

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

КАЗМЕРЧУК ДМИТРО ГЕННАДІЙОВИЧ

УДК 574.21:631.1

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Радіоекологічний стан грибів у філії «Народицьке
спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України»**

Галузь знань 10 Природничі науки

Спеціальність 101 Екологія

Подається на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Казмерчук Д. Г.

Керівник роботи

Пазич Віктор Миколайович,

кандидат сільськогосподарських наук,

доцент кафедри екології

Висновок кафедри екології

за результатами попереднього захисту: _____
Протокол засідання кафедри екології № _____ від « _____ » _____ 2023 р.

В.о. завідувача кафедри екології,
кандидат біологічних наук, доцент _____ А. А. Зимароєва
р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Казмерчук Дмитро Геннадійович захистив
кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК _____ Л. С. Хижко

АНОТАЦІЯ

Казмерчук Д. Г. «Радіоекологічний стан грибів у філії «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України». – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 101 «Екологія». – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У кваліфікаційній роботі представлено узагальнена міграція радіоцезію в ланцюгу «грунт→гриби» в II зонні радіоактивного забруднення.

Охарактеризовано особливості акумуляції макроміцетами ^{137}Cs у віддалений період після аварії на Чорнобильській атомній електростанції в залежності від типу лісорослинних умов.

Висвітлена узагальнена характеристика коефіцієнту переходу та коефіцієнту накопичення радіоцезію в ланцюгу «грунт→гриби».

Ключові слова: акумуляція, забруднення ґрунту, коефіцієнт накопичення, коефіцієнт переходу, лісорослинні умови, міграція радіоцезію.

ABSTRACT

Kazmerchuk D. G. «Radio-ecological status of mushrooms in the branch «Narodyske Specialized Forestry» of the State Enterprise «Forests of Ukraine». – Manuscript qualification work.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 101 «Ecology». – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The qualification paper presents the generalized migration of radiocesium in the «soil→mushroom» chain in the II zone of radioactive pollution.

The features of ^{137}Cs macromycete accumulation in the remote period after the accident at the Chernobyl nuclear power plant were characterized, depending on the type of forest vegetation conditions.

The generalized characteristics of the transition coefficient and the accumulation coefficient of radiocesium in the «soil→mushroom» chain are highlighted.

Key words: accumulation, soil pollution, accumulation coefficient, transition coefficient, forest vegetation conditions, radiocesium, migration.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ТА ПРИРОДНИХ УМОВ ФІЛІЇ «НАРОДИЦЬКЕ СЛГ» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ»	9
1.1. Історія створення та структура господарства.....	9
1.2. Лісорослинне районування та клімат.....	10
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	14
2.1. Методологічні основи досліджень.....	14
2.2. Підготовка зразків для проведення досліджень.....	15
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	17
3.1. Забруднення грибів ¹³⁷ Cs.....	17
3.2. Шляхи зниження рівня накопичення радіонуклідів у грибах.....	28
Висновки.....	30
Список використаних джерел.....	31

ВСТУП

Актуальність роботи. У лісових екосистемах завдяки біологічним, хімічним та фізичним процесам циркулюють вуглець, азот, вода, поживні речовини та інші елементи.

Так званий кругообіг вуглецю починається з поглинання деревами вуглекислого газу з атмосфери. Деревина використовує поглинений вуглекислий газ, а також воду та поживні речовини, поглинені їх корінням, для здійснення фотосинтезу і, як наслідок, процесів росту та розвитку. У процесі росту деякі частини дерев відмирають і падають на землю. Органічна речовина розкладається на поверхні землі, і частина її виділяється у вигляді вуглекислого газу в атмосферу, а решта залишається там. У цьому циклі вуглецю також циркулюють поживні речовини. Окрім азоту, фосфору та інших елементів, важливих для життєзабезпечення рослини існують інші елементи, які циркулюють в екосистемі так само, як вуглець. Рух цих речовин зумовлений фізіологічними функціями самих рослин, силою тяжіння, рухом води та діями організмів.

Радіоцезій, викинутий в атмосферу внаслідок аварії на ЧАЕС, раптово потрапив у ліс. Як виявилось, самої кількості радіоцезію недостатньо для безпосередньої зміни матеріального циклу в лісі. Радіоцезій є лужним елементом і поводить себе дуже подібно до калію, ^{133}Cs , стабільний ізотоп цезію, також зустрічається в природі, зокрема в лісах і циркулює в них незалежно від того, потрапляє чи виходить радіоцезій з лісового біоценозу.

З іншого боку, перенесення радіоцезію, який щойно випав в лісі, зумовлено переміщенням різних елементів у лісі, як згадувалося раніше, і пов'язане з дуже широким колом галузей досліджень, таких як лісова гідрологія, матеріальний цикл, живлення рослини, фізіології рослин, радіобіології та радіоекології. Радіоцезій з листя та гілок переходить у лісову підстилку через листовий опад, а далі в ґрунт. У ґрунті він також мігрує з поверхневих до глибших шарів через проникну здатність води та розкладання мертвої органіки, наприклад опале листя та гілки. Крім того, коренева система дерев поглинає радіоцезій з поживними речовинами, які змішуються в ґрунті,

і він потрапляє в деревину. Міграція радіоцезію, що супроводжує такі динамічні матеріальні потоки, є характеристикою лісів, які є природними екосистемами з багаторічними та із широким набором характеристик, яких немає в сільськогосподарських (штучних) екосистемах.

Для лісових екосистем характерно також існування великої різноманітності організмів. Від дрібних тварин, таких як дощові черв'яки та комахи до великих диких тварин, радіоцезій також поглинається ними. На поглинання радіоцезію організмами впливає їх раціон, місця оселищ, життєвий цикл тощо. Можна ствердно сказати, що порушення ґрунтового шару дощовими черв'яками та харчові потреби великих диких тварин певною мірою сприяють міграції радіоцезію.

Гриби є ще одним компонентом міграції радіоцезію з ґрунту та ще одним способом використання екологічних функцій лісовими екосистемами. Ґрунт, опале листя і мертва деревина містять широкий видовий спектр грибів у формі міцелію, на додаток до плодових тіл, які можна побачити неозброєним оком. Міцелій розкладає органічну речовину і забирає поживні речовини, або потрапляє в коріння дерев, щоб жити в симбіозі та обмінюватися поживними речовинами один з одним, а радіоцезій переноситься разом із цим потоком.

Для розробки рекомендацій використання недеревної продукції лісу обов'язково враховують розмір ділянки лісу, що зазнала ураження аварійними радіоактивними викидами, видовий склад деревних видів та інших рослин нижніх ярусів, тваринне видове різноманіття, зміну ґрунтових, гідрологічних та кліматичних умов і, зрештою, населенням яке проживає поблизу таких територій та використовуює недеревну продукцію лісу, а саме гриби, у власному раціоні.

Тому, не зважаючи на віддалений період після аварії на ЧАЕС, потрібно уважно ставитись до використання дикорослих ягід, грибів, мисливських видів, а також вести побічні користування лісом на територіях забруднених радіонуклідами згідно встановлених законодавством норм.

Мета роботи: проаналізувати вміст ^{137}Cs в плодових тілах основних видів їстівних макроміцетів філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України».

Відповідно до мети роботи та досягнення оптимальних результатів нами були поставлені наступні завдання:

Для досягнення поставленої мети були вирішувались такі завдання:

- провести аналіз інтенсивності міграції радіонуклідів у лісових ценозах філії «Народицьке СЛГ»;

- з'ясувати особливості накопичення ^{137}Cs різними видами їстівних грибів;

- встановити вміст ^{137}Cs у плодових тілах їстівних макроміцетів залежно від щільності загального забруднення ґрунтового покриву;

- визначити коефіцієнт переходу в ланцюгу ґрунт→гриби та коефіцієнт накопичення.

Об'єкт досліджень: закономірності забруднення їстівних грибів радіоцезієм в залежності від лісорослинних умов та їх виду.

Предмет досліджень: питома активність ^{137}Cs в їстівних грибах в умовах філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України».

Методи досліджень: маршрутне обстеження, статистична обробка інформаційних ресурсів та літературних джерел інформації, таксаційно-лісівничий метод, загальноекологічні методи, обробка числових даних при допомозі стандартного пакету програм «Statistica», Microsoft Excel.

Практичне значення одержаних результатів.

В ході виконання кваліфікаційної роботи вдалось встановити основні шляхи міграції радіонуклідів антропогенно-порушених лісових екосистемах, висвітлено, інтенсивність переходу радіонуклідів з ґрунту в надземну фітомасу дикорослих ягід та встановлено, що на це мають вплив не лише умови місцезростання, але й видовий склад. Результати кваліфікаційної роботи можуть бути корисними для підприємств та населення, які ведуть свою господарську діяльність в умовах радіоактивного забруднення.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Беглов Р.І., Казмерчук Д.Г. Фітопатологічний стан насаджень берези повислої у лісових насадженнях Житомирського ОУЛМГ. Ліс, наука, молодь: мат. X Всеукр. наук.-практ. конф., 24 листопада 2022 р. – Житомир: Поліський національний університет, 2022. – с. 18–19.

