

ЕКОЛОГІЯ ПЕДОСФЕРИ, ФІТОСФЕРИ І ЗООСФЕРИ

УДК 504.064.2

Кривомаз Т.І.

*Київський національний університет
будівництва та архітектури, м. Київ*

РАДІАЦІЙНИЙ КОНТРОЛЬ НІВАЛЬНИХ МІКСОМІЦЕТІВ КАРПАТ

В результаті радіаційного контролю 59 гербарних зразків 22 видів нивальних міксоміцетів, зібраних на території 6 гірських схилів Українських Карпат (Волосянка, Гимба, Говерла, Драгобрат, Озірна, Товстий Грунь), було встановлено, що потужність амбієнтного еквіваленту дози іонізаційного випромінювання досліджених міксоміцетів не перевищує допустимі рівні. До нивальних міксоміцетів належать переважно темноспорові види, тому наявність меланінових пігментів дозволяє представникам цієї екологічної групи пристосуватися до екстремальних умов існування в високогір'ї при різких перепадах температури та під дією випромінювання. Потужність середнього амбієнтного еквіваленту дози іонізаційного випромінювання нивальних міксоміцетів зростає в залежності від збільшення висоти в чотирьох з шести досліджених локалітетах. Продемонстрована перспективність використання нивальних міксоміцетів для потреб вирішення практичних завдань екологічної безпеки.

Ключові слова: екологічна безпека, радіація, міксоміцети, біоіндикація, паспортизація.

В результате радиационного контроля 59 гербарных образцов 22 видов нивальных миксомицет, собранных на территории 6 горных склонов Украинских Карпат (Волосянка, Гимба, Говерла, Драгобрат, Озерная, Товстий Грунь), было установлено, что мощность эквивалентной дозы ионизации излучения исследованных миксомицетов не превышает допустимые уровни. К нивальным миксомицетам принадлежат преимущественно темноспоровые виды, поэтому наличие меланиновых пигментов позволяет представителям этой экологической группы приспособиться к экстремальным условиям существования в высокогорье при резких перепадах температуры и под действием излучения. Мощность среднего амбиентного эквивалента дозы ионизации излучения нивальных миксомицетов растет в зависимости от увеличения высотности четырех из шести исследованных локалитетов. Продемонстрирована перспективность использования нивальных миксомицетов для нужд решения практических задач экологической безопасности.

Ключевые слова: экологическая безопасность, радиация, миксомицеты, биоиндикация, паспортизация.

The result of radiation monitoring for 59 herbarium specimens of 22 nivicolous myxomycetes species from 6 slopes in Ukrainian Carpathians (Volosyanka, Hymba, Goverla, Dragobrat, Ozirna, Tovstiy Grun) was found that the power of ambient equivalent dose ionizing radiation of studied myxomycetes didn't exceed of acceptable levels. The nivicolous myxomycetes are mainly dark-spores species, so the presence of melanin pigments allows to this ecological group adapts to extreme environmental conditions in the highlands during sudden temperature changes and under radiation. Power average ambient equivalent dose of ionizing radiation for nivicolous myxomycetes increases according to the increasing of height for four from the six surveyed localities. Perspectives of nivicolous myxomycetes were shown for managing of practical problems in environmental safety.

Keywords: ecological safety, radiation, slime molds, bioindication, certification.

Актуальність проблеми. Одним з актуальних завдань екологічної безпеки є дослідження адаптаційних механізмів біосистем до стресових умов навколишнього середовища. Міксоміцети (слизовики, Myxomycetes) – це грибоподібні протисти, які здатні

приспосовуватись до різноманітних умов природного середовища, що дозволяє використовувати їх як модельні об'єкти у сфері екологічної безпеки [2]. Розглядаються гіпотези щодо можливості міксоміцетів зв'язувати радіонукліди [1], оскільки в лісовій підстилці та ґрунті слизовики відіграють роль біоконцентраторів, що здатні накопичувати елементи та сполуки в концентраціях, які перевищують їх вміст в навколишньому середовищі [5]. Як і гриби, вони також можуть опосередковано впливати на форму знаходження радіонуклідів в природному середовищі та їх рухливість у ґрунтах та лісовій підстилці [7]. Припущення про наявність у міксоміцетів особливих протирадіаційних захисних механізмів пов'язують з меланіновими пігментами, що містяться в різних морфологічних структурах цих організмів. У багатьох видів меланіни є важливим фактором захисту від несприятливих умов зовнішнього середовища, надаючи змогу пристосовуватись до екстремальних умов існування. Наявність меланінів дозволяє живим організмам з різних таксономічних груп існувати в умовах високої інсоляції, УФ-випромінювання, висушування, заморожування, різких перепадів температури, низьких концентрацій органічних речовин, а також високих концентрацій солей, важких металів та радіонуклідів [4].

