

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Ю. А. Білявський, П. П. Надточій,
Т. М. Мислива, С. М. Бігула

АТЛАС

РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ПЛОДОВИХ ТІЛАХ МАКРОМІЦЕТІВ



Житомир
Видавець О. О. Євенок
2016

УДК 504.03 (477.41/ 42)

A92

Друкується за рішенням Вченої ради Житомирського національного агроекологічного університету, протокол №4 від «26» листопада 2015 р.

Рецензенти:

А. Д. Балаєв – д. с.-г. н., професор, завідувач кафедри ґрунтознавства і охорони ґрунтів Національного університету біоресурсів і природокористування України;

В. П. Краснов – д. с.-г. н., професор, завідувач кафедри екології Житомирського державного технологічного університету;

А. І. Гузій – д. с.-г. н., професор, завідувач кафедри експлуатації лісових ресурсів Житомирського національного агроекологічного університету.

A92 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.

ISBN 978-617-7265-45-9

У практичному пораднику наведена інформація про особливості накопичення важких металів 26-ма видами дикорослих їстівних макроміцетів з пластинчастим (17 видів) і трубчастим (9 видів) гіменофором, що зростають на території природних лісових екосистем поліської частини Житомирської області. Він вміщує дані про екологічну безпечність мікологічної продукції, канцерогенний ризик для здоров'я населення внаслідок споживання забруднених важкими металами макроміцетів, а також відомості про способи зниження вмісту важких металів у грибах.

Видання буде корисним для науковців і фахівців у галузі екології, токсикології, гігієни, медицини і без сумніву слугуватиме навчальним посібником для студентів, магістрантів і аспірантів, викладачів вищих навчальних закладів. Наведені у ньому відомості можуть використовуватись у практичній діяльності лісгосподарських підприємств, а також пересічними громадянами – мешканцями лісових районів Житомирської, Чернігівської, Рівненської, Волинської та інших областей.

Замовлення на придбання видання та пропозиції щодо його вдосконалення прохання надсилати на адресу: 10008 м. Житомир, бульвар Старий, 7, Житомирський національний агроекологічний університет, екологічний факультет, кафедра охорони довкілля та збалансованого природокористування, д. с.-г. н., професору П. П. Надточію (e-mail: pnadtochy@yahoo.com). Телефон для довідок: 38 067 963-88-13.

ISBN 978-617-7265-45-9

© Ю. А. Білявський, Т. М. Мислива, П. П. Надточій, 2016
О. О. Євенок, видання, 2016

ПЕРЕДМОВА

Останнім часом у зв'язку з економічною ситуацією, яка склалася в Україні, зріс інтерес населення до поповнення харчового раціону за рахунок дарів природи, одним із важливих джерел надходження яких є дикорослі гриби. Крім того, такий продукт харчування, як гриби, є традиційним для мешканців лісових регіонів держави, до яких належить і поліська частина Житомирської області. Поширення різних видів їстівних макроміцетів у лісах Житомирського Полісся, їх висока врожайність та традиційне використання у їжу місцевими мешканцями обумовлюють надходження мікроелементів, у тому числі й політантів, за харчовими ланцюгами в організм людини.

Базидіальні їстівні гриби є збалансованим природним комплексом біологічно активних речовин: гліканів, хітину, терпенів, білків, ліпідів, каротиноїдів, меланіну, поліфенолів, полісахаридів, ферментів. Багато видів грибів класів *Basidiomycetes* та *Ascomycetes* мають у своєму складі всі незамінні для людини амінокислоти та високий вміст ненасичених омега-3 жирних кислот. У плодових тілах грибів міститься понад 20 макро- та мікроелементів, вітаміни групи А, В, Е, D, РР [23].

Цінність грибів як харчового продукту пов'язана зі своєрідністю їх хімічного складу. Зокрема, основна частина вуглеводів міститься в них у формі глікогену - тваринного крохмалю, подібного до того, який відкладається в печінці тварин. Гриби вміщують значну кількість фосфору, цинку, в них присутня мідь, а також такі мікроелементи, як йод і марганець. Поживна цінність грибів пов'язана не лише з наявністю в них білків, жирів і вуглеводів, але й з присутністю інших біологічно необхідних речовин, у тому числі есенціальних мікроелементів. Екстрактивні речовини, що містяться у грибах (до них відносяться, насамперед, вільні амінокислоти), є активними стимуляторами шлункової секреції, що зумовлює фізіологічну цінність макроміцетів [6].

За харчовою цінністю гриби поділяються на 4 категорії. До першої належать найцінніші види грибів; до другої - гриби середньої якості; до третьої відносяться гриби з якістю нижче середньої; четверта категорія об'єднує малоцінні види грибів.

У таблиці 1 наведені відомості про біологічну цінність окремих видів їстівних макроміцетів.

Таблиця 1. - Біологічна цінність окремих видів їстівних макроміцетів [6]

Частина плодового тіла гриба	Поживний склад плодового тіла гриба, %					
	вода + суха речовина	білки	жири	цукри	клітковина	екстрактивні речовини
Бабка темна <i>Leccinum scabrum</i> (Bull.) Gray						
Шапінка	84,03 +15,97	44,99	5,90	16,03	20,56	3,25
Ніжка	88,69 +11,31	29,87	3,51	12,31	42,35	11,96
Білий гриб <i>Boletus edulis</i> Bull.						
Шапінка	86,17 + 13,83	43,90	6,20	16,01	22,54	3,25
Ніжка	87,02 +12,98	30,73	4,41	13,69	40,41	4,41
Хрящ-молочник червоно-коричневий <i>Lactarius volemus</i> (Fr.) Fr.						
Шапінка	90,17 + 9,83	32,21	6,91	17,64	30,30	5,81
Ніжка	91,18 + 8,82	26,37	4,01	20,02	38,86	5,47
Рижик сосновий <i>Lactarius deliciosus</i> (L.) Gray						
Шапінка	89,99 + 10,01	38,12	7,37	14,40	27,42	4,55
Ніжка	90,17 + 9,83	34,28	5,74	14,62	31,43	6,81
Маслюк звичайний <i>Suillus luteus</i> (L.) Roussel						
Шапінка	91,59 + 8,41	40,47	6,42	17,82	21,05	3,50
Ніжка	91,07 + 8,93	32,57	3,80	15,75	35,99	4,43

Залежно від виду, плодові тіла макроміцетів на 84-92 % складаються з води і лише на 8-16 % – із сухої речовини. Вищу поживну цінність має шапинка гриба, оскільки вміщує більше білків, жирів і вуглеводів порівняно з ніжкою. Від 20 до 40 % сухої речовини плодового тіла макроміцетів припадає на клітковину і лише від 3 до 7 % - на безазотисті екстрактивні речовини [23]. Проте, зважаючи на поживний склад грибів, можна беззаперечно твердити про їх харчову, біологічну й фізіологічну цінність для людини.