2. Казмерчук Д.Г. Накопичення радіонуклідів макроміцетами у віддалений період після аварії на ЧАЕС. Розвиток наукової думки: актуальні питання, досягнення та інновації. Мат. наук.-практ. конф. (Хмельницький, 28-29 квітня 2023 р.). – Одеса: Видавництво «Молодий вчений», 2023. – с. 60–63.

Структура роботи. Робота виконана на 36 сторінках, містить 3 таблиці, 5 рисунків, список використаної літератури нараховує 48 джерел.

РОЗДІЛ 1.

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ТА ПРИРОДНИХ УМОВ ФІЛІЇ «НАРОДИЦЬКЕ СЛГ» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ»

Для реалізації мети та завдань досліджень нами були вибрані лісові угіддя Заліського та Народицького лісництв філії «Народьцьке СЛГ» біля населених пунктів с. Христинівка та с. Старе Шарно різної щільності забруднення. Дані Лісові масиви відповідають всім необхідним умовам для проведення досліджень міграції радіонуклідів в трофічних ланцюгах ґрунт→гриби і є типовими для східної частини району досліджень за лісо-ґрунтово-кліматичними умовами.

1.1. Історія створення та структура господарства

Внаслідок катастрофи на ЧАЕС, відбулося радіоактивне забруднення лісових масивів та утворились умови, при яких на протязі багатьох десятиліть значна частина лісів стала не придатною для ведення традиційного господарювання, а отже і заготівля і використання недеревної продукції.

Особливо гостро ці проблеми стоять на Поліссі, де зосереджено близько 35% лісів країни, а регіон найбільше постраждав від аварії на ЧАЕС. Працівники лісового господарства стикаються з технічними, екологічними, економічними та соціальними проблемами.

Відповідно до наказу від 21 січня 1993 року № 6 по Житомирському державному лісогосподарському об'єднанню «Житомирліс» та згідно із наказом № 6 від 20.01.1993 р. Міністерством лісового господарства України «Про зміни в організаційній структурі об'єднання «Житомирліс» створено Овруцько-Народицький держспецлісгосп, склад якого поєднав зкмілі: Народицького адміністративного району – площа якого була 49389 га, з яких Народицький держлісгосп – 34961 га та землі агролісу, ступінь радіоактивного забруднення яких становив 15 Кі/км² та вище, площею – 14428 га., і землі Малинського адміністративного району, що відносились Народицького лісогосподарського підприємства площею – 481 га.

Зодом, наказом № 3 від 19.01.2006 року Житомирського обласного управління лісового господарства та наказом № 2 від 12.01.2006 року Держкомлісгоспу України «Про вдосконалення управління лісовим господарством у Житомирській області» відбулась реорганізація ДП «Овруцько-Народицьке СЛГ», від нього було відєднано Базарське, Давидківське, Заліське, Кліщівське, Народицьке, Радчанське лісництва та Радчанський нижній склад з гаражем та утворену державне підприємство «Народицьке спеціалізоване лісове господарство», тоді ж у склад господарства увійшло Закусилівське лісництво ДП «Овруцьке ЛГ».

07 вересня 2022 року керуючись Постановою Кабінету Міністрів України, Наказом № 1003 про «Деякі питання реформування управління лісової галузі» та Наказом Державного агенства лісових ресурсів України № 819 від 28.10.2022 року «Про припинення Державного підприємства «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» та затвердження складу комісії з припинення ДП «Народицьке СЛГ» припинило свою діяльність у звязку із реорганізацією та стало регіональною філією новоствореного державного підприємства «Ліси України» [48].

1.2. Лісорослинне районування та клімат

Філія «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» згідно лісорослинного районування знаходиться в межах розташована зони Центрального Полісся України.

Відповідно до лісорослинних умов – це територія є зоною мішаних хвойно-листяних лісів і, відповідно, лісогосподарського районування відноситься до зони Полісся.

Клімат регіону помірно-континентальний з відносно м'якою зимою і теплим літом з великою кількістю опадів. Так, середньорічна температура становить +6,4°C, річний абсолютний максимум припадає на липень і досягає +36,5°C, а річний абсолютний мінімум –36,0°C у січні. Річна кількість опадів 546 мм. Вегетаційний період, в регіоні складає в середньому 198 днів.

Західний та південно-західний вітер переважає взимку та навесні, влітку – північний, північно та південно-західний, переважаючими осінніми вітрами є південний, південно та північно-західний.

Клімат місцезнаходження лісогосподарського підприємства сприятливий для продуктивного росту основних лісоутворюючих порід, ягідних видів та макроміцетів. Територія господарства сприятлива для наявності місць оселищ та відтворення великої кількості мисливських тварин.

Згідно геоботанічного районування України територія господарства знаходиться у складі Народицько-Іванківського геоботанічного району дубово-соснових лісів Київсько-Поліського геоботанічного округу дубово-соснових лісових масивів.

Лісові масиви зосереджені в вздовж та поміж річок Уж, Жерев, Звіздаль. Дубово-соснові ліси є переважаючими на цій території, це обумовлено багатими ґрунтовими умовами сформованими на моренних відкладах. На вкрапленнях лесових відкладів зростають сосново-дубові ліси.

Стабільно великі площі в господарстві займають штучно створені ліси – переважно соснові середнього та молодого віку.

В низовинах переважаючими є розріджені трав'янистим покривом дубово-грабові ліси. Середній ярус займають волосистоосокові дубові ліси, інколи – ліщиномаренкові.

Нижній ярус дубово-соснових насаджень характеризується чорнице-орляковою та чорнице-зелено-моховою асоціацією.

Дюнний рельєф господарства утворений типовим еколого-ценотичним рядом (згори до низу) таблиця 1:

**Еколого-ценотичний ряд та типи лісу
філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України»**

Типи лісорослинних умов	Асоціація
А 1 – сухий бір	Сосновий ліс лишайниковий
А 2 свіжий бір	Сосновий ліс зеленомоховий
А 3 – вологий бір	Сосновий ліс чорнице-зеленомоховий
В 3 – вологий суббір	
В 4 – сирий суббір	Сосновий ліс довгомошний
В 4–В 5 – сирий та вологий суббір	Соснові ліси багново-сфагнові
С 2 – свіжий сугруд	Дубово-соснові ліси орляково-чорницеві
	Дубово-соснові ліси чорницеві
	Дубово-соснові ліси різнотравно-конвалієві

Сосновий ліс зеленомоховий займає найбільшу площу в умовах філії «Народицьке СЛГ», є одним з основних типів лісу Полісся України.

Розташовані вони на піщаних ґрунтах і на рівнинних ділянках різного ґрунтового багатства в залежності від основної ґрунтоутворюючої породи.

Також, поряд з ними, розташовані багаті на видовий флористичний склад дубові ліси різнотравно-конвалієві переважаючим типом ґрунту тут є дерново-середньопідзолисті супіщані та глинисто-піщані ґрунти в умовах плоского рельєфу. Ці території, незважаючи на радіоактивне забруднення, є одними з найбагатших за видовим різноманіттям в регіоні, тут на площі 1 га налічується від 100 до 120 видів судинних рослин, з них значну частину займають види та їх популяції занесені до «Червоної книги України».

Макроміцети у цих лісових масивах мають особливе значення в та безперечно, їм також відводиться важлива функція усіх життєвих процесів у такого біосистеми, не винятком є включення до шляхів переміщення довгоживучих радіоактивно-забруднених речовин. Переважно всі

лісоутворюючі породи, в тому числі і рослини нижніх ярусів, які зростають у вищезазначених лісорослинних умовах та їх асоціаціях мають мікоризу із міцелієм вищих грибів базидіоміцетів. Сюди ж відносять популярні дикороси для заготівлі та споживання населення, а саме: білі гриби (*Boletus reticulatus* (Schaeff.) Boud.), підберезовики звичайні (*Leccinum scabrum* (Bull.) Gray), лисички справжні (*Cantharellus cibarius* Fr.), маслюки звичайні (*Suillus luteus* (L.) Roussel), моховики зелені (*Suillus variegatus* (Sw.) Kuntze), різні види сиріжок та багато інших [2, 3, 4, 6, 7].

РОЗДІЛ 2.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Методологічні основи досліджень

Методологічною основою наших досліджень служила концепція екологічного моніторингу, системний підхід, наукові положення сільськогосподарської та лісової радіоекології.

Землі лісових масивів Заліського та Народицького лісництв філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України» характеризуються не рівномірною щільністю забруднення основними радіонуклідами. Вони відповідають всім необхідним умовам для проведення досліджень міграції радіонуклідів в трофічних ланцюгах ґрунт→гриби і є типовими для східної частини району досліджень за лісо-ґрунтово-кліматичними умовами.