Серед міксоміцетів є особлива екологічна група нівальних видів, що пристосувалися до екстремальних умов існування. Нівальні міксоміцети поширені в альпійській, субальпійській та арктичній зонах на відкритих гірських схилах з інтенсивною інсоляцією. В зимовий період їх спори та склероції знаходяться на торішніх рослинних залишках під снігом, де формується певний мікроклімат. У весняний період, коли сніг починає танути, достатня кількість талої води підтримує субстрат у вологому стані протягом двох-трьох тижнів. Відносно високі денні температури стимулюють ріст плазмодіїв, а нічне зниження температури індукує формування спорангіїв [8]. Коли плазмодій набуває достатніх розмірів, він пересувається ближче до краю снігового покриву і водночас край снігового покриву, танучи, вивільнює плазмодій під дією прямих сонячних променів. У цей період на живих та відмерлих частинах рослин поруч зі снігом, що тане, починається формування спорофорів нівальних міксоміцетів. Показово, що на відміну від інших екологічних груп міксоміцетів, представники нівальних складаються переважно з темноспорових видів. Можливо саме наявність меланіну дає можливість нівальним міксоміцетам виживати в умовах різких коливань температури та високої інсоляції. Вірогідно, що ця екологічна група також характеризується стійкістю до впливу радіації.

Мета дослідження. Визначити наявність адаптаційних властивостей нівальних міксоміцетів до дії радіації шляхом вимірювання потужності еквівалентної дози іонізаційного випромінювання.

Матеріали та методи. Матеріалом для дослідження стали 59 гербарних зразків, що належать до 22 видів нівальних міксоміцетів. В дослідженнях міксоміцетів зразком вважають окремі плодові тіла або колонію спорофорів. Плодові тіла міксоміцетів збирають разом з частиною субстрату і зберігають в окремих контейнерах. Польові збори проводились у весняний сезон на схилах Карпатських гір на межі снігу, який щойно розтанув. Було проведено обстеження шести наступних гір: 1) Говерла на висоті 1235 м, 1350 м та 1382 м в Говерлянському лісництві Чорногірського масиву Карпатського національного природного парку, розташованому в Надвірнянському районі та на території Яремчанської міської ради Івано-Франківської області, де було знайдено 24 зразки нівальних міксоміцетів; 2) Драгобрат на висоті 1240 м та 1275 м у Свидовецькому масиві Карпатського біосферного заповідника, розташованому в Рахівському районі Закарпатської області, де було знайдено 16 зразків; 3) Гимба на висоті 1025 м та 1155 м в околицях с. Пилипець Воловецького району Закарпатської області, де виявлено 9 зразків; 4) Озірна на висоті 1397 м, що розташована в масиві Горгани Національного природного парку «Синевир» у Міжгірському районі Закарпатської області, де знайдено 8 зразків; 5) Товстий Грунь на висоті 1209 м у Чорногірському масиві Карпатського біосферного заповідника, де виявлено 1 зразок; 6) Волосянка на висоті 1178 м в околицях с. Славське Сколівського району Львівської області, де знайдено 1 зразок. Всі збори відбулись в травні 2005 р., крім одного зразка, виявленого на схилах гори Товстий Грунь у квітні 2007 р.

Для ідентифікації видів міксоміцетів використовувався визначник «Les Mухомycètes» [6]. Експерименти по вимірюванню потужності еквівалентної дози іонізаційного випромінювання проводились на базі лабораторії кафедри охорони праці та навколишнього середовища факультету інженерних систем та екології Київського національного університету будівництва і архітектури.

Метод вимірювання потужності амбієнтного еквіваленту дози (ПАЕД) іонізаційного випромінювання базується на прямому вимірюванні ПАЕД на поверхні обстежуваних об'єктів [3]. Вимірювання ПАЕД у досліджуваних видів нівальних міксоміцетів проводилось за допомогою дозиметричного приладу SMG-2 в режимі радіометра. Прилад реєструє ПАЕД гамма-, бета-, та рентгенівського випромінювання (від 0,01 до 999 мкЗв/год) з енергію гамма-випромінювання (від 0,1 до 1,25 МеВ). Детектор розміщують на відстані приблизно 1,0 см від спорифорів міксоміцетів, до дозволяє заміряти індивідуальні значення ПАЕД для кожного зразка, не пошкоджуючи при цьому об'єкт досліджень. Для кожного гербарного зразка реєструвалось 30 одиничних замірів. Вимірювання здійснювались згідно вимогам радіаційної безпеки наведених у ДГН 6.6.1-6.5.001-98 «Норми радіаційної безпеки України» НРБУ-97 та ДСП 6Л 77-2005-09-02 «Державні санітарні правила 6. Радіаційна гігієна. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України». Обробка результатів вимірювань ПАЕД гамма-випромінювання виконувалась в узгодженні з ДСТУ ГОСТ 8.207-2008 [3].

