив лише *T. rutilans* — до 1 мг/кг с.м.; у сапротрофів — від 0,07 до 0,09; у симбіотрофів — від 0,09 до 0,66. Підвищені рівні Ni спостерігалися у болеталь-

них видів, зокрема найвищий рівень виявлено у *G. cyanescens* (оз. Синеvir) — 2,2, *V. edulis* (Київ. обл., Виш. р-н, смт Димер) — до 2,0. За літературними даними, середній вміст Ni у грибах становить 0,5–5 мг/кг с.м. [17].

Вміст **титану** в плодових тілах лігнотрофів був у межах від 0,1 у *Rh. roseus* (НПП «Синеvir») до 110 мг/кг с.м. у *T. rutilans* (Київ. обл., Виш. р-н, смт Димер);  $K_6$  — 0,01–0,02. У сапротрофів вміст Ti коливався від 3,8 до 64 мг/кг с.м.; у симбіотрофів також спостерігається висока варіабельність вмісту Ti в плодових тілах тих самих видів з різних локалітетів.

Біологічна роль **ванадію** полягає у пригніченні деяких процесів біосинтезу, він є інгібітором багатьох ферментів, має чітко виражені гонадо- і ембріотоксичний ефекти, проявляє алергізуючу дію тощо. Водночас V бере активну участь у регулюванні ліпідного обміну, синтезі тригліцеридів, процесах мінералізації кісткової тканини, метаболізмі глюкози і глютаміну [45]. У досліджених макроміцетах вміст токсичного V мав переважно низькі значення від 0,04 до 2,6 мг/кг с.м., а найвищі рівні — 26–50 мг/кг с.м. ( $K_6$  — від 5 до 10) виявлено у зразках *A. muscaria* і *A. rubescens*. Слід зазначити, що  $K_6$  у більшості видів з низьким та середнім рівнем акумуляції V були <1. У попередньому дослідженні мінерального складу деяких культивованих і дикорослих видів Basidiomycetes ми встановили також підвищений вміст V в плодових тілах *A. muscaria* — до 76,46 мг/кг с.м. [19].

**Хром** належить до біогенних елементів, бере участь у метаболічних процесах, зокрема регулює баланс цукру в організмі внаслідок підвищення сприйнятливості клітин до інсуліну, забезпечує розщеплення жирів, знижує ризик утворення холестеринових бляшок. Разом з тим хром має канцерогенний ефект, уражує центральну нервову систему, чинить ушкоджуючу дію на репродуктивну функцію. Токсичність сполук Cr залежить від його валентності: Cr(VI) має мутагенну дію, проникає через плаценту, виділяється з грудним молоком; Cr(III) негативно впливає на гонади; Cr(II) і металічний Cr менш токсичні [45]. У досліджених зразках макроміцетів середній вміст Cr був на

рівні 2–3 мг/кг с.м., мінімальне значення (1,1) виявлено у *C. comatus* і *P. ostreatus* (ППСПМ «Феофанія»), а найвищий рівень (до 5 мг/кг с.м.) — у зрілих плодкових тілах *I. badia* (півд. окол. м. Іванків). Значення  $K_6$  були від 0,2 у *A. muscaria* до понад 30 у *M. procera*. Р. Kalač [17] наводить середній рівень Сг від 0,5 до 10 мг/кг с.м., зауважуючи при цьому, що підвищені рівні цього елемента (понад 20) виявлено в деяких культивованих видів.

На сьогодні недостатньо відомостей щодо біологічної ролі **церію**, **лантану** та **ніобію**. У більшості досліджених зразків середній вміст Се був у межах 100–200 мг/кг с.м., La — від 30 мг/кг с.м. у лігнотрофа *T. rutilans* до 50–80 у симбіотрофів з родів *Boletus*, *Leccinum*, *Suillus* та *Amanita*; Nb — здебільшого 1–2 мг/кг с.м.

Що стосується **барію**, то його вміст серед культивованих і дикорослих видів найчастіше становить до 2 мг/кг с.м., а  $K_6$  — нижче 0,5 [17]. Є дані, що вміст Ва у *B. badius* з незабруднених та забруднених територій Польщі був у межах 14–16 та 37–141 мг/кг с.м. відповідно [46]. У видів р. *Boletus* з поліметалевих ґрунтів півд.-зах. Китаю вміст Ва становив від 4 до 12 мг/кг с.м. [16]. У більшості досліджених нами макроміцетів він спостерігався в межах від 5 до 150 мг/кг с.м., однак дуже високі рівні Ва було виявлено у зразках симбіотрофів — *B. pinophilus* (Жит. обл., Древлянський ПЗ) — 1146 і *B. edulis* (Київ. обл., Макар. р-н) — 1653 мг/кг с.м.

Біологічна роль **цирконію** й досі залишається нез'ясованою, проте його виявлено в усіх досліджених зразках макроміцетів. У симбіотрофів рівні Zr були від 0,02 до 0,4 мг/кг с.м., у лігнотрофів — від 0,136 до 50, у сапротрофів — від 0,37 до 60 мг/кг с.м. Для болетальних грибів спостерігався підвищений вміст Zr і водночас велика його варіабельність у зразках одних видів з різних місцезнаходжень.

За даними для 433 видів їстівних, неїстівних та отруйних грибів Європи, наведеними у статті [6], середній вміст **стронцію** становить близько 7 мг/кг с.м. У публікації [17] середній вміст Sr — близько 2 мг/кг с.м., проте автор зазначає, що нерідко він досягає 25 мг/кг с.м. У досліджених нами зразках вміст Sr був у межах

від 0,02 мг/кг с.м. у *R. vesca* (НПП «Синеvir») до 5,8 у *B. edulis* (Київ. обл., Макар. р-н).

Р. Kalač [17] повідомляє, що **берилій** не завжди визначається у плодкових тілах. Так, у дослідженні 489 дикорослих видів R. Seeger et al. [48] встановили його середній вміст 0,08–0,57 мг/кг с.м., причому в 27 % зразків Be взагалі не було. У деяких з досліджених нами макроміцетів було виявлено Be, найвищі рівні якого зафіксовано у старих плодкових тілах *I. badia* (Київ. обл., Іван. р-н) — до 2,0 мг/кг с.м., *B. edulis* (Київ. обл., Виш. р-н) — до 1,0, а найнижчі — у *G. castaneus* (берег оз. Синеvir) — 0,007 і *C. cibarius* (НПП «Синеvir») — 0,002 мг/кг с.м.