Дослідження особливостей міграції ^{137}Cs в трофічному ланцюгу ґрунт→гриби в залежності від їх видового складу проводили методом відбору середніх проб грибів зібраних з окремих лісових масивів Заліського та Народицького лісництв, прилеглих до населених пунктів с. Христинівка (лісовий масив розташований близько одного кілометра від, за типом лісорослинних умов це переважно сосновий бір з невеликими осередками листяних видів. Щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs становить 159 – 333 кБк/м² та с. Старе Шарно (лісовий масив знаходиться в радіусі 0,5 км навколо населеного пункту. Дані ліси характеризуються також переважно сосновими борами з окремими включеннями дерев листяних порід зі щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs становить в середньому 292–407 кБк/м²). Обидва лісові масиви відносяться до II зони радіоактивного забруднення.

Для вивчення накопичення радіонуклідів грибами в окремих ділянках лісів біля кожного населеного пункту відбиралися зразки. Відібрані зразки грибів доставлялись у лабораторію відділу інструментально-лабораторного контролю, де висушувались в спеціальних сушильних шафах для проведення радіоспектрометричних досліджень.

Репрезентативну ґрунтову вибірку забезпечували оптимальною кількістю проб на одиницю площі.

Як при нерівномірному так і за умови однорідності забрудненості ґрунтового покриву за гамма- або бета фоном відбір проб здійснювали методом конверта, з п'яти точок у шарі площею 15x15 та глибиною 5 см, в яких кут та центр умовного квадрата на пробній площі мав сторону 100 м. Кінцева, змішана проба із всіх точок відбору складала 1 кг. При виборі ділянок також враховували віддаленість від автомагістралей відстанню більше 200 м.

Відбір зразків лісової підстилки та грибів відбирали методом «конверту» в тих самих місцях, що й ґрунт.

2.2. Підготовка зразків для проведення досліджень

Прийняття і попередню обробку привезених проб проводили в спеціальному приміщенні, обладнаному витяжними шафами, муфельними печами, пристосуваннями для миття посуду, тари, і в випадку необхідності проб. Проби з високим рівнем забрудненості досліджували з дотриманням правил безпеки.

Для висушування проб їх спочатку подрібнювали і висушували в сушильній шафі при температурі 80–100 °С до постійної маси. Після цього, проби розмелювали в спеціальних млинках і відправили на радіоспектрометрію.

Для визначення коефіцієнтів переходу радіонуклідів в окремі види грибів на ділянках лісу де вони збиралися зразки ґрунту за загальноприйнятими методиками.

Вміст ^{137}Cs в грибах та і ґрунтових зразках визначали спектрометричним методом на радіометрі РІБГ та дозиметр-радіометр МКС-05 ТЕРРА-П+

Коефіцієнт переходу (КП) визначали як відношення вмісту радіонуклідів в грибах окремого виду до активності ґрунту де вони збирались:

$$КП = \text{активність грибів (Бк/кг)} / \text{активність ґрунту (Бк/м}^2\text{)}.$$

Коефіцієнт (КН) накопичення визначали співвідношенням вмісту

радіоцезію в плодових тілах до щільності забруднення ґрунту

$$KH = \text{активність грибів (Бк/кг)} / \text{щільності забруднення ґрунту (Бк/м}^2\text{)}$$

Остаточні результати досліджень були отримані методами математичної обробки.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Забруднення грибів ^{137}Cs

Важливим фактором, який не можна ігнорувати при розгляді динаміки розподілу радіоцезію в лісових екосистемах, є гриби. Основна рухова активність ^{137}Cs , особливо на ранніх етапах після аварії, була здебільшого спричинена дощем і опалим листям і гілками, але як цей фактор сповільнився, міграційні процеси за допомогою інших механізмів також стали більш помітним, особливо, переміщення радіоцезію з ґрунту в органічну речовину поверхневого шару ґрунту. Міграція ^{137}Cs через функції міцелію також має суттєвий певний вплив на майбутню поведінку радіоцезію в лісових екосистемах.

Гриби у лісах є специфічними компонентами лісового біоценозу, що відіграють важливу роль у його функціонуванні, в тому числі – у міграції радіонуклідів. Крім цього, гриби є традиційним продуктом харчування населення поліського регіону України. Тому так важливим постає питання вивчення концентрації основних радіонуклідів в грибах при їх заготівлі для використання як продукту харчування.

Після аварії на Чорнобильській АЕС проводилися різноманітні дослідження для з'ясування впливу концентрації активності радіоцезію в продуктах лісового походження, зокрема в грибах. Наприклад, Травнікова та ін. (2001) оцінили середній вміст радіоактивного цезію в грибах, зібраних в селах півночі України, з 1994 по 1998 рік, і виявили середні концентрації ^{137}Cs 14500, 2550 і 8980 Бк/кг у *Boletus luteus*, *Boletus chanteral* і *Boletus russula*, відповідно. У цьому дослідженні ^{137}Cs було виявлено у 110 із 127 (87%) зібраних дикорослих грибів, що свідчить про високу частоту появи ^{137}Cs у місцевих грибах навіть через 30 років після аварії [36].

У Північній Європі та Євразійському регіоні загалом так і в населених пунктах Полісся України, зокрема, які зазнали впливу катастрофи на ЧАЕС існує культура збору та споживання дикорослих грибів. Концентрація ^{137}Cs в

грибах різна залежно від виду, навіть якщо вони були зібрані в одному місці. Хоча вже давно відомо, що екологія та функції грибів відрізняються в різних видів грибі до іншого, різниця в поглинанні радіоцезію різними видами грибів дає нам ще один погляд на різноманіття грибів.

Гриби характеризуються високою здатністю накопичувати радіоцезій і працювати, а також біоіндикатори радіоактивності в природі [30]. Причина криється в їхній структурі, який складається з нижніх волокон. Генетична будова грибів відрізняється від вищих рослин, які поглинають цезій менш ефективно, ніж калій, його аналог який, до того ж являється поживним елементом. Так званий коефіцієнт дискримінації Cs/K у грибів вказує на ефективність транспортування цих елементів у структурі гриба, наприклад, від ніжки до шапки [20-24, 35].

Радіоактивне забруднення окремих видів грибів значною мірою визначається вологістю та родючістю ґрунту у місцях збору грибів. За даними, отриманими в Центральному Поліссі, вміст ^{137}Cs в плодових тілах грибів одного виду у вологих перевищує такий у свіжих в 3–7 разів [13, 14].

Відомо, що гриби є біоаккумуляторами радіонуклідів, але мало відомо про їх розподіл у плодових тілах або вплив ступеня зрілості на поглинання.

Подібно до металів, на концентрацію радіонуклідів впливають такі фактори, як види грибів, склад ґрунту та мікроклімат, наявність інших токсичних металів, здатність до катіонного обміну, вміст глини, баланс поживних речовин, вміст органічної речовини, рН ґрунту, водний режим, температура та гідрогеологія.

Одним із найважливіших факторів, що визначає рівень накопичення радіонуклідів макроміцетами, є умови їх зростання. Відзначається позитивна кореляція між ступенем гідроморфності ґрунту та величиною вмісту радіонуклідів у грибах. Види, що ростуть на гідроморфних лісових ґрунтах акумулятивних ландшафтів, накопичують на порядок вище ^{137}Cs , ніж ті ж види, що утворюються на автоморфних ґрунтах елювіальних ландшафтів [10, 26].

Макроміцети відіграють вирішальну роль в акумуляції, поглинанні та перенесенні поживних речовин та, поряд із цим є важливим фактором довгострокового утримання радіоцезію в органічному шарі ґрунту [11, 25, 27]. Як зазначають В.П. Краснов, Т.В. Курбет та ін. [5,34] велика кількість перевічених зразків плодових тіл грибів, а це близько 40 % мали значне перевищення вмісту радіонуклідів навіть у віддалений період після Чорнобильської катастрофи.

Так наприклад, зразки підберезовика, відібрані у вологому суборі при щільності радіоактивного забруднення ґрунту 74 кБк/м^2 , мали питому активність ^{137}Cs в середньому 1500 Бк/кг . А при аналогічних характеристиках насаджень та вмісту ^{137}Cs в ґрунті, але в свіжому суборі – близько 500 Бк/кг . Спостереження проведені в зоні відчуження ЧАЕС показали, що різниця у вмісті ^{137}Cs у грибів, які ростуть в сухих та сирих гігротопах сягає 10–80 разів [16].

Значний вплив на накопичення даного радіонукліду плодовими тілами має також трофність ґрунтів. Спостереження, показали, що більш інтенсивно ^{137}Cs поглинається грибами на бідних піщаних ґрунтах, які характеризуються високою кислотністю. Порівняння коефіцієнтів накопичення ^{137}Cs в свіжих суборах та сугрудках свідчить, що в більш багатих умовах даний показник у сирійжки в 3,5, у піддубника в 3, а у польського гриба в 8 разів вищий [17].

Тому для виявлення впливу особливостей типу умов місцезростання на перехід з ґрунту в плодове тіла грибів на ділянках з близьким значенням щільності радіоактивного забруднення ґрунту та різними лісорослинними умовами нами були відібрані зразки плодових тіл моховиків зелених.

