

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОТЕХНОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ М.М. Барановський
«____» _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 162 «БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА БІОІНЖЕНЕРІЯ»

Тема: «Вплив важких металів на базидіальні макроміцети»

Виконавець: студент 206-м ФЕБІТ _____ О.В. Корольчук

Керівник: к.т.н., доцент кафедри біотехнології _____ О.П. Вітряк

Консультант розділу «Охорона праці» _____ В.Д. Павлиш

Консультант розділу
«Охорона навколишнього середовища» _____ О.В. Рябчевський

Нормоконтролер _____ А.В. Дразнікова

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра біотехнології

Спеціальність: 162 «Біотехнології та біоінженерія»
(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Барановський М.М.

«__» _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Корольчука Олександра Володимировича

1. Тема дипломної роботи: «Вплив важких металів на базидіальні макроміцети» затверджена наказом ректора від «15» вересня 2020 р. № 1657/ст.
2. Термін виконання роботи: з 5 жовтня по 22 грудня 2020 р.
3. Вихідні дані роботи: власні експериментальні дані зроблені на базі Національного авіаційного університету на кафедрі біотехнології; літературні джерела щодо механізмів біосорбції важких металів; зразки грибів, зібрані біля оз. Алмазне.
4. Зміст пояснювальної записки: ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД; РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ; РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ ДОСЛІДЖУВАНИХ БАЗИДИОМІЦЕТІВ; РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ; РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА; ВИСНОВКИ; СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: 8 табл., 10 рис.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Літературний огляд та збір інформації за темою дипломної роботи	5.10. – 31.10.2020	
2	Пошук та виконання теоретичної частини	01.11. – 15.11.2020	
3	Написання основної частини	16.11. – 23.11.2020	
4	Формулювання висновків та рекомендацій	24.11. – 26.11.2020	
5	Оформлення дипломної роботи	28.11. – 31.11.2020	
6	Перевірка дипломної роботи керівником	01.12. – 05.12.2020	
7	Виправлення виявлених недоліків	06.12. – 10.12.2020	
8	Захист дипломної роботи	22.12.2020	

7. Консультанти з окремих розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Старший викладач Павлиш В.Д.		
Охорона навколишнього середовища	Асистент кафедри екології Рябчевський О.В.		

8. Дата видачі завдання: «__»_____2020 р.

Керівник дипломної роботи:

(підпис випускника)

Вітряк О.П.

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання:

(підпис випускника)

Корольчук О.В.

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Вплив важких металів на базидіальні макроміцети»: 83 с., 10 рис., 8 табл., 105 вик-их літературних джерел.

Об'єкт дослідження – процес біоаккумуляції важких металів базидіальними макроміцетами.

Предмет дослідження – базидіальні макроміцети, зібрані на території лісової екосистеми поблизу оз. Алмазне.

Мета роботи – дослідити вплив важких металів на базидіальні гриби екосистеми лісу біля оз. Алмазне із урахуванням можливості їх використання в якості біоіндикаторів стану навколишнього середовища.

Методи дослідження: хімічні та фізичні методи аналізу, теоретичні, статистичні методи обрахунку отриманих результатів.

Вперше досліджено вміст важких металів у базидіальних грибах екосистеми лісу біля оз. Алмазне, що знаходиться в 2,9 км від ТЕЦ-6 Деснянського району північно-східної околиці м.Києва. Визначено, що екосистема оз. Алмазного разом із прилеглою територією лісів піддається значному антропогенному впливу, який представлений шкідливими викидами і забрудненням атмосфери, спричинених діяльністю ТЕЦ-6, розташованої поблизу даної місцевості. Ряд від найбільшого до найменшого вмісту важких металів має наступний вигляд: *Agaricus arvensis* > *Lycoperdon perlatum* > *Boletus edulis* > *Cantharellus cibarius*. Це означає, що гумусові сапротрофи накопичують концентрації елементів-поллютантів у вищій мірі ніж симбіотрофічні види. При порівнянні вмісту екоотоксикантів із нормами визначено, що акумульовані метали значно перевищують ГДК і коефіцієнт небезпеки ($K_{нб}$).

Отже, дані види базидіальних макроміцетов можуть успішно використовуватися в якості високоінформативних біоіндикаторов забруднення ґрунтового покриву навколишнього середовища із подальшою перспективою застосування у технологіях біоремедіації.

БАЗИДІАЛЬНІ МАКРОМІЦЕТИ, ГРИБИ, ПЛОДОВЕ ТІЛО, ВАЖКІ
МЕТАЛИ, АКУМУЛЯЦІЯ, БІОСОРБЦІЯ, НАКОПИЧЕННЯ, ТОКСИЧНИЙ
ЕФЕКТ, ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ, БІОІНДИКАТОРИ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	12
1.1. Механізми акумуляції важких металів базидіальними макроміцетами	12
1.1.1. Способи захисту базидіальних грибів від токсичного ефекту важких металів	12
1.1.2. Характер накопичення металів у залежності від видової і екологічної приналежності грибів.....	15
1.1.3. Фактори, що впливають на акумуляцію металів у плодових тілах	19
1.1.4. Просторовий розподіл металів у міцелію	20
1.2. Базидіальні гриби у ролі біоіндикаторів стану наземних екосистем	22
1.3. Практичне використання базидіоміцетів у біотехнології та фармації	25
1.3.1. Біосорбуючі властивості представників родин <i>Boletaceae</i> та <i>Agaricaceae</i> .	27
1.3.2. Антибактеріальні властивості екстрактів із <i>Lycoperdon perlatum</i> та <i>Cantharellus cibarius</i>	30
1.4. Висновки до розділу.....	32
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
2.1. Характеристика території збору та видів досліджуваних базидіальних макроміцетів	34
2.2. Методика визначення концентрацій важких металів у досліджуваних базидіоміцетах.....	37
2.3. Висновки до розділу.....	41
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ ДОСЛІДЖУВАНИХ БАЗИДІОМІЦЕТІВ	42
3.1. Порівняння вмісту токсичних елементів, акумульованих грибами, із встановленими нормами ГДК.....	42
3.2. Ефективність використання базидіоміцетів як індикаторів навколишнього середовища	46

3.3. Небезпека вживання їстівних грибів із акумульованими металами.....	48
3.4. Висновки до розділу.....	51
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	53
4.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при дослідженні впливу важких металів на базидіальні макроміцети.....	53
4.2. Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при дослідженні впливу важких металів на базидіальні макроміцети.....	55
4.2.1. Розрахунок загального штучного освітлення для нормалізації умов робочого приміщення – лабораторії кафедри біотехнології НАУ	59
4.3. Забезпечення пожежної та вибухової безпеки під час дослідження впливу важких металів на базидіальні макроміцети	61
4.4. Висновки до розділу.....	63
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	64
5.1. Антропогенні джерела надходження важких металів у екосистеми.....	64
5.2. Технології ремедіації навколишнього середовища від надлишкового вмісту важких металів	67
5.3. Висновки до розділу.....	70
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

БАД – біологічно активні добавки

ВМ – важкі метали

ГДК – гранично допустима концентрація

ДФПГ – 2,2-дифеніл-1-пікрилгідроксил

ЄЕК – Євразійська Економічна Комісія

ВСТУП

Актуальність. На сьогоднішній день навколишнє середовище і біосфера Землі під впливом господарської діяльності людини отримують величезне техногенне навантаження, яке особливо зросло з середини 50-х рр. минулого століття, коли майже у будь-якій країні світу різко зросли темпи індустріалізації. Внаслідок антропогенної діяльності в біологічні системи надходить велика кількість токсикантів, найбільш небезпечними з яких є іони ВМ. Список металів, потенційно небезпечних навіть у незначній кількості, дуже великий (від літію до плутонію). Концентрації, за яких деякі ВМ стають потенційно небезпечними для навколишнього середовища, залежить не тільки від ступеня забруднення ними атмосфери чи гідросфери, але і від хімічної природи металу, а також від особливостей його біохімічного циклу.

Оцінка забруднення наземних екосистем екотоксикантами є однією з найважливіших завдань фонового і імпактного моніторингу природних середовищ. Деякі живі організми мають здатність до накопичення хімічних елементів, однак основна увага зазвичай приділяється моніторингу елементів-полютантів у природних середовищах і об'єктах – воді, повітрі, ґрунті, рослинах, тоді як закономірності накопичення цих речовин таким компонентом біоти, як базидіальні макроміцети – практично не вивчено. Цінність базидіоміцетів виявляється у використанні їх для отримання дієтичних, лікувально-профілактичних та лікарських препаратів. Тому дослідження, спрямовані на визначення оцінки значення грибів, необхідні у виявленні міграції полютантів в біогеохімічних циклах і ланках харчового ланцюга урбаногенних територій, а також для з'ясування ймовірності використання окремих видів макроміцетов в якості біоіндикаторів стану навколишнього середовища.

Гриби здатні акумулювати ВМ у значних кількостях, причому концентрація елементів у них часто набагато вища, ніж в інших об'єктах екосистем, в яких вони зростають. Вміст металів може досягати 10-20% і більше на одиницю сухої маси

плодового тіла. Тому, в даний час пріоритетним напрямком у сфері біоіндикації навколишнього середовища є дослідження із застосуванням базидіальних грибів та подальшим залученням їх у технології біоремедіації ґрунтового покриву.

Здатність базидіальних макроміцетів накопичувати ВМ у міцелії та плодових тілах в залежності від екологічної та видової приналежності, наявність механізмів біоаккумуляції та стійкості, що головним чином сприяють ефекту поглинання забруднюючих елементів, а також потенційна небезпека для здоров'я людей при споживанні грибів є актуальним переліком досліджень сьогодення. Активний інтерес наукової спільноти до особливостей біоаккумуляції металів грибами, а також прикладний аспект вирішення даної проблеми вказує на перспективність її подальшого розвитку.

Метою дипломної роботи було дослідження впливу ВМ на базидіальні гриби екосистеми лісу біля оз. Алмазне із урахуванням можливості їх використання в якості біоіндикаторів стану навколишнього середовища.

Завдання дипломної роботи:

1. Розглянути метаболізм поглинання та накопичення іонів ВМ базидіальними грибами;
2. Дослідити фактори та умови середовища, що впливають на біосорбцію металів в плодових тілах макроміцетів;
3. Визначити перспективи використання досліджуваних видів відділу *Basidiomycota* у біотехнології та фармації;
4. Проаналізувати можливість застосування базидіальних макроміцетів в якості біоіндикаторів забруднення навколишнього середовища;
5. Виявити рівень небезпеки накопичених грибами елементів-забруднювачів на здоров'я людини.

Об'єкт дослідження – процес біоаккумуляції ВМ базидіальними макроміцетами.

Предмет дослідження – базидіальні макроміцети, зібрані на території лісової екосистеми поблизу оз. Алмазне.

Методи дослідження: фізико-хімічні, теоретичні, статистичні методи обрахунку отриманих результатів.

Наукова новизна дипломної роботи: вперше визначено вміст концентрацій ВМ у таких базидіальних макроміцетах як білий гриб, дощовик їстівний, лисичка звичайна, печериця польова, зростаючих у лісовій екосистемі біля оз. Алмазне. Встановлено, що дані види грибів можуть успішно застосовуватись як біоіндикатори забруднення ґрунтового покриву. Проаналізовано ризик небезпеки вживання їстівних грибів даної місцевості внаслідок накопичення позанормових концентрацій токсичних елементів Cu, Cd, Cr, Pb і Hg.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати дають позитивну оцінку щодо застосування досліджуваних базидіальних макроміцетів як біоіндикаторів в моніторингу екосистем, що піддаються значному техногенному навантаженню, із подальшою участю у технологіях біоремедіації ґрунтів.

Особистий внесок випускника. Весь обсяг експериментальних досліджень за темою дипломної роботи, аналіз літературних даних, статистична обробка результатів, їх опис і аналіз виконані випускником особисто під керівництвом к.т.н., доцента кафедри біотехнології Вітряк О.П. та асистента Чабанюк Л.Л. на базі кафедри біотехнології Національного Авіаційного Університету.

РОЗДІЛ 1

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Механізми акумуляції важких металів базидіальними макроміцетами

Гриби в процесі свого росту здатні накопичувати невласиві для них хімічні елементи, в тому числі ВМ, поглинаючи їх із атмосфери і ґрунту. У плодових тілах базидіоміцетів виявлені підвищені концентрації свинцю, міді, кадмію, ртуті та інших металів. Більш того, деякі гриби мають специфічну спорідненість до тих чи інших елементів [1]. Акумуляція ВМ у базидіальних макроміцетах зумовлена хімічною природою самого елемента, біологічними особливостями та метаболізмом грибів, а також умовами їх зростання.

Накопичення металів у плодових тілах і міцелію грибів відбувається за рахунок багатьох механізмів, які залежать від різних факторів середовища і не є показником їх успішної адаптації до субстрату, який містить метали в високих концентраціях [2]. Адаптація грибів в середовищі з підвищеним вмістом металів у значній мірі забезпечується екстраклітинними механізмами хелатування і детоксикації.

1.1.1. Способи захисту базидіальних грибів від токсичного ефекту важких металів

Акумуляція металів у міцелії може відбуватися за рахунок адсорбції металів на поверхні гіф, а також всередині клітини. Одна з найбільш вірогідних варіантів захисту грибів від надлишкових концентрацій ВМ полягає в екстраклітинному хелатуванні металів, що виділяються назовні метаболітами або зв'язування їх клітинною стінкою [3]. Основні клітинні механізми, які беруть участь в процесах стійкості до ВМ розглянуті на прикладі ектомікоризних грибів на рис. 1.1.

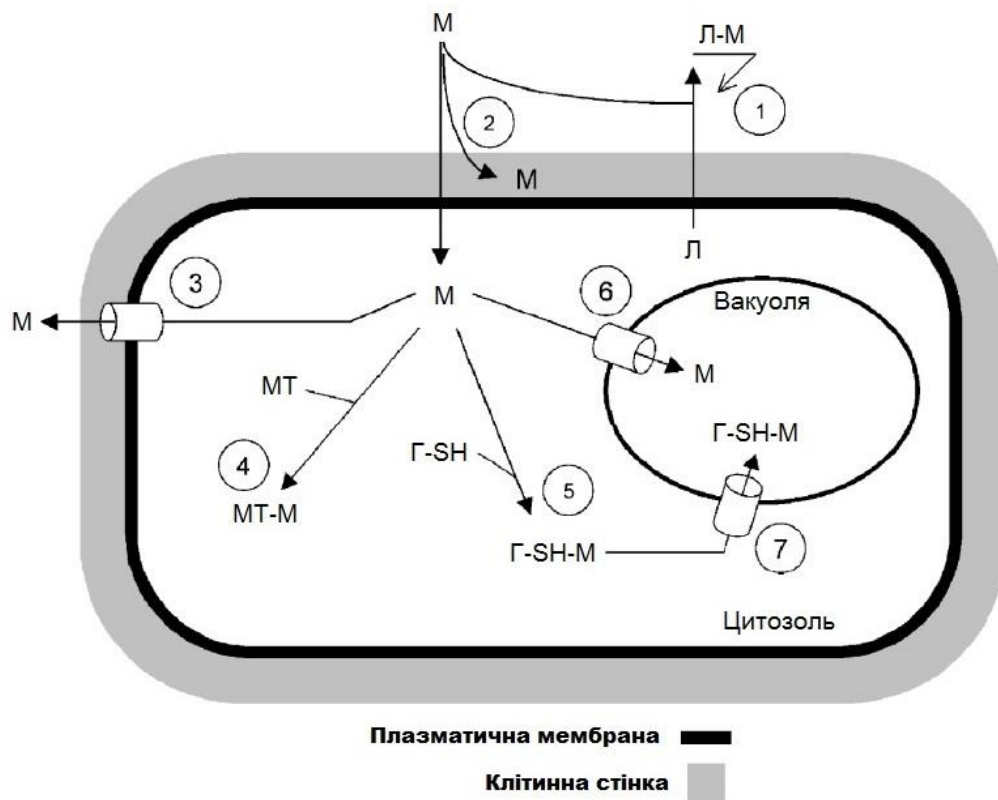


Рис. 1.1. Основні клітинні механізми захисту ектомікоризних грибів від впливу ВМ: М – метал-іон; 1 – екстраклітинне хелатування лігандами (L); 2 – зв'язування клітинною стінкою; 3 – підсилена екскреція; 4 – внутрішньоклітинне хелатування металотіонеїнами (MT); 5 – внутрішньоклітинне хелатування глутатіоном (GSH); 6 – субклітинна компартментація (вакуоля або інші внутрішні компартменти); 7 – вакуольна компартментація комплексу GSH-M

Біoadсорбція грибів полягає в зв'язуванні металів біомасою міцелію за допомогою процесів, які залежать від метаболічної активності або транспортних систем клітини, хоча дані процеси можуть протікати одночасно. Поглинання відбувається як у живому, так і в мертвому матеріалі, та здійснюється за рахунок іонного обміну, ковалентного зв'язування, комплексоутворення лігандами за участю негативно заряджених гідроксильних, фосфатних, сульфгідрильних, карбоксильних радикалів і аміногруп [4].

Одним з найбільш ймовірних та ефективних способів захисту від токсичного ефекту металів є їх зв'язування із компонентами клітинної стінки, однак іони ВМ проникають у цитоплазму через різні транспортери, універсальні для ряду катіонів,

в тому числі необхідних для нормального метаболізму грибів, при цьому відсутність навіть одного з них може привести до порушення метаболізму клітини [5].

Багато видів базидіоміцетів продукують екстраклітинні слизові речовини, що зв'язують токсичні метали і виводять їх з клітини. Наприклад, ізоляти мікоризного гриба *Glomus* і *Gigaspora* продукують глікопротеїн гломалін, який має здатність зв'язувати мідь [6]. Гломалін локалізований, головним чином, у клітинній стінці. Крім гломаліна, інші полімери клітинної стінки, такі як хітин і меланін, також можуть брати участь у біоекскреції.

Детоксикація поглинаючих клітиною металів може здійснюватися також шляхом зв'язування їх специфічними білками. Крім фітохелатинів і металотіонеїнів (МТ), властивим рослинам, у грибів виявлено специфічні білки, наприклад, мікофосфатин. Фітохелатини, на відміну від металотіонеїнів утворюються, переважно, внаслідок ферментативної полімеризації глутатіону (GSH), а не транскрибуються із відповідних генів. Продукція глутатіону, фітохелатинів і металотіонеїнів індукується при зростанні грибів на субстратах, що містять метали [7]. Спостерігається залежність збільшення толерантності грибів до ВМ при інтенсивному біосинтезі фітохелатинів і металотіонеїнів. Стимуляція синтезу металозв'язуючих білків залежить від певних параметрів, основними з яких є властивості металу і його концентрація, іонне оточення, видові особливості рослин.

На міцелії знаходяться виступи клітинної стінки, що вказують на формування великих внутрішньоклітинних вакуолей, в яких відбувається секвестрування металів. Малі концентрації більшості металів стимулюють ріст грибів, так як є необхідними для них елементами і залучені в різні процеси метаболізму. При високій концентрації в середовищі метали можуть пошкоджувати клітинну мембрану, пригнічувати дихання, змінювати активність ферментів, порушувати процеси транскрипції і трансляції, розподіл клітини, пошкоджувати ДНК і білки [8].