Посилення техногенно-антропогенного впливу на довкілля призводить до забруднення всіх його компонентів хімічними речовинами – ксенобіотиками, не останнє місце серед яких належить важким металам. В умовах несприятливої екологічної ситуації дикоросла грибна продукція може бути значно забрудненою і небезпечною для здоров'я населення, оскільки мікобіота має високу здатність до акумуляції забруднювальних речовин. Гриби можуть акумулювати Cd, Cu, Zn, Hg і ряд інших токсичних елементів. У зв'язку з цим актуальності набувають дослідження у галузі екології, присвячені вивченню особливостей накопичення їстівними макроміцетами різноманітних хімічних елементів, зокрема важких металів.

Одним з основних факторів, що впливає на ступінь концентрації важких металів, є належність грибів до певної екологічної групи: сапротрофів, симбіотрофів чи ксилотрофів, а для грибів-симбіотрофів – ще й глибина локалізації міцелію у ґрунті [21, 22]. Залежно від цього характер акумуляції важких металів у грибах різних видів має певні відмінності. Крім того, на концентрацію хімічних елементів у грибах може впливати хімічний склад лісової підстилки та ґрунту, умови місця зростання оскільки всі компоненти лісової екосистеми взаємопов'язані та мають прямий чи опосередкований вплив один на одного.

Пропоноване видання – перша спроба проаналізувати, систематизувати і узагальнити відомості про особливості накопичення важких металів – міді, цинку, марганцю, свинцю, кадмію плодовими тілами макроміцетів, що зростають в екологічних умовах Житомирського Полісся. Автори будуть щиро вдячні за зауваження і доповнення до змісту видання, а також за пропозиції щодо його удосконалення. Сподіваємось і на пропозиції про спільну співпрацю з колегами-науковцями, які також досліджують дану проблему.

Автори висловлюють щиро вдячність за всебічну допомогу у підготовці видання співробітникам Житомирської філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» та особисто заступнику директора цієї установи Ф. О. Вишневському і співробітникам Чернігівської філії ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» та особисто її директору А. І. Мельнику.

ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РІЗНИМИ ВИДАМИ МАКРОМІЦЕТІВ

Зміна екологічного стану лісових біоценозів під впливом техногенного навантаження значною мірою вплинула й на якість дикорослих грибів. З'явилися регіони, де їстівні гриби забруднені різноманітними токсикантами. Гриби (особливо макроміцети) є найбільш «забрудненим» компонентом лісових екосистем, відтак вони являються своєрідним індикатором їх екологічного стану. Однак саме ця їх властивість і визначає небезпечність грибів для людини. Поширення різних видів їстівних макроміцетів у лісах, їх висока врожайність та традиційне використання у їжу місцевими мешканцями обумовлюють надходження мікроелементів, у тому числі й поллютантів, за харчовими ланцюгами в організм людини.

У грибному попелі виявлено понад 20 хімічних елементів, серед яких К – 33-65 %, Р – 6-28 %, Mg – 2,5 %, Са – до 1 %. Серед мікроелементів у ньому присутні Mn, Li, Zn, Cs, V, Pb, Cu та інші, більшість з яких входить до складу ферментів і вітамінів. У цілому хімічний склад грибів залежить від видових особливостей, умов зростання, віку, а також способу заготівлі [22].

Гриби – це філогенетично гетерогенна група еукаріотичних безхлорофільних гетеротрофних організмів, які живляться переважно осмотрофно, здатні розмножуватися за допомогою спор та мають, як правило, гіфальну будову вегетативного тіла [13]. Ектомікоризні гриби є характерними компонентами ґрунтів лісових екосистем бореальних хвойних лісів та лісів помірних широт. Міцелій цих грибів відіграє вирішальну роль у живленні вищих рослин завдяки формуванню симбіотичних асоціацій. Мікоризні гриби збільшують поглинаючу поверхню коренів рослин та сприяють мобілізації поживних речовин з органічних решток внаслідок дії гідролітичних позаклітинних ферментів [8, 32].

Міцелій мікоризних грибів також забезпечує поглинання з ґрунту широкого спектру елементів мінерального живлення [38], у тому числі макроелементів, таких як фосфор [26], та цілого ряду мікроелементів [41]. При цьому поглинаються як есенціальні (життєво необхідні), так і ті мікроелементи, які, будучи антропогенними забрудниками, можуть при підвищених концентраціях бути токсичними для людини [8, 35]. Науковий інтерес до вивчення грибів виявляється в тому числі і через здатність останніх до вибіркового поглинання елементів, небезпечних для людини. У плодових тілах багатьох видів макроміцетів вміст важких металів може бути досить високим, у тому числі й вміст кадмію, який накопичується грибами найбільш інтенсивно [40]. Міцелій ектомікоризних грибів не лише поглинає мікроелементи з ґрунту, а також забезпечує їх перенесення до плодових тіл грибів [33]. Таким чином гриби, особливо їх плодові тіла, беруть участь у рециркуляції важких металів у лісових екосистемах шляхом біоаккумуляції.

Різні види ектомікоризних грибів відрізняються як здатністю поглинати [33], так і здатністю накопичувати мікроелементи [27]. Відомо, що як хром (Cr), так і нікель (Ni) не накопичуються плодовими тілами грибів [19, 24]. Між тим, плодові тіла ектомікоризних грибів становлять лише близько 1 % (0,5 %) від біомаси усього міцелію в ґрунті [39].

Переважаюча частина біомаси тіла гриба – міцелій, знаходиться у верхніх, багатих на органічну речовину шарах лісового ґрунту. Здатність міцелію грибів накопичувати мікроелементи досліджена недостатньо. Відомі лише декілька робіт, у яких зроблено спроби проаналізувати вміст мікроелементів у міцелії грибів, що зростає в природних умовах [8, 24, 39].

Остаточно не встановлено, яким чином мікроелементи, що поглинені міцелієм ектомікоризних грибів, надходять із ґрунту по харчових (трофічних) ланцюгах до плодових тіл. Важливими з точки зору розуміння цих процесів є функції таких фракцій ґрунту, як ризосфера та ризоплана, у яких формуються найбільш близькі трофічні взаємозв'язки. Співвідношення концентрації елементів у грибах до їх концентрації в ґрунті та окремих його фракціях дає уявлення про акумуляційну здатність мікобіоти.