Моховик зелений (*Xerocomus subtomentosus* (L. ex FY.) Quél.) – голарктичний вид, поширений у всіх лісових районах Центрального Полісся. Гриби роду (*Xocomus*) можуть утворювати, але нечітко, мікоризу з різноманітними лісоутворюючими видами дерев. Моховик зелений відноситься до їстівних грибів 3-ї категорії [18, 19].

Зразки грибів та разом із ними до них зразки ґрунту в місцях збору

відбиралися на ділянках з щільністю радіоактивного забруднення ґрунту від 0 до 185 кБк/м² в сухих та свіжих борах, свіжих та вологих суборах та вологих сугрудках. Показники які характеризують особливості накопичення ¹³⁷Cs в плодових тілах моховиків наведено в таблиці 2 [16].

Таблиця 2.

**Особливості накопичення ¹³⁷Cs в плодових тілах моховика
(В.П. Краснов та ін., 2019)**

Тип умов місцезростання	Питома активність ¹³⁷ Cs Бк/кг	КП	КН
Сухий бір	6558±632	148±20	11,3±1,1
Свіжі бори	16650±950	167±35	15,9 ±2,2
Свіжі субори	2549±110	43±4	4,8±0,6
Вологі субори	9177±628	84±6	2,6±0,2
Вологі сугрудки	13836±425	112±3	8,8±0,4

Проаналізувавши показники радіоактивного забруднення моховика, рисунок 1, встановили, що однією з причин таких рівнів забруднення є залежність від типу умов місцезростання. Фактичними значеннями коефіцієнтів питомої активності є 13,85, коефіцієнту переходу – 3,28, а коефіцієнту накопичення – 5,29, що перевищує критичне значення у 2,69 рази. Порівняння значень питомої активності ¹³⁷Cs вказує на те, що чим більша вологість ґрунту тим вищою стає концентрація вищезазначеного радіонукліда в в плодовому тілі гриба. Даний показник для моховика зеленого (*Xerocomus subtomentosus*) в умовах свіжого бору в порівняння із сухими умовами був вищий щонайменше у 2,5 рази. Величина даного показника для *Xerocomus subtomentosus*, в умовах свіжого бору була вищою у 2,5 рази у порівнянні із сухими умовами зростання, в сирому суборі різнилася майже 3,5 рази. Вміст поживних речовин в ґрунті також впливає на концентрацію ¹³⁷Cs в плодових тілах моховиків.

Питома активність даного радіонукліду в умовах свіжого бору

перевищувала показник субору у 6,5 разів та вище. Закономірності пов'язані з впливом типу умов місцезростання на накопичення ^{137}Cs в плодових тілах грибів даного виду можна прослідкувати при порівнянні коефіцієнтів переходу.

Отримані результати свідчать, що в сухому борі по відношенню до свіжого та у свіжому суборі порівняно із вологим показник коефіцієнту переходу був меншим на 1,2 та 2 ризи відповідно. Також встановлено, що величина коефіцієнту переходу зменшувалась у зв'язку із зростанням трофності ґрунтового покриву і в свіжих умовах бору та субору різнилася в 4 рази. Водночас, при умові зростання в вологому суборі або вологому сугрудку практично не змінювалась.

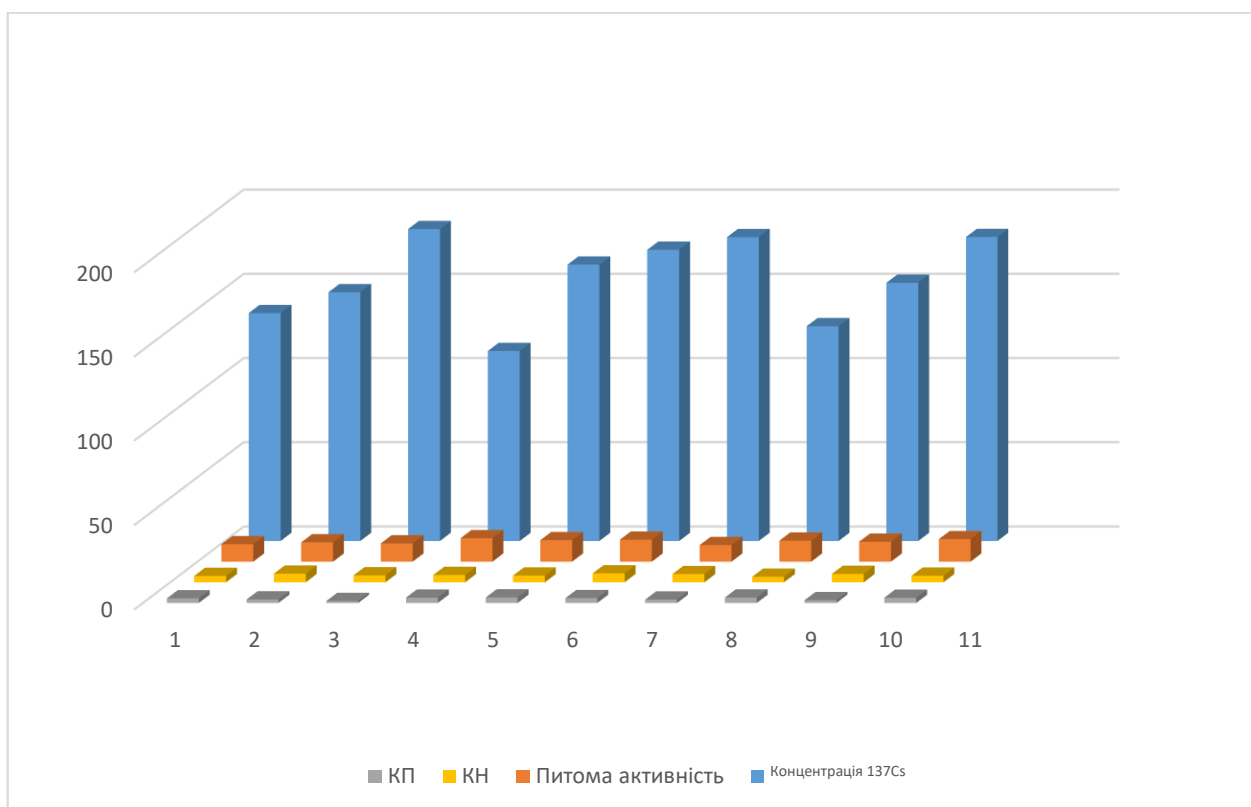


Рис. 1. Вміст ^{137}Cs в плодових тілах моховика зеленого (*Xerocomus subtomentosus* (L. ex FY.) Quel)

Узагальнюючи результати досліджень, як власних так і описаних авторами, можна зробити висновки про те, що рівень накопичення ^{137}Cs в плодових тілах грибів значною мірою залежить від особливостей

лісорослинних умов.

Загальновідомим є те, що Чорнобильська катастрофа спричинила значний вплив на поширення радіонуклідів по великій частині Півночі Європи.

Добре відомо, що аварія на Чорнобильській АЕС призвела до значного поширення ряду радіоактивних елементів на Півночі Європи та в Україні. Активність викиду радіоактивних яка була поєднана з різкозмінюваними погодними умовами на різних типах ландшафтів спричинила нерівномірність опадів на цій території різноманітним ландшафтам зумовили надзвичайно неоднорідний склад радіоактивних опадів на території і, як наслідок, понаднормове збільшення радіоактивних речовин у грибах-дикоросах. [15, 28, 28, 31, 37, 38].

Ряд вчених серед яких Дж. Дікхтон, А. Хорріл, П. Екль, В. Хофман, Р. Тюрк, Г. Батгісон вказують на те, що плодові тіла їстівних грибів містять в собі природний ізотоп ^{40}K на достатньо стабільному рівні в межах від 700 до 1000 Бк/кг, в порівнянні із сукупністю рівня $^{137}\text{Cs} + ^{134}\text{Cs}$ який часто змінюється та здебільшого набував вищих показників [43, 44, 45]. Автори зазначають, що на початковій післяаварійній стадії ^{134}Cs поєднувався саме із ^{137}Cs у співвідношеннях 1:2, а отже наявність радіоцезію в макроміцетах може мати штучне (антропогенне) походження.

К. Хесельвендер, М. Біррік, С. Лейвел, Ф. Сандерс, К. Ваарама, Г. Рюкерт вважають, що активність ^{137}Cs плодових тілах їстівних грибів може мати причинний зв'язок із випробуваннями тактичними збройними ядерними випробуваннями в середині минулого століття [32, 33, 39].

Автори дослідження [40] показали, що понад 40 % акумульованого ^{137}Cs зв'язано з гіфами і це вказує на те, що підземна частина вищих грибів здатна затримувати велику кількість ^{137}Cs в поверхневому шарі ґрунту на невизначено довгий період.