Сполуки **вісмуту** застосовують у медичній практиці для лікування шлунково-кишкових розладів, а також як протимікробні й підсушуючі засоби для зовнішнього лікування шкірних запальних процесів. У досліджених нами видів вміст Ві був досить низьким, переважно в діапазоні 0,01–1,0 мг/кг с.м. Мінімальне значення (0,0015) встановлено у *X. subtomentosus* (Галицький НПП), максимальне (3 мг/кг с.м.) — у *X. chrysenteron* (Київ. обл., Виш. р-н). У [17] наведено середнє значення вмісту Ві для дикорослих і культивованих видів — <0,1 мг/кг с.м. Dimitrijevic et al. [49] виявили підвищені рівні Ві в плодкових тілах болетальних видів: *B. edulis* — 0,44, *B. regius* — 0,45 і *B. rhodoxanthus* — 40 мг/кг с.м.

Особливу увагу було приділено акумуляції дикорослими макроміцетами високотоксичних елементів Cd, Pb, As і Hg. **Свинець** — токсикант широкої дії, викликає отруєння з різноманітними клінічними проявами: уражає центральну та периферійну нервові системи, кістки, кістковий мозок, судини, негативно впливає на синтез білка, генетичний апарат клітини, виявляє гонадотоксичну та ембріотоксичну дії. Щодня в організм людини надходить 20–400 мкг Pb, з них 90 % — з їжею рослинного походження, а решта — з водою та атмосферним повітрям [45]. Середній вміст Pb у більшості досліджених видів перебував у межах 1–2 мг/кг с.м. Низькі значення (0,003–0,42) було зафіксовано переважно у зразках із західних областей України, максимальне значення (7,12) у *B. edulis* (Київ.

обл., Макар. р-н). У всіх досліджених зразків  $K_6$  для Pb був  $<1$  і лише у випадку *Ch. rhacodes* (ППСПМ «Феофанія») — 1,15. У [43] серед акумуляторів свинцю названо *M. rhacodes*, *M. procera*, *L. perlatum*, види р. *Agaricus*, *Lepista nuda*. Y. Uzun et al. [44] встановили в дикорослих їстівних грибах вміст Pb у межах 0,010–2,3, а P. Kalač [17] — до 5 мг/кг с.м. як у культивованих, так і в дикорослих видах. Зазвичай рівні Pb були вищими у сапротрофних, ніж у мікоризних видів; дуже високі рівні Pb (100–300) виявлено в деяких видів, зібраних поблизу плавильних заводів [17]. У дослідженні I. Širić et al. [39] найвищу концентрацію Pb (1,67) встановлено у *M. procera*, а Hg (2,39) — у *V. edulis*. Для *V. badius* з незабруднених локалітетів Польщі зафіксовано рівні Pb 3,86 і 5,23, а із забруднених — 79,0 і 476 мг/кг с.м. [46].

До більшості харчових продуктів миш'як входить як природна складова, з денним раціоном в організм людини надходить до 1 мг As. Через високу токсичність сполуки As у харчовій промисловості не застосовуються, а в медицині їх використовують для лікування анемії, неврастенії, виснаження, псоріазу, пульпітів [45]. Середній вміст As у досліджених нами зразках був у межах 0,03–0,2 мг/кг с.м.,  $K_6 >1$ . Найнижчі рівні (0,001–0,004 мг/кг с.м.) виявлено в плодкових тілах *R. virescens*, *Rh. roseus* та *C. cibarius* з НПП «Синевир». Аномально високий вміст As (22,89 мг/кг с.м.) зафіксовано в плодкових тілах *G. cyanescens* у ППСМ «Феофанія». Водночас вміст As у *G. cyanescens* з НПП «Синевир» був майже у 90 разів меншим — 0,257 мг/кг с.м., а у близького виду *G. castaneus* з цього ж локалітету — 0,043. У дослідженні J. Vetter [50] для 13 з 37 розглянутих видів грибів наведено рівень As нижчий за 0,05 мг/кг с.м., тоді як види з родів *Agaricus*, *Calvatia*, *Collybia*, *Laccaria*, *Langermannia*, *Lepista*, *Lycoperdon* і *Macrolepiota* автор зараховує до біоіндикаторів. Для макроміцетів з незабруднених локалітетів Польщі рівні As становили 0,21 і 0,41, а із забруднених — 8,80 і 21,4 мг/кг с.м. [46]. У трьох досліджених болетальних видів з поліметалевих ґрунтів південно-західного Китаю визначено рівні As від 0,79 до 53 мг/кг с.м. [16].

**Ртуть** належить до ферментативних токсикантів і вирізняється високою токсичністю для будь-яких форм життя, має кумулятивні властивості [45]. За даними літератури, загальний вміст Hg в макроміцетах перебуває в діапазоні 0,5–5 мг/кг с.м., було встановлено, що деякі види родів *Agaricus*, *Boletus*, *L. nuda* і *M. procera* є біоакумуляторами, а культивовані види накопичують менше [14, 17]. Дослідження вмісту Hg у плодкових тілах *S. bovinus* з 13 місцезнаходжень північної Польщі показало, що у шапинках він був у межах від 0,10 до 0,79, в ніжках — від 0,083 до 0,51 мг/кг с.м., а спостережувані високі  $K_6$  — від 6,4 до 45 у шапинках і від 3,8 до 29 у ніжках дозволили M. Saba et al. [51] рекомендувати цей вид як ефективний акумулятор, особливо на слабозабруднених ґрунтах. Автори [25] також наголошують, що за малих концентрацій у лісових ґрунтах Hg ефективно акумулюють багато видів грибів. Крім того, було показано, що культивовані види при вирощуванні на забруднених Hg субстратах демонстрували залежне від концентрації зростання акумуляції ртуті — найвищі значення встановлено у *A. bisporus* (116), *Hericium erinaceus* (53) і *P. ostreatus* (44 мг/кг с.м.) [28]. Слід зазначити, що в досліджених нами зразках вміст Hg був досить низьким. Мінімальний рівень (0,0025) зафіксовано у лігнотрофів *S. crispa* (Київ. обл., Виш. р-н) і *Rh. roseus* (НПП «Синевир»), а максимальні (до 0,90) — у симбіотрофів *C. cibarius* (НПП «Синевир») і *V. pinophilus* (Жит. обл., Древянський ПЗ).