Гриби інтенсивно накопичують важкі метали, більш того, до деяких з них вони мають специфічну спорідненість. Макроміцети можуть акумулювати Cd, Cu, Zn, Hg і ряд інших елементів: так, наприклад, ртуті в них може бути у 550 разів більше, ніж у субстраті, на якому вони зростають. Види роду *Leccinum* (підосичник, підберезник), *Macrolepiota* (гриб-зонтик) добре поглинають Cd; паксил закручений (*Paxillus involutus*), хрящ-молочник оливково-чорний (*Lactarius necatar*) і дощовик гігантський (*Lycoperdon maximum*) – Cu; види роду *Agaricus* (печериця) і білий гриб (*Boletus edulis*) – Hg. Важкі метали незворотно впливають на біохімічний апарат грибів, а їх вживання у їжу призводить до важких отруєнь [1, 18].

Для деяких грибів вміст окремих елементів виявляється граничним або таким, що перевищує допустимий рівень: кадмію – у білому грибі і гірчаку, міді – в плодових тілах хряща-молочника гірчака, цинку – в білому грибі, хрящі-молочнику гірчаку та сироїжках. У цьому випадку концентрація металів у грибах може зростати у 2–5 рази. Підвищений вміст важких металів у грибах пов'язаний з наявністю в ґрунтах рухомих форм елементів і мало залежить від їх валового вмісту. Вочевидь, гриби погано або зовсім не засвоюють важкорозчинні форми мікроелементів. Відомо, що обмінні процеси найбільш інтенсивні в шапинках, тому і концентрації макро- і мікроелементів там вищі, ніж у ніжках [1].

Екологи відзначають, що багато їстівних грибів, що зростають навіть на незабрудненій території, спеціально адаптовані для поглинання хімічних елементів з мінеральних частинок ґрунту. У такому разі споживання в їжу грибів з наявністю важких металів небезпечно для організму людини [9]. Одним із основних факторів, що впливає на ступінь концентрації важких металів, є належність грибів до певної екологічної групи [21, 22]. Менша концентрація всіх важких металів характерна для сапротрофів, більша – для симбіотрофів. Але оскільки селективність окремих грибів по відношенню до металів неоднакова, для важких металів достатньо важко виділити види-біоіндикатори. Проте, в першому наближенні можна стверджувати, що кращими біоіндикаторними властивостями по відношенню до важких металів володіють хрящ молочник гірчак (*Lactarius rufus*) і гірчак (*Tylopilus felleus*) [18].

Накопиченню в макроміцетах різних поліютантів – важких металів та радіоактивних елементів сприяє розвинена площа поверхні міцелію (грибниці) макроміцетів, а також осмотичний тип поглинання мінеральних речовин з субстрату живлення [10]. Завдяки мікоризі ці речовини передаються вищим рослинам у випадку симбіозу. Інтенсивність акумуляції макро- і мікроелементів макроміцетами змінюється з розвитком плодових тіл. У молодих плодових тілах вміст елементів є вищим, ніж у старих [4]. Однак, цілий ряд як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників відзначають, що максимум поліютантів концентрується у плодовому тілі гриба, причому, окремі види мають специфічні особливості щодо концентрації тих чи інших поліютантів. Зокрема, дослідженнями, проведеними у Валаському університеті (м. Тарговіце, Румунія) встановлено, що максимум цинку концентрується у плодових тілах *Tapinella atrotomentosa*, міді – у плодових тілах *Hypholoma fasciculare*, а олова – у плодових тілах *Paxillus involutus*. Спостерігається специфічність самих поліютантів щодо концентрації в тій чи іншій частині плодового тіла: зокрема, цинк і олово концентруються у шапинці, а мідь – у ніжці [29]. Вченими цього ж університету встановлено, що серед видів роду *Russula* найвищі кількості Fe, Zn і Mn концентруються у шапинках *Russula alutacea*, Cu – в шапинках *R. lutea*, Ni – у ніжках *Russula alutacea* [28].

Дослідженнями, що виконані Департаментом хімії (Університет Уо, м. Уо, Нігерія) також встановлено, що концентрація важких металів, накопичених грибами, залежить від їх виду: *Formes applanatus* вміщує підвищені концентрації цинку і міді, високими рівнями накопичення свинцю і кадмію характеризуються неістівний вид *Paragyrodon sphaerosporus*, а суперконцентратором заліза виступає вид *Polyporus frondosus*. Загалом ряд інтенсивності накопичення важких металів грибами має такий вигляд: Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > Cd. Однак встановлено, що рівні вмісту всіх досліджуваних елементів у їстівних видах *Polyporus frondosus*, *Armillariella mellea*, *Pleurotus sapidus*, *Polyporus sulphureus*, *Pleurotus ostreatus* не перевищує гранично встановлених нормативів [30].

Проведеними на території західного Чорноморського регіону Турції дослідженнями по оцінці рівнів забруднення важкими металами (Ag, Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sr) таких дикорослих їстівних макроміцетів, як *Sarcosphaera crassa*, *Sarcodon leucopus*, *Pluteus salicinus*, *Russula delica*, *Cantharellus cibarius*, *Tricholoma fracticum*, *Morchella rotunda*, *Morchella vulgaris*, *Suillus luteus*, *Lactarius deliciosus*, *Morchella costata*, *Agrocybe aegerita*, *Morchella deliciosa*, *Helvella leucopus*, *Morchella umbrina*, *Morchella rigida*, *Ramaria flava*, *Lactarius salmonicolor*, *Armillaria mellea*, *Lactarius piperatus*, *Suillus variegatus*, *Lactarius intermedius* і *Tricholoma portentosum* встановлено, що концентраторами хрому є *Morchella costata* і *Sarcodon leucopus* [34].

Значною мірою на кількісний і якісний склад поллютантів, накопичених макроміцетами, впливають екологічний стан їх місця зростання та наявність забруднювачів у ґрунтовому субстраті, на якому зростають гриби. Концентрація хімічних елементів у грибах залежить від вмісту елементів у материнських породах, їх мінерального складу, типу ґрунту, рельєфу, морфологічних особливостей вегетації грибів. В умовах геохімічних аномалій збільшується концентрація вмісту розсіяних елементів у різних грибах за рахунок надходження їх аеральним шляхом [22, 25]. Зокрема, проведеними в Румунії дослідженнями щодо оцінки рівнів вмісту хрому, нікелю, селену, міді, кадмію та свинцю у молодих плодових тілах їстівних видів *Lycoperdon perlatum* і *Pleurotus ostreatus*, які зростають поблизу металургійного комбінату в м. Дамбовіце, було встановлено, що найбільшими коефіцієнтами накопичення характеризуються залізо, свинець, мідь і цинк, максимум концентрації яких спостерігається у грибах, що зростають у межах 0,5 км санітарно-захисної зони підприємства [37].