За даними, наведеними М. Вінчуком та К. Йохансоном [41], верхній органічний ґрунтовий покрив здатен накопичити і утримувати близько 50 % радіоактивного цезію завдяки властивостям міцелію грибів який розміщений на у 10-сантиметровому шарі лісового ґрунту як України так і у Швеції. Вищезазначені автори стверджують, що макроміцети мають можливість фіксації та зв'язування радіоактивних часток та мати безпосередній вагомий вплив на форму їх міграційних можливостей в лісових екосистемах. М. Стайнер зі співавторами вважають, що гриби відіграють одну із найважливіших ролей пов'язану мобілізаційними, поглинаючими та властивостями переносу мінеральних речовин які перебувають у ґрунтовому розчині і, як наслідок, вважаються важливою компонентою біоценозу, яка здатна довгостроково затримувати радіоактивний цезій та інші продукти радіоактивного розпаду у верхніх ґрунтових шарах [42]. П. Калач стверджує, що базидіоміцети (як міцелярні, так і вищі шапкові) володіють досить потужною накопичувальною здатністю до поглинання радіоактивних речовин, в тому числі і довгоживучих, дуже ефективні в абсорбції радіонуклідів і є надзвичайно важливим компонентом довготривалого їх утримання завдяки широкому розгалуженню гіфів та загальної фітомаси макроміцетів яка знаходиться у верхніх органічних шарах лісових ґрунтів та підстилки [29].

В цілому аналіз доступних нам публікацій дозволяє зробити висновок про те, що на рівень забруднення макроміцетів радіонуклідами впливає комплекс факторів, серед них ступінь і якісний склад радіаційного забруднення території, метеорологічні умови, тип екосистеми, концентрація хімічних форм ізотопів у субстраті, його фізико-хімічні властивості, біологічні особливості виду.

Результати проведення спектрометричних досліджень грибів зібраних в різних типах лісу філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України» Народицької селищної територіальної громади Коростенського району Житомирської

області в залежності від щільності забруднення ґрунту наведенні в таблиці 3.

Таблиця 3

Питома активність ^{137}Cs у свіжих грибах при різній щільності забруднення ґрунту Заліського та Народицького лісництв філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України»

№ п/п	Вид гриба	Заліське лісництво (190-655 кБк/м ²)		Народицьке лісництво (640-1162,5 кБк/м ²)	
		Бк/кг	КП	Бк/кг	КП
1	Білий гриб (<i>Boletus reticulatus</i> (Schaeff.) Boud.)	145500	116,1	200000	115,1
2	Підберезовик звичайний (<i>Leccinum scabrum</i> (Bull.) Gray)	76120	297,1	165000	291,1
3	Лисичка справжня (<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.)	13055	139,4	77900	157,5
4	Маслюк звичайний (<i>Suillus luteus</i> (L.) Roussel)	1352900	478,9	1006000	470,8
5	Моховик зелений (<i>Xerocomus subtomentosus</i> (L. ex FY.) Quel)	13836	84,3	16650	182,3

Із даних таблиці видно, що із найбільш поширених у населення їстівних грибів більше всього накопичують радіоцезій маслюки – 1352900–1006000 Бк/кг, білий гриб 145500-200000 Бк/кг, найменшою концентрацією цезію-137 характеризується лисичка справжня – 13055 Бк/кг, підберезовик – 35524 Бк/кг та моховик зелений – 16650 Бк/кг.

Якщо порівняти отримані дані по забрудненню грибів з допустимими рівнями то впливає, що всі гриби зібрані в лісах населених пунктів с. Христинівка Заліського лісництва та с. Старе Шарно Народицького лісництва не відповідають нормативним показникам ДР-2006. Тобто відповідно ДР-2006 збирання грибів у лісах зі щільністю забруднення ґрунту в межах 190-1162 кБк/м² слід заборонити, так як їх забрудненість значно

перевищую допустимі рівні [4].

При визначенні коефіцієнтів переходу ^{137}Cs в різні гриби встановлено, що його рівень залежав від щільності забруднення ґрунту та видового різноманіття грибів та варіював в межах 84,3–478,9. Найбільший коефіцієнт переходу ^{137}Cs відмічений у масляках і становив від 470,8 до 478,9, а найменшим він був у лисичках справжніх та білих грибах і його значення в середньому становили 148,4 та 115,6 відповідно. Така значна різниця в накопиченні ^{137}Cs пояснюється, перш за все, особливостями розміщення міцелію різних грибів за шарами лісового ґрунту та особливостями динаміки вертикального розподілу радіонуклідів у ґрунті.

Для вивчення особливостей міграції ^{137}Cs в системі ґрунт→плодове тіло гриба були проведені додаткові дослідження забрудненості грибів в залежності від їх властивостей, щільності забруднення ґрунту та періоду збирання.

Після тридцятирічного періоду після аварії на Чорнобильській атомній електростанції питома активність ^{137}Cs в грибах залишається досить високою і саме це є причиною внутрішнього опромінення населення, яке проживає на радіоактивно забруднених територіях в межах 96% дози.

Результати досліджень зведено в рисунках 2–4.

Аналізуючи результати досліджень питомої активності у масляку звичайному (*Suillus luteus (L.) Roussel*) зібраних в Народицькому лісництві філії «Народицьке СЛГ» встановлено, що цей вид грибів має найбільшу питому активність ^{137}Cs , яка становила від 980000 до 2300000 Бк/кг, в лисичках справжніх (*Cantharellus cibarius Fr.*) відповідно варіювала від найвищого показника в 166000 Бк/кг до найнижчого – 25600 Бк/кг.

Що стосується білих грибів (*Boletus reticulatus (Schaeff.) Boud.*), то слід відмітити, що із усіх відібраних зразків найвища питома активність ^{137}Cs була 258000 Бк/кг, найнижча – 21800 Бк/кг, а в підберезовику звичайному (*Leccinum scabrum (Bull.) Gray*) середня питома активність складала 20153 Бк/кг.