Токсичний мікроелемент **кадмій** належить до основних поллютантів довкілля. Незалежно від форм сполук Cd, які надходять в організм, спрямованість їх дії та відомі механізми інтоксикації є близькими. Cd знижує активність травних ферментів, пригнічує активність каталази у печінці і крові, гальмує синтез глікогену в печінці, може утворювати комплекси з ферментами, змінюючи їх біохімічну функцію, а високі концентрації спричиняють дистрофічні і некротичні ураження внутрішніх органів, крововиливи, інгаляційні отруєння викликають токсичну пневмонію і набряк легенів [45]. За даними літератури, середній вміст Cd у

грибах становить 1–5 мг/кг с.м., зазвичай він вищий у шапинках (особливо у спороутворюючому шарі), ніж у ніжках [17]. Широко вживані *B. edulis* і *L. scabrum* є помірними акумуляторами Cd [14]. Серед накопичувачів цього елемента відомі види р. *Agaricus* (печериця). На забруднених територіях середньоакумулюючі види здатні накопичувати десятки, а сильноакумулюючі – навіть сотні мг/кг с.м. [14, 17]. Серед макроміцетів національного парку «Medvednica» (Хорватія) найвищий вміст Cd (2,67) виявлено у *A. campestris* [39]. У *B. badius* з незабруднених і забруднених локалітетів Польщі рівні Cd становлять відповідно 0,24–0,31 і 0,51–1,33 мг/кг с.м. [46]. За нашими даними, найнижчі рівні Cd (0,001) виявлено в *A. mellea* і *C. comatus* (ППСПМ «Феофанія»). Загалом низькі рівні Cd (до 0,1) встановлено в більшості зразків макроміцетів різних екологічних груп із заповідних територій Закарпатської, Івано-Франківської, Рівненської та Волинської областей, середні – у сапротрофа *Ch. rhacodes* та симбіотрофів, максимальний рівень (6,12) – у *B. edulis* (Жит. обл., окол. смт Лугини), проте у зразках *B. edulis* (Київ. обл., Макар. р-н) вміст Cd був 0,053 мг/кг с.м.

З огляду на потенційне фармакологічне використання макроміцетів, на особливу увагу заслуговує вміст есенціальних елементів зі встановленою антиоксидантною, протипухлинною (Se, Ge, Mo), а також бактерицидною дією (Ag, Au) (див. табл.).

**Селен**, крім вираженої антиоксидантної та протипухлинної дії, підвищує імунітет, сприяє нормальному функціонуванню ендокринної системи. Деякі захворювання, зокрема хворобу Кешана, дисфункцію щитоподібної залози, остеоартрити, пов'язують саме з дефіцитом Se в організмі. Вважають, що оптимальна середньодобова доза Se становить 0,139–0,185 мг, тоді як добове надходження Se у дозі 1 мг/кг може спричинити хронічне отруєння [45]. Металоїд Se за своїми фізико-хімічними властивостями подібний до сірки, його біологічно активна форма представлена амінокислотою селен-цистеїном. Se входить до складу широко відомої мультівітамінної та мультиміне-

ральної добавки «Centrum» (Pfizer, США) у кількості 55 мкг, що відповідає 79 % добової потреби дорослої людини. Проведене нами дослідження акумулятивної здатності видів р. *Pleurotus* щодо сполук Se, Ge і Mo у рідкому живильному середовищі показало, зокрема, що серед досліджених штамів біомаса *P. eryngii* найбільш активно акумулювала Se – за максимальної доданої концентрації його вміст зростав до 847 мг/кг с.м. ( $K_0 = 763$ ). Водночас  $K_0$  для Se у *P. ostreatus* (штам 198) був вищим – 2118, а вміст у біомасі досягав 826 мг/кг с.м. [35].

За нашими даними, вміст Se в плодкових тілах одних і тих самих видів з різних локалітетів різнився суттєво, іноді до сотень разів. Низькі рівні виявлено в макроміцетів з НПП «Синевир» і «Галицький» (зокрема, у видів *Russula*), високі (16–24 мг/кг с.м.) – у *S. luridus*, *A. rubescens*, *T. rutilans*, *Ch. rhacodes*, *A. mellea*, *M. procera*, *L. aurantiacum* з Київської і Житомирської областей. Найвищий рівень Se (32,5) зафіксовано у *B. edulis* (Черніг. обл., Коз. р-н). Водночас усі досліджені зразки *I. badia* вирізнялися невисоким рівнем Se (0,05–0,27 мг/кг с.м.). Ці значення подібні до показників вмісту Se у *B. badius* з незабруднених і забруднених локалітетів Польщі – відповідно 0,02–0,03 і 0,21–0,65 мг/кг с.м. [46]. За даними літератури, середній вміст Se в культивованих і дикорослих грибах перебуває в межах 0,5–5 мг/кг с.м., вищі концентрації нерідко спостерігаються серед видів роду *Boletus*, а також у видів р. *Agaricus*, які є біоакумуляторами селену. Найвищі рівні Se зафіксовано у *A. pescaprae* і близького виду *A. ellisii* [17].

Біологічна роль **германію** полягає у підсиленні процесів кровотворення у кістковому мозку, антиоксидантній та протипухлинній дії. У трьох досліджених штамів культивованих видів р. *Pleurotus* рівень акумуляції Ge міцеліальною біомасою достовірно корелював з доданими до рідкого живильного середовища концентраціями, коефіцієнт біоакумуляції досягав  $10^2$ – $10^3$ , максимально зафіксований рівень накопичення Ge становив 797,7 мг/кг с.м. у *P. eryngii* [35]. Водночас у досліджених зразків дикорослих макроміцетів середній рівень Ge був у межах



**Вміст есенціальних елементів Se, Ge, Mo, Ag і Au у плодкових тілах досліджених дикорослих макроміцетів (мг/кг с.м.)**

Вид гриба	Se	Ge	Mo	Ag	Au
Симбіотрофи					
<i>Amanita muscaria</i>	3,2–7,4	–	1,0–2,0	4,0	–
<i>Amanita rubescens</i>	11,0–16,0		0,4–1,0	1,1–1,5	0,26
<i>Boletus edulis</i>	5,1–32,5	0,055	0,18–15,5	6,05–35,0	
<i>Boletus pinophilus</i>	8,75	0,099	0,18		
<i>Cantharellus cibarius</i>	0,17		0,18		0,08
<i>Imleria badia</i>	0,05–0,27		0,66–19,8	0,24–2,0	
<i>Gyroporus castaneus</i>	0,305	0,002	0,044		
<i>Gyroporus cyanescens</i>	0,5–10,0	0,002–0,005	0,032–1,0	0,8–1,1	0,1
<i>Leccinum aurantiacum</i>	1,24–24,0		0,6–30,2	1,4–40,0	0,1
<i>Leccinum scabrum</i>	0,23–14,0	0,002–0,003	0,04–2,35	0,36–1,1	0,15
<i>Russula cyanoxantha</i>	0,073	0,001	0,18		
<i>Russula vesca</i>	0,24	0,002	0,2		
<i>Russula virescens</i>	0,17	0,001	0,11		
<i>Russula xerampelina</i>	0,17	0,002	0,18		
<i>Suillellus luridus</i>	15,9		0,49	10,9	
<i>Suillus luteus</i>	0,22–1,37		1,0–6,27	0,49–1,0	0,1
<i>Suillus bovinus</i>	0,02–12,0	0,002	0,6–2,0	0,8–1,5	0,1–0,3
<i>Suillus variegatus</i>	2,0		0,6	1,0	0,1
<i>Xerocomellus chrysenteron</i>	0,08–0,09	0,003	0,07–5,0	0,96–2,0	
<i>Xerocomus subtomentosus</i>	0,03–13,0	0,001	0,01–1,0	2,1	0,1
Сапротрофи					
<i>Chlorophyllum rhacodes</i>	10,0–22,0		1,0–2,0	3,6–5,0	0,3
<i>Coprinus comatus</i>	0,17	0,002	0,01		
<i>Macrolepiota procera</i>	20,0–26,0		1,1–1,6	1,1–4,0	0,2
Лігнотрофи					
<i>Armillaria mellea</i>	20,0–24,0		1,0–2,0	1,1–10,0	0,2
<i>Grifola frondosa</i>	10,0–14,0		1,0		
<i>Pleurotus ostreatus</i>	3,0–4,2		0,8	2,0	0,1
<i>Rhodofomes rosea</i>	0,003	0,001	0,18		
<i>Sparassis crispa</i>	0,18	0,002	0,61		
<i>Tricholomopsis rutilans</i>	0,23–20,0		1,4–3,0	1,0–5,0	0,08