Еквівалентна доза відображає біологічний вплив опромінення на живі організми і визначає ефект, викликаний будь-яким іонізуючим випромінюванням, порівнюючи його з ефектом від рентгенівського і гамма-випромінювання. Ефективна доза відображає ризик виникнення віддалених наслідків опромінення для живих організмів із врахуванням їх радіочутливості. Поняття ефективної дози вводиться для аналізу потенційної здатності різних типів іонізаційного випромінювання завдати шкоди живим організмам.

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}, \quad (1)$$

де H_T – доза в органах чи тканинах живих організмів; W_R – ваговий коефіцієнт, що відповідає певному виду випромінювання і відображає його здатність ушкоджувати певні тканини чи органи; $D_{T,R}$ – доза, що поглинута певним органом чи тканиною.

Як еквівалентна, так і ефективна дози не можуть бути виміряні безпосередньо, тому для практичного використання застосовуються операційна дозиметрична величина – амбієнтна доза. Амбієнтний еквівалент дози (H_d) визначається через фізичні характеристики поля випромінювання для практичного визначення ступеню шкоди, яку може заподіяти це випромінювання. Потужність еквівалентної дози – це інтенсивність випромінювання, що утворюється за одиницю часу і характеризує швидкість накопичення дози. Потужність амбієнтного еквіваленту дози H_d – відношення приросту амбієнтного еквіваленту дози (dH_d) за інтервал часу d_t до величини цього інтервалу:

$$H_d = dH_d/d_t. \quad (2)$$

Одиницею амбієнтного еквіваленту дози в системі СІ є зіверт, що відображає біологічний вплив іонізуючого випромінювання на відміну від фізичного, який характеризується поглинутою дозою випромінювання та вимірюється в греях. Один зіверт дорівнює еквівалентній дозі будь-якого виду випромінювання, поглиненої одним кілограмом біологічної тканини, що створює такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в один грей рентгенівського або γ -випромінювань: $Зв = Дж \cdot кг^{-1} = м^2 \cdot с^{-2}$ (1 Зв = 100 бер). В даному дослідженні показники ПАЕД наведені у мікросівертах за годину (мкЗв/год) [3].

Середньоарифметичне значення ПАЕД було обчислено за наступною формулою:

$$H = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n H_i, \quad (3)$$

де H – середнє арифметичне значення результатів n одиничних вимірювань, n – кількість вимірювань, H_i – значення одиничного вимірювання.

Відносне середньоквадратичне відхилення (СКВ, S) результатів вимірювань ПАЕД розраховувалось за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i - H)^2} \quad (4)$$

Результати. В результаті проведеного радіаційного контролю 59 гербарних зразків 22 видів нівальних міксоміцетів, зібраних на території 6 гірських схилів Українських Карпат, було здійснено 1770 одиничних вимірювань ПАЕД (30 вимірювань для кожного зразка), які знаходились в діапазоні від 0,0400 до 0,2100 мкЗв/год. Відповідно регламенту НРБУ-97, значення радіаційних параметрів, встановлені ДСЕПІН 6.6.1.-079/211.3.9 001-02., не перевищують допустимі рівні. Нормальними показниками радіаційного навантаження від природних джерел випромінювання вважаються значення ПАЕД від 0,1000 до 0,2000 мкЗв/год, а рівень 0,2000–0,3000 мкЗв/год вважається припустимим, що формує відповідну середню еквівалентну дозу менш ніж 2 мЗв на рік [3].

Математичні очікування (середньоарифметичне значення ПАЕД), середньоквадратичне відхилення (СКВ) ПАЕД для 22 видів нівальних міксоміцетів наведені в таблиці 1. За результатами обстеження більшість середніх значень ПАЕД знаходиться в діапазоні 0,1100 та 0,1200 мкЗв/год, що становить 55% від загальної кількості досліджених видів міксоміцетів, для 33% середнє ПАЕД 0,1300-0,1400 мкЗв/год, для 18% – 0,1000 мкЗв/год. Тільки *Meriderma carestiae* виділялись з поміж інших досліджених видів максимальними середніми показниками ПАЕД, які становили 0,1570 мкЗв/год. Проте навіть це значення знаходиться у межах норми. Загалом нівальні види продемонстрували менше ПАЕД, ніж види міксоміцетів, зібрані в лісопаркових зонах м. Києва. Це свідчить про здатність нівальних міксоміцетів пристосовуватись до несприятливих умов навколишнього середовища.