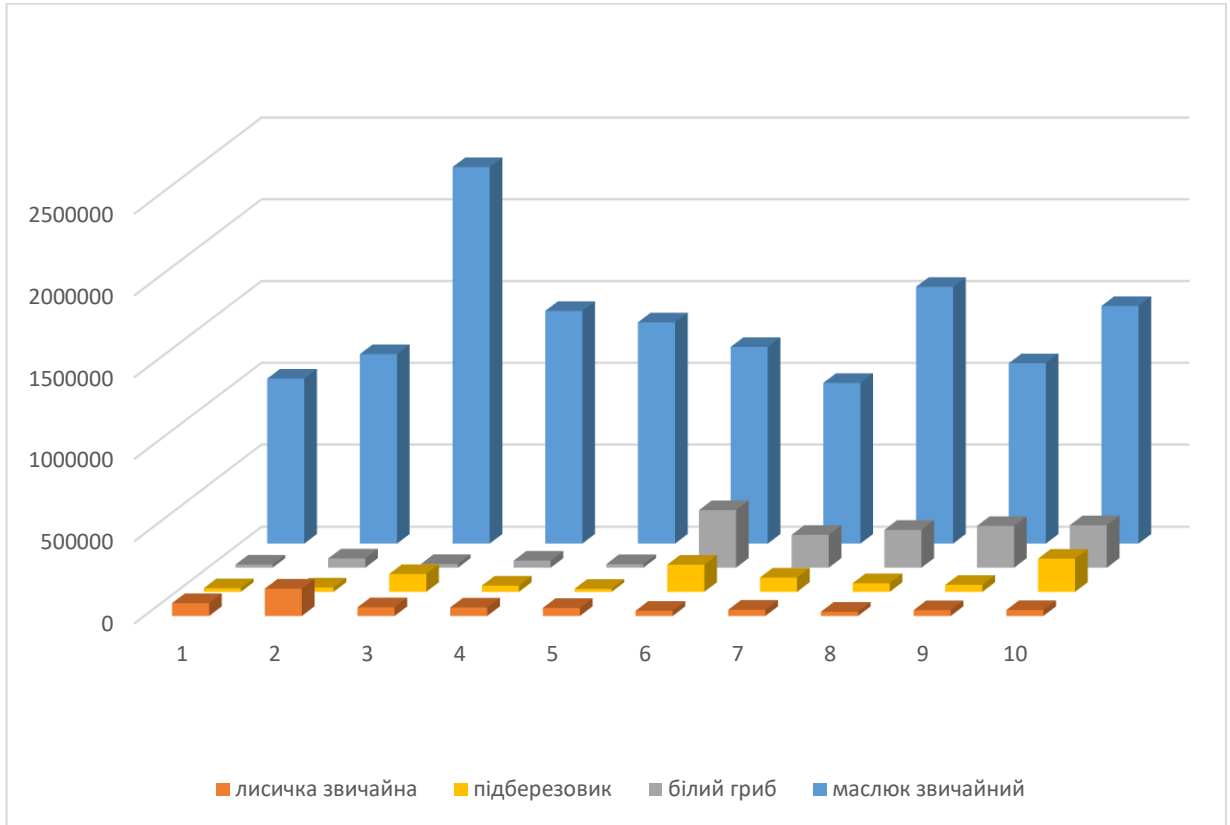


Рис. 2. Концентрація ^{137}Cs в макроміцетах, Бк/кг

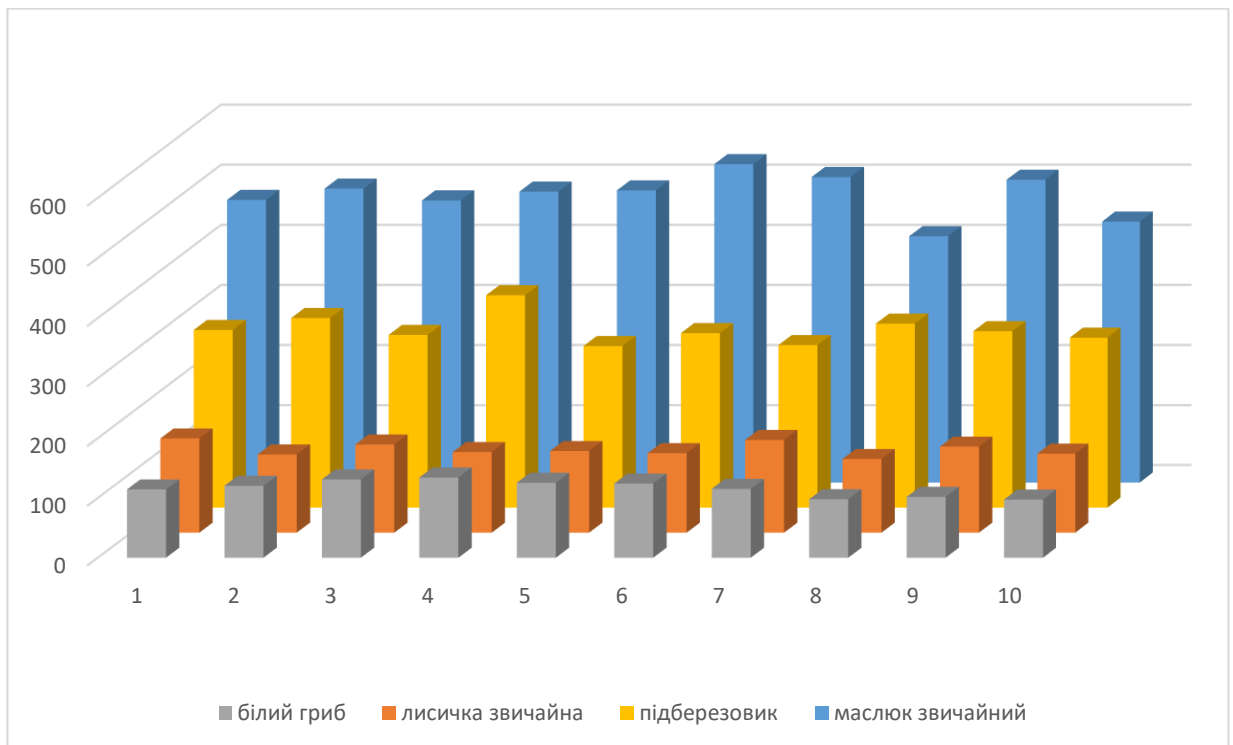


Рис. 3. Коефіцієнт переходу в системі ґрунт→гриби (Бк/кг) / (Кбк/м²)

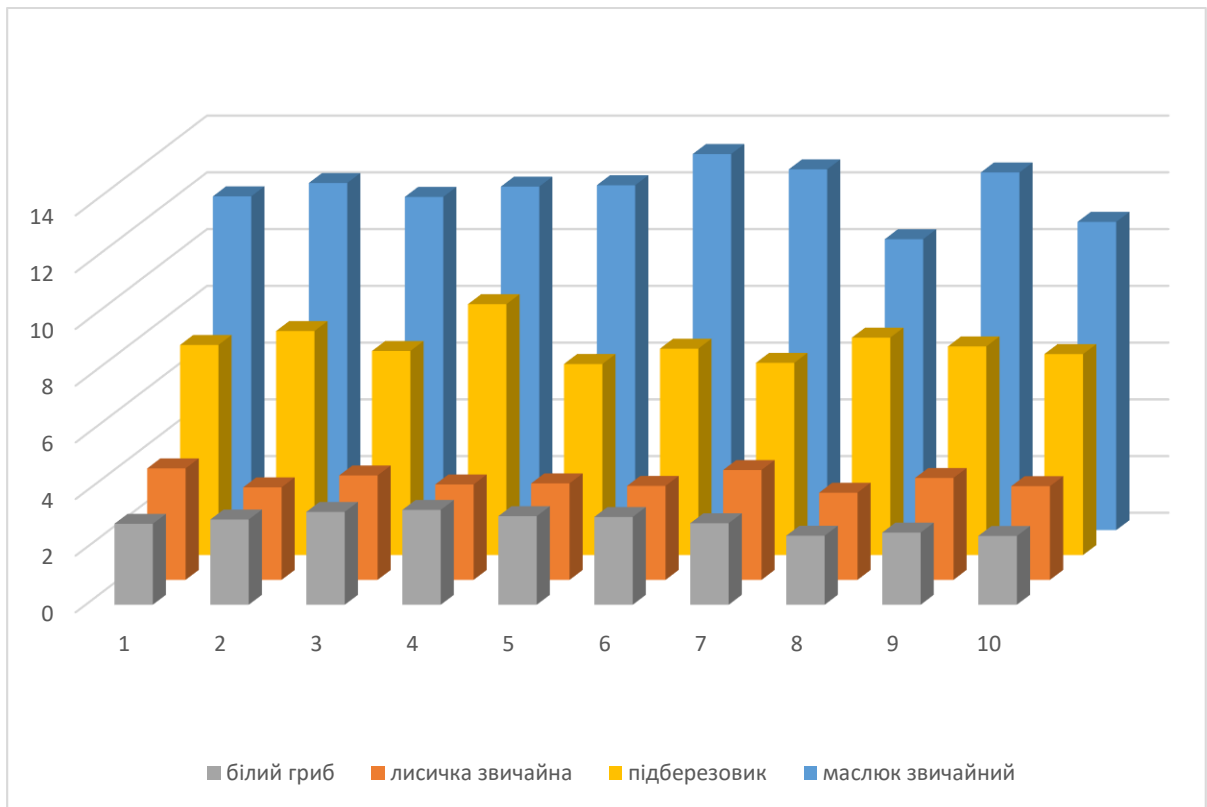


Рис. 4. Коефіцієнт накопичення ^{137}Cs макроміцетами

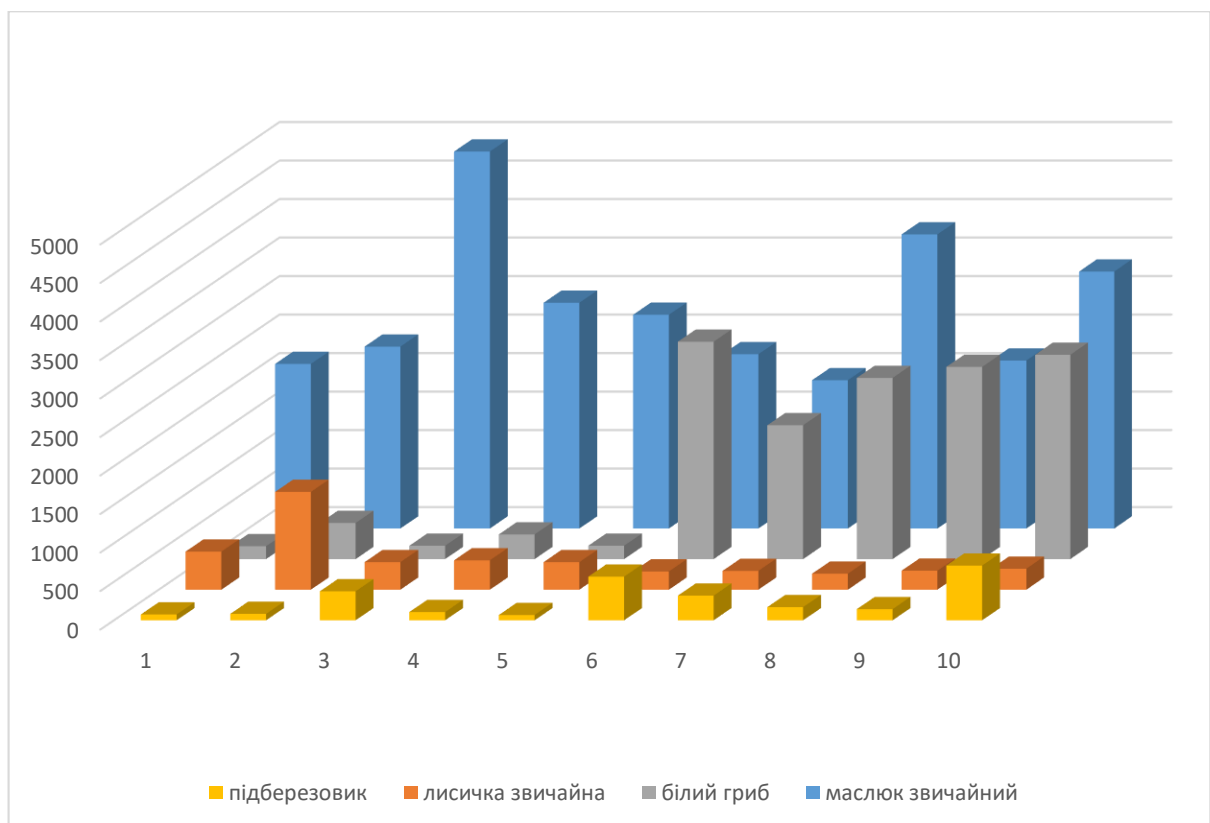


Рис. 5. Загальна забрудненість пробних площ ^{137}Cs (підстилка+грунт) (кБк/м²)