0,001–0,002 мг/кг с.м. Найвищі рівні (до 0,055) встановлено у *B. edulis* (Київ. обл., Макарецький р-н). У попередньому дослідженні серед 3 культивованих і 7 дикорослих видів базидіоміцетів Ge було виявлено лише в 4 зразках [19]. За даними P. Rzymiski et al. [52], вміст Ge в плодкових тілах 3 комерційних культивованих видів р. *Agaricus* був нижчим за межу вимірювань.

**Молібден** належить до есенціальних елементів, бере участь у тканинному диханні, впливає на пуриновий обмін, синтез аскорбінової кислоти, вуглеводний обмін та ін. У досліджених зразках вміст Mo був у межах від 0,01 у *C. comatus* (ППСПМ «Феофанія») та *X. subtomentosus* (Галицький НПП) до 30,2 у *L. aurantiacum* (Жит. обл., Луг. р-н),  $K_6$  –

від 0,5 у *A. muscaria* (Київ. обл., Іван. р-н) до максимальних значень 167 у *A. mellea* і 333 у *Ch. rhacodes* (ППСПМ «Феофанія»). Відзначено високу варіабельність вмісту Мо в одних і тих самих видах макроміцетів з різних локалітетів. Зокрема, це стосується болетальних видів. Експериментальні дослідження здатності до біоаккумуляції Мо з рідкого живильного середовища міцелієм видів р. *Pleurotus* показали, що  $K_6$  Мо перебуває в межах  $10-10^2$  [35]. Вміст Мо у *B. badius* з незабруднених та забруднених територій Польщі становив відповідно 0,28–0,32 і 12,9–17,1 мг/кг с.м. [46].

Біологічна роль **срібла** полягає насамперед в антисептичній дії. Аг активно поглинається макроміцетами, коефіцієнт біоаккумуляції в усіх випадках – >1. Отримані дані свідчать, що вміст Аг в досліджених видах був у межах від 0,36 у *L. scabrum* (Київ. обл., Борисп. р-н, с. Старе) до 40 мг/кг с.м. у *L. aurantiacum* (Київ. обл., Бород. р-н). Деякі автори серед акумуляторів Аг наводять види роду *Agaricus*, *B. edulis* і *L. perlatum* [8]. Р. Калач [17] вказує, що середній вміст Аг в грибах становить до 5 у дикорослих і до 0,5 мг/кг с.м. у культивованих видів. Значно вищі рівні спостерігалися в грибах із забруднених територій. До списку біоаккумуляторів срібла автор додає *A. strobiliformis*, *A. arvensis*, *A. campestris*, *A. augustus* і *M. procera*. Навіть за дуже низького природного рівня Аг у ґрунті (нижче 1 мг/кг с.м.) види р. *Amanita* можуть містити його у 2000 разів більше, найвище встановлене значення сягало 1253 мг/кг с.м. [25]. У *B. luridus*, *B. magnificus* і *B. tomentipes* з поліметалевих ґрунтів південно-західного Китаю вміст Аг був у межах 1,3–3,7 мг/кг с.м. [16], хоча у європейських дослідженнях грибів з колишніх уранових і срібних родовищ наведено значно вищі рівні накопичення срібла [17].

**Золото** має бактерицидну дію, деякі його препарати використовують у медицині для лікування пухлин і вовчанки [45]. У давнину Ау вважали панацеєю від усіх хвороб, є тривалий історичний досвід застосування його у народній медицині. J. Vогоvička et al. у дослідженні грибів, що зростають на незолотоносних і неза-

бруднених ґрунтах, виявили середній вміст Ау 0,02 мг/кг с.м. Серед мікоризних видів найвищі рівні Ау (0,24) встановлено у *B. edulis*, серед сапротрофних (0,19) – у *M. esculenta*. Істотно вищим був вміст Ау в макроміцетах з золотоносних місцезнаходжень, максимальний рівень серед мікосимбіотрофів – 0,61 у *B. edulis*, серед сапротрофів – 7,74 у *L. perlatum* [53].

Серед деяких досліджених нами зразків симбіотрофів Ау виявлено у *S. bovinus* – 0,3; *L. aurantiacum*, *X. subtomentosus* і *G. cyaneus* – 0,1 (Волинська обл., Шацький НПП), *A. rubescens* – 0,26 (Жит. обл., Попільн. р-н), *L. scabrum* – 0,15 (Рівненська обл., РПЗ), *C. cibarius* – 0,075 (НПП «Синевир») тощо. У ППСПМ «Феофанія» у сапротрофних видів *Ch. rhacodes* і *M. procera* рівень Ау був відповідно 0,3 і 0,2, а у лігнотрофних *A. mellea* і *P. ostreatus* – 0,2 і 0,1, у лігнотрофа *T. rutilans* – 0,08 мг/кг с.м. (Київ. обл., Іван. р-н).

**Висновки.** Завдяки ефективному механізму біоаккумуляції деякі види грибів є джерелом есенціальних елементів, таких як Mg, Cu, Fe, Zn, Cr, Se, Ge, Mo, Mn тощо. Насиченість і різноманіття елементного складу дикорослих макроміцетів у поєднанні з високим вмістом білків, вуглеводів, вітамінів, ферментів та інших біологічно активних сполук свідчать про потенційну додаткову цінність цих об'єктів як функціонального харчового і лікарського продукту. Для оцінки біодоступності і безпеки акумульованих у плодкових тілах дикорослих макроміцетів мінеральних елементів для організму людини потрібні додаткові медико-біологічні дослідження.

При розробленні харчових добавок зі збагаченої есенціальними елементами грибною біомаси слід досягати оптимального вмісту цих елементів з урахуванням добових потреб організму людини в конкретному елементі та рекомендованих лікарських доз. Спостережувана видова й екологічна специфічність накопичення окремих мінеральних елементів деякими видами дикорослих макроміцетів дозволяє використовувати їх для біоіндикації техногенного забруднення довкілля.