Таблиця 1

Результати вимірювань потужності амбієнтного еквіваленту дози для нівальних міксоміцетів Карпат

№	Види міксоміцетів	Кількість зразків (вимірів)	ПАЕД (мкЗв/год)	СКВ	Скорочена назва виду
1	<i>Diderma alpinum</i> (Meyl.) Meyl.	3 (90)	0,1253	0,0329	DA
2	<i>D. globosum</i> Pers.	5 (150)	0,1217	0,0308	DG
3	<i>D. meyeriae</i> H. Singer, G. Moreno, Illana & A. Sánchez	2 (60)	0,1030	0,0203	DMe
4	<i>D. microcarpum</i> Meyl.	2 (60)	0,0990	0,0258	DMi
5	<i>D. niveum</i> (Rostaf.) T.Macbr.	4 (120)	0,1248	0,0285	DN
6	<i>Didymium dubium</i> Rostaf.	2 (60)	0,1245	0,0242	DD
7	<i>Lamproderma echinosporum</i> Meyl.	2 (60)	0,1115	0,0302	LE
8	<i>L. ovoideochinulatum</i> Mar. Mey. & Poulain	1 (30)	0,1020	0,0231	LOE
9	<i>L. ovoideum</i> Meyl.	2 (60)	0,1105	0,0477	LO
10	<i>L. pulchellum</i> Meyl.	1 (30)	0,1110	0,0538	LP
11	<i>L. spinulosporum</i> Meyl.	6 (180)	0,1027	0,0831	LSpi
12	<i>L. splendens</i> Meyl.	3 (90)	0,1350	0,0640	LSpl
13	<i>Lepidoderma aggregatum</i> Kowalski	2 (60)	0,1190	0,0120	Lag
14	<i>L. alpestroides</i> Mar. Mey. & Poulain	5 (150)	0,1338	0,0339	LAl
15	<i>L. carestianum</i> (Rabenh.) Rostaf.	1 (30)	0,1230	0,0236	LC
16	<i>L. chailletii</i> Rostaf.	1 (30)	0,1070	0,0142	LCh
17	<i>Meriderma carestiae</i> (Ces. & De Not.) Mar.Mey. & Poulain	1 (30)	0,1570	0,0300	MC
18	<i>M. echinulatum</i> (Meyl.) Mar. Mey. & Poulain	5 (150)	0,1368	0,0390	ME
19	<i>Physarum albescens</i> Ellis ex T.Macbr.	4 (120)	0,1345	0,0273	PAIb
20	<i>Ph. alpestre</i> Mitchel, S.W. Chapm. & M.L. Farr	4 (120)	0,1328	0,0396	PAIa
21	<i>Ph. vernum</i> Sommerf.	2 (60)	0,1245	0,0180	PV
22	<i>Trichia alpina</i> (R.E.Fr.) Meyl.	1 (30)	0,1240	0,0156	TA

Представники нівальних міксоміцетів характеризуються стійкістю до впливу таких несприятливих факторів, як низькі температури та підвищена інсоляція. У інших груп організмів такі властивості пов'язують з наявністю в їх структурах вторинних метаболітів пігменту меланіну. Можливо саме тому до екологічної групи нівальних входять переважно міксоміцети з темними спорами. Найвищі значення ПАЕД були виявлені у *Meriderma carestiae*, а найнижчі – у *Diderma microcarpum*. Для останнього виду характерні маленькі спорофори, перидій яких насичений вапном, а білий колір сприяє розсіюванню сонячного світла. Вид з найвищими показниками ПАЕД може утворювати колонії спорангіїв на ніжках, темний перидій яких не містить вапна, а характеризується металевим блиском і може поглинати сонячні промені.