Важливу роль при адаптації грибів до існування в середовищі з підвищеним вмістом ВМ відіграють органічні кислоти. Зв'язування металів органічними кислотами може відбуватися як ззовні клітини, так і всередині клітини у вакуолі. Серед всіх органічних кислот щавлева кислота є найбільш потужним хелатуючим

агентом, що зв'язує багато металів в нерозчинні солі, знижуючи, таким чином, їх біодоступність. Секреція щавелевої кислоти добре описана для багатьох видів грибів різної екологічної та таксономічної приналежності і часто активується металами. Наприклад, у дослідженні із ізотопом ^{109}Cd *Paxillus involutus* зменшує поглинання Cd саме за рахунок хелатування із щавелевою кислотою [9]. За даними літератури, здатність грибів успішно колонізувати субстрати, що містять мідь, поєднується з їх здатністю продукувати щавлеву кислоту. Оксалати металів часто інкрустують поверхню гіфів грибів.

Надмірне накопичення металів у міцелію і плодових тілах грибів пов'язують, як правило, з адаптивними реакціями на високі концентрації металів у середовищі. При цьому немає позитивної кореляції між стійкістю до токсичної дії ВМ і здатністю до їх накопичення плодовими тілами. Наприклад, вид *Lycoperdon perlatum*, в плодових тілах якого свинець накопичується в значних концентраціях, більш чутливий до цього елемента в живильному середовищі, ніж *Flammulina velutipes*, що відноситься до групи слабо накопичуючих свинець базидіоміцетів [10].

Тому в даний час неможливо виділити групу грибів, особливо небезпечну як акумуляторів металів. На відміну від рослин, гриби володіють великим спектром механізмів, що дозволяє накопичувати метали в міцелії і плодових тілах, регулювання яких багато в чому визначається факторами середовища.

1.1.2. Характер накопичення металів у залежності від видової і екологічної приналежності грибів

У плодових тілах і міцелію багатьох грибів найбільше накопичуються цинк (Zn), мідь (Cu), марганець (Mn), свинець (Pb), хром (Cr), ртуть (Hg), кадмій (Cd) і нікель (Ni), а також миш'як (As) [11]. Дані про здатність певних видів грибів накопичувати метали узагальнені в табл. 1.1.

На даний момент багато відомо про біосорбцію металів різними видами базидіальних грибів *in situ* і в досліджах *in vitro* [12]. Концентрації ВМ у плодових

тілах грибів можуть значно відрізнятись в залежності від їх таксономічної приналежності і екологічних особливостей місць зростання.

Таблиця 1.1

Акумуляція ВМ базидіальними макроміцетами [13]

Вид	Вміст металів (мг/кг сухої маси)							
	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Cr	Hg	Ni
<i>Agaricus arvensis</i> (Печериця польова)	-	-	-	-	5-20	-	2-20	-
<i>Boletus edulus</i> (Білий гриб)	13,33	26,2	4,7-66,4	0,3-20,7	1,30-15,0	-	0,13-32,4	0,1-5,08
<i>Calvatia utriformis</i> (Головач мішковидний)	29,8	265,8	235,5	-	-	-	-	-
<i>Cantharellus cibarius</i> (Лисичка справжня)	-	13,2-20,4	13,2-15,3	0,04-13,2	0,036-0,9	0,61-0,69	-	0,1-2,64
<i>Coprinus comatus</i> (Гнойовик білий)	-	-	37,1±4,3	14,3±1,8	1,4±0,05	11,5±1,9	-	11,6±0,9
<i>Lactarius deliciosus</i> (Рижик смачний)	-	76,7-231	6,15	0,34-0,73	0,26-2,94	0,12	-	0,62
<i>Lepista nuda</i> (Рядовка фіолетова)	-	45-47,6	20-231	1,4-15,3	1,1-3,3	10,4	2-84,7	4,2
<i>Lycoperdon pertatum</i> (Дошовик їстівний)	12,4	164,8	64,6	1,3	-	-	-	5,6
<i>Macrolepiota procera</i> (Гриб-зонтик великий)	-	76,5	85	0,14-26,4	0,16-7,11	1,85	2-10,5	0,26-4,55
<i>Pholiota squarrosa</i> (Чешуйчатка звичайна)	143,0±14,2	29,3	23,6	10,08	-	1,66	-	0,55

У деяких літературних джерелах наведено припущення щодо видової специфічності грибів залежно від здатності акумулювати метали. Наприклад, в

забруднених місцях зростання у *Calvatia utriformis*, *Macrolepiota procera*, *Lactarius delicious* і *Agaricus macrosporus* концентрації цинку і міді перевищували 200 мг/кг сухої ваги [14]. Інші ж види (*Hydnum repandum*, *Cantharellus cibarius* і *Coprinus comatus*) в тих же умовах практично не акумулювали ці метали [15]. За даними [16] *Macrolepiota procera* є одним з найбільш активних накопичувачів ВМ. Відносно високі концентрації міді, свинцю, марганцю, заліза і цинку були виявлені також в їстівних грибах *Cantharellus cibarius* і *Pholiota squarrosa*. Інші дослідники серед активних акумуляторів металів виділяють *Lepista nuda*, в плодових тілах якої накопичується Pb, Fe, Mn і Cu. Вид *Gymnopus dryophilus* відзначають як активний акумулятор Cd, а види *Tricholoma equestren* і *Coprinus comatus* – як акумулятори Zn і Ni [17]. Серед 23-х видів їстівних грибів, що відносяться до 15 родів, зібраних в різних регіонах Польщі, найбільші концентрації Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb і Zn були виявлені у представників роду *Boletus* – *B. badinus* і *B. chrysenteron* [18].

Автори джерела [19] визначали забруднення ґрунтів ВМ із використанням композиційних сорбентів КХЦ-1 та дикорослих грибів як геохімічних індикаторів забруднення довкілля у м. Києві. Дикорослі гриби зібрано в межах Києво-Святошинського району Київського мегаполісу на ділянках із різним ступенем техногенного навантаження. Було досліджено такі макроміцети: білий гриб (*Boletus edulis*), підосичник (*Boletus aurantiacum*), маслюк звичайний (*Boletus luteus*), моховик тріщинуватий (*Boletus chrysenteron*), польський гриб (*Xerocomus badius*), дубовик (*Boletus luridus*), печерицю лучну (*Agaricus campestris*), печерицю польову (*Agaricus arvensis*), мухомор червоний (*Amanita muscaria*). Характеристику концентрації мікроелементів у грибах наведено у табл. 1.2.

Вміст фізіологічно важливих елементів (Cu, Se) найвищий у білому грибі, дубовику та досліджених видах родини печерицевих. Особливу увагу викликає вміст високотоксичних елементів. Отримані дані вказують на досить високі концентрації кадмію, ртуті та арсену у плодових тілах болетальних грибів на техногенно забруднених територіях, мг/кг сухої маси: Cd – до 6,2 (фонове 0,1) у білому грибі, до 10 мг/кг у моховику; Hg, As – 0,04–0,90 (фонове – 0,01 і 0,1 відповідно) у дубовику і моховику. Найвищий вміст кадмію (50 мг/кг с. м.)

зафіксований у плодових тілах печериці лучної, ртуті (20 мг/кг с. м.) – плодових тілах печериці польової. Концентрація арсену в цих видах грибів (і в мухоморі червоному) на порядок вища, ніж у представників інших видів.

Таблиця 1.2

Вміст мікроелементів у плодових тілах дикорослих грибів Києво-Святошинського району, мг/кг сухої маси [19]

Назва гриба	Cd	Hg	As	Cu	Se
<i>Boletus edulis</i> (Білий гриб)	0,1-6,02	0,03-0,41	0,16-1,2	24-200	15-36
<i>Boletus luridus</i> (Дубовик)	0,2- 5,0	0,01-0,65	0,1-0,96	44-51	25,80
<i>Xerocomus badius</i> (Польський гриб)	0,5-5,0	0,02	0,1-0,2	24-36	0,50
<i>Boletus chrysenteron</i> (Моховик тріщинуватий)	5,0-10	0,03-0,6	0,2-0,39	28-47	0,10
<i>Boletus luteus</i> (Маслюк звичайний)	0,5-1,0	0,02	0,10-0,53	2,1-2,9	1-5
<i>Agaricus campestris</i> (Печериця лучна)	5,0-50	1-10	1-2,1	42-180	20-50
<i>Amanita muscaria</i> (Мухомор червоний)	5,0-10	-	1,1-1,8	6-25	10-36
<i>Agaricus arvensis</i> (Печериця польова)	5,0-20	2-20	1,8-2,1	60-120	17-30

У зразках одних і тих же видів, зібраних у різних місцях зростання, спостерігаються істотні коливання значень вмісту мікроелементів. Це пов'язано з умовами зростання (тип і склад ґрунту, його кислотність, наявність антропогенних токсикантів). Наприклад, найвищий вміст елементів 1 та 2 класу небезпеки у плодових тілах білого гриба виявлено у зразках, зібраних поблизу ТЕЦ та автомагістралей. У цих базидіоміцетів зафіксовано значні концентрації, мг/кг: As – 0,6-1,2, Hg – 0,2–0,4, Cu – 70–200, що у 5–10 разів вище, ніж на умовно чистих територіях [19]. Це робить небезпечним їх застосування в якості сировини і продуктів харчування. Вміст інших ВМ на ділянках, віддалених від забруднень антропогенних джерел (понад 5 км), був у 2–5 разів нижчий.

ВМ при однаковій концентрації в субстраті в плодових тілах базидіоміцетів накопичуються по-різному. Найбільш активно акумулюється цинк, концентрація

якого в плодових тілах часто вища, ніж в субстраті. Менш активно накопичується мідь. Біосорбція Mn, Pb, Cr, Hg, Cd і Ni здійснюється з порівняно невисокою інтенсивністю.

Істотне значення в накопиченні грибами металів відіграє їх еколого-трофічна спеціалізація. Встановлено, що ксилотрофні базидіоміцети накопичують у плодових тілах залізо, марганець і хром в більших концентраціях, ніж представники інших еколого-трофічних груп. Можливо, це пов'язано з еволюційно сформованими особливостями лігнін- і целюлозолітичних комплексів дереворуйнівних грибів. Основні позаклітинні ферменти ксилотрофних грибів, які розкладають деревину, містять метали змінної валентності. Так, до складу лігнінпероксидази входить марганець; до оксидоредуктаз різного структурного типу можуть входити залізо і мідь; до складу лаккази – мідь [20]. Крім того, дереворуйнівні гриби продукують активні форми кисню, які поряд з ферментами беруть участь у руйнуванні природних полімерів – лігніну і целюлози. Присутність іонів металів зі змінною валентністю є важливим чинником, що обумовлює генерацію активних форм кисню. У зв'язку з цим накопичення таких елементів може розглядатися як необхідна частина механізму ефективного освоєння субстрату.

1.1.3. Фактори, що впливають на акумуляцію металів у плодових тілах

Біоаккумуляція металів істотно залежить від віку міцелію і часу утворення плодових тіл. У культивованих грибів *Agaricus bisporus* максимальний вміст металів спостерігається в першій «хвилі спороутворення» [21]. Встановлено, що плодови тіла *Amanita muscaria*, *Leccinum scabrum*, *Lepista nuda*, *Macrolepiota procera*, *Galerina vittiformis* різного віку різняться за вмістом хімічних елементів [22]. У молодих базидіомах ВМ спостерігаються в більших концентраціях. Сезонна динаміка складу деяких елементів вивчена на прикладі *Boletus edulis*: максимальні концентрації заліза, кобальту і цинку виявлені на початку, а марганцю, свинцю і хрому – в кінці спороутворення [23].

Накопичення грибами металів у значній мірі визначається особливостями субстрату і, першочергово, концентрацією металів у середовищі. Високий вміст токсичних елементів виявлено в плодових тілах грибів, що ростуть в забруднених місцях: вздовж автомагістралей з інтенсивним рухом, зони техногенних викидів, територіях підвищеного радіаційного фону, а максимальний – поблизу металургійних підприємств. Іноді концентрації металів у плодових тілах грибів, які ростуть в таких місцях, значно перевищують їх кількість у чистих районах [24]. Незважаючи на це, гриби здатні накопичувати метали навіть при їх відносно невисокому вмісті в ґрунті.

Накопичення металів у міцелію залежить від їх біодоступності, яка визначається фізико-хімічними характеристиками субстрату, водневого показника (рН), окисно-відновного потенціалу (Eh), наявністю органічних речовин [25]. Підвищений рівень рН може призводити до осадження оксидів і гідроксидів металів. Доступність металів значно збільшується при зниженні рН середовища, що викликає інтенсивне накопичення їх у міцелію.

Надходження ВМ із ґрунту до міцелію залежить, значною мірою, від симбіотичних видів рослин, що впливають на поглинання елементів і їх транспорт. Дослідження, проведені на ксилотрофних дереворуйнівних грибах, показали, що плодові тіла *Fomes fomentarius*, *Fomitopsis pinicola* і *Flammulina velutipes* накопичують різну кількість заліза, марганцю і цинку в залежності від породи дерева [26].

1.1.4. Просторовий розподіл металів у міцелію

Диференційований аналіз ґрунтового міцелію і плодових тіл базидіальних грибів показує, що плодові тіла грибів накопичують Cu, Zn, Cd у великих кількостях, ніж міцелій, відокремлений з тої ж ділянки ґрунту, на якому були зібрані плодові тіла. Нікель і свинець, навпаки, досить активно сорбуються в міцелій з ґрунту, але концентрації цих металів у плодових тілах значно нижче [27]. Відмінності вмісту металів у міцелію і плодових тілах одного і того ж виду

показують, що переміщення нікелю, свинцю і кобальту від міцелію до плодового тіла практично відсутнє. Крім того, неорганічні сполуки нікелю, свинцю і кобальту малорозчинні і менш доступні для міцелію у порівнянні зі сполуками цинку, міді та кадмію [28].

Метали розподіляються нерівномірно в межах плодового тіла. За літературними даними, метали містяться в шапці більше, ніж в ніжці плодового тіла. Однак автори джерела [29] показали, що концентрація міді у ряду дикорослих грибів, навпаки, вище в ніжці плодового тіла. Більш детальні дослідження свідчать про те, що найбільший, часто максимальний, вміст металів зазвичай виявляється в гіменофорі (але не в спорах), середній – в трамі шапки без гіменофора, а найменший – в ніжці. Залежно від виду гриба і акумулюючого металу можливі різні варіанти. У дослідженні [30] на прикладі кількох їстівних видів грибів було показано, що крім найбільш поширеного типу розподілу металів всередині плодового тіла мають місце і інші варіанти. У базидіомах *Boletus edulis* і в плодових тілах *Macrolepiota procera* максимальний вміст свинцю спостерігається в трамі шапки без гіменофора, середній – в гіменофорі, мінімальний – в ніжці. У базидіомах *Boletus edulis* аналогічний варіант розподілу характерний для марганцю. Тип розподілу, при якому найбільший вміст металів знаходиться в гіменофорі, середній – в ніжці, найменший – в трамі шапки без гіменофора, відзначений в плодових тілах *Macrolepiota procera* для таких елементів як залізо і кобальт. Максимальний вміст елементів в ніжці і мінімальний в трамі шапки було описано лише в базидіомах *Macrolepiota procera* для нікелю. Біосорбція металів в шапці більшості грибів пояснюється, насамперед, тим, що стресові метаболіти, які представлені білками (металотіонеїни, глутатіон, фітохелатини), здійснюють детоксикацію металів і впливають на процеси секвестрування та акумуляції металів у вакуолях, головним чином у шапці [31].

Отже, незважаючи на різноманітність механізмів, що призводять до накопичення металів в міцелії, більшість дослідників дійшли до висновку, що в плодових тілах біоаккумуляція металів відбувається внаслідок зв'язування їх з білками. Проте має місце гіпотеза, що різноманітність механізмів акумуляції металів

базидіоміцетами та їх лабільність залежить від факторів зовнішнього середовища та впливу техногенної діяльності, що спричиняє досить значні відмінності в результатах кількісного аналізу ВМ у грибів одного і того ж виду.

1.2. Базидіальні гриби у ролі біоіндикаторів стану наземних екосистем

Істотна роль в проведенні біоіндикаційних досліджень та функціонуванні екосистем належить деструктивному компоненту, зручним об'єктом якого виступають базидіальні гриби.

Роботи вітчизняних та іноземних дослідників, присвячені вивченню можливості використання базидіальних макроміцетов як біоіндикаторів забруднення навколишнього середовища ВМ та іншими токсичними елементами, носять суперечливий характер. Це пояснюється тим, що рівні акумуляції елементів загалом визначаються не екологічними чинниками, а біологічними особливостями представників різних видів. Відповідь грибів на антропогенне навантаження навколишнього середовища сьогодні досить добре відома. Особливого значення набули ті дослідження, які проводилися на територіях підвищеного радіаційного фону [32]. Гриби як об'єкти біомоніторингу добре зарекомендували себе в якості індикаторів забруднення навколишнього середовища радіонуклідами. Тому з іншого боку, техногенний вплив на екосистеми середовища сприяє збільшенню вмісту ВМ та інших токсичних елементів в плодових тілах базидіальних макроміцетов. Цей фактор став підставою для активного пошуку видів-біоіндикаторів серед представників базидіальних грибів.

Багато дослідників відзначають, що гриби інтенсивно накопичують ВМ, більш того, мають специфічну спорідненість щодо деяких. Вони можуть акумулювати Cd, Cu, Zn, Hg і ряд інших елементів. Особливістю грибів є їх здатність до біосорбції хімічних елементів саме із субстрату, тоді як інші об'єкти біоіндикації накопичують токсиканти із атмосфери (мохи, лишайники) або одночасно із декількох середовищ (судинні рослини). Акумуляційні властивості грибів визначаються також умовами їх зростання, і в першу чергу ступенем сорбування ґрунтів. Так, на зволжених і

перезволожених лісових ґрунтах (аккумулятивні ландшафти) гриби накопичують радіоактивного цезію набагато більше, ніж ті ж види, що ростуть на автоморфних ґрунтах з глибоким розміщенням ґрунтових вод (елювіальні ландшафти) [33].

Накопичення елементів макроміцетами в основному залежить від видової приналежності, тому необхідною та обов'язковою умовою при використанні макроміцетов як біоіндикаторів забруднення екосистем є правильна видова діагностика. Оскільки гриби також є і харчовим ресурсом, то хибність результатів у видовій специфіці може призвести до критичних для людини наслідків, так як види відрізняються один від одного за властивостями акумулювати токсичні елементи навіть в межах одного роду. Наприклад, з 8 досліджених видів роду *Agaricus* (печериця) чотири види накопичують Cd в кількості 1,0-4,99 мг/кг, три види – в межах 27,7-39,6 мг/кг, а один широко поширений та їстівний вид *Agaricus macrocarpus* – понад 100 мг/кг [34].

Загальна характеристика елементного складу макроміцетов та рослин можлива для розгляду по восьми групах:

- біогенні мікроелементи;
- макроелементи;
- мікроелементи;
- важкі токсичні елементи;
- рідкісні та рідкоземельні елементи;
- радіонукліди;
- галогени.

Концентрації біогенних елементів (Ca, K, Mg, Na, P, S) не виходять за межі відомого з літературних джерел діапазону концентрацій як для рослин в цілому, так і для макроміцетов [35].

Цікавою закономірністю акумуляції макроелементів шапинковими грибами є дуже низьке накопичення Ca в порівнянні з рослинами. Результати показують, що кальцій розподіляється в різних частинах гриба нерівномірно: більш високі концентрації накопичуються в ніжці, більш низькі в шапці. Так, наприклад, в опеньках вміст Ca в стерильній ніжці вище в 3–4 рази (294 мг/кг), ніж в плодовому

тілі (81,1- 98,3 мг/кг). А фосфор, навпаки, біосорбується у плодовому тілі (6419-6915 мг/кг) в більшій кількості і в меншій – в ніжці гриба (4904 мг/кг) [36]. Між акумуляцією фосфору і кальцію існує негативний зв'язок, завдяки якому Са в шапці не накопичується, а знаходиться здебільшого в ніжці внаслідок негативної залежності кальцію та фосфору, більш життєво необхідного для формування спор.