Дослідженнями, що були виконані у Сільськогосподарському університеті м. Упсала (Швеція) на лісових ґрунтах було встановлено, що концентрації Cu, Zn і Cd зростають в ряду: ґрунт < ризосфера < грибниця < плодове тіло. Концентрація Co, Ni і Pb зменшується в ряду: ґрунт < грибниця < ризосфера < плодове тіло. Міцелій і спорокарп грибів лише абсорбують Co, Ni і Pb, але не накопичують їх у своїх тканинах. Із загального вмісту у лісовій підстилці (шар 0 – 5 см) міцелієм акумулюється понад 5 % валового вмісту Co, 4 % Ni, 7 % Cu, 8 % Zn, 24 % Cd і 3 % Pb [13].

Іспанські біологи Університету Кастілья-ла-Манча провели аналіз вмісту важких металів у 12 видах грибів, зібраних на незаражених природних територіях, і встановили, що більше всього свинцю (4,86 мг/кг) і неодиму (7,1 мг/кг) міститься в лисичках. Підвищені рівні торію і урану виявлені в несправжньому опеньку сірчано-жовтому - отруйному грибі, що зростає на стовбурах дерев, які впали, та ізольований від дії мінеральних ґрунтових речовин. Учені не виявили істотних відмінностей у наявності металів при порівнянні місць збору грибів. Єдине виключення - метал торій, який накопичується більшою мірою в тих грибах, які зростають на деревах, наприклад, у плодових тілах *Gymnopilus spectabilis*.

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.

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕЧНІСТЬ МІКОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Екологічна безпеність їстівних макроміцетів, що зростають у межах лісових екосистем на території Житомирського Полісся, достатньо істотно відрізняється залежно від виду як хімічного елемента-забрудника, так і самого гриба. Встановлено, що найбільшу питому частку зразків плодових тіл серед макроміцетів з трубчастим гіменофором з перевищенням ГДК міді мають моховик зелений ($42 \pm 1,3$ %), підосичник ($38 \pm 0,9$ %) і маслюк зернистий ($36 \pm 0,7$ %), тоді як серед плодових тіл *Boletus edulis* тільки кожен десятий, а серед плодових тіл *Xerocomus badius* – кожен сьомий зразок характеризується підвищенням у порівнянні з ГДК вмістом міді. Кількість зразків плодових тіл макроміцетів з трубчастим гіменофором з перевищенням ГДК цинку коливається від $25 \pm 1,1$ % (*Xerocomus subtomentosus*) до $76 \pm 3,4$ % (*Leccinum holopus*). Макроміцети з трубчастим гіменофором виявилися найбільш забрудненими свинцем і кадмієм: від $63 \pm 2,3$ % до $98 \pm 5,4$ % проаналізованих плодових тіл мали підвищений вміст свинцю і від $34 \pm 1,2$ % до $97 \pm 5,1$ % – підвищений вміст кадмію. Серед досліджених дев'яти видів макроміцетів з трубчастим гіменофором найменші кількості важких металів містили плодові тіла *Boletus edulis*, а максимально забрудненими виявилися плодові тіла *Leccinum aurantiacum* і *L. holopus* (рис. 1).

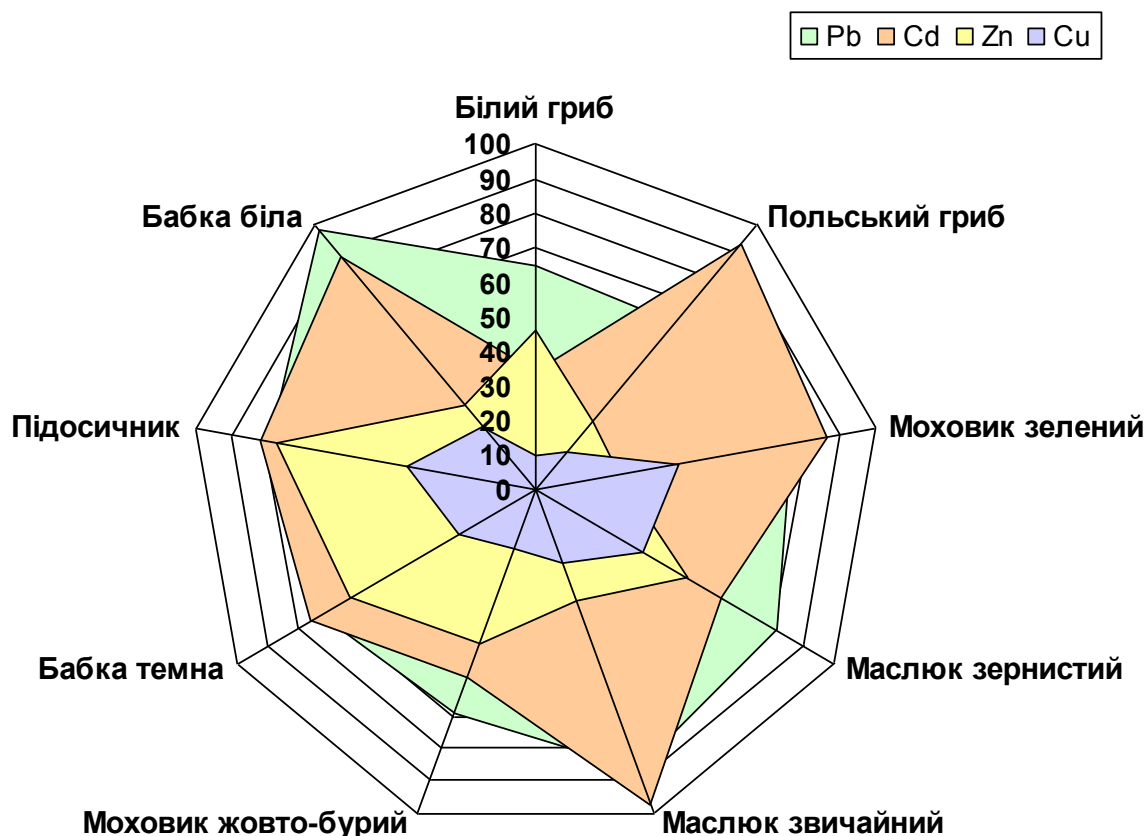


Рисунок 1. Відсоток зразків мікологічної продукції макроміцетів з трубчастим гіменофором, в яких зафіксоване перевищення ГДК важких металів, середнє за 2010-2015 рр.