## Назви досліджених та наведених у цитованих публікаціях макроміцетів

Назва	Назва виду (роду), автор за Index Fungorum	Українська назва
<i>Agaricus</i>	<i>Agaricus</i> L.	Печериця
<i>Agaricus arvensis</i>	<i>Agaricus arvensis</i> Schaeff.	Печериця польова
<i>Agaricus augustus</i>	<i>Agaricus augustus</i> Fr.	Печериця серпнева
<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Agaricus bisporus</i> (J.E. Lange) Imbach	Печериця двоспорова
<i>Agaricus bitorquis</i>	<i>Agaricus bitorquis</i> (Quél.) Sacc.	Печериця двокільцева
<i>Agaricus campestris</i>	<i>Agaricus campestris</i> L.	Печериця лучна
<i>Agaricus macrosporus</i>	<i>Agaricus urinascens</i> (Jul. Schäff. & F.H. Møller) Singer	Печериця великоспорова
<i>Agaricus sylvaticus</i>	<i>Agaricus sylvaticus</i> Schaeff.	Печериця лісова
<i>Agaricus sylvicola</i>	<i>Agaricus sylvicola</i> (Vittad.) Peck	Печериця переліскова
<i>Albatrellus pes-caprae</i>	<i>Scutigera pes-caprae</i> (Pers.) Bondartsev & Singer	Трутовик овечий
<i>Albatrellus ellisii</i>	<i>Albatrellus ellisii</i> (Berk. ex Cooke & Ellis) Pouzar	Альбатрел Елліса
<i>Amanita</i>	<i>Amanita</i> Pers.	Мухомор
<i>Amanita muscaria</i>	<i>Amanita muscaria</i> (L.) Lam.	Мухомор червоний
<i>Amanita rubescens</i>	<i>Amanita rubescens</i> Pers.	Мухомор червоніючий
<i>Amanita strobiliformis</i>	<i>Amanita strobiliformis</i> (Paulet ex Vittad.) Bertill.	Мухомор шишкоподібний
<i>Armillaria mellea</i>	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl) P. Kumm.	Опеньок осінній справжній
<i>Boletus</i>	<i>Boletus</i> L.	Болетус, боровик
<i>Boletus aestivalis</i>	<i>Boletus reticulatus</i> Schaeff.	Боровик сітчастий
<i>Boletus badius</i>	<i>Imleria badia</i> (Fr.) Vizzini	Польський гриб
<i>Boletus edulis</i>	<i>Boletus edulis</i> Bull.	Білий гриб, боровик
<i>Boletus luridus</i>	<i>Suillellus luridus</i> (Schaeff.) Murrill	Дубовик оливково-бурий
<i>Boletus magnificus</i>	<i>Sutorius magnificus</i> (W.F. Chiu) G. Wu & Zhu L. Yang	Підберезовик великий
<i>Boletus pinophilus</i>	<i>Boletus pinophilus</i> Pilát & Dermek	Білий гриб сосновий
<i>Boletus regius</i>	<i>Butyriboletus regius</i> (Krombh.) D. Arora & J.L. Frank	Боровик королівський
<i>Boletus rhodoxanthus</i>	<i>Rubroboletus rhodoxanthus</i> (Krombh.) Kuan Zhao & Zhu L. Yang	Боровик рожевошкірий, боровик пурпуровий
<i>Boletus tomentipes</i>	<i>Boletus tomentipes</i> Earle	Підберезовик звичайний
<i>Calvatia</i>	<i>Calvatia</i> Fr.	Головач
<i>Cantharellus cibarius</i>	<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.	Лисичка справжня
<i>Chlorophyllum rhacodes</i>	<i>Chlorophyllum rhacodes</i> (Vittad.) Vellinga	Гриб-зонтик червоніючий
<i>Collybia</i>	<i>Collybia</i> (Fr.) Staude	Колібія
<i>Coprinus comatus</i>	<i>Coprinus comatus</i> (O.F. Müll.) Pers.	Гнойовик білий
<i>Grifola frondosa</i>	<i>Grifola frondosa</i> (Dicks.) Gray	Трутовик галузистий
<i>Gyroporus</i>	<i>Gyroporus</i> Quél.	Гіропор
<i>Gyroporus castaneus</i>	<i>Gyroporus castaneus</i> (Bull.) Quél.	Заячий гриб
<i>Gyroporus castaneus</i>	<i>Gyroporus cyanescens</i> (Bull.) Quél.	Синяк
<i>Hericium erinaceus</i>	<i>Hericium erinaceus</i>	Їжовик гребінчастий, левова грива
<i>Imleria badia</i>	<i>Imleria badia</i> (Fr.) Vizzini	Польський гриб
<i>Laccaria</i>	<i>Laccaria</i> Berk. & Broome	Лаковиця
<i>Langemannia gigantea</i>	<i>Calvatia gigantea</i> (Batsch) Lloyd	Порхавка гігантська
<i>Leccinum</i>	<i>Leccinum</i> Gray	Бабка
<i>Leccinum aurantiacum</i>	<i>Leccinum aurantiacum</i> (Bull.) Gray	Підосиковик, бабка червона
<i>Leccinum scabrum</i>	<i>Leccinum scabrum</i> (Bull.) Gray	Підберезовик, бабка темна
<i>Lentinus edodes</i>	<i>Lentinula edodes</i> (Berk.) Pegler	Шіітаке
<i>Lepista nuda</i>	<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	Рядовка фіолетова
<i>Lycoperdon perlatum</i>	<i>Lycoperdon perlatum</i> Pers.	Дощовик істівний
<i>Macrolepiota procera</i>	<i>Macrolepiota procera</i> (Scop.) Singer	Гриб-зонтик строкатий
<i>Macrolepiota rhacodes</i>	<i>Chlorophyllum rhacodes</i> (Vittad.) Vellinga	Гриб-зонтик червоніючий
<i>Morchella esculenta</i>	<i>Morchella esculenta</i> (L.) Pers.	Зморшок істівний
<i>Pholiota squarrosa</i>	<i>Pholiota squarrosa</i> (Vahl.) P. Kumm.	Лускатка стовбурчата
<i>Pleurotus eryngii</i>	<i>Pleurotus eryngii</i> (DC) Quél.	Плеврот миколайчиківий, королівська глива
<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i> (Jacq.) P. Kumm.	Плеврот черепичастий, глива звичайна