Концентрації макроелементів (Al, Fe, Si) і біогенних мікроелементів (Cu, I, Ni, Mn, Zn) мають невисокі значення в порівнянні з літературними даними [37], а мікроелементам (B, Ba, Li, Be, Co, Cs, Sr, Rb, Sc, Ti, V) характерні нижні межі концентрацій, виявлених у базидіоміцетах.

Головною закономірністю мікроелементного складу базидіальних грибів є висока акумуляція Rb, концентрації якого можуть бути десятки, сотні і тисячі мг/кг. Накопичення Rb грибами зазвичай на порядок вище, ніж в рослинах в однакових умовах зростання.

Концентрації більшості важких токсичних елементів (Ag, As, Au, Bi, Cd, Cr, Hg, Mo, Pb, Sb, Sn) знаходяться на нижній межі виявлення у рослинах, однак високого вмісту досягають у грибах [37].

Рівні біосорбованих рідкісних та рідкоземельних елементів (Ce, Er, Gd, La, Lu, Nb, Rh, Ta, W, Zr), а також радіонуклідів (Th, U) характеризуються нижніми рівнями амплітуд концентрацій, зафіксованих у рослинах та грибах за нормальних умов.

Галогени (Br, Cl, F) представлені невисокими значеннями накопичення таких елементів як бром та хлор в шапинкових грибах. Однак рівень фтору підвищений і знаходиться в межах від 15 до 80 мг/кг [37].

За результатами літературних даних, базидіальні макроміцети виступають досить характерними біоіндикаторами забруднення ґрунту і субстрату, на якому ростуть, хоча не виключено часткове накопичення забруднювачів із атмосфери, незважаючи на короткий цикл існування плодового тіла гриба [38].

У моніторингових дослідженнях велике значення має здатність макроміцетів накопичувати ВМ, тому уніфіковані методики біотестування базидіальними макроміцетами повинні бути нормативно затверджені для використання в практиці екологічного контролю. Крім того, необхідна підготовка фахівців, які володіють

даними методами, створення спеціалізованих лабораторій біоіндикації і біомоніторингу із повним їхнім обладнанням, ліцензуванням та сертифікацією.

Таким чином, базидіальні макроміцети мають ряд переваг в порівнянні з іншими видами біоіндикаторів стану наземних екосистем. Однак, для застосування можливості використання шапінкових грибів у біомоніторингу навколишнього середовища, слід переконатися в точності та залежності факторів акумуляції ними хімічних елементів, а також підтвердити та визначити основні методики біотестування із їх використанням, що матимуть нормативний характер.

1.3. Практичне використання базидіоміцетів у біотехнології та фармації

У відділі *Basidiomycota* присутні в основному гриби, що містять біологічно активні речовини (лікарські гриби), або види, плодові тіла яких вживаються в їжу (їстівні гриби). Серед тих або інших видів, що відносяться до класу *Basidiomycetes*, деякі з них (*A. bisporus*, *P. ostreatus*, *L. edodes* та ін.) вирощують як сільськогосподарські рослини. В лабораторіях біотехнології освоєно культивування лікарських грибів в стаціонарних умовах на рідких і твердих поживних середовищах, що спрямовані на створення ряду біопрепаратів для використання в різних галузях (табл. 1.3) [39].

Вивченню біологічно активних і лікарських речовин, отриманих за рахунок життєдіяльності вищих базидіоміцетів, присвячена велика кількість експериментальних робіт. В дослідженні [40] показано, що базидіоміцети видів *Flammulina velutipes*, *Piptoporus betulinus* і *Oudemansiella mucida* синтезують антибіотичні речовини антифунгальної дії. Крім того, антифунгальні сполуки ліпідної природи, одеражні із плодових тіл, відносно тест-організмів роду *Candida* синтезують їстівні гриби виду *Pleurotus giganteus* [41]. Схожу активність знайдено в грибах видів *Pleurotus ostreatus* і *Coprinus comatus*, які мають антибіотичні властивості відносно тест-культур грампозитивних і грамнегативних бактерій та привертають увагу для використання у функціональних продуктах [42].

Галузі застосування результатів біотехнологічних розробок на основі грибних продуцентів [39]

Сфера застосування	Біопрепарати	Рослинництво	Лісове господарство	Тваринництво	Рибництво	Харчова галузь	Медицина і фармакологія
Засоби захисту рослин	Боверин	+	+	-	-	-	-
	Пециломін	+	+	-	-	-	-
	Вертицилін	+	-	-	-	-	-
	Метаризин	+	-	-	-	-	-
	Триходермін	+	+	-	-	-	-
	Трихотецин	+	-	-	-	-	-
Ферментні препарати	Хітиназа	-	-	-	+	-	-
	Целюлаза	-	-	+	-	-	-
Кормовий білок	Біомаса <i>P. ostreatus</i>	-	-	+	+	-	-
Їстівні гриби	Сира та суха біомаса грибів	-	-	+	+	+	-
Лікарські гриби	Екстракти, настойки, суха біомаса	-	-	+	-	+	+
Пігменти	Розчинні і нерозчинні біополімери (меланіни)	-	-	+	-	+	+

Більшість метаболітів та екстрактів з плодових тіл вищих базидіоміцетів характеризуються біологічною активністю, до найважливіших характеристик якої належить бактерицидність. У цьому напрямку перспективними виступають дослідження авторів джерела [43]. В статті представлено дані щодо бактериостатичної активності метаболітів, продукуючих нетиповим штамом 119-85 *Trichoderma spp.* і штамом *T. asperellum* 30, бактериостатичної і бактериолітичної дії екстрактів плодових тіл гриба *F. officinalis* щодо грампозитивних бактерій *B. anthracis* СТІ та *B. subtilis*, характерна бактерицидна активність метаболітів гриба *I. obliquus* Pilat щодо штаму *F. tularensis* 15 НИИЕГ. Аборигенні середньосибірські

штами мікроміцетів роду *Trichoderma*, гриб-чага *Inonotus obliquus* Pilat, ксилотрофний базидіоміцет трутовик лікарський *Fomitopsis officinalis* можуть застосовуватися в якості перспективних продуцентів нових біологічно активних речовин [44].

Активність проти вірусів грипу типу А і В виявлена в екстрактах із міцелію їстівних грибів *Kuehneromyces mutabilis*, *Flammulina velutipoes*, *Pleurotus eryngii*, екстрактах та фенольних компонентах плодових тіл *Inonotus hispidus*, а також у деяких похідних ергостеролу, що містяться в базидіальних грибах [45–47].

Білково-полісахаридні комплекси грибів можуть інгібувати ріст злоякісних пухлин. Їх ключовими компонентами є високомолекулярні глюкани, глікани і гетерополісахариди [48]. До перших полісахаридних препаратів онкостатичної дії, які почали вироблятися в Японії, відносяться хрестин (PSK) з міцелію *Trametes (Coriolus) versicolor*; лентинан (LE), що отримується з плодових тіл *Lentinus edodes* і соніфіллан (SPG), більш відомий як шизофіллан, який одержують із культуральної рідини *Schizophyllum commune* при культивуванні міцелію на рідких середовищах [49–52].

Полісахаридні препарати, отримані з *Ganoderma lucidum*, *Tremella fuciformis*, *Grifola frondosa* та інших лікарських видів базидіоміцетів, сприяють підвищенню рівня активності лейкоцитів і стимулюють біосинтез цитокінів ІЛ-12, ІЛ-6, інтерлейкінів, макрофагів, Т-лімфоцитів, збільшуючи резистентність імунної системи організму тварин і людини із вираженою дією проти ряду вірусів, включаючи вірус гепатиту [53–56].

1.3.1. Біосорбуючі властивості представників родин *Boletaceae* та *Agaricaceae*

З грибів можуть бути отримані цінні БАД для вживання з їжею. Ці БАД здатні виконувати роль ентеросорбентів. Дослідниками вивчено процес сорбції свинцю і кадмію біомасою білих грибів (*Boletus edulis*) і кріопорошком «Биофит», виготовленого з них [57]. Вміст металів у повітряно-сухих грибах *Boletus edulis* і кріопорошку «Биофит» представлено в табл. 1.4.

Вміст металів в сухій біомасі грибів *Boletus edulis* (I) і кріопорошку «Биофит» (II), мг/(кг сорбенту) [57]

Метал	Cu	Mu	Fe	V	Cd	Pb	Cr	Sn	Cs	Sr	Se	Zn
I	2,8	25	30	0,4	0,4	0,5	1,4	0,3	60	2,0	15	120
II	2,5	20	10	0,3	0,1	0,3	1,0	0,2	35	0,6	3,9	15

З наведених даних видно, що вміст міді, цинку, свинцю і кадмію в повітряно-сухих *Boletus edulis*, в перерахунку на сиру біомасу, менше ГДК. Кріообробка знижує вміст ВМ в продукті. Авторами статті також досліджено, що кріопорошок «Биофит» з *Boletus edulis* поглинає більше кадмію і менше свинцю в порівнянні з сухою біомасою *Pl. ostreatus*. Маса залишку, відображеного при моделюванні процесів, які протікають в шлунку і кишечнику людини, становить для кріопорошка «Биофит» ~ 52%, а для *Boletus edulis* ~ 59% від маси вихідного продукту. Це свідчить про те, що кріогенна обробка полегшує гідроліз продукту і, ймовірно, покращує всмоктування компонентів грибів в шлунково-кишковому тракті людини.

Порядок Агарикальні відносяться до одного із найбільших класів грибів Клінічні та експериментальні дослідження демонструють, що ці та інші гриби із порядку *Agaricales* можуть виступати допоміжними засобами при лікуванні злоякісних пухлин. Механізми дії біоактивних компонентів знайдені в Агарикоміцетах ще не є повністю вивченими, але наукові дані припускають, що ці речовини мають можливість модулювати онтогенез не тільки на ранніх стадіях його розвитку, але й на більш розвинутих фазах прогресії захворювання [58].

Автори джерела [59] у своєму дослідженні встановили антиоксидантну та інтерферонову активності спиртових екстрактів агарикоміцетів на прикладі *A. silvaticus* та *A. arvensis*. Антиоксидантна активність була досліджена за допомогою модифікаційного методу радикал-видалення ДФПГ. Результати продемонстрували, що 95%-і спиртові екстракти *Agaricus* sp. реагують з ДФПГ радикалами різної концентрації. Зважаючи на ці дані, було вираховано антирадикальну силу і антиоксидантну активність, даючи змогу стверджувати, що спиртові екстракти з *A. arvensis* є більш ефективними в інгібуванні вільних радикалів ніж *A. silvaticus*. Серед

23-х грибних екстрактів різних видів, тільки екстракти з *A. silvaticus* та *A. arvensis* проявили інтерферонові активності, при чому значення першого склало 56%, в той час як значення другого становило 35% відповідно.

У *A. campestris*, *A. arvensis*, *A. bisporus*, а також інших видів роду *Agaricus* виявлений природний антибіотик агаридоксин, що володіє високою протимікробною активністю [60]. Представники роду *Agaricus* мають позитивні результати при лікуванні алергій, інфекційних захворювань, спричинених як бактеріями, так і вірусами, захворюваннях дихальних шляхів, кровоносної та нервової систем, ожирінні, хворобах шлунково-кишкового тракту, опіках тощо.

Лікарські препарати із цих грибів виробляються у формі капсул, порошку, таблеток, настоек тощо (рис 1.2).



Рис. 1.2. Лікарські препарати із *Agaricus* sp.: а – препарат в капсулах проти неприємних запахів шкіри, ротової порожнини; б – порошок без добавок; в – таблетки при послабленому імунітеті

Отже, базидіальних гриби роду *Agaricus* виступають джерелом цінних антиоксидантних компонентів, які нейтралізують шкідливий вплив вільних радикалів і відіграють надзвичайну роль при лікуванні серцево-судинних захворювань, раку та інших патологій.

1.3.2. Антибактеріальні властивості екстрактів із *Lycoperdon perlatum* та *Cantharellus cibarius*

Гриби продукують різні антивірусні, протигрибкові компоненти за-для виживаємості виду у боротьбі із патогенними агентами у природі. Наприклад, дослідниками джерела [61] було розглянуто антибактеріальні властивості екстрактів плодових тіл дощовика їстівного (*Lycoperdon perlatum*) проти *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Candida albicans* і *Candida glabrata*. Антимікробні компоненти цих грибів екстрагувалися із використанням відповідно етанолу, метанолу і води. Результати експериментів показали, що водні екстракти *Lycoperdon perlatum* інгібують ріст усіх тест-організмів, за винятком *P. aeruginosa*, в той час як метилові та етилові екстракти пригнічують життєдіяльність усіх тест-культур. Флавоноїди, сапоніни, білки та вуглеводи були знайдені в усіх екстрактах данного виду гриба, тоді як глікозиди, алкалоїди і таніни – тільки в деяких. Чутливість окремо взятих зразків бактерій до грибних екстрактів означає, що властиві грибам біоактивних компонентів невідомі для тест-культур, а тому останні не можуть протидіяти їм. Результати, отримані внаслідок досліджень, дають змогу використовувати властивості *L. perlatum* широкого спектру дії проти бактеріальних організмів. Одним із ефективних застосувань вищезгаданого базидіоміцета є грибна настоянка, отримана із *Lycoperdon perlatum* (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Грибна настоянка дощовика їстівного (*Lycoperdon perlatum*)

Дослідження підтвердили, що в організмі грибна настойка дощовика їстівного біосорбує атоми ВМ, сполуки фтору і хлору, радіонукліди. тому профілактика введення порошку захистить від саркоїдозу та ендокринних захворювань. Крім цього, із гриба виділено речовину кальвацин, що надає виражену протиракову дію, гальмує розвиток лейкемії та інших онкологічних захворювань [62].

При літературному аналізі даних чимало зустрічається статей щодо антимікробних властивостей лисички звичайної (*Cantharellus cibarius*). *C. cibarius*, що відноситься до класу Агарокоміцетів, є дорогоцінним їстівним грибом, в клітинах якого багато корисних фітобіохімічних речовин, таких як каротиноїди, токофероли, аскорбінова кислота, феноли тощо. Авторами джерела [63] було виявлено, що *C. cibarius* містить ергостерол у високих концентраціях і є кращим джерелом вітаміну D2 у порівнянні із культивованими грибами.

Рідкі екстракти, отримані із лисички звичайної, можуть використовуватись при виробництві цінних антимікробних препаратів із широким спектром дії проти бактерій та грибів. На рис. 1.4 представлені лікарські препарати із *C. cibarius* різної форми випуску і застосування.



Рис. 1.4. Лікарські препарати із *C. cibarius*: а – препарат в капсулах проти вірусу гепатиту та гельмінтів; б – твердий бальзам при гельмінтозах, ожирінні та цирозі печінки; в – крем для будь-якого типу шкіри

Лисичка звичайна сприятливо впливає на вірус гепатиту у печінці, а також має здатність знищувати різних паразитів і гельмінтів, і не тільки дорослі статевозрілі особини, але їх яйця і личинки [64]. Тому лисички ефективні при будь-яких гельмінтозах. Застосування рідких екстрактів цих базидіоміцетів з такими сприятливими властивостями для виробництва ліків мають значні переваги на противагу іншим зібраним лісовим грибам.

Отже, відмінною особливістю ряду розроблених технологій щодо застосування базидіальних макроміцетів, виділених з природних джерел, є багатofункціональність штамів, які є основою різних біопрепаратів. Базидіальні гриби володіють антибактеріальними, антиоксидантними, протипухлинними, імуностимулюючими, противірусними властивостями.

1.4. Висновки до розділу

З'ясовано, що здатність базидіоміцетів акумулювати метали в плодових тілах спричинена надмірним їх транспортом в клітину в силу неселективних іонних каналів, по яких відбувається надходження металів. Виживання в середовищі з підвищеним вмістом металів в більшій мірі пов'язане із екстраклітинними механізмами зв'язування і детоксикації. Крім антропогенного чинника, накопичення ВМ в плодових тілах визначається чинниками та умовами середовища, що впливають на їх біодоступність, за рахунок чого співвідношення металів в субстраті та в міцелії грибів можуть істотно відрізнятись. Тому концентрації ВМ у одних і тих же видах базидіоміцетів значно відрізняються.

Базидіальні макроміцети є ефективними природними індикаторами забруднення навколишнього середовища ВМ. У зв'язку з тим, що представники базидіоміцетів мають здатність до накопичення Cu, Se, As, Cd, Hg, вміст цих елементів доцільно контролювати в плодових тілах дикорослих грибів на антропогенно забруднених територіях для моніторингу стану довкілля.

При розгляді біосорбції свинцю і кадмію біомасою білих грибів і БАД-ентеросорбентом у вигляді кріопорошку «Биофит», було визначено, що кріогенна

обробка сприяє кращому гідролізу та поглинанню *B. edulis* в організмі людини. При порівнянні хімічних складів видів грибів *A. silvaticus* та *A. arvensis* з'ясовано, що обидва гриба мають цінні джерела компонентів із антиоксидантною активністю радикал-видаленняДФПГ. Спиртові екстракти із плодових тіл дощовика їстівного та лисички звичаної володіють антибактеріальними властивостями проти таких патогенних представників родів бактерій як *Candida*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Escherichia*, *Pseudomonas*. Кожен із розглянутих видів базидіоміцетів може розглядатися як основа препаратів різноманітної дії, тим самим знайшовши своє застосування у медичних цілях.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика території збору та видів досліджуваних базидіальних макроміцетів

Оцінка ступеня антропогенної трансформації лісових екосистем і можливості використання базидіальних макроміцетів як біоіндикаторів проводилася за визначенням середнього вмісту ВМ в плодових тілах, зібраних в умовах екосистем, схильних до техногенного впливу. Для оцінки вмісту досліджуваних хімічних елементів в базидіомах шапінкових грибів відбір зразків здійснювався в лісовій прилеглий екосистемі, розташованій досить близько до антропогенного джерела забруднення – ТЕЦ-6. Тому в якості екосистем, схильних до інтенсивного техногенного впливу, було досліджено примикаючий ліс біля оз. Алмазне.

Озеро Алмазне розташоване в 2,9 км від ТЕЦ-6 в Деснянському районі північно-східної околиці м.Києва. Даний водойом є найбільшим за площею (1,65 м²) озером міста, а разом із навколишніми лісами є екологічно-культурною пам'яткою Києва. Зважаючи на те, що оз.Алмазне знаходиться поблизу діяльності ТЕЦ-6, у 2020 році Київський міський лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України строго заборонив купатися мешканцям міста у вищезгаданій водоймі через невідповідність затвердженим санітарним нормам щодо хімічного складу води [65]. Здатність грибів накопичувати ВМ дає підстави для досліджень базидіальних макроміцетів, що піддаються значному забрудненню антропогенного впливу, а також виокремлення серед інших грибів найкращих біоіндикаторів стану екосистеми.