Найбільшу питому частку зразків плодівих тіл макроміцетів з пластинчастим гіменофором з перевищенням ГДК міді мала *Russula xerampelina*, кожен четвертий зразок якої був забруднений цим елементом. Практично не забрудненими міддю виявилися плодові тіла *Tricholoma terreum* і *Paxillus involutus*. Підвищені порівняно з ГДК в 1,3 -1,6 рази кількості цинку містили плодові тіла *Lactarius torminosus* і *Lactarius pubescens*. Кожен сьомий зразок *Russula cyanoxantha* і кожен десятий – *T. flavovirens* і *L. deterrimus* також мали перевищення вмісту цинку. Найменш забрудненими свинцем виявилися тільки плодові тіла *R. xerampelina* і *Agaricus campestris*, тоді як у решти видів від $46 \pm 1,6$ % до $96 \pm 4,8$ % проаналізованих зразків мали підвищений порівняно з ГДК вміст цього поллютанта. Кадмій у надмірних кількостях був присутній у плодівих тілах усіх видів макроміцетів з пластинчастим гіменофором, причому, 100 % проаналізованих плодівих тіл *T. flavovirens* і *T. terreum* мали перевищення ГДК його вмісту. У решти видів від $59 \pm 1,4$ % до $98 \pm 4,8$ % проаналізованих зразків містили надмірні кількості кадмію. Серед досліджених одинадцяти видів макроміцетів з пластинчастим гіменофором найменші кількості важких металів містили плодові тіла *A. campestris* і *R. cyanoxantha*, а максимально забрудненими виявилися плодові тіла *T. flavovirens* і *L. pubescens* (рис. 2).

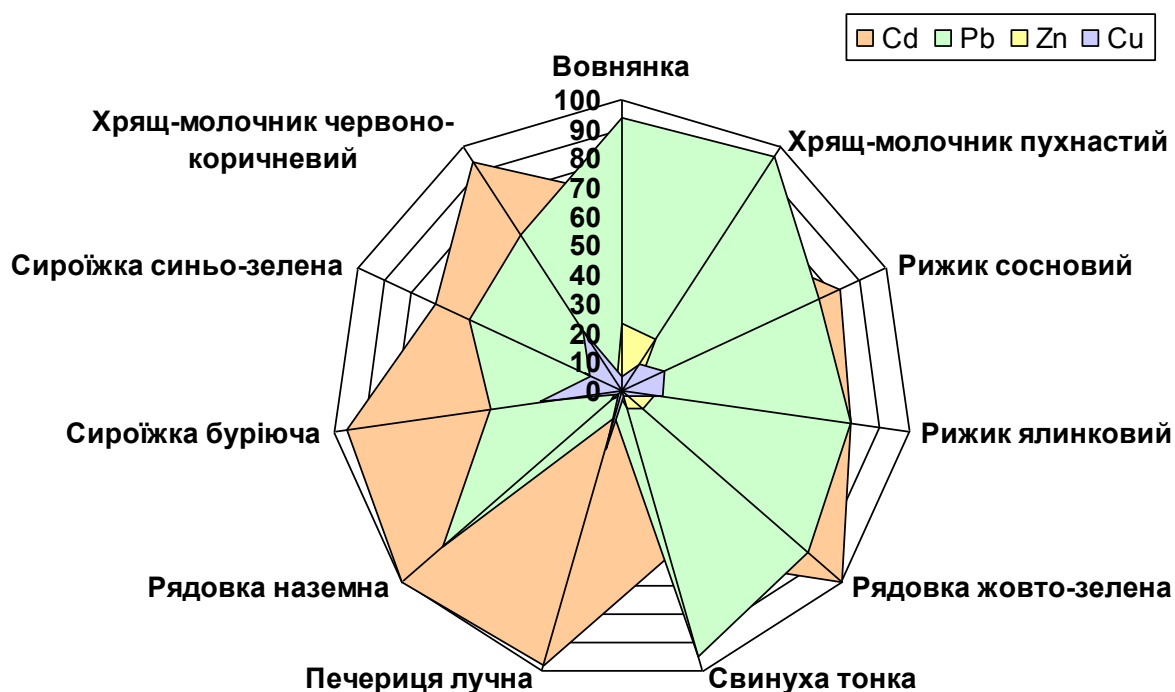


Рисунок 2. Відсоток зразків мікологічної продукції макроміцетів з пластинчастим гіменофором, в яких зафіксоване перевищення ГДК важких металів, середнє за 2010-2015 рр.

Серед факторів, що безпосередньо впливають на формування величини захворюваності та смертності населення від злоякісних новоутворень, одне з провідних місць належить харчовим продуктам та питній воді з підвищеним вмістом канцерогенів, відносний вклад яких становить від 35 до 50 % [5, 25]. Вважають, що до 85-90 % усіх випадків виникнення раку визначається впливом канцерогенів навколишнього середовища: з них 70-80 % пов'язують із хімічними та 10 % - із радіаційними факторами [12]. Серед найбільш канцерогенних речовин виділяють поліциклічні ароматичні вуглеводні, нітрозаміни та важкі метали. Одним із шляхів попередження небезпеки, зумовленої дією канцерогенних та не канцерогенних речовин на людину, є встановлення ризику настання небажаних ефектів з метою подальшого розроблення методів з його мінімізації.

В ході проведених досліджень були визначені ризики для здоров'я населення, що проживає в межах сільських населених пунктів, розташованих у поліській частині Житомирської області, від надходження до організму хімічних речовин - канцерогенів внаслідок споживання найбільш забруднених видів макроміцетів. Оцінку канцерогенного ризику, під якою розуміють вірогідність підвищення частоти виникнення новоутворень у людей за рахунок перорального надходження хімічних канцерогенів, здійснювали шляхом розрахунку величин індивідуального, сумарного і популяційного канцерогенного ризиків. Серед досліджуваних хімічних речовин були вибрані речовини з доведеним канцерогенним ефектом – свинець і кадмій. Дані речовини є канцерогенами і за класифікаціями U.S. EPA і IARC відносяться до речовин з доведеною канцерогенною активністю для людини 1 і 2 груп [17] (табл. 2).