Коефіцієнт переходу із ґрунту в плодове тіло маслюків звичайних в середньому становив 478,9 кБк/м², а коефіцієнт накопичення коливався від 10,3 до 13,3 при середній щільності забрудненості ґрунту 2862,4 кБк/кг. В місцях збору лисичок середня забрудненість ґрунту в лісових масивах поблизу вищезазначених населених пунктів становила 406,7 кБк/кг, а лісової підстилки щільність забруднення становила в середньому 334,7 кБк/м². Коефіцієнт переходу був в межах 139,4 кБк/м².

Для білих грибів показники щільності забруднення ґрунтів на період досліджень складала 304,7 кБк/кг, коефіцієнт переходу в середньому був 116,1 кБк/м², а коефіцієнт накопичення – 2,9.

В результаті досліджень підберезовиків встановлено, що щільність забруднення ¹³⁷Cs лісової підстилки становила 203,4, а ґрунту 58,8 кБк/м². Коефіцієнт переходу варіював в межах 271,1–354,1 кБк/м².

3.2. Шляхи зниження рівня накопичення радіонуклідів у грибах

Згідно норм прописаних у Наказі міністерства охорони здоров'я України № 256 від 03.05.2006 р. «Про затвердження Державних гігієнічних нормативів «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-2006)» та у відповідності до Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» допустимий рівень вмісту ¹³⁷Cs у продуктах харчування, а саме свіжих дикоростучих грибах становить 50 Бк/кг, а у сушених – 250 Бк/кг [4].

Враховуючи наші дослідження та дослідження опрацьованих нами наукових праць, для пониження рівня радіонуклідів у грибах можна скористатися шляхом їх вимочування або відварювання. Під час відварювання грибів протягом п'яти хвилин можна знизити питому активність радіоцезію від 60 до 70 %. При варінні грибів у розсолі загальна активність ¹³⁷Cs у них через 5 хвилин знижувалася в середньому на 70%, а після двадцятихвилинного відварювання у плодовому тілі гриба залишалася близько 8% початкової активності цього радіонукліда.

Якщо початкова сумарна активність ^{137}Cs у плодовому тілі підберезовика становить 2020 Бк, то при кип'ятінні протягом 5, 10 і 20 хвилин показник зменшується відповідно в 4, 8 і 18 разів, а залишковий радіоактивний цезій становить лише 5,5% від вихідного показника.

Термічна обробка, а саме відварювання, плодових тіл підберезовиків із початковою сумарною активністю радіоцезію близько 1000 Бк, протягом тих же часових проміжків дозволяє знизити його концентрацію в плодовому тілі гриба від 3 до 7 разів, відварювання протягом 20 хвилин дає можливість переходу радіоцезію у водний розчин близько 85% від початкових показників його активності.

Зменшення концентрації ^{137}Cs в лисичках шляхом виварювання або вимочування протягом 40 хвилин виводить радіоактивну речовину в межах 30 % від початкових показників, їстівні макроміцети із надто високим вмістом ^{137}Cs із високими показниками перевищення гранично-допустимих концентрацій для сирих грибів 500 Бк/кг і вище 2500 Бк/кг для висушених, можна проводити заготівлю та вживати в їжу але лише після термічної обробки шляхом відварювання.

Висновки

Підсумовуючи все вищезазначене, та враховуючи думку вчених, слід зазначити, що накопичення ^{137}Cs у плодових тілах макроміцетів, незалежно від їх видової приналежності, залежить від умов місцезростання і це необхідно враховувати при їхній заготівлі.

1. В результаті проведення аналітичного огляду літературних джерел встановлено, що харчові продукти лісового походження, а саме гриби, були, є і будуть основними «критичними» продуктами щодо формування внутрішньої дози опромінення населення, що проживає на забруднених територіях.

2. Для постійного моніторингового контролю накопичення радіонуклідів в недеревній продукції лісу, а саме у грибах, слід створити постійні пробні площі із заздалегідь зазначеними найбільш уразливими видами.

3. Встановлено, що навіть у віддалений період після аварії на Чорнобильській атомній електростанції вміст ^{137}Cs у плодових тілах грибів які зростають в лісових масивах філії «Народицьке СЛГ» ДП «Ліси України» залишається достатньо високим.

4. Встановлено, що питома активність ^{137}Cs найвищою із усіх відібраних зразків була в маслюках від 980000 до 2300000 Бк/кг, в лисичках вона в середньому становила 56318 Бк/кг, білих грибах – 145500 Бк/кг, підберезовиках – 76120 Бк/кг.

5. Найнижчий коефіцієнт переходу із ґрунтового покрив встановлений у лисичок звичайних і становив $139,4 \text{ кБк/м}^2$, найвищий у маслюків звичайних – $478,9 \text{ кБк/м}^2$, в білих грибів та підберезовиків в середньому $116,1 \text{ кБк/м}^2$ та $312,3 \text{ кБк/м}^2$ відповідно.

Список використаних джерел

1. Булавик І. М. Накопичення цезію в харчовій продукції лісу / І. М. Булавик, О. М. Переволоцький // Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України : наук. пр. Поліської АЛНДС. Вип. 3. – Житомир : 2001. – С. 55–64.
2. Гриби як біоіндикатори радіоактивного забруднення території / С. М. Голуб, В. О. Голуб, В. П. Войтюк та ін. // Матеріали III з'їзду радіаційних досліджень (радіобіологія і радіоекологія) (Київ, 21–25 трав. 2003). – К. : 2003. – С. 287.
3. Деркач В. В. Радіоактивне забруднення компонентів нижніх ярусів лісових екосистем Волинського Полісся / В. В. Деркач // Фундаментальні та прикладні дослідження в біології : матеріали I Міжнар. наук. конф. студентів, аспірантів та молодих учених (Донецьк, 23–26 лют. 2009). Т. 1. – Донецьк : Вебер, 2009. – С. 313–315.
4. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-2006). Державні гігієнічні нормативи. Затверджені Головним державним санітарним лікарем України. 03.05.2006. Наказ МОЗ № 256. – К., 2006. – 13 с.
5. Краснов В. П. Радіоекологія лісів Полісся України / Краснов В. П. – Житомир : Волинь, 1998. – 112 с.
6. Орлов О. О. Головні закономірності розподілу ^{137}Cs в екосистемах обводнених олігомезотрофних боліт Західного Полісся України / Орлов О. О. // Проблеми екології лісів і лісокористування на Поліссі України : наук. пр. Поліської АЛНДС. – Житомир : 2003. – С. 28–41.
7. Основи лісової радіоекології / М. М. Калетник, І. М. Патлала, В. П. Краснов та ін.; за ред. М. М. Калетника. – К. : Держкомлісгосп України, 1999. – 354 с.
8. Olsen R. A., Joner E., Bakken L. R. Soil fungi and the fate of radiocaesium in the soil ecosystem – a discussion of possible mechanisms involved in the radiocaesium accumulation in fungi, and the role of fungi as a Cs-sink in the soil //

Transfer of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environment / G. Desmet et al., ed. – London – New-York : Elsevier Applied Science, 1990. – P. 202–209.

9. Tsvetnova O. B., Shcheglov A. I. ^{137}Cs content in the mushrooms of radioactive contaminated zones of the European part of the CIS / O. B. Tsvetnova, A. I. Shcheglov // *The Sci. of the Total Environ.* – 1994. – № 155. – P. 25–29.

10. Гродзинська Г., Сирчин С., Кучма М., Коніщук В. Макроміцети – Біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України // *Вісн. НАН України.* 2008. № 9. С. 26–37.

11. Зарубина Н. Е. Сезонная динамика содержания ^{137}Cs в грибах // *Ядерна фізика та енергетика.* 2007. № 1 (19). С. 129–133.

12. Калетник М. М., Краснов В. П., Орлов О. О., Ірклієнко С. П., Мазепа М.Г., Приступа Г.К. Деякі методичні аспекти вивчення забруднення лісових екосистем радіонуклідами // *Лісовий журнал.* – 1995. – № 2. – С. 5-8.