Загальновідомо, що автотранспорт є одним з основних джерел надходження в навколишнє середовище забруднюючих речовин. Тому для вивчення впливу антропогенної діяльності об'єкту забруднення ТЕЦ-6 на процес накопичення ВМ зразки плодових тіл базидіоміцетів відбиралися в безпосередній віддаленості від

шосейної дороги на відстані не ближче 3 - 4 км, в радіусі 3 - 5 км на південний-схід від озера. Всього було зібрано 20 зразків, що відносяться до 4 видів. Досліджувані види грибів представлені на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Фотографії зібраних базидіоміцетів: 1 – білий гриб (*Boletus edulis*); 2 – дощовик їстівний (*Lycoperdon perlatum*); 3 – лисичка звичайна (*Cantharellus cibarius*); 4 – печериця польова (*Agaricus arvensis*)

Білий гриб (*Boletus edulis*) зустрічається в сухих негустих березових гаях і в соснових борах, у дубових і ялинових лісах з другої половини червня до жовтня. Поодинокі ростуть рідко, частіше групами. Зазвичай капелюшок білого гриба досягає 20-25 см, шароподібний, а потім подушкоподібний, сухий, голий; його забарвлення може бути будь-яким в залежності від того, в якому лісі росте гриб: в соснових лісах – темно-коричневий, в ялинових – темний із зеленуватим відтінком, а в листяних – світлий. Трубчастий шар – дрібнопористий, з віком міняє своє забарвлення від білого до жовтуватого, а потім зеленуватого. Ніжка довжиною до 17 см, товщиною до 6 см і більше, спочатку бульбоподібна, потім майже циліндрична,

білувата або світло-бура з білим сітчастим малюнком у верхній частині або по всій ніжці. М'якоть щільна, біла, на зламі колір не змінює, без смаку, але з приємним запахом. Спори веретеноподібні, еліпсоподібні, 13-18 x 4-6 мкм, жовто-бурі. Білі гриби придатні для сушіння, маринування, засолювання і консервування; найцінніший серед їстівних грибів. Відноситься до симбіотрофів [66].

Дощовик їстівний (*Lycoperdon perlatum*) зустрічається часто і рясно в різноманітних лісах та пустищах як на піщаних, так і глинистих або торф'яних ґрунтах в травні – листопаді. Плодове тіло довжиною до 8 см і шириною до 5 см, у верхній частині округле, трохи приплюснуте, до низу звужується і переходить в ніжку. Поверхня гриба біла, покрита дрібними шипиками. З віком гриб жовтіє, набуває рихлості, поверхня його перетворюється в тонкий сіро-бурий мішочок із суцільною масою спор всередині, які при легкому натисканні вилітають хмаркою з утвореного вгорі отвору. М'якоть в ранньому віці біла, губчаста, з приємним грибним запахом, пізніше жовтіє, буріє і в верхній частині плодового тіла розпадається, перетворюючись на масу спор. Спори кулясті, слабобородавчасті, 3-4 мкм, в масі оливково-бурі. Вживають в їжу тільки молоді гриби з білою м'якоттю у вареному чи смаженому виглядах. Гриб відноситься до гумусових сапрофітів [66].

Лисичка звичайна (*Cantharellus cibarius*). Отримала свою назву за яскраворуде забарвлення. Зустрічаються лисички, як правило, в хвойних і листяних лісах, групами. Ростуть з середини липня до листопада, особливо рясно в сире літо. Капелюшок лисички діаметром до 10 см, опуклий, потім втиснутий, іноді у формі воронки, з хвилястим краєм, гладкий. Пластинки плавно переходять далеко до ніжки, товстуваті, схожі на складки. Ніжка гриба довжиною до 6 см, суцільна, донизу тонша, а вгорі переходить в капелюшок. М'якоть жовто-біла, досить щільна з приємним запахом. Спори округло-еліпсоїдальні, 8-10 × 4-6 мкм. Не піддається життєдіяльності личинок чи слимаків. Лисички вживаються в їжу у сирому вигляді або законсервованими. Гриб відноситься до симбіотрофів [67].

Печериця польова (*Agaricus arvensis*). Зустрічається в основному на відкритих галявинах серед лісу та на луках. Ростуть з кінця травня до середини жовтня. Капелюшок гриба до 18 см спадаючий, пізніше майже плоский, білий, іноді з

жовтими плямами, при торканні жовтіє, гладкий, шовковистий, потім голий. Пластинки спочатку білуваті, потім рожеві і, нарешті, чорно-бурі. Ніжка порожня всередині з вузьким просвітом, з двошаровим кільцем, біла, пізніше жовтіюча. М'якоть біла, на повітрі не рожевіє, із освіжаючим запахом анісу. Спори майже округлі, 6-7 x 4,5 мкм, в масі – жовто-коричневі. За поживністю печериці багаті білками, вуглеводами, органічними кислотами, мінеральними солями, а також сполуками фосфору. Вживаються в їжу у сирому вигляді, а також консервують, смажать, маринують. Гриб відноситься до гумусових сапрофітів [67].

Всі гриби збиралися на території лісу біля оз. Алмазне у серпні-вересні 2020 року. Здатність до біоабсорбції досліджуваних елементів оцінювалася в умовах різних підтипів сірих лісових ґрунтів. Ліс змішаний, переважає сосна, ялина, місцями осики, берези. Найбільш поширеними є світло-сірі лісові малопотужні супіщані ґрунти і світло-сірі лісові середньоглибокі суглинні, сформовані на пісках, глинах і вапняках. Вони відрізняються малим вмістом гумусу, що обумовлює їх низьку сорбційну здатність.

2.2. Методика визначення концентрацій важких металів у досліджуваних базидіоміцетах

Дослідження виконувалася на базі лабораторії кафедри біотехнології ФЕБІТ НАУ у період з вересня по жовтень 2020 року. Плодові тіла базидіальних макроміцетів очищалися від рештків ґрунту, висушувалися за температури 80°C, а потім досушувалися в сушильній шафі за температури 105°C до повітряно-сухої маси. Висушені гриби розтиралися в ступці до порошкоподібного стану.

Згідно методики ЄЕК [68] наважки грибів у вигляді порошку масою 0,5 г змочували водою об'ємом 4 мл та додавали 6 мл HNO₃, обережно перемішували і витримували протягом 10-15 хв. Колби, придатні для мікрохвильового випромінювання, герметично закривали та поміщали в ротор мікрохвильової системи. Далі проводили обробку за програмою, наведену в табл. 2.1. Для руйнування органічних речовин після охолодження додавали 3 мл 30% H₂O₂ і

догрівали протягом 5-10 хв на електричній плитці. Нагрівання проводили до припинення виділення червоно-бурих парів. В кінці циклу колби охолоджували на повітрі, обережно відкривали і отриманий прозорий або з невеликим осадом розчин фільтрували в мірні колби та доводили водою до мітки 50 мл. Отримані нітратно-пероксидні розчини після фільтрації представлено на рис. 2.2. Загальна схема методу мокрого озолення представлена на рис. 2.3.

Таблиця 2.1

Програма обробки проб в системі мікрохвильового розкладання [68]

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

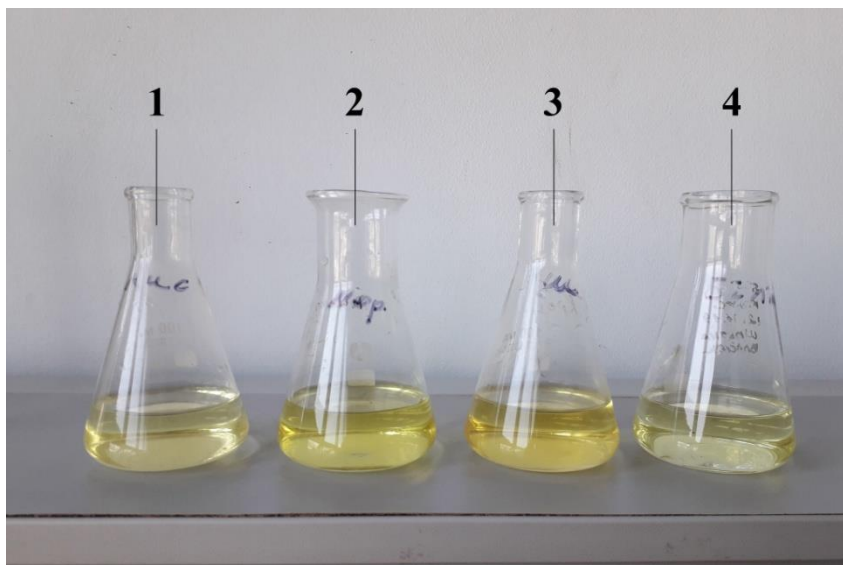


Рис. 2.2. Нітратно-пероксидні розчини досліджуваних грибів після фільтрації: 1 – лисичка звичайна (*Cantharellus cibarius*); 2 – дощовик їстівний (*Lycoperdon perlatum*); 3 – печериця польова (*Agaricus arvensis*); 4 – білий гриб (*Boletus edulis*)

Розчини використовували для визначення вмісту ВМ. Дослідження здійснювали атомно-абсорбційним методом аналізу на спектрофотометрі AAnalyst 800 при відповідних довжинах хвиль, які відповідали максимуму поглинання кожного з досліджуваних металів (табл. 2.2) [69]. Для визначення макрокомпонентів

(залізо, марганець) використовували полум'яний атомізатор, для встановлення вмісту мікроелементів (мідь, цинк, кобальт, кадмій, ртуть, свинець) застосовували електротермічний атомізатор. В залежності від способу атомізації і хімічної природи аналізованого елемента відтворюваність результатів як в полум'яному, так і в електротермічному варіанті методу варіювала від 0,4 до 5% [70].

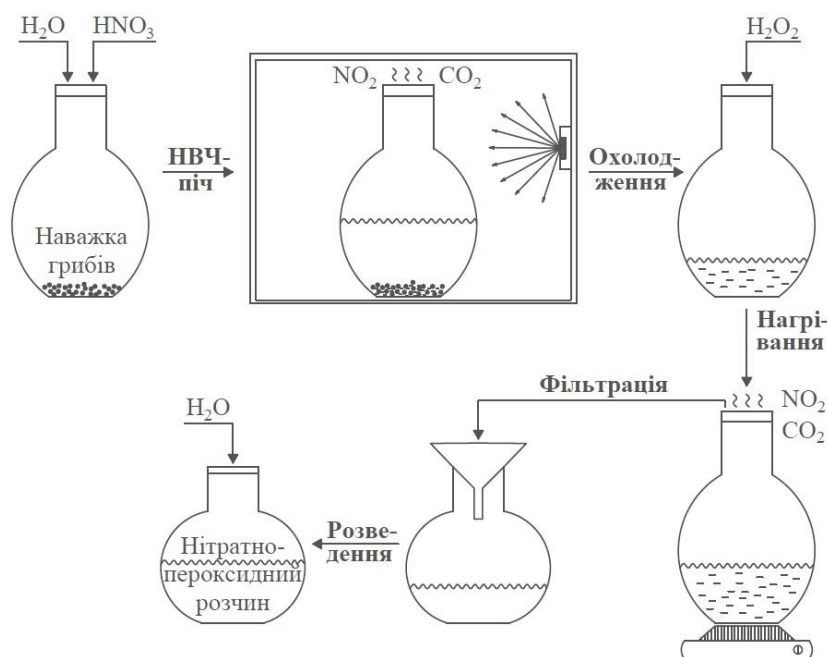


Рис. 2.3. Схема методу мокрого озолення

Таблиця 2.2

Довжини хвиль металів для визначення їх оптичної густини [69]

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

Одночасно із нітратно-пероксидними пробами в кожній серії аналізів на вміст ВМ проводили два контрольних досліди: в порожні колби додавали ті ж кількості реактивів, що і в колби з пробами та здійснювали всі стадії підготовки для контролю рівня забруднень. Рівень забруднень, що представлений у реактивах домішками, присутній у зв'язку з великими обсягами додавання кислот, передбачених методом мокрого озолення.

Вміст металів визначали методом калібрувальної кривої згідно спектра поглинання відомих концентрацій стандартних розчинів відповідних іонів. Для уникнення похибки дослідження, виміряна концентрація стандартного розчину елемента, що знаходиться в межах діапазону концентрацій використовуваної калібрувальної кривої, не повинна відрізнятися від фактичної концентрації більш ніж на 20%. За графіком залежності оптичної густини D розчину від його концентрації визначали концентрацію того чи іншого елемента в досліджуваному і контрольних розчинах.

Масову частку елемента в пробі (m), мг/кг, розраховували за формулою [71]:

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

де C_x – концентрація елемента у випробовуваному розчині, мкг/см³;

C_k – середньоарифметична концентрація елемента для паралельних контрольних розчинів, мкг/см³;

V – вихідний об'єм випробовуваного розчину, см³;

P – наважка проби, г;

K – коефіцієнт розведення.

Дані щодо вмісту ВМ у плодових тілах досліджуваних базидіоміцетів порівнювалися із ГДК елемента-полютанта, який був включений і затверджений у медико-біологічних вимогах і санітарних нормах якості продовольчої сировини і продуктів харчування. Для кожного такого елемента було розраховано коефіцієнт небезпеки ($K_{\text{нб}}$), що являє собою співвідношення між концентрацією ВМ в плодовому тілі гриба до ГДК цього ВМ. $K_{\text{нб}}$ має бути меншим або рівним одиниці за нормальних умов. Формула визначення [72]:

$$K_{\text{нб}} = \frac{m_i}{\text{ГДК}_i}$$

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

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

2.3. Висновки до розділу

В ході виконання експериментальної частини дипломної роботи в якості вихідного матеріалу слугували зразки грибів наступних відділів: *Basidiomycota*, а саме білий гриб (*Boletus edulis*), дощовик їстівний (*Lycoperdon perlatum*), лисичка звичайна (*Cantharellus cibarius*) та печериця польова (*Agaricus arvensis*). Усі екземпляри були зібрані в лісовій екосистемі біля оз. Алмазне, що знаходиться в безпосередній близькості від антропогенного джерела забруднення – ТЕЦ-6. Вміст ВМ в грибах визначався хімічними, фізичними та статистичними методами.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ ДОСЛІДЖУВАНИХ БАЗИДІОМІЦЕТІВ

3.1. Порівняння вмісту токсичних елементів, акумульованих грибами, із встановленими нормами ГДК

Зібрані зразки плодових тіл базидіоміцетів досліджувалися на вміст наступних ВМ (всього 11): мідь (Cu), кобальт (Co), свинець (Pb), кадмій (Cd), нікель (Ni), цинк (Zn), залізо (Fe), марганець (Mn), хром (Cr), ртуть (Hg), сурма (Sb). Результати досліджень представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Вміст ВМ у плодових тілах досліджуваних базидіоміцетів, мг/кг сухої маси

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

У досліджуваних видів грибів було виявлені всі вище згадані ВМ, окрім кобальту (Co). За кількістю виявлених елементів гриби розташовуються в ряд: білий гриб та дошовик їстівний по 10 елементів; печериця польова – 9; лисичка звичайна – 7. В накопиченні різних ВМ можна спостерігати вагому різницю у зазначених видах, що представлено на рис. 3.1 та 3.2.

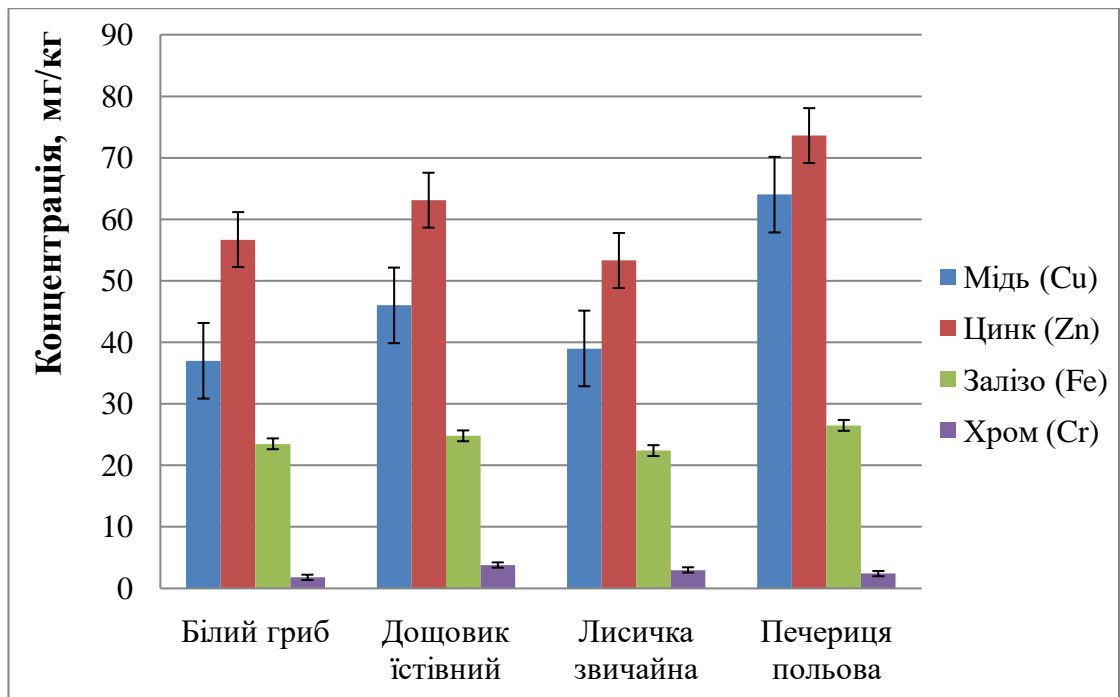


Рис. 3.1. Порівняння значень акумульованих концентрацій міді, цинку, заліза та хрому базидіоміцетами

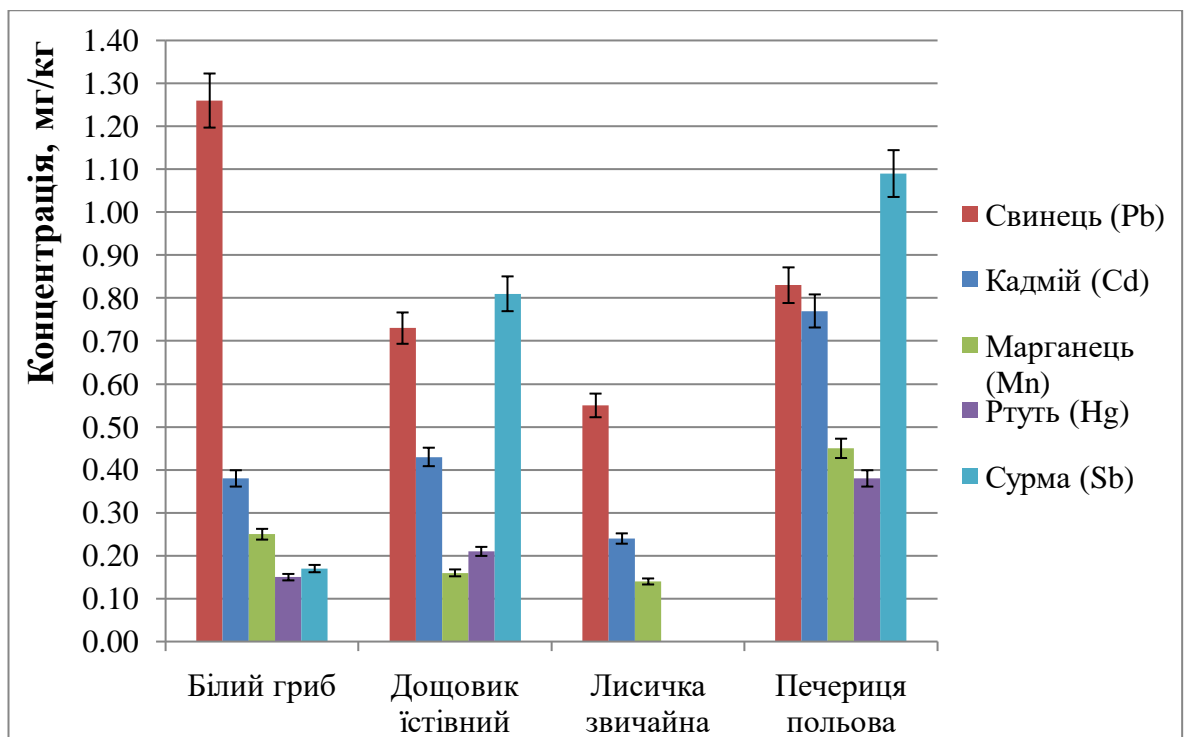


Рис. 3.2. Порівняння значень акумульованих концентрацій свинцю, кадмію, марганцю, ртуті та сурми базидіоміцетами

Як видно із наведених даних, цинк посідає перше місце серед усіх накопичених металів досліджених грибів із найбільшим вмістом у *Agaricus arvensis* (73,6 мг/кг). Окрім цинку, найвищі значення міді (64 мг/кг), кадмію (0,77 мг/кг), марганцю (0,45 мг/кг), ртуті (0,38 мг/кг) та сурми (1,09 мг/кг) також виявлені в печериці польової. Найбільший вміст Pb спостерігається у *Boletus edulis* (1,26 мг/кг), в той час як вміст Cr – у *Lycoperdon perlatum* (3,8 мг/кг). Вміст заліза практично однаковий у всіх плодових тілах базидіоміцетів із невеликою перевагою у *A. arvensis* (26,5 мг/кг). Концентрації Hg, Sb взагалі не були виявлені у *Cantharellus cibarius*, а концентрації Ni не спостерігались у плодових тілах ні *C. cibarius*, ні *A. arvensis*. Окрім міді, печериця польова має найвищі показники майже всіх акумульованих ВМ, ніж інші види. Дощовик їстівний має менші концентрації аналізованих ВМ, а іноді ці значення є дуже близькими до значень печериці польової, як у випадку із свинцем (0,73 мг/кг) та стибієм (0,81 мг/кг). Найменші показники в процесі біоаккумуляції ВМ відображаються у лисички звичайної, перевищуючи тільки значення вмісту Cu у білого гриба (39 мг/кг) та значення вмісту Cr у білого гриба та печериці польової (3,0 мг/кг).