Таблиця 2. - Величини індивідуальних канцерогенних ризиків при пероральному надходженні важких металів унаслідок споживання макроміцетів, що зростають у межах Житомирського Полісся

Назва канцерогенної речовини	Індивідуальний канцерогенний ризик (вірогідність) ICR	Популяційний канцерогенний ризик (число випадків) PCR	Кількість населення, що проживає в зоні спостереження, осіб	Рівень індивідуального канцерогенного ризику	Щорічний внесок у загальну онкозахворюваність, осіб
с. Словечно Овруцького району					
Свинець	$5,53 \cdot 10^{-5}$	0,095	1725	низький	0,0014
Кадмій	$1,71 \cdot 10^{-4}$	0,29		середній	0,0041
Сумарний ризик	$2,26 \cdot 10^{-4}$	0,39		середній	0,0056
с. Меньківка Радомишльського району					
Свинець	$3,52 \cdot 10^{-5}$	0,010	290	низький	0,0001
Кадмій	$3,48 \cdot 10^{-4}$	0,10		середній	0,0014
Сумарний ризик	$3,83 \cdot 10^{-4}$	0,11		середній	0,0015
с. Красnobірка Радомишльського району					
Свинець	$7,32 \cdot 10^{-5}$	0,071	972	низький	0,0010
Кадмій	$2,16 \cdot 10^{-4}$	0,21		середній	0,0030
Сумарний ризик	$2,89 \cdot 10^{-4}$	0,28		середній	0,0040
с. Білокоровичі Олевського району					
Свинець	$4,63 \cdot 10^{-5}$	0,117	2520	низький	0,0018
Кадмій	$2,55 \cdot 10^{-4}$	0,64		середній	0,0091
Сумарний ризик	$3,01 \cdot 10^{-4}$	0,76		середній	0,011
с. Будки Олевського району					
Свинець	$2,78 \cdot 10^{-5}$	0,0079	284	низький	0,0001
Кадмій	$1,94 \cdot 10^{-4}$	0,06		середній	0,0009
Сумарний ризик	$2,22 \cdot 10^{-4}$	0,07		середній	0,0010
с. Можари Овруцького району					
Свинець	$5,23 \cdot 10^{-5}$	0,048	925	низький	0,0007
Кадмій	$2,46 \cdot 10^{-4}$	0,23		середній	0,0033
Сумарний ризик	$2,98 \cdot 10^{-4}$	0,28		середній	0,0040
с. Гуменники Коростишівського району					
Свинець	$5,84 \cdot 10^{-5}$	0,029	500	низький	0,0004
Кадмій	$3,12 \cdot 10^{-4}$	0,16		середній	0,0023
Сумарний ризик	$3,70 \cdot 10^{-4}$	0,19		середній	0,0027

При хронічному отруєнні *свинцем* спостерігається загальна слабкість, біль у животі, анемія, порушення функціонування нирок. Хронічна інтоксикація настає при вживанні 1-8 мг свинцю на добу. Свинець, подібно до ртуті, має кумулятивні властивості. Поглинутий свинець накопичується в кістках у вигляді нерозчинних трьохосновних фосфатів і не спричинює отруйної дії. Проте, під впливом певних умов запаси його в кістках стають мобільними, він переходить у кров і може викликати отруєння навіть у загостреній формі. До факторів, що сприяють його мобілізації, належать підвищена кислотність, дефіцит кальцію в їжі, зловживання спиртними напоями. Хронічні отруєння свинцем призводять до виникнення ефектів «сатурнізму» - слабкості, анемії, нервових розладів, кишкових колітів, захворювань урологічної системи, зниження апетиту та маси тіла. Надзвичайно небезпечний свинець для вагітних, оскільки має здатність проникати через плаценту в організм плоду, а у період лактації накопичуватись у грудному молоці. Під впливом свинцю значно зростає ризик виникнення безпліддя, спонтанного переривання вагітності, народження дітей з вадами фізичного і психічного розвитку та пороками серця. Особливо небезпечний вплив свинцю на здоров'я дітей, що проявляється у розвитку неврологічних, нефрологічних ефектів та змін у роботі серцево-судинної системи. Вказані ефекти виражені у зниженні рухової активності, порушенні координації рухів, періоду візуальних і психомоторних реакцій, слухового сприйняття інформації та пам'яті, зниженні показника IQ. Зростання вмісту свинцю у крові понад 10 мкг/л у дітей віком до 3 років призводить до розвитку енцефалопатії та судомних синдромів, зростання частоти захворювань урологічної системи у 2 – 3 рази. Сполуки свинцю володіють канцерогенним і генотоксичним ефектами, порушуючи функції ферментів синтезу та репарації ДНК.

Солі *кадмію* характеризуються мутагенними та канцерогенними властивостями і становлять потенційну генетичну небезпеку. Кадмій блокує роботу ряду важливих для життєдіяльності організму ферментів. Крім того, він вражає печінку, нирки, підшлункову залозу, здатен викликати емфізему, рак легенів. Шкідливість кадмію підсилюється його кумулятивністю. З огляду на це, навіть за потраплення в організм незначної кількості цього елемента його вміст у нирках або печінці може через деякий час досягнути небезпечної концентрації. У разі надходження в організм людини і тварин Cd^{2+} вражає різні органи та системи, в тому числі жіночу й чоловічу системи репродукції. Це зумовлюється накопиченням Cd^{2+} у статевих залозах та інших репродуктивних органах, проявом кумулятивних токсичних і канцерогенних ефектів. Шкідлива дія Cd^{2+} охоплює процеси гаметогенезу, гормоногенезу, перебіг вагітності й розвитку плоду. Важливу роль у механізмах ураження функцій системи відтворення відіграють порушення гематотестиккулярного бар'єру внаслідок зумовленого Cd^{2+} оксидативного стресу, його вплив на експресію генів, естрогена й андрогена дія металу в організмі.

Рівень індивідуального канцерогенного ризику від споживання забруднених макроміцетів протягом життя для свинцю коливається в межах $2,78-7,32 \cdot 10^{-5}$, що за міжнародною критерійною шкалою оцінюється як низький (допустимий) ризик (рівень ризику, за якого, як правило, встановлюються гігієнічні нормативи для населення). Для кадмію величина індивідуального канцерогенного ризику коливається в межах $1,71-3,48 \cdot 10^{-4}$, що за міжнародною критерійною шкалою оцінюється як середній ризик, допустимий для виробничих умов, проте при впливі на населення необхідний динамічний контроль і поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих дій для ухвалення відповідних управлінських рішень щодо заходів з управління ризиком. Сумарний канцерогенний ризик за рахунок тільки двох ідентифікованих канцерогенів складає $2,22-3,83 \cdot 10^{-4}$, що складає 2-4 випадки виникнення онкологічних захворювань різної локалізації на 10 тис. осіб.