Назва	Назва виду (роду), автор за Index Fungorum	Українська назва
<i>Rhodofomes roseus</i>	<i>Rhodofomes roseus</i> (Alb. & Schwein.) Kotl. & Pouzar	Трутовик рожевий
<i>Russula</i>	<i>Russula</i> Pers.	Сироїжка
<i>Russula claroflava</i>	<i>Russula claroflava</i> Grove	Сироїжка жовта
<i>Russula cyanoxantha</i>	<i>Russula cyanoxantha</i> (Schaeff.) Fr.	Сироїжка синьо-жовта
<i>Russula vesca</i>	<i>Russula vesca</i> Fr.	Сироїжка харчова
<i>Russula virescens</i>	<i>Russula virescens</i> (Schaeff.) Fr.	Сироїжка луската, товстуха
<i>Russula xerampelina</i>	<i>Russula xerampelina</i> (Schaeff.) Fr.	Сироїжка ароматна
<i>Sparassis crispa</i>	<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.	Грибна капуста
<i>Stropharia rugosoannulata</i>	<i>Stropharia rugosoannulata</i> Farl. ex Murrill	Строфарія зморшкувато-кільцева, кільцевик
<i>Suillellus</i>	<i>Suillellus</i> Murrill	Дубовик
<i>Suillellus luridus</i>	<i>Suillellus luridus</i> (Schaeff.) Murrill (= <i>Boletus luridus</i> )	Дубовик звичайний
<i>Suillus</i>	<i>Suillus</i> Gray	Маслюк
<i>Suillus bovinus</i>	<i>Suillus bovinus</i> (L.) Roussel	Козляк
<i>Suillus luteus</i>	<i>Suillus luteus</i> (L.) Roussel	Маслюк звичайний
<i>Suillus variegatus</i>	<i>Suillus variegatus</i> (Sw.) Richon & Roze	Маслюк жовто-бурий
<i>Tricholomopsis rutilans</i>	<i>Tricholomopsis rutilans</i> (Schaeff.) Singer	Рядовка червоніюча
<i>Xerocomellus chrysenteron</i>	<i>Xerocomellus chrysenteron</i> (Bull.) Šutara	Моховичок потрісканий
<i>Xerocomus subtomentosus</i>	<i>Xerocomus subtomentosus</i> (L.) Quél.	Моховик зелений, решітка

## REFERENCES

## [СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Wasser S.P. Medicinal mushroom science: history, current status, future trends, and unsolved problems. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2010. **12**(1): 1–16. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v12.i1.10>
2. Wasser S.P. (ed.) *Makromitsety: lekarstvennyye svoystva i biologicheskiye osobennosti (Macromycetes: medicinal properties and biological features)*. Vol. 1. Kyiv, 2012 (in Russian).  
[*Макроміцети: лікарственні властивості та біологічні особливості*. Т. 1. Под ред. С.П. Вассера. Київ, 2012.]
3. Wasser S.P. Medicinal Mushrooms in Human Clinical Studies. Part I. Anticancer, Oncoimmunological, and Immunomodulatory Activities: A Review. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2017. **19**(4): 279–317. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.v19.i4.10>
4. Chang S.T., Wasser S.P. The role of culinary-medicinal mushrooms on human welfare with a pyramid model for human health. *Int. J. Med. Mushrooms*. 2012. **14**(2): 95–134. <https://doi.org/10.1615/intjmedmushr.v14.i2.10>
5. Gabriel I. (ed.) *Makromitsety: lekarstvennyye svoystva i biologicheskiye osobennosti (Macromycetes: medicinal properties and biological features)*. Vol. 2. Kyiv, 2016 (in Russian).  
[*Макроміцети: лікарственні властивості та біологічні особливості*. Т. 2. Под ред. проф. И. Габриэля. Киев: Наш формат, 2016.]
6. Seeger R. Toxic heavy metals in mushrooms. *Deutsch. Apoth. Z.* 1982. **122**: 1835–1844.
7. Vetter J. Toxic elements in certain higher fungi. *Food Chemistry*. 1993. **48**(2): 207–208. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(93\)90060-s](https://doi.org/10.1016/0308-8146(93)90060-s)
8. Kalač P., Svoboda L. Review of trace element concentrations in edible mushrooms. *Food Chem.* 2000. **69**(3): 273–281. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00264-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00264-2)
9. Falandysz J., Bielawski L. Mercury content of wild edible mushrooms collected near the town of Augustow. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2001. **10**(1): 67–71.
10. Falandysz J., Bielawski L. Mercury and its bioconcentration factors in Brown Birch Scaber Stalk (*Leccinum scabrum*) from various sites in Poland. *Food Chem.* 2007. **105**(2): 635–640. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.024>
11. Svoboda B., Havlíčková P., Kalač P. Contents of cadmium, mercury and lead in edible mushrooms growing in a historical silver-mining area. *Food Chem.* 2006. **96**(4): 580–585. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.012>
12. Alonso J., Garcia M.A., Melgar M.J. Acumulación de metales pesados en macromicetos comestibles y factores que influyen en su captación. *Revista de Toxicología*. 2004. **21**(1): 11–15.
13. Elekes C.C., Busuioc G., Ionita G. The bioaccumulation of Some Heavy Metals in the Fruiting Body of Wild Growing Mushrooms. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. 2010. **38**(2): 147–151. <https://doi.org/10.15835/nbha3824736>