Після перерахунку концентрації елементів, за якими встановлено норму, на сиру вагу грибів, їх значення були порівняні із значеннями ГДК цих елементів [73], що представлено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Концентрації ВМ, виявлених у грибах, порівняно із нормою ГДК, мг/кг сирої маси

Базидіоміцет	Важкий метал									
	Мідь	ГДК	Свинець	ГДК	Кадмій	ГДК	Цинк	ГДК	Ртуть	ГДК
Білий гриб	370	10	12,6	0,5	3,8	0,1	567	20	1,5	0,05
Дощовик їстівний	460		7,3		4,3		631		2,1	
Лисичка звичайна	390		5,5		2,4		533		-	
Печериця польова	640		8,3		7,7		736		3,8	

Із вище наведених даних можна спостерігати, що усі елементи-поліютанти значно перевищують затверджену норму ГДК, однак базидіоміцети накопичують ці метали у більшій або меншій мірі. Так, наприклад, білий гриб має найбільше перевищення вмісту свинцю, що у 25,2 рази вище ніж ГДК, і у 1,73, 2,29, 1,52 рази більше за дощовика їстівного, лисичку звичайну і печерицю польову відповідно. Щодо інших даних, то остання акумулює мідь, кадмій, цинк, ртуть у 64, 77, 36,8, 76 разів більше зазначеної норми, що також має найвищий показник біосорбції цих ВМ порівняно із білим грибом (у 1,73 рази), дощовиком їстівним (у 1,39 разів) та лисичкою звичайною (у 1,64 рази). Найменші значення вмісту елементів-забруднювачів відображаються у *Cantharellus cibarius*, але і ці показники мають вагому різницю ніж ГДК у декілька разів, зокрема Cu – у 39 разів, Pb - у 11 разів, Cd – у 24 рази, Zn – у 26,7 разів. І хоча найвищі концентрації зберігаються за міддю та цинком (від 370 до 640 мг/кг; від 567 до 736 мг/кг відповідно), а найменші – за ртуттю (від 1,5 до 3,8 мг/кг), всі вони мають великі перевищення щодо затверджених ГДК у свіжих грибах.

Після обробки даних щодо коефіцієнта небезпеки ($K_{\text{нб}}$) ВМ (рис. 3.3), отримані значення елементів-поліютантів в усіх видах досліджуваних грибів значно перевищують одиницю, яка взята за оптимальну норму.

Найбільші показники мають ртуть (76), кадмій (77), мідь (64) у *Agaricus arvensis*, в той час як найменші – свинець: 11, 14,6, 16,6 у *Cantharellus cibarius*, *Lycoperdon perlatum*, *Agaricus arvensis* відповідно. Значення Cd мають більший показник ніж Cu у 1,03 та 1,20 разів у *B. edulis* та *A. arvensis* відповідно, тоді як $K_{\text{нб}}$ міді перевищує $K_{\text{нб}}$ кадмію в 1,07 та 1,63 разів у *L. perlatum* та *C. cibarius* відповідно. Усі значення коефіцієнта небезпеки Zn є вищими за значення Pb в усіх грибів. Різниця складає: у 1,13 разів – білий гриб, у 2,16 разів – дощовик їстівний, у 2,43 разів – лисичка звичайна, у 2,23 разів – печериця польова. $K_{\text{нб}}$ ртуті у 1,23 та 1,27 разів менший за $K_{\text{нб}}$ міді та $K_{\text{нб}}$ кадмію відповідно в білого гриба, у 1,1 та 1,02 разів – в дощовика їстівного, але в 1,19 та 0,99 разів більший в печериці польової.

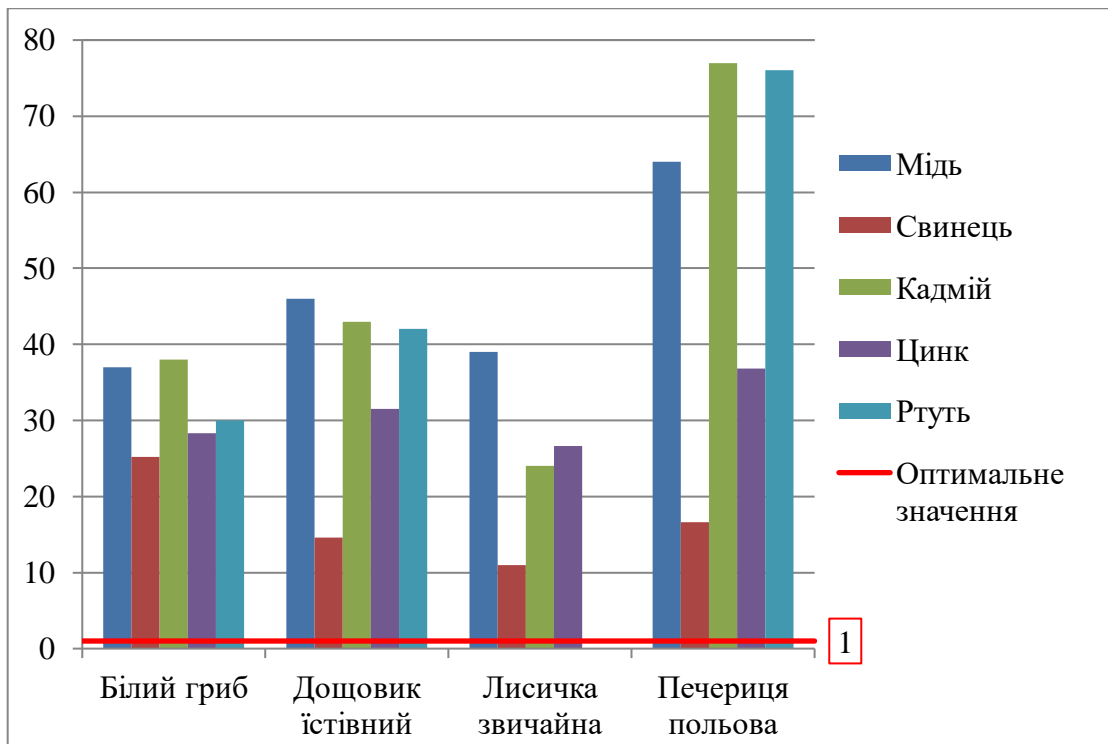


Рис. 3.3. Порівняння коефіцієнта небезпеки (K_{nb}) ВМ, виявлених у базидіоміцетах, із оптимальним значенням

3.2. Ефективність використання базидіоміцетів як індикаторів навколишнього середовища

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

Сильна варіабельність вмісту ВМ у плодових тілах базидіальних макроміцетов частково може бути пояснена еколого-трофічними особливостями і таксономічною приналежністю окремих видів [74]. При цьому треба враховувати, що сапротрофні базидіоміцети більше накопичують свинець, цинк, миш'як, ксилотрофні макроміцети – залізо, марганець, хром; симбіотрофи – кобальт [78]. Проте цей розподіл несе змінний характер. Результати даного дослідження є цьому

підтвердженням: найвищі концентрації міді, кадмію, нікелю, цинку, заліза, марганцю, хрому, ртуті та сурми були виявлені у сапротрофічних видів, в той час як тільки вміст свинцю був вищим у симбіотрофах. Для достовірності даних при порівнянні різних екосистем необхідно досліджувати однакові види грибів, а для біомоніторингу та характеристики одної – кілька видів, які досить добре продемонструють, наскільки данна місцевість забруднена ВМ.

Деякі дослідники наголошують, що вищі концентрації ВМ спостерігаються у молодих плодових тілах порівняно із зрілими грибами [75]. Базидіальні макроміцети здатні краще акумулювати метали і транспортувати їх від міцелію до плодового тіла на початку періода спороносіння. Із подальшим збільшенням маси плодового тіла, вміст ВМ зменшується. Акумуляція елементів-полютантів із повітряного середовища грибами здійснюється значно в меншій кількості з причини короткого циклу життя плодового тіла, яке зазвичай складає від 10 до 14 днів [76]. Тому існує невелика похибка в експериментальному дослідженні щодо зрілості зростання базидіоміцетів, хоч всі зразки були зібрані в один і той самий день.

У вищих грибів спостерігається вибіркковість у накопиченні металів з ґрунту, хоча суворої кореляції між концентрацією в грибах і ґрунті не виявлено. Вміст важких металів у плодових тілах грибів варіює в широких межах. У порівнянні з ґрунтом у грибах виявляють в 30 - 500 разів більше таких металів, як ртуть, кадмій, свинець тощо. За накопиченням ВМ мікологи відносять гриби до макроконцентраторів [77]. Таким чином, враховуючи період життєвого циклу та однакові умови зростання, базидіальні макроміцети можуть виступати ефективними біоіндикаторами ґрунтового покриву, який поглинув певну кількість ВМ із атмосфери, але не є занадто підходящими об'єктами для біомоніторингу повітряного середовища. Подальший розвиток технологій біоремедіації ґрунтів може забезпечити культивування базидіальних грибів у великих обсягах на підлягаючих очищенню територіях.

Для біомоніторингу будь-якої місцевості із використанням базидіоміцетів в якості індикаторів необхідно стежити за умовами, властивим досліджуваній екосистемі, а також приділяти увагу антропогенному навантаженню, яке має

безпосередній вплив на дану місцевість. Наприклад, в районах сильно забруднених ВМ, неподалік яких розташовані автотранспортні чи залізничні магістралі, підприємства гірничо-добувної, кольорової металургії, електростанції різного виду і потужності, концентрації металів не тільки в базидіоміцетах, а й у всіх об'єктах екосистеми буде мати вищий ступінь, ніж в зонах екологічно-чистих. Визначальним фактором накопичення ВМ в плодових тілах грибів є не тип лісу, а ступінь забруднення атмосфери та ґрунту внаслідок шкідливих викидів техногенної діяльності, в даному випадку, ТЕЦ-6.

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

3.3. Небезпека вживання їстівних грибів із акумульованими металами

Серед ВМ можна виділити 2 групи елементів: есенціальні, тобто необхідні організму (залізо, хром мідь, цинк та інші), і токсичні, які не несуть ніякої біологічної функції, здатні до кумуляції та спричиняють різного роду отруєння. До них відносяться, наприклад, ртуть, свинець, талій. Внаслідок споживання з їжею ВМ, зазвичай, спостерігається накопичувальний процес, хоча існує припущення, що аномальні випадки отруєнь їстівними грибами пов'язані саме з металами [79]. Як згадувалося, у плодових тілах грибів найбільше накопичуються Zn, Cu, Mn, Pb, Cr, Hg і Ni.

Концентрація цинку в плодових тілах дикорослих грибів варіює в межах 20-80 мг/кг і рідко перевищує 100 мг/кг сухої маси [81]. Цинк є есенціальним елементом. Як нестача металу, так і його надлишок, згубливо впливають на здоров'я людини. Патологічні стани, що виникають при зайвому цинку, зумовлені порушенням функції залізо- і мідьвмісних ферментів, вторинним дефіцитом кальцію. Денна

норма його надходження в організм становить 10-15 мг [81]. Цинк бере участь у поділі клітин та загоєнні уражених тканин, але за високого вмісту сприяє утворенню ракових клітин.

У плодкових тілах більшості дикорослих грибів мідь накопичується приблизно в межах 10-70 мг/кг сухої маси, але у екосистемах біля підприємств із переробки міді концентрація її в грибах досягає 300 мг/кг [82]. Надходження в організм людини міді понад 200 мг на добу викликає отруєння (особливо сульфатом міді). Гостра інтоксикація спричинена внаслідок хімічної структури сполуки. Однак, як і у випадку з цинком, навіть при вживанні в їжу грибів, що накопичують мідь у концентрації 200-300 мг/кг сухої маси, надходження в організм Cu в токсичних дозах малоймовірно. Цей біомікроелемент приймає участь у тканинному диханні та кровотворенні. Кишківник всмоктує близько 30% цього елемента, його споживання за добу має бути не більше 0,5 мг/кг (до 30 мг/кг у раціоні) за нормального вмісту в їжі молібдену і цинку, що є фізіологічними антагоністами міді [82].

Вміст кадмію в плодкових тілах більшості видів їстівних грибів, зібраних в незабруднених районах, знаходиться в межах 0,1-5,0 мг/кг сухої ваги. У промислових районах концентрація в міцелію може досягати 300 мг/кг сухої ваги, а допустима кількість кадмію для дорослої людини в день становить 1,0 мкг/кг маси тіла [83]. При концентрації Cd 5 мг/кг сухої біомаси без урахування інших джерел надходження в організм, для перевищення допустимої кількості достатньо вжити близько 200 г сирих грибів в день. Гострі отруєння кадмієм рідкісні і ймовірні при тривалому вживанні таких грибів в їжу. Елемент пригнічує роботу тіолових ензимів, завдяки зв'язуванню з реактивними групами активних центрів. Він є політропною отрутою та відноситься до токсикантів з високою здатністю акумулюватися в тканинах. Період виведення цього металу з організму – 13-40 років, а 150 мг/кг – смертельна доза для людини [83].

Концентрація свинцю в плодкових тілах грибів рідко перевищує 5 мг/кг, хоча деякі види накопичують його в концентраціях до 30 мг/кг. У випадках гіперакумуляції цього полютанта (більше 10 мг/кг сухої маси) допустиме споживання грибів становить 1-2 кг. В організмі людини свинець перешкоджає

етапу біосинтезу гема, а також володіє нейротоксичною дією. Особливо свинець небезпечний для дітей, а хронічне отруєння ним викликає порушення функцій нирок, нервової системи, анемії. Абсорбція і токсичність свинцю збільшується при нестачі в організмі кальцію, цинку і заліза. Свинець, потрапляючи в клітину, зв'язується з білками, витісняючи Zn^{2+} і Ca^{2+} , блокує карбокси-, аміно-, фосфатні, сульфгідрильні функціональні групи ферментів. Субклінічна безсимптомна форма отруєння пов'язана з підвищенням концентрації свинцю в крові і вмісту протопорфірину в еритроцитах. У разі отруєння свинцем можуть спостерігатися як загальні (зростання чутливості до інфекції, зменшення тривалості життя), так і специфічні порушення, що проявляються в нефрологічних та енцефалопатичних змінах [84]. За перорального надходження свинець, залежно від сполуки, засвоюється дорослими на 10%, а дітьми – на 20%. Максимально допустимим рівнем для організму людини має бути концентрація у межах 0,0004–0,005 мг/кг [73].

Хром рідко накопичується в грибах у концентраціях понад 10 мг/кг сухої маси. Вважається, що тривалентний хром у вигляді комплексу з ніотиновою кислотою і аліфатичними амінокислотами функціонує в організмі в якості «фактора толерантності до глюкози», тобто посиленні гіпоглікемічної дії інсуліна [84]. Механізм токсичності хроматами зумовлений проникненням в клітину і взаємодією з нуклеїновими кислотами. Двовалентний Cr всередині клітини окислюється до тривалентного, приводячи до хромосомних аберацій.

Концентрація ртуті в грибах рідко перевищує 10 мг/кг сухої маси, але в забруднених районах вміст в плодових тілах може досягати 200 мг/кг сухої ваги. Згідно з рекомендаціями ВООЗ допустима концентрація ртуті при надходженні в організм з їжею для дорослої людини становить 5 мкг/кг маси тіла [73]. Ртуть – це тіолова отрута, чим і пояснюється поліморфність клінічних проявів при гострих і хронічних інтоксикаціях. Гриби, зібрані в районах антропогенного навантаження, можуть бути джерелом надходження ртуті, як токсичного чинника малої інтенсивності.

Нікель відіграє важливу роль в гормональній регуляції організму і входить до складу провідних ферментів. Його надлишок, як і нестача, негативно позначається на функціональності імунної системи. Механізм токсичності Ni, обумовлений змінним ступенем окислення, спричиняє блокування окислювальних ферментів. Для перевищення допустимої концентрації нікелю (рекомендована споживання ВООЗ 2,1 мг на тиждень для дорослої людини), достатньо спожити 3 кг сирової маси грибів, що накопичують цей метал в надмірних кількостях [73].

Детоксикація металів шляхом їх хелатування специфічними білками і особливо зв'язування металів на поверхні клітинної стінки, ймовірно, може знижувати їх токсичність при вживанні в їжу. Серед метаболітів грибів, які беруть участь в детоксикації металів, небажаним для організму людини є щавлева кислота. Щавлева кислота міститься в плодових тілах дуже багатьох видів грибів. У деяких видів їстівних грибів, наприклад *Agaricus bisporus*, *Boletus armeniacus*, *Boletus edulis*, *Boletus reticulatus*, *Suillus variegates*, *Marasmius oreades*, її вміст в плодових тілах досягає 15-50 мг/кг сухої ваги міцелію, а під впливом металів її кількість може зростати [85]. Щодо метиленової ртуті, то вона накопичується в дуже низьких концентраціях, рідко досягаючи 16% від загального обсягу ртуті, тому отруєння нею мало ймовірно.

Концентрація ВМ у грибах у процесі зберігання і кулінарної обробки може знижуватися. Відомо, що очищення, миття та термічна обробка зменшує вміст ртуті і кадмію приблизно на одну третину [82].

3.4. Висновки до розділу

При порівнянні значень концентрацій ВМ у досліджених базидіальних макроміцетів між собою та із даними інших авторів, можна стверджувати, що найнебезпечнішими (за обставини включення у трофічні ланцюги) є представники родів родини *Agaricaceae* (печерицеві). Найбільший вміст таких елементів, як мідь, кадмій, цинк, залізо, марганець, ртуть та сурма спостерігався саме у плодових тілах печериці польової. Дошовик їстівний, загалом, є базидіоміцетом, який накопичує

відповідні метали, що зумовлено його невибагливістю проростання та механізмами біосорбції. Найвищі концентрації Ni та Cr зосереджені саме в *L. perlatum*, а Pb мав найбільшу концентрацію в *B. edulis*. Склад *C. cibarius* показав найнижчі значення всіх акумульованих ВМ, крім Cu, Cr та Zn.

Досліджено, що концентрації виявлених ВМ у плодових тілах родів сапрофітних грибів *Agaricus* та *Lycoperdon* були переважно вищими, ніж в плодових тілах родів симбіотрофних грибів *Boletus* і *Cantharellus*. Значення концентрацій елементів, характерних для видів родів можна розташувати в ряд: *Agaricus* > *Lycoperdon* > *Boletus* > *Cantharellus*.