СПОСОБИ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГРИБАХ

Найпростішим заходом зниження рівня забруднення плодових тіл грибів є їх миття й видалення шкірки, що сприяє зменшенню вмісту кадмію, свинцю, міді й цинку у плодових тілах на 30-40 % від початкових рівнів [31].

Зменшити надмірне надходження токсичних елементів в організм людини при споживанні макроміцетів можливо й за допомогою виконання таких технологічних операцій, як:

- замочування;
- бланшування чи варіння;
- соління;
- маринування.

Експериментально доведено, що замочування грибів у холодній воді забезпечує зниження вмісту важких металів у їх плодових тілах. Зокрема, нетривале замочування протягом 4-8 годин призводить до зменшення концентрації важких металів до 80 % від початкового значення, або у 1,2-2,3 рази залежно від виду гриба. При тривалішому замочуванні протягом 24 годин, навпаки, відбувається накопичення хімічних елементів тканинами грибів практично до початкового рівня, що може бути пов'язане зі старінням колоїдів, ущільненням тканин плодових тіл грибів і високою проникністю клітинних мембран протягом тривалої дії води [2].

Бланшування є одним із засобів зниження концентрації в грибах кадмію, вміст якого при проведенні цього технологічного заходу зменшується на 10-15 %, однак зниження вмісту заліза, цинку й міді при бланшуванні не спостерігається. Натомість варіння протягом 20 хвилин забезпечує зниження вмісту міді й цинку у плодових тілах на 40-60 %, свинцю - на 30-40 % від початкового рівня. Ефективним є цей захід і для зменшення концентрації кадмію, вміст якого у грибах після 20 хвилин теплового впливу знижується на 50-60 % [3]. Бланшування грибів у розчині лимонної кислоти, соди і кухонної солі протягом 15 хвилин забезпечує зниження вмісту марганцю, заліза, цинку і міді на 45, 35, 23 і 4 % відповідно.

Консервування – дієвий захід зменшення концентрації важких металів у готовій мікологічній продукції, що забезпечує зниження вмісту свинцю на 73-88 %, кадмію – на 91-98 % від початкового значення. Кількість магнію у слабосолоних, середньосолоних і маринованих грибах знижується у 11-13 разів, у міцносолоних грибах втрати магнію становлять 25,5 рази. Втрати міді у солоних грибах складають 70-80 %, у маринованих - 50 % від початкового рівня [3].

Знизити надходження важких металів в організм людини при споживанні макроміцетів можливо й шляхом видалення окремих частин плодового тіла. Наприклад, за умови забруднення міддю доцільно видаляти ніжки у плодових тіл *Russula aeruginea*, а за умови забруднення цинком – у *Russula lutea*. Найбільш забрудненою частиною плодового тіла гриба є гіменофор, видалення якого також сприятиме зниженню загального рівня забруднення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арефьев С. П. Древоразрушающие грибы - индикаторы состояния леса / С. П. Арефьев // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2000. – Вып. 1. – С. 91–105.
2. Бакайтис В. И. Влияние замачивания на снижение содержания тяжелых металлов в грибах / В. И. Бакайтис, С. Н. Че // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – №4. – С. 1-3.
3. Бакайтис В. И. Содержание тяжелых металлов в съедобных грибах Новосибирской области и Алтайского края / В. И. Бакайтис, Е. В. Мартене, Л. В. Белокрылова, С. Н. Басалаева // Хранение и переработка сельхозпродукции. – 2006. – № 5. – С. 38-41.
4. Беккер З. Э. Физиология и биохимия грибов / З. Э. Беккер. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. – 362 с.
5. Білявський Ю. А. Особливості накопичення важких металів їстівними грибами / Ю. А. Білявський // Наукові праці Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків. – 2013. – Вип. 17. – Т. II. – С. 303-309.
6. Вавріш П. О. Гриби в лісі і на столі / П. О. Вавріш, Л. Ф. Горовий. – К.: Урожай, 1993. – 208 с.
7. Важкі метали у ґрунтах заповідних зон України / Е. Я. Жовінський, І. В. Кураєва, А. І. Самчук [та ін.]; за ред. Е. Я. Жовінського. – К.: Логос, 2005. – 104 с.
8. Вінничук М. М. Хром та нікель у фракціях ґрунту та окремих видах макроміцетів бореальних лісових екосистем / М. М. Вінничук // Вісник Запорізького національного ун-ту. – 2012. – № - 3. – С. 103-110.
9. Геохімічні критерії оцінки ступеня забруднення ґрунтів / Е. Я. Жовінський, І. В. Кураєва, А. І. Радченко, К. В. Гайдихович // Доп. НАН України. – 2003. – № 5. – С. 110-115.
10. Зарубіна Н. Є. Особливості накопичення гамма-випромінюючих радіонуклідів макроміцетами на території зони відчуження та «південного сліду» після аварії на ЧАЕС: автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.01 / Н. Є. Зарубіна; Київськ. націон. ун-т. ім. Тараса Шевченка – Київ, 2002. – 21 с.
11. Кабата-Пендіас А. Микроэлементы в почвах и растениях; пер. с англ. / А. Кабата-Пендіас, Х. Пендіас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
12. Канцерогенний та неканцерогенний ризик від продуктів харчування, які складають харчовий раціон / І. О. Черниченко, В. Ф. Бабій, Я. В. Першегуба [та ін.]. – Гігієна населених місць. – 2008. – Вип. №51. – С. 160-169.
13. Костіков І. Ю. Ботаніка. Водорості та гриби / І. Ю. Костіков, В. В. Джаган, Е. М. Демченко. – 2-ге вид., переробл. – К.: Арістей, 2007. – 476 с.
14. Михайловський Л. В. Макроміцети Полісся України (визначник) / Л. В. Михайловський. – Івано-Франківськ: СПД Михайлевська А. О., 2010 – 656 с.
15. Мірошніченко М. М. Агрогеохімія мікроелементів у ґрунтах України / М. М. Мірошніченко, А. І. Фатєєв / Агрохімія і ґрунтознавство: міжвід. темат. наук. зб. – спец. вип. – кн. 1. – Житомир: Рута, 2010. – С. 98-107.