14. Kalač P. Trace element content in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009. *Food Chemistry*. 2010. **122**(1): 2–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.045>
15. Sarikurkcü C., Tepe B., Kocak M.S., Uren M.C. Metal concentration and antioxidant activity of edible mushrooms from Turkey. *Food Chemistry*. 2015. **175**: 549–555. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.019>
16. Falandysz J., Zhang J., Wiejak A., Barańkiewicz D., Hanč A. Metallic elements and metalloids in *Boletus luridus*, *B. magnificus* and *B. tomentosus* mushrooms from polymetallic soils from SW China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017. **142**: 497–502. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.055>
17. Kalač P. *Mineral Composition and Radioactivity of Edible Mushrooms*. Academic Press, Elsevier, 2019. <https://doi.org/10.1016/C2018-0-02278-1>
18. Pajak M., Gasiorek M., Jasik M., Halecki W., Otremba K., Pietrzykowski M. Risk Assessment of Potential Food Chain Threats from Edible Wild Mushrooms Collected in Forest Ecosystems with Heavy Metal Pollution in Upper Silesia. *Poland Forests*. 2020. **11**: 1240. <https://doi.org/10.3390/f11121240>
19. Solomko E.F., Grodzinskaya A.A., Pashchenko L.A., Pchelintseva R.K. Mineral composition of some cultivated and wild Basidiomycetes species. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1986. **20**(6): 474–478.  
[Соломко Э.Ф., Гродзинская А.А., Пащенко Л.А., Пчелинцева Р.К. Минеральный состав некоторых видов культивируемых и дикорастущих грибов класса Basidiomycetes. *Микология и фитопатология*. 1986. Т. 20. № 6. С. 474–478.]
20. Poddubny A.V., Khristoforova N.K., Kovekovdova L.T. Macromycetes as indicators of environmental pollution by heavy metals. *Mikologiya i fitopatologiya*. 1998. **32**(6): 47–51.  
[Поддубный А.В., Христофорова Н.К., Ковековдова Л.Т. Макромитеты как индикаторы загрязнения среды тяжелыми металлами. *Микология и фитопатология*. 1998. Т. 32. № 6. С. 47–51.]
21. Kostychev A.A. *Bioabsorbtsiya tyazhelykh metallov i myshyaka agarikoidnymi i gasteroidnymi bazidiomitsetami (Bioabsorption of heavy metals and arsenic by agaricoid and gasteroid basidiomycetes)*. Ph.D. (Biol.) Thesis. Moscow, 2009.  
[Костычев А.А. Биоабсорбция тяжелых металлов и мышьяка агарикуидными и гастероидными базидиомитцетами: автореф. ... канд. биол. наук. Москва, 2009.]
22. Petrini O., Cocchi L., Vescovi L., Petrini L. Chemical elements in mushrooms and their potential taxonomic significance. *Mycol. Progr*. 2009. **8**(3): 171–180. <https://doi.org/10.1007/s11557-009-0589-1>
23. Grodzinska A.A., Samchuk A.I., Sirchin S.O. Mineral elements content in boletales mushrooms. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr*. 2010. (6): 29–35.  
[Гродзинська Г.А., Самчук А.І., Сирчін С.О. Вміст мінеральних елементів у болетальних грибах. *Вісник НАН України*. 2010. № 6. С. 29–35.]
24. Bhatia P., Aureli F., D'Amato M., Prakash R., Cameotra S.S., Nagaraja T.P., Cubadda F. Selenium bioaccessibility and speciation in biofortified *Pleurotus* mushrooms grown on selenium-rich agricultural residues. *Food Chem*. 2013. **140**: 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.054>
25. Falandysz J., Borovička J. Macro and trace mineral constituents and radionuclides in mushrooms: health benefits and risks. *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 2013. **97**(2): 477–501. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-4552-8>
26. da Silva M.C.S., Nunes M.D., da Luz J.M.R., Kasuya M.C.M. Mycelial Growth of *Pleurotus* Spp. in Se-Enriched Culture Media. *Advances in Microbiology*. 2013. **3**: 11–18. <https://doi.org/10.4236/aim.2013.38A003>
27. Mleczek M., Niedzielski P., Kalač P., Budka A., Siwulski M., Gąsecka M., Rzymiski P., Magdziak Z., Sobieralski K. Multielemental analysis of 20 mushroom species growing near a heavily trafficked road in Poland. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 2016. **23**(8): 16280–16295. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6760-8>
28. Rzymiski P., Mleczek M., Siwulski M., Gąsecka M. The risk of high mercury accumulation in edible mushrooms cultivated on contaminated substrates. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2016. **51**: 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.06.009>
29. Yamaç M., Yildiz D., Sarikurcu C., Celikkollu M., Solak M.H. Heavy metals in some edible mushrooms from the Central Anatolia, Turkey. *Food Chem*. 2007. **103**(2): 263–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.041>
30. Sazanova K.N., Velikova V.D., Stolyarova N.V. Accumulation of heavy metals by fungi, ecological and species specificity, accumulation mechanisms, potential danger to humans. *Biomedical journal Medline.ru*. September 18, 2017 (in Russian). <http://www.medline.ru/public/art/tom18/art24.html>  
[Сазанова К.Н., Великова В.Д., Столярова Н.В. Накопление тяжелых металлов грибами, экологическая и видовая специфичность, механизмы аккумуляции, потенциальная опасность для человека. *Биомедицинский журнал Медлайн.ру*. 18 сентября 2017.]
31. Samchuk A.I., Kurayeva I.V. (eds). *Vazhki metaly v ob'ektakh dovkillia Kyivskoho mehapolisu (Heavy metals in the environmental objects of the Kyiv metropolis)*. Kyiv, 2019 (in Ukrainian).