Слід відмитити, що усі значення накопичених грибами ВМ перевищують зазначену норму ГДК на них. Коефіцієнт небезпеки ($K_{нб}$) також має поза межові показники щодо металів в усіх базидіоміцетах. Найменші значення $K_{нб}$ серед елементів займав свинець, а серед грибів – лисичка звичайна, в якого єдиного не було виявлено концентрації ртуті та стибію.

Високий рівень біосорбції грибами таких елементів-забруднювачів, як Cr, Pb, Ni спричинений факторами особливості та специфічності їх місця зростання і показує наскільки екосистема прилеглого лісу оз. Алмазне піддається шкідливому антропогенному навантаженню ТЕЦ-6. Однак висока біоаккумулятивна здатність досліджуваних видів базидіальних грибів дає змогу успішно застосовувати їх для визначення стану екології довкілля і рівня його забруднення, тобто біоіндикації.

Визначено, що вміст тих чи інших високотоксичних металів у базидіоміцетах головним чином зумовлений факторами антропогенного навантаження. Безпечність вживання їстівних грибів насамперед визначається місцем їх зростання. Тому для зменшення ризику отруєнь, слід збирати тільки загальновідомі їстівні гриби в екологічно чистих зонах, віддалених від промислових підприємств, сміттєзвалищ, автомагістралей та залізничних шляхів, територій із підвищеним радіаційним фоном.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при дослідженні впливу важких металів на базидіальні макроміцети

Проаналізувавши умови праці при виконанні експериментальної частини дипломної роботи у лабораторії НАУ кафедри біотехнології, на базі якої проводилось визначення концентрацій ВМ та дослідження їх впливу на базидіальні гриби, було виявлено ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які впливають на здоров'я і працездатність персоналу. Згідно ГОСТ 12.0.003-74 на працівника у лабораторії діяли фізичні та хімічні небезпечні виробничі фактори. До фізичних належать підвищені запиленість та загазованість повітря робочої зони, підвищений рівень електромагнітного випромінювання, підвищена температура повітря в робочій зоні тощо [86].

Одним із головних небезпечних виробничих факторів лабораторії є *недостатній рівень повітрообміну*. Вентиляційні системи не забезпечують сталої температури, відносної вологості, швидкості руху повітря, ГДК шкідливих газоподібних речовин. Для підтримки постійного мікроклімату, окрім витяжного шкафу, в лабораторії необхідно встановлювати припливно-витяжну систему вентиляції. Згідно ДБН В.2.5-67:2013, щілини трубовідводів для видалення повітря із верхньої зони приміщення потрібно розміщувати під стелею або покриттям, але не нижче 2 м від підлоги до низу щілин [87].

Для дослідження вмісту ВМ у грибах в лабораторії використовувались прилади, які виступають головними джерелами *підвищеного рівня електромагнітного випромінювання (ЕМВ)*: спектрофотометр AAnalyst 800, мікрохвилівка, а також комп'ютер для обробки даних. Відповідно до СанПіН 2.2.4/2.1.8.055–96 організм людини найбільш чутливий до електромагнітного поля,

яке знаходиться на частотах 40-70 ГГц. Щільність потоку енергії при 8-годинному часу роботи має бути не вище 25 мкВт/см² [88].

Дослідження проводилось в теплий період року, коли оптимальною і допустимою температурою повітря є температура 21-23° С при відносній вологості 40-60% та швидкість руху повітря 0,1 м/с згідно із ДСН 3.3.6.042-99 [89]. Джерелами підвищених параметрів мікроклімату в лабораторії були електрична плитка, сушильна шафа, термостати, автоклави, екзотермічне виділення газів. За таких умов температура повітря складала 34° С, що значно перевищує норму.

Так, як діяльність працівника в лабораторії відноситься до II розряду зорової роботи (А-2) дуже високої точності із найменшим розміром об'єкта розрізнення від 0,15 до 0,3 мм, то згідно ДБН В.2.5-28:2018 значення показника освітленості робочої поверхності має бути 400 лк із горизонтальною площиною з висотою 0,8 м над рівнем підлоги, а зальне штучне освітлення лабораторії повинно складати 750 лк [90]. Фактичне значення освітлення було досягнуто завдяки 4 люмінесцентних ламп потужністю 30 Вт і складало 500 лк, що не задовільняє вимогам відповідного розряду зорової роботи та свідчить про *недостатню освітленість робочого місця*.

Під час виконання експериментальної частини дипломної роботи на організм працівника впливали *хімічні* небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Хімічні речовини, що використовувалися дослідником, відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 за характером впливу на організм людини поділяються на токсичні та подразнюючі хімічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори [86].

До групи *токсичних хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів* належить спирт етиловий, що застосовується при дезінфекції інструментів. Етиловий спирт належить до IV-го класу небезпеки, а його ГДК у повітрі робочої зони згідно ГОСТ 12.1.005-88 становить 1000 мг/м³ [91]. До цієї групи відносять також ацетон, що використовувався для миття хімічного посуду. Ацетон відносять до IV-го класу небезпеки із встановленим ГДК у повітрі робочої зони – 200 мг/м³.

До групи *подразнюючих хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів* належить діоксид азоту, що виділявся під час нагрівання азотної кислоти при мокрому озоленні грибів. За ступенем дії на організм людини ця шкідлива

речовина входить до III-го класу небезпеки і є речовиною з різконаправленим механізмом дії, що потребує автоматичного контролю за вмістом у повітрі. Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 ГДК пари становить 2 мг/м^3 [91].

4.2. Технічні та організаційні заходи для зменшення рівня впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів при дослідженні впливу важких металів на базидіальні макроміцети

Для збільшення рівня повітрообміну, а саме підтримки оптимального іонного складу повітря, зменшення ступеню забруднення пилом, видалення небезпечних і шкідливих газоподібних речовин в лабораторії рекомендовано дотримуватись таких заходів як [87]:

- при проектуванні вентиляції і кондиціонування повітря лабораторії відносну вологість внутрішнього повітря з економічних міркувань рекомендується приймати: для теплого періоду року - в межах від 60 до 45%; для холодного періоду року - в межах від 45 до 30%;
- при будівництві приміщення встановлювати припливно-витяжну систему вентиляції, а також необхідну кількість місцевих над робочими місцями;
- застосовувати вентилятори, фільтри, клапани, іонізатори повітря відповідних потужностей;
- об'ємно-планувальні рішення будівель і споруд, в яких є виділення шкідливих речовин і надлишки явного тепла більше $20 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{год}$ повинні прийматися такими, щоб в приміщеннях не утворювалися непровітрювані, застійні зони;

Зовсім невеликої дози *електромагнітного випромінювання (ЕМВ)* достатньо для нанесення шкоди здоров'ю працівника. Тому для зменшення небажаної дії цього фактору слід використовувати джерела ЕМВ радіочастотного діапазону із максимумом високочастотної потужності 5 Вт для частот $30 \text{ кГц} - 30 \text{ МГц}$; 2 Вт – 30 МГц ; $0,2 \text{ Вт}$ – $30 \text{ МГц} - 300 \text{ ГГц}$ [88]. Забороняється розміщувати джерела ЕМВ, які матимуть безпосередню дію на сусідні робочі місця, приміщення, будівлі,

території. Доречне використання засобів, що поглинають електромагнітну енергію на робочому місці персоналу. Це, наприклад, можуть бути поглиначі потужності, екрани, генератори мінімально необхідної потужності. Наразі дедалі більше вдосконалюються елементи техніки, особливу увагу приділяють антибліковим фільтрам на екранах дисплеїв, що зменшує ризик небезпеки і захищає від небажаної дії ЕМВ. При роботі із приладами, що розповсюджують дозу ЕМВ, слід обирати раціональні режими роботи такого устаткування. Окрім цих заходів, персонал, який працює з таким обладнанням, має бути захищений відстанню і часом, а також має використовувати засоби індивідуального захисту (захисні окуляри, шлеми, щитки, комбінезони, халати тощо).

При тривалій дії *підвищеної температури повітря в робочій зоні* самопочуття працівника може погіршитись і призвести до перегріву, втоми, втрати свідомості. Тому лабораторія повинна бути оснащена збалансованою системою отоплення і кондиціонування повітря. Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 температура внутрішніх поверхонь робочої зони (стіни, підлога, стеля), технологічного обладнання, зовнішніх поверхонь устаткування, огорожуючих конструкцій не повинна виходити більш ніж на 2 °С за межі оптимальних величин температури повітря для даної категорії робіт [89].

У приміщеннях із значними площами закслених поверхонь передбачаються заходи щодо захисту від перегрівання при попаданні прямих сонячних променів в теплий період року (орієнтація віконних прорізів схід — захід, улаштування жалюзі та ін.), від радіаційного охолодження — в зимовий (екранування робочих місць). При температурі внутрішніх поверхонь огорожуючих конструкцій, закслення нижче або вище допустимих величин робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше 1 м.

При наявності джерел тепловипромінювання вживають комплекс заходів з теплоізоляції устаткування та нагрітих поверхонь за допомогою теплозахисного обладнання. В залежності від принципу дії теплозахисні засоби поділяються на тепловідбивні, тепловбираючі, тепловідвідні та комбіновані. В залежності від особливостей технологічних процесів застосовують прозорі, напівпрозорі екрани.

Вибір теплозахисних засобів обумовлюється інтенсивністю та спектральним складом випромінювання, а також умовами технологічного процесу.

Відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99, в лабораторії кафедри біотехнології встановлені місцеві вентиляційні системи, представлені у вигляді витяжних шаф [89]. В сушильній шафі та термостаті передбачена теплоізоляція для уникнення теплового опромінювання лаборантів. В теплий період року працює система кондиціонування повітря.

При неможливості технічними засобами забезпечити допустимі гігієнічні нормативи опромінювання на робочих місцях використовуються засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) — спецодяг, спецвзуття, ЗІЗ для захисту голови, очей, обличчя, рук. Для профілактики перегрівання працюючих в умовах нагріваючого мікроклімату організовують раціональний режим праці та відпочинку.

Рекомендованими приладами для вимірювання температури повітря є ртутні термометри, відносної вологості повітря – аспіраційні психрометри, температури поверхні – термопари, швидкості руху повітря – анемометри ротаційної дії, інтенсивності інфрачервоного опромінювання – актинометри та термостовбці, барометричного тиску – барометром.

Для підвищення рівня освітленості робочого місця у адміністративних будівлях підприємств, до яких відноситься лабораторія кафедри біотехнології, застосовують систему загального штучного освітлення, використовують виключно джерела світла із колірною температурою від 2400 К до 6800 К, а інтенсивність ультрафіолетового опромінювання не повинна перевищувати 0,03 Вт/м² згідно нормам ДБН В.2.5-28:2018 [90]. Менше 320 нм випромінювання не допускається.

В приміщеннях слід застосовувати найбільш енерго-економічні джерела світла з найбільшою світловіддачею та строком служби без зниження якості освітлювального устаткування. Однією з важливих вимог є забезпечення правильного взаємного розташування світильників щодо робочих поверхонь, обмеження яскравості, або збільшення частини поверхні світильного елемента, враховуючи коефіцієнт відбиття матеріалів обробки стелі та стін.

Для місцевого освітлення робочих місць лабораторії слід використовувати світильники з відбивачами, що не просвічуються. Світильники повинні розташовуватися так, щоб їх елементи, які світяться, не потрапляли в поле зору працюючого персоналу на освітленому робочому місці і на інших робочих місцях. Місцеве освітлення робочих місць повинно бути обладнане регуляторами освітлення.

Для того, щоб зменшити вплив шкідливої дії хімічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів на здоров'я персоналу насамперед в лабораторії повинні бути встановлені ефективні загальні і місцеві витяжні вентиляції приміщень і робочих місць, замінені хімічні небезпечні виробничі процеси на безпечні або менш небезпечні шляхом встановлення новітніх технологій малого ризику. Зберігання хімічних реактивів та речовин потрібно здійснювати у спеціально відведених для цього місцях в стерильному посуді із щільно примикаючими гумовими пробками для зменшення можливості летючості відповідних речовин. Слід вдосконалювати наявні технології комплексною механізацією та автоматизацією процесів, що супроводжуються шкідливими виділеннями. Необхідно проводити контроль вимірювання концентрацій шкідливих хімічних речовин у повітрі робочої зони згідно методам та засобам, що відповідають вимогам ГОСТ 12.1.016-79 [92].

Перед початком роботи кожен працівник повинен отримати відповідну підготовку в галузі безпеки та гігієни праці, зокрема, у формі подання інформації та інструкцій стосовно до робочого місця або виконуваної роботи, а також пройти необхідний медичний огляд для допуску в лабораторію. До перебування персоналу в лабораторії повинні бути допущені особи, яким виповнилося 18 років, мають відповідну освіту, користуються засобами індивідуального захисту – халатом, резиновими рукавичками, змінному взутті, одноразовими маскою та шапочкою, протигазами та респіраторами, антисептиками тощо. Для запобігання отруєнь та помилки користування усі ємності повинні мати етикетку з назвою реактиву, хімічною формулою, датою, токсичністю. Відходи хімічних реактивів та органічних розчинників зберігаються у спеціальних контейнерах [93]. Мінімальне число

персоналу в лабораторії при виконанні небезпечних робіт та вночі повинне бути не менше двох осіб.

Обов'язковою вимогою для приміщення є розташування укомплектованої аптечки на доступному місці із засобами першої медичної допомоги [95]. В лабораторії повинні бути передбачені заходи для того, щоб працівники отримали можливість обстеження здоров'я в зв'язку з ризиком для їх безпеки і здоров'я, якому вони піддаються в процесі роботи, відповідно до національного закону.

4.2.1. Розрахунок загального штучного освітлення для нормалізації умов робочого приміщення – лабораторії кафедри біотехнології НАУ

В лабораторії кафедри біотехнології НАУ не досягнуто оптимального ступеню освітленості робочої зони приміщення внаслідок нестачі штучного освітлення. Фактичне значення цього фактору було досягнуто завдяки 4 люмінесцентних ламп потужністю 30 Вт і складало 500 лк, що не задовільняє вимогам II розряду зорової роботи (А-2) згідно ДБН В.2.5-28:2018 [90]. Як результат, світловий потік розсіюється не в одному напрямку, присутня нерівномірна яскравість у полі зору, освітлення не має постійності по часу, наявний рівень напруження зору.

Спектр джерел світла повинен максимально наближатися до спектра сонячного випромінювання. Усі системи освітлення повинні забезпечувати правильне сприйняття відтінків світла, аби в робочих приміщеннях було рівномірне освітлення. Для виконання затверджених вимог, в лабораторії потрібно встановлювати крім загального освітлення, місцеве із урахуванням розташування робочих місць. Фактор освітленості повинен контролюватися не рідше 1 разу на рік.

Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 значення показника освітленості робочої поверхності має бути 400 лк, а загальне штучне освітлення повинно складати 750 лк для II розряду зорової роботи [90]. Оскільки в лабораторії були встановлені люмінесцентні лампи, а площа приміщення складає 24 м², ширина

якої 6 м, довжина – 4 м, висота – 3 м, то можливе проведення розрахунку штучного освітлення.

Скористаємося методом використання світлового потоку. Для визначення потрібної кількості світильників, які повинні забезпечити нормований рівень освітленості, визначимо світловий потік, що падає на робочу поверхню за формулою [96]:

$$F = \frac{E \times K \times S \times Z}{\eta}$$

де F – світловий потік, що розраховується, лм;

E – нормована мінімальна освітленість, лк; $E = 750$ лк;

S – площа освітлюваного приміщення (у даному випадку $S = 24$ м²);

Z – відношення середньої освітленості до мінімальної ($Z = 1,2$);

K – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в даному випадку $K = 1,3$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку, що залежить від характеристик світильника, розмірів приміщення, забарвлення стін, стелі, робочої поверхні, що характеризуються коефіцієнтами відбиття від стелі ($\rho_{\text{стелі}}$), стін ($\rho_{\text{ст}}$), підлоги ($\rho_{\text{п}}$), значення коефіцієнтів дорівнюють $\rho_{\text{стелі}} = 0,7$; $\rho_{\text{ст}} = 0,5$; $\rho_{\text{п}} = 0,3$;

Обчислимо індекс приміщення за формулою:

$$I = \frac{S}{h(A + B)}$$

де S – площа приміщення, $S = 24$ м²; h – розрахункова висота підвісу, $h = 2,9$ м; A – ширина приміщення, $A = 6$ м; B – довжина приміщення, $B = 4$ м.

Підставивши значення отримаємо:

$$I = \frac{24}{2,9(6 + 4)} = 0,83$$

Знаючи індекс приміщення I , за таблицею згідно [84] для типу світильника ЛПО знаходимо $\eta = 0,38$.

Підставимо всі значення у формулу для визначення світлового потоку F :

$$F = \frac{750 \times 1,3 \times 24 \times 1,2}{0,38} = 73\,895 \text{ лм}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу ЛБ 80, світловий потік яких $F_{\text{л}} = 5400$ лм. Розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}}$$

де N – кількість ламп, що визначається; F - світловий потік, $F = 73\,895$ лм; $F_{\text{л}}$ - світловий потік лампи, $F_{\text{л}} = 5400$ лм.

$$N = \frac{73\,895}{5400} = 14$$

В приміщенні встановлені світильники типу ЛПО, які використовуються у лабораторіях вищих навчальних закладів. Кожен світильник комплектується двома лампами. Тому при виконанні подібних науково-дослідних робіт необхідною та достатньою умовою успішної роботи є застосування 7 світильників із 14 працюючими лампами в них.

4.3. Забезпечення пожежної та вибухової безпеки під час дослідження впливу важких металів на базидіальні макроміцети

Ймовірними джерелами пожежі під час виконання експерименту в лабораторії можуть бути: виникнення полум'я внаслідок перенапруги електричного обладнання (центрифуги, УФ-лампи, електричні плити, автоклави) та короткого замикання проводів при необачному використанні води; займання легкоокисних органічних та неорганічних речовин (етанол у спиртовому пальнику або ацетону для стерилізації) при контакті з вогнем або з окисниками внаслідок порушення правил зберігання легкозаймистих речовин, використанні відкритого полум'я, підключенні до мережі приладів, непередбачених для дозволу або несправність існуючих у лабораторії [93].

Для запобігання небажаних наслідків виникнення пожежі в приміщенні мають бути в наявності відповідні технічні засоби протипожежного захисту

(протипожежний водопровід, насосні станції, установки пожежної сигналізації, автоматичне пожежогасіння, димовидалення, вогнегасники тощо) із певним порядком їх організації, експлуатації і обслуговування. Згідно НАПБ А.01.001-2004, повинні бути відведені спеціальні місця для зберігання і допустима кількість сировини, напівфабрикатів та готової продукції, які можуть одночасно знаходитися у виробничих приміщеннях і на території (у місцях зберігання).

Щоб забезпечити безпечне перебування персоналу щодо пожежних та вибухових випадків в лабораторії потрібно проводити наступні організаційні заходи [94]:

- у будівлях, котрі мають два поверхи і більше, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб мають бути розроблені і вивішені на видних місцях плани (схеми) евакуації людей на випадок пожежі;
- на видних і доступних місцях повинні бути встановлені таблички із зазначенням порядку виклику пожежної охорони, знаки місць розміщення первинних засобів пожежогасіння, схема руху транспорту, в якій слід вказувати розміщення будівель, водойм, гідрантів, пірсів та градирень;
- отвори у протипожежних стінах, перегородках та перекриттях повинні бути обладнані захисними пристроями (протипожежні двері, вогнезахисні клапани, водяні завіси тощо) проти поширення вогню та продуктів горіння;
- евакуаційні шляхи і виходи повинні втримуватися вільними, нічим не зашарашуватися і у разі виникнення пожежі забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівлі;
- застосування матеріалів та речовин, на які відсутні дані щодо пожежної небезпеки, забороняється;
- не допускається встановлювати будь-які пристрої, що перешкоджають нормальному зачиненню протипожежних та протидимних дверей, а також знімати пристрої для їх самозачинення;
- усі працівники повинні проходити обов'язкові періодичні інструктажі з питань пожежної безпеки;

– для індивідуального захисту персонал лабораторії, де в технологічних процесах використовуються легкозаймисті, горючі рідини або газу, повинен бути забезпечений комплектом спеціального термозахисного одягу.