13. Kalach, P. Chemical composition and nutritional value of European species of wild growing mushrooms: A review. *Food Chem.* 2009, 113, 9–16.

14. Falandysz, J.; Zhang, J.; Saniewski, M. ^{137}Cs , ^{40}K and K in raw and stir-fried mushrooms from the Boletaceae family from the Midu region in Yunnan, Southwest China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 509–517.

15. Grodzinskaya A.A., Syrchin S.A., Wasser S.P., Kuchma N.D. Macromycetes accumulative activity in radionuclide contamination conditions of the Ukraine territory. In: Zhdanova N.N. (ed.). *Mycobiota of Ukrainian Polesie: Consequences of the Chernobyl disaster.* (Kyiv: Naukova Dumka, 2013). P. 217–260; 368–373

16. Краснов В. П. Використання харчових продуктів лісу на територіях, забруднених радіонуклідами: навчальний посібник / В. П. Краснов, З. М. Шелест, І. В. Давидова. – Житомир: Вид. О.О. Євенок, 2019. – С. 30-43.

17. Krasnov V. P., Shelest Z. I., Èurbet O.V. ^{137}Cs contamination of mushrooms in the Ukrainian Polessye // *Abstr. Of III Congress on Radiation Research “Radiobiology, Radioecology, Radiation Safety”.* – Pushchino. – 1997. – Т. 2. – P. 353-354.

18. Зерова М.Я., Єлін Ю. Я., Козяков С. М. Гриби: їстівні, умовно їстівні, неїстівні, отруйні. – Київ : Урожай, 1979. – с. 82-83.
19. Зерова М. Я. Визначник грибів України / М. Я. Зерова, П .Є. Сосін, Г. Л. Роженко // Базидіоміцети. Т. 5, кн. 2. – К. : Наук. Думка, 1979. – с. 35-36.
20. Baeza, A.; Guillen, F.J.; Salas, A.; Manjon, J.L. Distribution of radionuclides in different parts of a mushroom: Influence of the degree of maturity. *Sci. Total Environ.* 2006, 359, 255–266.
21. Baeza, A.; Guillén, J.; Hernández, S.; Salas, A.; Bernedo, M.; Manjón, J.L.; Moreno, G. Influence of the nutritional mechanism of fungi (mycorrhize/saprophyte) on the uptake of radionuclides by mycelium. *Radiochim. Acta* 2005, 93, 233–238.
22. Falandysz, J.; Zalewska, T.; Fernandes, A.R. ^{137}Cs and ^{40}K in *Cortinarius caperatus* mushrooms (1996–2016) in Poland – Bioconcentration and estimated intake: ^{137}Cs in *Cortinarius* spp. from the Northern Hemisphere from 1974 to 2016. *Environ. Pollut.* 2019. 113, 208.
23. Falandysz, J.; Saniewski, M.; Zhang, J.; Zalewska, T.; Liu, H.G.; Kluza, K. Artificial ^{137}Cs and natural ^{40}K in mushrooms from the subalpine region of the Minya Konka summit and Yunnan Province in China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018, 25, 615–627.
24. Falandysz, J.; Zalewska, T.; Saniewski, M.; Fernandes, A.R. An evaluation of the occurrence and trends in ^{137}Cs and ^{40}K radioactivity in King Bolete *Boletus edulis* mushrooms in Poland during 1995–2019. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021, 28, 405–415
25. Grytsyuk N., Arapis G., Davydchuk V. Root uptake of ^{137}Cs by natural and semi-natural grasses as a function of texture and moisture of soils // *J. Environ. Radioact.* 2006. Vol. 85. P. 48–58.
26. Carver A. M., Hinton T. G., Fjeld R. A., Kaplan D. I. Reduced plant uptake of ^{137}Cs grown in illite-amended sediments // *Water Air Soil Pollut.* 2007. Vol. 185. P. 255–263.
27. Duff M. C., Ramsey M. L. Accumulation of radiocesium by mushrooms

in the environment: a literature review // J. Environ. Radioact. 2008. Vol. 99. P. 912–993.

28. Wasser S.P., Bolukh V.O., Brun' G.O., Virchenko V.M., Grodzynska G.A., Kondratyuk S.Ya., Navrotska I.L., Stupina V.V., Tsarenko P.M. Uptake of radionuclides by cryptogame plants and higher fungi of Ukraine. (Kyiv, 1995)

29. Kalach P. Radioactivity of European wild growing edible mushrooms. In: Andres S., Baumann N. (eds). *Mushrooms: Types, Properties and Nutrition*. (New York, Nova Sci. Publ., 2012). P. 215–230.

30. Marovic, G.; Franic, Z.; Sencar, J.; Bituh, T.; Vugrinec, O. Mosses and Some Mushroom Species as Bioindicators of Radiocaesium Contamination and Risk Assessment. *Coll. Antropol.* 2008, 32, 109–114.

31. Nifontova M.G., Aleksaschenko V.N. The content of Sr-90 and Cs-134,137 in fungi, lichens and mosses from the near zone of the Chernobyl nuclear power plant. *Russian Journal of Ecology*. 1992. (3): 26.

32. Haselwandter K., Leyval C., Sanders F.E. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi upon plant uptake of heavy metals and radionuclides from soil. In: Gianianazzi S., Schuepp H. (eds.). *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. (Basel: Birkhauser, 1994). P. 179–189.

33. Haselwandter K., Berreck M. Accumulation of radiocesium in fungi. In: Winkelmann G., Winge D.R. (eds.). *Metal ions in fungi*. (New York; Basel; Hong Kong: Marcel Dekker, 1994). P. 259–277

34. Krasnov, V., Ivaniuk, I., Zhukovskyi, O., Kurbet, T., & Orlov, O. (2022). Dynamics of ^{137}Cs accumulation by cranberry on sphagnum bogs of Polissia of Ukraine. *Scientific Horizons*, 25(1), 68–75.

35. Cipáková, A. ^{137}Cs content in mushrooms from localities in eastern Slovakia. *Nukleonika* 2004, 49, 25–29.

36. Travnikova et al. (2001) Travnikova IG, Bruk GJ, Shutov VN, Bazjukin AB, Balonov MI, Rahola T, Tillander M. Contribution of different foodstuffs to the internal exposure of rural inhabitants in Russia after the Chernobyl

accident. Radiation. Protection. Dosimetry. 2001.

37. Rühm W., Kammerer L., Hiersche L., Wirth E. Estimation of future radiocaesium contamination of fungi on the basis of behavior patterns derived from past instances of contamination. J. Environ. Radioact. 1998. 39(2): 129.

38. Tsvetnova O.B., Shatrova N.E., Shcheglov A.I. The accumulation of radionuclides and heavy metals by mushroom's complex in forestry ecosystems. Coll. Res. Contrib. Research Institute for Nuclear Studies. 2001. 3(5): 171

39. Lehto J., Vaaramaa K., Leskinen A. ^{137}Cs , $^{233,240}\text{Pu}$ and ^{241}Am in boreal forest soil and their transfer into wild mushrooms and berries. J. Environ. Radioact. 2013. 116: 124.

40. Dighton J., Clint G.M., Poskitt J. Uptake and accumulation of ^{137}Cs by upland grassland soil fungi: a potential pool of Cs immobilization. Mycol. Res. 1991. 95(9): 1052.

41. Vinichuk M., Johanson K. Accumulation of ^{137}Cs by fungal mycelium in forest ecosystems of Ukraine. J. Environ. Radioact. 2003. 64: 27

42. Steiner M., Linkov I., Yoshida S. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems. J. Environ. Radioact. 2002. 58(2–3): 217.

43. Dighton J., Horrill A.D. Radiocaesium accumulation in the mycorrhizal fungi *Lactarius rufus* and *Inocybe longicystis*, in upland Britain, following the Chernobyl accident. Trans. Br. Mycol. Soc. 1988. 91(2): 335.

44. Eckl P., Hofmann W., Türk R. Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms. Radiat. Environ. Biophys. 1986. 25: 43.

45. Battiston G.A., Degetto S., Gerbasi R., Sbrignadello G. Radioactivity in mushrooms in Northeast Italy following the Chernobyl accident. J. Environ. Radioact. 1989. 9: 53

46. Беглов Р. І., Казмерчук Д. Г. Фітопатологічний стан насаджень берези повислої у лісових насадженнях Житомирського ОУЛІМГ. Ліс, наука, молодь: мат. X Всеукр. наук.-практ. конф., 24 листопада 2022 р. – Житомир: Поліський національний університет, 2022. – с. 18–19.

47. Казмерчук Д. Г. Накопичення радіонуклідів макроміцетами у віддалений період після аварії на ЧАЕС. Розвиток наукової думки: актуальні питання, досягнення та інновації. Мат. наук.-практ. конф. (Хмельницький, 28-29 квітня 2023 р.). – Одеса: Видавництво «Молодий вчений», 2023. – с. 60–63.

48. Філія «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://narslg.com.ua/pro-nas/kоротка-dovidka.html>, вільний.