- [Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу. За ред. А.І. Самчука, І.В. Кураєвої. Київ: Наш формат, 2019.]
32. Grodzinskaya A.A., Samchuk A.I., Syrchin S.A., Wasser S.P. Mineral content of fruit bodies of culinary-medicinal *Boletales* mushrooms. Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Med. Mushr. Conf. (August 26–29, 2013, Beijing, China). P. 317–327.
  33. Grodzinskaya A.A., Nebesnyi V.B., Samchuk A.I., Gonchar A.Yu. Content of trace elements, <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K in bioindicators and soils from Kyiv (Ukraine). *Int. J. Med. Plant Studies*. 2019. **7**(5): 115–125.
  34. Grodzinskaya A.A., Nebesnyi V.B., Samchuk A.I., Honchar H.Yu. Radiocesium (<sup>137</sup>Cs) and mineral elements in culinary-medicinal mushrooms from the southern outskirts of Kyiv (Ukraine). *Int. J. Med. Mushroom*. 2019. **21**(1): 71–77. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2018029583>
  35. Grodzynska A.A., Samchuk A.I., Nebesnyi V.B. Enrichment of edible mushroom biomass with compounds of germanium, selenium, and molybdenum. *Sci. Innov.* 2019. **15**(5): 69–77. <https://doi.org/10.15407/scine15.05.078>
  36. Siwulski M., Budzyńska S., Rzymiski P., Gąsecka M., Niedzielski P., Kalač P., Mleczek M. The effect of germanium and selenium on growth, metalloids accumulation and ergosterol content in mushrooms: experimental study in *Pleurotus ostreatus* and *Ganoderma lucidum*. *European Food Research and Technology*. 2019. **245**: 1799–1810. <http://doi.org/10.1007/s00217-019-03299-9>
  37. Chang-Yun Lee, Jeong-Eun Park, Bo-Bae Kim, Sun-Mi Kim, Hyeon-Su Ro. Determination of mineral components in the cultivation substrates of edible mushrooms and their uptake into fruiting bodies. *Mycobiology*. 2009. **37**(2): 109–113. <http://doi.org/10.4489/MYCO.2009.37.2.109>
  38. Ivanov A.I., Kostychev A.A., Skobanov A.V. Heavy metals and arsenic accumulation by the fruit bodies of mushrooms of various ecologo-trophic and taxonomic groups. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2008. **36**: 190–199.  
[Иванов А.И., Костычев А.А., Скобанов А.В. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого-трофических и таксономических групп. *Поволж. экол. журн.* 2008. Т. 36. С. 190–199.]
  39. Širić I., Humar M., Kasap A., Mioc B., Pohleven F. Heavy metal bioaccumulation by wild edible saprophytic and ectomycorrhizal mushrooms. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016. **23**: 18239–18252. <http://doi.org/10.1007/s11356-016-7027-0>
  40. Golubkina N.A., Mironov V.E. Elemental composition of fungi under conditions of contrasting anthropogenic loads. *Geokhimiya*. 2018. **10**: 3–16. <http://doi.org/10.1134/S0016752518100084>  
[Голубкина Н.А., Миронов В.Е. Элементный состав грибов в условиях контрастных антропогенных нагрузок. *Геохимия*. 2018. Т. 10. С. 3–16.]
  41. Ponomarenko O.M., Samchuk A.I., Krasnyuk O.P., Makarenko T.I., Antonenko O.G. Analytical Schemes of Microwave Decomposition of Rocks and Minerals and Microelements Determination in Them by Mass Spectrometry with Induction Connected Plasma Method (ICPMS). *Mineralogical Journal (Ukraine)*. 2008. **30**(4): 97–103.  
[Пономаренко О.М., Самчук А.І., Красюк О.П., Макаренко Т.І., Антоненко О.Г. Аналітичні схеми пробопідготовки гірських порід та мінералів і визначення в них мікроелементів методом мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ISP-MS). *Мінералогічний журнал*. 2008. № 4. С. 97–103.]
  42. State Standard of Ukraine. (DSTU 4287:2004).  
[ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. Київ: Держспоживстандарт України, 2005.]
  43. Kalač P. Chemical Composition and Nutritional Value of European Species of Wild Growing Mushrooms: A review. *Food Chemistry*. 2009. **113**(1): 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.07.077>
  44. Uzun Y., Genccelep H., Kaya A., Akcay M.E. The Mineral Contents of Some Wild Edible Mushrooms. *Ekoloji*. 2011. **20**(80): 6–12. <https://doi.org/10.5053/ekoloji.2011.802>
  45. Perepelitsya O.P. *Ekokhimiia ta endoekolohiia elementiv (Ecochemistry and endoecology of elements)*. Kyiv, 2004.  
[Перепелиця О.П. *Екохімія та ендоекологія елементів: довідник з екологічного захисту*. Київ: НУХТ, Екохім, 2004.]
  46. Mleczek M., Magdziak Z., Gąsecka M., Niedzielski P., Kalac P., Siwulski M., Rzymiski P., Zalicka S., Sobieralski K. Content of selected elements and low-molecular-weight organic acids in fruiting bodies of edible *Boletus badius* (Fr.) Fr. from unpolluted and polluted areas. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016. **23**(20): 20609–20618. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7222-z>
  47. Presnyakova M.V., Kostina O.V., Albitskaya Zh.V. Biological role of zinc and its importance for pathogenesis of autistic spectrum disorders. *Sotsialnaya i klinicheskaya psikiatriya*. 2019. **29**(3): 63–70.  
[Преснякова М.В., Костина О.В., Альбицкая Ж.В. Биологическая роль цинка и его значимость в патогенезе расстройств аутистического спектра. *Социальная и клиническая психиатрия*. 2019. Т. 29. № 3. С. 63–70.]
  48. Seeger R., Schleicher G., Schweinshaut P. Untersuchungen zum Berylliumvorkommen in Pilzen. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*. 1984. **80**: 178–186.

49. Dimitrijevic M.V., Mitic V.D., Cvetkovic J.S., Stankov Jovanovic V.P., Mutic J.J., Nikolic Mandic S.D. Update on element content profiles in eleven wild edible mushrooms from family Boletaceae. *European Food Research and Technology*. 2016. **242**(1): 10. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2512-0>
50. Vetter J. Arsenic content of some edible mushroom species. *European Food Research and Technology*. 2004. **219**: 71–74. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0905-6>
51. Saba M., Falandysz J., Nnorom C. Mercury bio-accumulation by *Suillus bovinus* mushroom and probable dietary intake with the mushroom meal. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. **23**(14): 14549–14559. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6558-8>
52. Rzymiski P., Mleczeek M., Siwulski M., Jasińska A., Budka A., Niedzielski P., Kalac P., Gąsecka M., Budzyńska S. Multi-elemental analysis of fruit bodies of three cultivated commercial *Agaricus* species. *Journal of Food Composition*. 2017. **59**: 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.011>
53. Borovička J., Dunn C.E., Gryndler M., Mihaljevič M., Jelínek E., Rohovec J., Rohošková M., Řanda Z. Bioaccumulation of gold in macrofungi and ectomycorrhizae from the vicinity of the Mokrsko gold deposit, Czech Republic. *Soil Biology and Biochemistry*. 2010. **42**(1): 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.10.003>

*Ganna A. Grodzynska*

Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5128-8695>

*Vitaliy B. Nebesnyi*

Institute for Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2455-1715>

*Anatolii I. Samchuk*

Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### MULTIELEMENTAL ANALYSIS OF WILD-GROWING MACROMYCETES

The results of mass spectrometry (ICP-MS) investigations of 27 elements in wild macromycetes fruiting bodies collected in forest ecosystems with preserved vegetation and weak anthropogenic loads (in Kyiv, Zhytomyr, Chernihiv, Rivne, Volyn, Ivano-Frankivsk and Zakarpattia regions of Ukraine) showed that the concentrations of elements vary widely. In particular, the content of macronutrients P and Mg, respectively, was in the range from 4000–10000 and 713–1464 mg/kg dry mass. The minimum and maximum levels of the studied mineral elements were in the following ranges – Fe (25–5044), Zn (24–559), Cu (4–142), Mn (3.7–600), Ni (0.06–2.2), Ti (0.02–300), V (0.01–50), Cr (1.1–5), Ce (100–200), La (30–80), Nb (1–2), Ba (0.26–1654), Zr (0.02–80), Sr (0.02–5.8), Be (0.007–2), Bi (0.0015–3), Pb (0.003–7.12), As (0.001–22.89), Hg (0.0025–0.9), Cd (0.001–6.12), Se (0.02–32.5), Ge (0.001–0.099), Mo (0.01–30.2), Ag (0.36–40) and Au (0.075–0.3) mg/kg d.m. Literature data and obtained results indicate the potential importance of macromycetes as a source of many mineral elements in the human diet. Mushrooms actively accumulate P, Mg, Cu, Fe, Zn, etc. At the same time, species of the family Boletaceae, including the most valuable edible species (*Boletus edulis*, *Suillus* spp., *Imleria badia*, *Leccinum* spp., *Gyroporus cyanescens*, *Xerocomus* spp.), have increased bioaccumulation capacity for toxic trace elements Cd, Pb, Hg, Be, and important essential elements of pharmacological importance – Se, Ge, Ag, Au. Additional medical and biological studies are needed to assess the bioavailability and safety of mineral elements accumulated in fruiting bodies. The phenomenon of species-specific accumulation of individual elements by some species of macromycetes is noted, that allows to use them for the purpose of bioindication. Litter and humus saprotrophs from Agaricaceae family are recommended as bioindicators of soil contamination with heavy metals.

**Keywords:** bioaccumulation, macromycetes, mineral elements, heavy metals.