16. Некос А. Н. Особливості накопичення важких металів у системі «гриб - лісова підстилка - ґрунт» (на прикладі Дубровицького району Рівненської області) / А. Н. Некос, О. О. Рукавичка // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2008. – № 1-2. – С. 54-61.
17. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко, С. М. Новиков, Ю. А. Рахманин [и др.] / под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. – М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 408 с.
18. Попович В. В. Макроміцети сміттєзвалищ як біоіндикатори стану техногенного едафотопу / В. В. Попович // Біологічний вісник МДПУ. – 2012. – №3. – С. 59-70.
19. Сибиркина А. Р. Аккумуляция хрома грибами соснового бора Семипалатинского Прииртышья Республики Казахстан / А. Р. Сибиркина // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 1-6.
20. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях Новосибирска / В. Б. Ильин, Н. Л. Байдина, Г. А. Конарбаева [и др.] // Агрехимия. – 2000. – № 1. – С. 66-73.
21. Соколов О. А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды / О. А. Соколов, В. А. Черников. – Пушино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1999. – 164 с.
22. Щеглов А. И. Грибы - индикаторы техногенного загрязнения / А. И. Щеглов, О. Б. Цветнова // Природа. – 2002. – №11. – С. 39-46.
23. Ященко О. В. Харчова та біологічна роль їстівних і лікарських грибів у харчуванні населення / О. В. Ященко // Гігієна населених місць. – 2012. – №59. – С. 234 – 240.
24. Berthelsen B. O. Ectomycorrhizal heavy metal accumulation as a contributing factor to heavy metal levels in organic surface soils / B. O. Berthelsen, R. A. Olsen, E. Steinnes // Sci. Total Environ. – 1995. – Vol. 170(1-2). – P. 141-149.
25. Bilyavskiy Yu. A. Quality monitoring of edible macromycetes growing in an ecological conditions of Zhytomyr Polissia region / Yu. A. Bilyavskiy, T. M. Myslyva // Visnyk ZhNAEU. – 2014. – Т 1, №2(42). – P. 3-12.
26. Burgess T. I. The ability of 16 ectomycorrhizal fungi to increase growth and phosphorus uptake of *Eucalyptus globulus* Labill. and *E. diversicolor* F. Muell / T. I. Burgess, N. Maljczuk, T. S. Grove // Plant Soil. – 1993. – Vol. 153. – P. 155-164.
27. Campos J. A. Substrate role in the accumulation of heavy metals in sporocarps of wild fungi / J. A. Campos, N. A. Tejera, C. J. Sánchez // Biometals. – 2009. – Vol. 22(5). – P. 835- 841.
28. Elekes C. C. Influence of chemical composition of soil on metal accumulation in edible mushroom species of *Russula* genus / C. C. Elekes, G. Busuioc // Rev. Roum. Chim. – 2013. – Vol. 58(7-8). – P. 629-637.
29. Elekes C. C. The bioaccumulation of some heavy metals in the fruiting body of wild growing mushrooms / C. C. Elekes, G. Busuioc, G. Ionita // Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. – 2010 – Vol. 38 (2). – P. 147-151.
30. 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. № 2. – P. 84-87.
31. Leaching of cadmium, lead and mercury from fresh and differently preserved edible mushroom, *Xerocomus badius*, during soaking and boiling / L. Svoboda, P. Kalac, J. Spicka, D. Janouskova // Food Chemistry. – 2002. – Vol. 79. – №1. – P. 41-45.
32. Leake J. R. Mycorrhizal fungi in terrestrial habitats / J. R. Leake, D. J. Read. – In: Wicklow D. T., Söderström B. (eds) The Mycota. – Vol. IV. – 1st edn. - Environmental and Microbial Relationship. - Springer-Verlag, Berlin, 1997. – P. 281-301.
33. Levels of essential and toxic elements in *Porphyra columbina* and *Ulva* sp. from San Jorge Gulf, Patagonia Argentina / A. A. Pérez, S. S. Farías, A. M. Strobl [et al.] // Sci. Total Environ. – 2007. – Vol. 376(1). – P. 51-59.

34. Muhsin K. Minor element and heavy metal contents of wild growing and edible mushrooms from western black sea region of Turkey / K. Mushin, A. Afyon, D. Yağız // Fresenius Environmental Bulletin. – 2007. – Vol. 16. – № 11a. – P. 1359-1362.
35. Mushrooms from two metal-contaminated areas in Norway: occurrence of metals and metallothionein-like proteins / C. Collin-Hansen, K. E. Yttri, R. A. Andersen, B. O. Berthelsen [et al.] // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis. – 2002. – Vol. 2(2). – P. 121-130.
36. Myslyva T. Carcinogenic and non-carcinogenic risk from consuming of edible macromycetes growing in an ecological conditions of Olevsk district / T. Myslyva, Yu. Bilyavskyj, P. Nadtochij // ScienceRise. – 2015. – № 10(6). – C. 17-22.
37. Studies concerning heavy metals bioaccumulation of wild edible mushrooms from industrial area by using spectrometric techniques / C. Radulescu, C. Stihl, G. Busuioc // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 2010. – Vol. 84. – 641-646.
38. Smith S. E. Mycorrhizal symbiosis. – 3^d edn. / S. E. Smith, D. J. Read. – London: Academic Press, 2008. – P. 145-187.
39. Thomet U. The uptake of cadmium and zinc by mycelia and their accumulation in mycelia and fruiting bodies of edible mushrooms / U. Thomet, E. Vogel, U. Krähenbühl // Eur. Food Res. Technol. – 1999. – Vol. 209(5). – P. 317-324.
40. Variations in metal levels accumulated in Poison Pax (*Paxillus involutus*) mushroom collected at one site over four years / A. Brzostowski, G. Jarzyńska, A. K. Kojta [et al.] // J. Environ. Sci. – 2001. – Vol. 46(6). – P. 581-588.
41. Vetter J. Zinc content of sporocarps of basidiomycetous fungi / J. Vetter, I. Siller, Zs. Horváth // Mycologia. – 1997. – Vol. 89. – P. 481-483.

ПЕРЕДМОВА.....	3
ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РІЗНИМИ ВИДАМИ МАКРОМІЦЕТІВ.....	5
МАКРОМІЦЕТИ З ПЛАСТИНЧАСТИМ ГІМЕНОФОРОМ.....	8
МАКРОМІЦЕТИ З ТРУБЧАСТИМ ГІМЕНОФОРОМ.....	26
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕЧНІСТЬ МІКОЛОГІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	36
СПОСОБИ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГРИБАХ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
ДОДАТКИ.....	44