4.4. Висновки до розділу

Проаналізувавши умови праці при виконанні експериментальної частини дипломної роботи у лабораторії кафедри біотехнології НАУ можна виділити ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які впливають на здоров'я і працездатність людини. Відповідно до ГОСТ 12.0.003–74 на працівника у лабораторії діяли фізичні та хімічні небезпечні виробничі фактори. В лабораторії проводяться заходи щодо дотримання усіх норм та правил протипожежної та вибухової безпеки.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1. Антропогенні джерела надходження важких металів у екосистеми

Щорічно підприємства України скидають близько 17,74 млрд м³ стічних вод, 1,7 млрд т твердих відходів, в атмосферу потрапляють 9 млн т забруднювачів [97]. Стан геологічного середовища в значній мірі визначають техногенні фактори, обумовлені технологічними циклами підприємств гірничодобувної, енергетичної, переробної промисловості і сільського господарства. Максимальному техногенному навантаженню викидів ВМ піддається геологічне середовище Донецької, Дніпропетровської, Запорізької областей з найбільшою кількістю підприємств гірничодобувної, металургійної, машинобудівної та хімічної промисловості.

Основою функціонального зонування промислових ландшафтів (ПЛ) прийнята система якісних параметрів техногенної концентрації ВМ у місцях накопичення і зберігання відходів. Згідно типу промислової діяльності та галузі використання відходів, техногенні ландшафти об'єднані в 2 групи. Перша – ПЛ з відходами, які містять або можуть містити високі (до рівня промислових) концентрації ВМ, завдяки чому їх використовують або можуть використовувати для видобутку металів; друга – ПЛ з відходами, які не можуть містити значних концентрацій ВМ і не розглядаються в якості їх техногенного джерела. Ландшафти першої групи є регіональними джерелами техногенної концентрації ВМ і екологічно небезпечного антропогенного забруднення компонентів довкілля. Вплив на забруднення навколишнього середовища ВМ ландшафтів другої групи можна розглядати як безпечний [98].

Промислові ландшафти України з екологічно небезпечними відходами обумовлені 17-ма типами підприємств: чорної і кольорової металургії, нафтопереробки, енергетики, машинобудування, хімії та коксохімії, приладобудування, шахтовидобутку, збагачувальних підприємств і фабрик,

вагоноремонтних і судноремонтних підприємств, графітових кар'єрів, гірничодобувних підприємств (заліза, сірки, солей, графіту тощо). Промислові ландшафти України з екологічно безпечними відходами пов'язані з технологічними циклами 16-ох типів підприємств: цукрової промисловості, цементної і керамзитовою промисловості, каменедробильних і підприємств сипучих будматеріалів, керамічної і тютюнової промисловості, кар'єрів нерудної сировини (гранітів, мігматитів, пісковиків, озокериту та ін.). Всього нараховується 1240 ПЛ підприємств України, з числа яких до першої групи віднесено 502 підприємства, до другої – 738 [98].

Еколого-геохімічний аналіз стану навколишнього середовища України показав результати, які були отримані завдяки визначенню регіональної еколого-геохімічної параметризації ґрунтів, поверхневих вод і донних відкладень за показниками сумарного забруднення (СПЗ) та природної екологічної безпеки (ППЕБ). Регіональний еколого-геохімічний стан навколишнього середовища України, включаючи техногенні ПЛ, було оцінено за результатами розрахунків СПЗ і ППЕБ 2760 проб ґрунту, 5588 проб донних відкладень і 4933 проб поверхневих вод [99]. Території ПЛ обох зазначених вище груп характеризує інтервал забруднення від помірного (СПЗ = 16–32) до надзвичайно небезпечного (СПЗ >128), що обумовлено особливостями техногенної концентрації і формування техногенних ореолів розсіювання ВМ. Стан екологічної безпеки природних і природно-техногенних ландшафтів, просторово пов'язаних з промисловими, визначається інтервалом від нормального (ППЕБ <16) до надзвичайно небезпечного (ППЕБ >128), що обумовлено особливостями поширення техногенних ореолів розсіювання ВМ.

Викиди промислових підприємств різного профілю, транспортна інфраструктура суттєво змінюють природний геохімічний фон міської території. Техногенне забруднення ґрунту обумовлює особливий тип розподілу металів у поверхневих горизонтах [98]. Специфіка виробничої діяльності, розвинена транспортна інфраструктура визначають елементний склад забруднення навколишнього середовища тої чи іншої місцевості та прилеглих територій ВМ, серед яких велика частина викидів припадає на Fe, Zn, Cr, Pb, Mn, Cu, Ni.

При екологічній оцінці міської території одним з найбільш інформативних об'єктів вивчення є ґрунтовий покрив, що поглинає забруднення, які надходять протягом тривалого періоду. Ґрунт є найбільш чутливим індикатором забруднення ландшафтів в силу свого матеріального складу і фізико-хімічних параметрів. Найважливіше значення ґрунтів полягає в акумулюванні органічної речовини, різних хімічних елементів, а також енергії. Ґрунтовий покрив виконує функції біологічного сорбента, руйнівника і нейтралізатора різних забруднень. Також ґрунт відіграє найважливішу роль в житті суспільства, оскільки він являє собою джерело, що забезпечує 95-97% продовольчих ресурсів для населення [99].

Забруднення ґрунтового покриву металургійним виробництвом відбувається через атмосферу. Викиди при високотемпературних металургійних процесах містять значну кількість пилу, яка є джерелом надходження ВМ в навколишню середовище [97]. Основна частина грубодисперсного металургійного пилу випадає з атмосфери поблизу джерел викидів. Дрібнодисперсний пил розноситься на великі відстані, тому основним фактором вмісту ВМ в ґрунтах є віддаленість від заводів чорної та кольорової металургії.

Принцип нормування хімічних речовин в ґрунті значно відрізняється від принципів, покладених в основу нормування їх у водоймах, атмосферному повітрі, харчових продуктах. Метали досить легко накопичуються в ґрунті, беруть участь у біогеохімічних циклах, але вкрай повільно виводяться з них. Наприклад, період напіввиведення цинку з ґрунтових покривів становить 500 років, міді – до 1500 років, свинцю – кілька тисяч років [98].

Ґрунт та річкові води промислових міст за хімічним складом значно відрізняються від природних ресурсів. Чорна та кольорова металургія, енергетика, нафтова промисловість, вихлопи транспорту є джерелами викидів в атмосферу різних забруднюючих речовин. Негативний вплив ВМ на ґрунт полягає в погіршенні структури, агрохімічних властивостей. Відбувається пригнічення рослин, зростає роль спорозноних грибів і бактерій. Потрапляючи в водойми і річки, ці елементи впливають на водні екосистеми. Токсична дія ВМ зумовлена вираженими

комплексоутворюючими властивостями, змінною валентністю і участю в окислювано-відновних процесах.

Для людини небезпека отруєння ВМ проявляється не тільки в прямому впливі високих концентрацій, а й у віддалених наслідках. ВМ акумулюються в організмі, їх виведення проходить вкрай повільно. Вони мають токсичну дію, збільшуючи шанс виникнення онкологічних захворювань [83].

5.2. Технології ремедіації навколишнього середовища від надлишкового вмісту важких металів

В даний час найбільш розробленими є методи вилучення ВМ з промислових і побутових стічних вод, а також їх осадів. Основні способи вилучення з токсичних осадів стічних вод включають мембранні технології, зворотний осмос, електрохімічні методи, цементування, адсорбцію активованим вугіллям і твердими відходами (тирса, кора, пенокераміка і текстильні глини), випаровування, розведення, використання іонообмінних смол, відмивання ВМ синтетичними сурфактантами [100].

Універсального методу очищення ґрунтів від ВМ не існує: ефективність методу залежить від властивостей ґрунту, ступеня адаптації зростаючих рослин і цілого ряду інших факторів. Вибір конкретної технології для обробки забрудненої ділянки залежить від хімічної структури токсичних елементів та інших характеристик. Очищення ґрунтів, забруднених іонами ВМ, традиційно здійснюють із застосуванням земляних робіт – зняття пластів забрудненого ґрунту (екскавація) з подальшим розміщенням в місцях складування небезпечних відходів або на ділянках для рекультивації. Основні способи ремедіації ґрунтів, забруднених ВМ, можна розділити на три групи: обмежуючі, *ex situ* та *in situ* обробка [101].

До *обмежуючих методів* поширення забруднювача в ґрунті можна віднести побудову геоконтейнерів, механічну ізоляцію, герметизацію і вітрифікації. Затримання відкладень в обмеженій області за допомогою геоконтейнерів дає можливість обробки широкого спектру забруднень. При механічній ізоляції

відбувається побудова непроникного бар'єру, що запобігає переміщенню потоку рідини в рідких відходах. Герметизація полягає у введенні реактивів для затвердіння рідких відходів і перетворення їх у інертні. Вітрифікація зумовляє перетворення забруднення в склоподібні речовини за допомогою електроенергії, застосовується при поверхневому забрудненні ґрунтів нелетючими сполуками ВМ і відходами скла. Дані методи сприяють утриманню забруднювача в строго визначеному місці і запобігають інтродукції високотоксичних іонів ВМ у об'єкти природного середовища.

До методів *ex situ* відносять фізичну сепарацію, відмивання і пірометалургійну обробку ґрунту, забрудненого ВМ. Фізична сепарація включає вспінювання, флокуляцію, гравітаційне розділення, просіювання тощо. Дані способи знайшли своє застосування при високих концентраціях забруднення ВМ. *Ex situ* відмивання ґрунту зумовляє додавання сурфактантів та інших солюбілізуючих агентів, що використовується для піску, гравію та ґрунту, забруднених водорозчинними сполуками ВМ. Пірометалургійна обробка – це високотемпературна екстракція, що використовується при високих концентраціях забруднювача в ґрунті (5–20%) [102]. Застосування даних методів обмежене, так як для їх реалізації необхідні спеціально обладнані території.

Побудова ізолюючих водопроникних бар'єрів, електрокінетична обробка, відмивання ґрунту *in situ*, біологічне вилуговування і фіторемедіація – методи, що відносять до групи ремедіації ґрунтів *in situ*. Створення водопроникного бар'єру передбачене для ґрунтових вод, забруднених ВМ. При відмиванні ґрунту *in situ* мають на увазі вилуговування забруднювача при промиванні підґрунтових горизонтів, забруднених розчинними сполуками ВМ. Електрокінетична обробка зумовлена застосуванням електричного струму в глибоких шарах ґрунту з низькою рухливістю ґрунтових вод. Під біологічному вилуговуванні розуміють використання бактерій для збільшення ступеня вилуговування піску, гравію і ґрунту при низьких рівнях забруднення ВМ. Фіторемедіація – це метод посіву рослин із чітко вираженими акумулюючими властивостями для біосорбції металів. Фіторемедіація включає в себе 4 основні підходи і, відповідно, поділяється на 4 технології: різно-

фітофільтрація, фітоекстракція, фітостабілізація і фітовипаровування [103]. Відповідно до вибору рослин та технології, можливе використання як при незначному, так і при високому рівнях забруднення поверхневих шарів ґрунту і водою. Для оцінки ефективності застосування різних рослин для фітореMediaції використовуються наступні показники: індекс толерантності, транслокаційний і біоконцентраційний чинники. Методи ремедіації ґрунтів *in situ* є досить дорогими, але правильно підібране їх поєднання дозволяє ефективно вилучити ВМ і відновити ґрунт.

Технологія вилучення ВМ з ґрунту, заснована на застосуванні біосурфактантів, є екологічно безпечною і перспективною альтернативою на противагу традиційним фізико-хімічним методам. З урахуванням потенційної ефективності використання біосурфактантів для очищення забруднених ВМ ґрунтів при проведенні біоремедіації необхідно також враховувати той факт, що на сорбцію ВМ з ґрунту впливають: хімічна структура, розмір міцели біосурфактанта, тип і значення рН ґрунту, склад і ступінь забруднення тощо [104].

Ефективними біосорбентами таких металів, як Ag, Au, Cd, Co, Cr, Ni, U, Th, Zn, є дріжджі родів *Saccharomyces*, *Candida*, *Pichia*. Дріжджова біомаса може бути отримана за допомогою використання багатьох промислових процесів, що значно зменшує вартість сорбенту. Не тільки дріжджі, а й міцеліальні мікроміцети здатні видаляти ВМ з водних середовищ. Дана здатність до біосорбції Pb, Cd, Ni, Cr виявлена у *Rhizopus arrhizus* і *Aspergillus niger* [105].

Альтернативою традиційних способів очищення земель, забруднених ВМ, є метод біоремедіації за допомогою біологічно активних препаратів, до складу яких входять штами грибів-деструкторів або акумуляторів, які також виступають біоіндикаторами місцевої ґрунтової мікрофлори. Завдяки чудовим біосорбуючим властивостям базидіальних макроміцетів, стійкі та адаптовані штами до високих концентрацій ВМ можуть бути залучені в технології видалення токсичних елементів з ґрунту прилеглих територій підприємств антропогенного навантаження, які є джерелами таких елементів.

5.3. Висновки до розділу

Отже, загальний аналіз впливу ВМ антропогенних джерел на стан навколишнього середовища показує, що практично всі види підприємств важкої промисловості формують відходи, що містять широкий і різноманітний спектр токсичних елементів. Тому в даний час для видалення цих елементів із таких природних об'єктів, як ґрунтовий покрив і водойми, існує досить велика різноманітність методів їх очищення та ремедіації, які в основному ділять на фізичні та біологічні. В той час як фізичні способи ремедіації пов'язані з утворенням великої кількості токсичних шлаків, є дорогими і складними у виконанні, біологічні дозволяють видаляти ВМ без додаткового навантаження на екосистеми. Серед ефективних та еколого–економічних методів біоремедіації увагу привертають фіторемедіація, застосування біосурфактантів, міцеліальних міксоміцетів, базидіальних грибів тощо.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши літературні джерела було з'ясовано, що захист грибів від позамежових концентрацій ВМ зумовляє екстраклітинне хелатування металів. Біосорбція забезпечується за допомогою транспортних систем зв'язування із білками фітохелатинами, металотіонеїнами, а також полімерами клітинної стінки, такими як хітин і меланін. Важливе значення при адаптації базидіоміцетів до існування в середовищі з підвищеним вмістом ВМ і їх акумуляції відіграє щавлева кислота.

2. Визначено, що основними факторами біоакуюючої здатності грибів є вік міцелію і час споруутворення, концентрація металів у середовищі, симбіотичних видів рослин, клімату та умов місцевості. Поглинання та накопичення ВМ значною мірою залежить від еколого-трофічних особливостей і таксономічної приналежності окремих видів.

3. Розглянуто перспективність використання базидіоміцетів в якості сировини для створення ряду біопрепаратів у різних галузях господарства. У фармації досліджувані види та/або їх біоактивні компоненти можуть бути покладені в основу багатьох лікарських засобів, зокрема *B. edulis* – ентеросорбентів токсичних речовин, агарикальні гриби – антиоксидантів протирадикальної дії, *L. perlatum* і *S. cibarius* – протипухлинних та антимікробних препаратів. Окрім вищезгаданих грибів, привертає увагу застосування у медичних цілях представників родів *Flammulina*, *Pleurotus*, *Inonotus*, *Lentinus*, *Ganoderma* тощо.

4. Досліджено, що екосистема оз. Алмазного разом із прилеглою територією лісів піддається значному антропогенному впливу, що представлений шкідливими викидами і забрудненням атмосфери, спричинених діяльністю ТЕЦ-6, розташованої поблизу даної місцевості. Ряд від найбільшого до найменшого вмісту ВМ має наступний вигляд: *Agaricus arvensis* > *Lycoperdon perlatum* > *Boletus edulis* > *Cantharellus cibarius*. Це означає, що гумусові сапротрофи накопичують концентрації елементів-полютантів у вищій мірі ніж симбіотрофічні види. При

порівнянні вмісту екотоксикантів із нормами визначено, що акумульовані метали значно перевищують ГДК і коефіцієнт небезпеки ($K_{нб}$). Дані види базидіальних макроміцетов можуть успішно використовуватися в якості високоінформативних біоіндикаторов забруднення ґрунтового покриву навколишнього середовища із подальшою залученням в технології біоремедіації.

5. Виявлено, що концентрації ВМ в базидіоміцетах можуть досягати надмірних значень, тому застосування тих видів грибів, яким притаманні природні біоаккумулятивні властивості, створює потенційну небезпеку для людини. Незважаючи на виражені фармацевтичні або поживні характеристики базидіальних макроміцетів, накопичення недопустимих концентрацій елементів-поллютантів унеможлиблює як використання таких грибів при виробництві лікарських препаратів, так і вживання їх у їжу. Безвідповідальне ставлення до складу та компонентів базидіоміцетів може призвести до небажаних наслідків, загрожуючих життю людини.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Иванов А.И. Биота макромицетов лесостепи правобережного Поволжья / А.И. Иванов. – М: МГУ, 1992. – 289 с.
2. Sesli E., Tьzen M. Levels of trace elements in the fruiting bodies of macrofungi growing in the East Black Sea region of Turkey // Food Chemistry. – 1999. – Vol. 65. – №4. – P. 453–460.
3. Пельгунов А.Н. Аккумуляция тяжелых металлов грибами на территории Национального парка «Плещеево озеро» // А.Н.Пельгунов, Л.А. Пельгунова. – Поволж. экол. журн. – 2015. – № 2. – 215–219 с.
4. Иванов А. И., Костычев А. А., Скобанев А. В. Аккумуляция тяжелых металлов и мышьяка базидиомами макромицетов различных эколого–трофических и таксономических групп // А. И. Иванов, А. А. Костычев, А. В. Скобанев. – Поволж. экол. журн. – 2008 – № 3. – 190–199 с.
5. Сазанова К. В. Накопление тяжелых металлов грибами, экологическая и видовая специфичность, механизмы аккумуляции, потенциальная опасность для человека. // К.В. Сазанова, В.Д. Великова, Н.В. Столярова. – Токсикология. – Т.18, №26. – 2017. – 336–361 с.
6. Kalac P., Burda J., Staskova I. Concentration of lead, cadmium, mercury and copper in mushrooms in the vicinity of lead smelter // Sci Total Environ. – 1991. – Vol. 105. – P. 109–119.
7. Michelot D., Siobud E., Dore J.–C., Viel C. , Poirier F. Update on metal content profiles in mushrooms – toxicological implications and tentative approach to the mechanisms of bioaccumulation // Toxicon. – 1998. – Vol. 36, N 12. – P. 1997–2012.
8. Alonso J., Garcia M.A., Perez–Lopez M., Melgar M.J. The concentrations and bioconcentration factors of copper and zinc in edible mushrooms // Arch Environ Contam Toxicol. – 2003. – Vol. 44, N 2. – P. 180–188.

9. Blaudez D., Botton B., Chalot M. Cadmium uptake and subcellular compartmentation in the ectomycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. – *Microbiology*, 2000. – № 146. – P. 1109–1117.
10. Andersen A., Lykke S-E., Lange M., Bech, K. Trace elements in edible mushrooms. – *Publ 68*. – Danmark: Stat Levnedsmiddelinst, 1982. – P. 1–29.
11. Jorhem L., Sundstrom B. Levels of some trace elements in edible fungi // *Zeitschrift fur Lebensmittel-Untersuchung und – Forschung*. – 1995. – № 201. – P. 311–316.
12. Thomas K. Heavy metals in urban fungi / K. Thomas // *Mycologist*. – 1992. – N 6. – P. 195–197.
13. Сазанова К. В. Накопление тяжёлых металлов грибами / К.В.Сазанова, В.Д. Великова, Н.В.Столярова – Санкт-Петербург: 2017. – 26 с.
14. Arugete D.M., Altstadt J.H., Mueller G.M. Accumulation of several heavy metals and lanthanides in mushrooms (*Agaricales*) from the Chicago region // *The Science of the Total Environment*. – 1998. – 224. – P. 43–56.
15. Kojo M.R., Lodenius M. Cadmium and mercury in macrofungi – mechanisms of transport and accumulation // *Angew. Bot.* – 1989. – Vol. 63. – P. 279–292.
16. Егошина Т. Л. Особенности аккумуляции тяжелых металлов дикорастущими видами ягод и грибов // Скопин А. Е., Шулятьева Н. А. – Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: материалы междунар. конф. – 2004. – 128–131 с.
17. Чураков Б. П. Тяжелые металлы в представителях различных эволюционных групп грибов // Чураков Б. П., Зырянова У. П., Пантелеев С. В., Морозова Н. В. – Микология и фитопатология. – 2004. – Т. 38, вып. 2. – 68–77 с.
18. Комбрек М., Chrastná V., Љтнchовб J. Metal/metalloid contamination and isotopic composition of lead in edible mushrooms and forest soils originating from a smelting area // *Environment International*. – 2007. – Vol. 33. №5. – P. 677–684.
19. Kuusi T., Laaksovirta K., Liukkonen_Lilja H., Lodenius M., & Piepponen S. Lead, cadmium, and mercury contents of fungi in the Helsinki // *Annales Botanici Fennici*. – 1981. – Vol. 16. – P. 208–212.

20. Damodaran D., Balakrishnan R.M., Shetty V.K. The Uptake Mechanism of Cd(II), Cr(VI), Cu(II), Pb(II), and Zn(II) by Mycelia and Fruiting Bodies of *Galerina vittiformis* // BioMed Research International. – 2013. – P. 141–158
21. Źrodowski Z. The influence of washing and peeling of mushrooms *Agaricus bisporus* on the level of heavy metal contaminants // Pol. J. Food Nutr. Sci. – 1995. – Vol. 45. – P. 26–33.
22. Lodenius M., Kuusi T., Laaksovirta K. Lead, cadmium and mercury contents of fungi in Mikkeli, SE Finland // Annales Botanici Fennici. – 1981. – Vol. 18. P. 183–186.
23. Svoboda L., Zimmermannov̆ K., Kalai P. Concentrations of mercury, cadmium, lead and copper in fruiting bodies of edible mushrooms in an emission area of a copper smelter and a mercury smelter // The Science of the Total Environment. – 2000. – Vol. 246. №1. – P. 61–67.
24. Barcan V. Sh., Kovnatsky E. F., M. S. Smetannikova. Absorption of Heavy Metals in Wild Berries and Edible Mushrooms in an Area Affected by Smelter Emissions // Water, Air, & Soil Pollution. – 1998. – Vol. 103. – P. 173–195.
25. Вороніюка J., Шанда Z. Distribution of iron, cobalt, zinc and selenium in macrofungi // Mycological Progress. – 2007. – Vol. 6. №4. – P. 249–259.
26. Campos J.A., N.A. Tejera. Substrate role in the accumulation of heavy metals in sporocarps of wild fungi // Biometals. – 2009. – V. 22. – P. 835–841.
27. Simultaneous uptake of rare earth elements, aluminium, iron, and calcium by various macromycetes / T. Stijve [et al.] // Australian Mycologist. – 2001. – 20(2). – P. 92–98.
28. Clausen C.A., Green F. Oxalic acid overproduction by copper-tolerant brown-rot basidiomycetes on southern yellow pine treated with copper-based preservatives // Int. Biodeterior. Biodegrad. – 2003. – Vol. 51. – P. 139–144.
29. Das N. Heavy metals biosorption by mushrooms // Natural Product Radiance. – 2005. – P. 454–459.

30. Munir E., Hattori T., Shimada M. Role for oxalate acid biosynthesis in growth of copper tolerant wood-rotting and pathogenic fungi under environmental stress / The 55th meeting of the Japan wood research society. – 2005. – P. 1–7.
31. Pócsi I. Toxic metal/metalloid tolerance in fungi—a biotechnology-oriented approach / In: Cellular effects of heavy metals. Ed. G. Banfalvi. – London, New York, 2011. – P. 31–58.
32. Костычев А.А. Возможность использования базидиальных макромицетов в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и миш'яком / А.А Костычев. – ВЕСТНИК ОГУ – 2009. – № 1 – 108–112 с.
33. Замалетдинов Р.И. Биоиндикация и экодиагностика территорий. Учебно-методическое пособие. Краткий конспект лекций. / Р.И. Замалетдинов. – Казань: Казанский университет, 2015. – 45 с.
34. Гуменюк Г.Б. Розподіл важких металів в озері Пісочному Шацького національного природного парку // Г.Б. Гуменюк – Біологія. – 2013. – № 5. – 150–155 с.
35. Отнюкова Т.Н. Макромицеты как биоиндикаторы загрязнения окружающей среды территории г.Красноярска и его окрестностей // Т.Н. Отнюкова, А.М. Жижаяев, Н.П. Кутафьева, А.Т. Дутбаева – Вестник КрасГАУ. – 2012 – №11. – 101–113 с.
36. Поддубный А.В. Оценка качества среды по содержанию тяжелых металлов в опенке осеннем *Armillaria mellea* // А.В. Поддубный, Н.К. Христофорова. – Микология и фитопатология. – 1999. – Т. 33. – Вып. 4. – 271–275 с.
37. Самчук А.І. Природні та штучні сорбенти як індикатори забруднення довкілля важкими металами / А.І. Самчук, Г.А. Гродзинська, І.В. Кураєва, К.В. Вовк, Ю.Ю. Войтюк – Київ: Пошукова та екологічна геохімія. – 2018. – № 1 (19). – 41–45 с.

38. Горелышев Д. В. Возможность использования грибов в качестве биоиндикаторов тяжёлых металлов // Калининко А. Н. – Естественные науки и экология. – 2003. – Вып. 7. – 197–199 с.
39. Grzywnowicz, K. Medicinal Mushrooms in Polish Folk Medicine // Intern. J. Med. Mushr. – 2001. – V. 3. – P. 154.
40. Vamanu, E. *In vitro* antioxidant and antimicrobial activities of two edible mushroom mycelia obtained in the presence of different nitrogen sources / E. Vamanu // J. Med. Food. – 2013. – V. 16, № 2. – P. 155–166.
41. Phan, C.W. Lipid constituents of edible mushroom, *Pleurotus giganteus* demonstrate anti-*Candida* activity / C.W. Phan, G.S. Lee, I.G. Macreadie et. al // Nat. Prod. Commun. – 2013. – V. 8, № 12. – P. 1763–1765.
42. Rouhana-Toubi, A. Inhibitory effect of ethyl acetate extract of the shaggy in cap medicinal mushroom, *Coprinus comatus* (Higher *Basidiomycetes*) fruit bodies on cell growth of human ovarian cancer / A. Rouhana-Toubi, S.P. Wasser, A. Agbarya, F. Fares // Int. J. Med. Mushrooms. – 2013. – V. 15, № 5. – P. 457–470.
43. Krupodorova, T. Antiviral activity of *Basidiomycete* mycelia against influenza type A (serotype H1N1) and herpes simplex virus type 2 in cell culture / T. Krupodorova, S. Rybalko, V. Barshteyn // Virol. Sin. – 2009. – V. 29, № 5. – P. 284–290.
44. Lindequist, U. The pharmacological potential of mushrooms / U. Lindequist, T.H.J. Niedermeyer, W.D. Julich // Evid. Complem. Altern. Med. – 2008. – V. 2, № 3. – P. 285–299.
45. Yadomae, T. Structure and biological activities of fungal beta-1,3-glucans / T. Yadomae, Y. Zasshi // Rev. Jap. – 2000. – V. 120, № 5. – P. 413–431.
46. Wasser, S.P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides / S.P. Wasser // Appl. Microbiol. Biotech. – 2002. – V. 60, № 3. – P. 258–274.
47. Hsieh, T.C. Regulation of cell cycle transition and induction of apoptosis in HL-60 leukemia cells by the combinations of *Coriolus versicolor* and *Ganoderma lucidum* / T.C. Hsieh, J.M. Wu // Int. J. Mol. Med. – 2013. – V. 32, № 1. – P. 251–257.

48. Chihara, G. Fractionation and purification of the polysaccharides with marked antitumor activity, especially lentinan, from *Lentinus edodes* (Berk.) Sing. (an edible mushroom) / G. Chihara, J. Hamuro, Y. Y. Maeda, Y. Arai, F. Fukuoka // *Canc. Res.* – 1970. – V. 30. – P. 2776–2781.
49. Stamets, P. Novel antimicrobials from mushrooms / P. Stamets // *Herbal Gram.* – 2002. – V. 54. – P. 29–33.
50. Standish, L.J. Botanical medicine in integrative oncology / L.J. Standish, L.N. Alschuler, A.B. Ready et al. – New York: Oxford University Press. – 2009. – P. 104–146.
51. Огарков Б. Н. Микро- и макромицеты как основа биотехнологических препаратов // Б. Н. Огарков, Г. Р. Огаркова, Л. В. Самусенок. – Известия Иркутского государственного университета. – 2010. – Т.3, №2. – 75–86 с.
52. Vetvicka, V. Immune-enhancing effects of Maitake (*Grifola frondosa*) and Shiitake (*Lentinula edodes*) extracts / V. Vetvicka, J. Vetvickova // *Ann. Transl. Med.* - 2014. – V. 2, № 2. – P. 14.
53. Белова Н.В. Базидиомицеты – источник биологически активных веществ / Н.В. Белова – М: 1991. – 8–17 с
54. Liang, Z. Chemical characterization and antitumor activities of polysaccharide extracted from *Ganoderma lucidum* / Z. Liang, Y. Yi, Y. Guo et. al // *int. J. Mol. Sci.* – 2014. – V. 15, № 5. – P. 903–916.
55. Даниляк М.І. Лікарські гриби. Медичне застосування та проблеми біотехнології / М.І. Даниляк, С.В. Решетников. – К.: Ін-т ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. – 1996. – 61 с.
56. Зайченко Т.О. Антибактеріальні властивості деяких макроміцетів / Т.О. Зайченко, Т.А. Круподьорова, В.Ю. Барштейн, Н.В. Дехтяренко — Київ: Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2017. – 19–25 с.
57. Маркова М.Е. Сорбция тяжелых металлов высшими грибами и хитином разного происхождения в опытах *in vitro* // М.Е. Маркова, В.Ф. Урьяш, Е.А. Степанова. – Вестник. – 2008. – № 6. – 118–124 с.
58. Lindequist, U., Niedermeyer, T.H.J., Julich, W.D. The pharmacological potential of mushrooms. – *eSAM.* – 2005. – № 2. – 285–299.

59. Munkhgerel L. Chemical composition and biological activities of the *Agaricus mushrooms* // L. Munkhgerel, N. Erdenechimeg, B. Tselmuungarav. – Mongolian Journal of Chemistry. – 2013 – №14 (40). – P. 41–45.
60. Altuner, E.M., Akata, I. Antimicrobial activity of some macrofungi extracts. – SAU Fen Bilimleri Dergisi Cilt. – 2010. – № 14. – P. 45–49.
61. Akpi U. K Antimicrobial activity of *Lycoperdon perlatum* whole fruit body on common pathogenic bacteria and fungi // Akpi U. K., Odoh C. K., Ideh E. E. – African Journal of Clinical and Experimental Microbiology. – 2017 – Vol 18, № 2. – P.80–86.
62. Jarosz-Wilkołazka A., Graż M. Organic acids production by white rot Basidiomycetes in the presence of metallic oxides // Can J. Microbiol. – 2006. – Vol. 52. – P. 779–785.
63. Teodora P. Popova Investigations on antimicrobial activity in vitro of liquid cultures of *Cantharellus cibarius* // Teodora P. Popova. - *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* – 2015 – № 4(3). – 674–683 с.
64. Barros, L., Calhelha, R.C., Vaz, J.A., Ferreira, I.C.F.R., Baptista, P., Estevinho, L.M. Antimicrobial activity and bioactive compounds of Portuguese wild edible mushroom methanolic extracts *Eur. Food Res. Technol.* – 2006. – № 225. – P.151–156.
65. КМДА Розпорядження № 793 «Про організацію літнього відпочинку та забезпечення безпеки населення на водних об'єктах міста Києва у 2020 році» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://kyivcity.gov.ua/npa/pro_organizatsiyu_litnogo_vidpochinku_ta_zabezpechennya_bezpeki_naselennya_na_vodnikh_obyektakh_mista_kiyeva_u_2020_rotsi/kem8xjgpnd_km_da_793.pdf
66. Андрест Б.В. Грибное лукошко / Б.В. Андрест – Москва: «Лесная промышленность», 1990. – 191 с.
67. Roberts P. The Book of Fungi // P. Roberts. – Chicago, Illinois Press. – 2011. – P. 658

68. ЕС Тяжелые металлы и мышьяк в лекарственном растительном сырье и лекарственных растительных препаратах [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.eurasiancommission.org>
69. МУ № 01-19/47-11 «Атомно-абсорбционные методы определения токсичных элементов (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr) в пищевых продуктах и пищевом сырье».
70. Soylak M., Saracoğlu S., Tuzen M., Mendil D. Determination of trace metals in mushroom sample from Kayseri, Turkey // *Food Chem.* – 2005. – Vol. 92. – P. 649–652.
71. Carvalho M., Pimentel A., Fernandes B. Study of heavy metals in wild edible mushrooms under different pollution conditions by absorption spectrometry // *Analytical Sciences: the International Journal of the Japan Society for Analytical Chemistry.* – 2005. – Vol. 21. №7. – P. 747–750.
72. Tuzen, M. Determination of heavy metals in soil, mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry // *Microchem.* – 2003. – Vol. 74. – P. 289–297.
73. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. СанПин 2.3.2.560–76. – 1976 – 75 с.
74. Ingraо G., Belloni P., Santaroni G.P. Mushrooms as biological monitors of trace elements in the environment // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* – 1992. – Vol. 161. – №1. – P. 113–120.
75. Щеглов А.И. Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения // А.И. Щегло, О.Б. Цветнова. – *Природа.* – 2002. – № 11. – 39–46 с.
76. Liu J.F., Hu L.J., Liao D.X., Su S.M., Zhou Z.K., Zhang S. Bioremediation of heavy metal pollution by edible fungi: a review // *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* – 2011. – Vol. 22, № 2. – P. 543–548.
77. Spiegel H. Trace element accumulation in selected bioindicators exposed to emission along the industrial facilities of Danube Lowland // *Turkish Journal of Chemistry.* – 2002. – Vol. 26. – P. 815–823.

78. Чураков Б.П. Микоиндикация загрязнения лесных экосистем тяжелыми металлами / Б.П. Чураков [и др.] // Микология и фитопатология. – 2000. – Т. 34. – Вып. 2. – 57–61 с.
79. Isildak O., Turkekul I., Elmastas M., Aboul-Enein H.Y. Bioaccumulation of heavy metals in some wild-grown edible mushrooms // Analytical Letters., 2007. – Vol. 40, № 6. – P. 109–116.
80. Byrne A.R., Ravnik V. Trace element concentrations in higher fungi // The Science of the Total Environment. – 1976. – № 6. – P. 65–78.
81. Kalač P., Niznanska M., Bevilaqua D., Staskova I. Concentrations of mercury, copper, cadmium and lead in fruiting bodies of edible mushrooms in the vicinity of a mercury smelter and a copper smelter // The Science of the Total Environment. – 1996. – Vol. 177. – P. 251–258.
82. Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжёлые металлы и здоровье человека // Вестник РУДН. – 2004. – №1. – 125-134 с.
83. Зинина О.Т. Влияние некоторых тяжелых металлов и микроэлементов на биохимические процессы в организме человека // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. – 2001. – №4. – 99–105 с.
84. Chemical composition of four wild edible mushroom species collected from southwest Anatolia / F. Kalyoncu [et al.] // Gasi University Journal of Science. – 2010. – V. 23(4). – P. 375–379. 13. Colak A., Faiz Ö., Sesli E. Nutritional composition of some wild edible mushrooms // Turkish Journal of Bio-chemistry. – 2009. – V. 34(1). – P. 25–31.
85. Кармазиненко С.П. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С.П. Кармазиненко, І.В. Кураєва, А.І. Самчук, Ю.Ю. Войтюк, В.Й. Манічев. – К.: Інтерсервіс, 2014. – 168 с.
86. ГОСТ 12.0.003–74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
87. ДБН В.2.5–67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
88. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96 Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные правила и нормы.

89. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
90. ДБН В.2.5–28:2018 Природне і штучне освітлення.
91. ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
92. ГОСТ 12.1.016–79 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ.
93. Основы техники безопасности в микробиологических и вирусологических лабораториях / С. Г. Дроздов, Н. С. Гарин, Л.С. Джиндоян, В.М. Тарасенко. – АМН СССР. – М.: Медицина, 1987. – 256 с.
94. НАПБ А.01.001–2004. Правила пожежної безпеки в Україні.
95. Захаров Л. П. Техника безопасности в химических лабораториях. – Л.: Химия, 1985. – 184 с.
96. Вернигора В.Д. Методичні вказівки до практичного заняття «Розрахунок штучного освітлення робочих місць» з дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» / В.Д. Вернигора. – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 16 с.
97. Галецкий Л.С. Региональный эколо-геохимический анализ влияния тяжелых металлов промышленных отходов на состояние окружающей среды Украины / Л.С. Галецкий, Т. М. Егорова. – К: Екологія довкілля та безпеки життєдіяльності. – 2008 – № 5. – 11–14 с.
98. Морозова И.А. Геохимические ландшафты и экологическая опасность. Прикладная геохимия / И.А. Морозова. – Вып. 1. Геохимическое картирование. – М: ИМГРЭ, 2001. – 122–135 с.
99. Єгорова Т.М. Нові можливості еколого-геохімічних досліджень мікроелементів / Т.М. Єгорова Геологічний журнал НАНУ. – 2003. – № 4. – 48–54 с.
100. Воронина А.Д. Современные физические и химические методы исследования почв / А.Д. Воронина, Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 204 с.
101. Фрумин Г. Т. Экологическая химия и экологическая токсикология / Г. Т. Фрумин. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. – 204 с.

102. Czaplicka M. Application of biosurfactants and non-ionic surfactants for removal of organic matter from metallurgical lead-bearing slime / M. Czaplicka, A. Chmielarz. – 2008. – № 26. – P. 14–20.

103. Елизарьева Е.Н. Особенности выбора фиторемедиационных технологий очистки почв и сточных вод от ионов тяжелых металлов / Е.Н. Елизарьева, Ю.А. Янбаев, А.Ю. Кулагин. – Вестник Удмуртского университета. – 2016. – Т. 26, вып. 3. – 7–19 с.

104. Arthur E.L. Phytoremediation – an overview / E.L. Arthur. – Critical Reviews in Plant Sciences. – 2005. – № 24. – P. 109–122.

105. Suresh B. Phytoremediation – A novel and promising approach for environmental clean-up / B. Suresh, G.A. Ravishankar. – Critical Reviews in Biotechnology. – 2004. – № 24 (2–3). – P. 97–124.