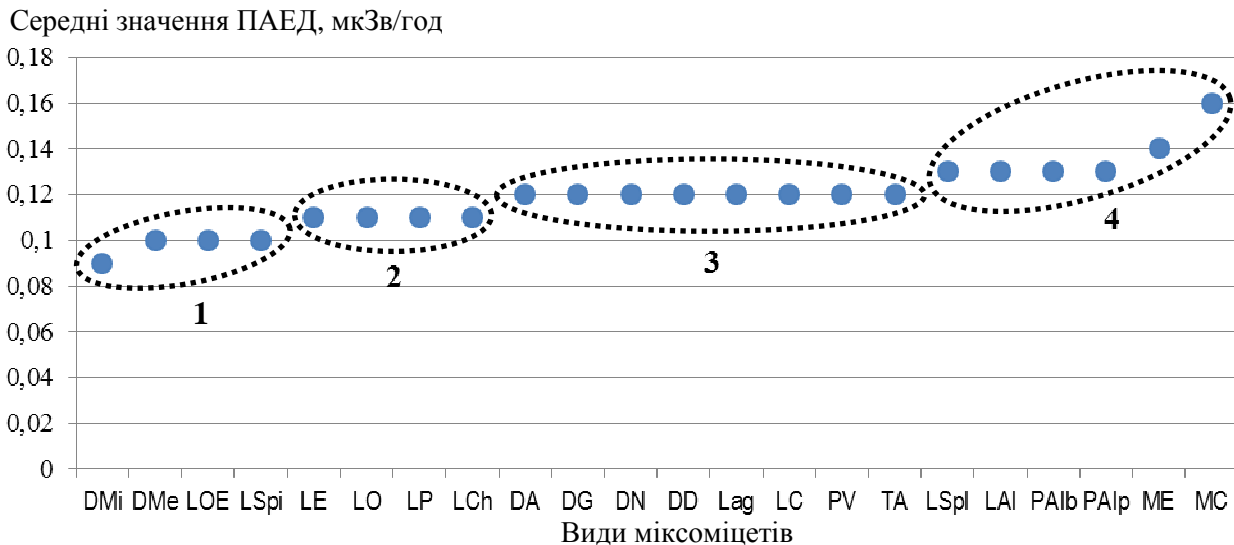


Рис.1. Розподіл міксоміцетів за групами в залежності від середніх значень потужності амбієнтного еквіваленту (повні назви видів наведені в таблиці 1)

Як продемонстровано на *рис.1*, досліджені нівальні міксоміцети розподілились за чотирма основними групами, в залежності від середніх значень ПАЕД. До першої групи з ПАЕД від 0,0900 до 0,1000 мкЗв/год увійшло 4 види: *Diderma microcarpum*, *D. meyeriae*, *Lamproderma ovoideoechinulatum* та *L. spinulosporum*. Два перших види характеризуються наявністю насиченого вапном білого перидію, що віддзеркалює сонячні промені, а темні спори з меланіновими пігментами захищені від дії несприятливих факторів. Два інших види належать до роду *Lamproderma*, більшість представників якого увійшли до другої групи. Ця група з ПАЕД 0,1100 мкЗв/год також складається з 4 видів: *Lamproderma echinosporum*, *L. ovoideum*, *L. pulchellum*, *Lepidoderma chailletii*. Видам даного роду притаманний блискучий перидій, тому, незважаючи на темне забарвлення спорофорів, ці міксоміцети також мають захист від надмірної інсоляції. До третьої найбільшої групи з ПАЕД 0,1200 мкЗв/год належить вдвічі більше видів, ніж у попередніх групах міксоміцетів: *Diderma alpinum*, *D. globosum*, *D. niveum*, *Didymium dubium*, *Lepidoderma aggregatum*, *L. carestianum*, *Physarum vernum* та *Trichia alpina*. Тільки у останнього виду спори мають не темний, а яскраво-жовтий колір, проте, на відміну від інших представників видів роду *Trichia*, даний вид має не жовтий, а чорний перидій і трапляється він переважно в горах, обираючи екстремальні умови існування. Наприклад, плодові тіла *Trichia alpina* можна виявити на практично голих гірських скелях, що не характерно для інших міксоміцетів. І, нарешті, група з найвищими середніми показниками ПАЕД від 0,1300 до 0,1600 мкЗв/год включає 6 видів: *Lamproderma splendens*, *Lepidoderma alpestris*, *Physarum albescens*, *Ph. alpestre*, *Meriderma echinulatum* та *M. carestiae*. Рід *Meriderma* тільки нещодавно відокремили від роду *Lamproderma* і представники цих родів раніше відрізняли переважно за мікроскопічними ознаками. В зв'язку з цим особливу цікавість представляє виявлена особливість *Meriderma carestiae*

реагувати на радіаційне навантаження. Для з'ясування залежності ПАЕД від таксономічної приналежності міксоміцетів, було проведено порівняння середніх значень ПАЕД за родами нівальних видів, виявлених під час дослідження (рис. 2).

Середні значення ПАЕД, мкЗв/год

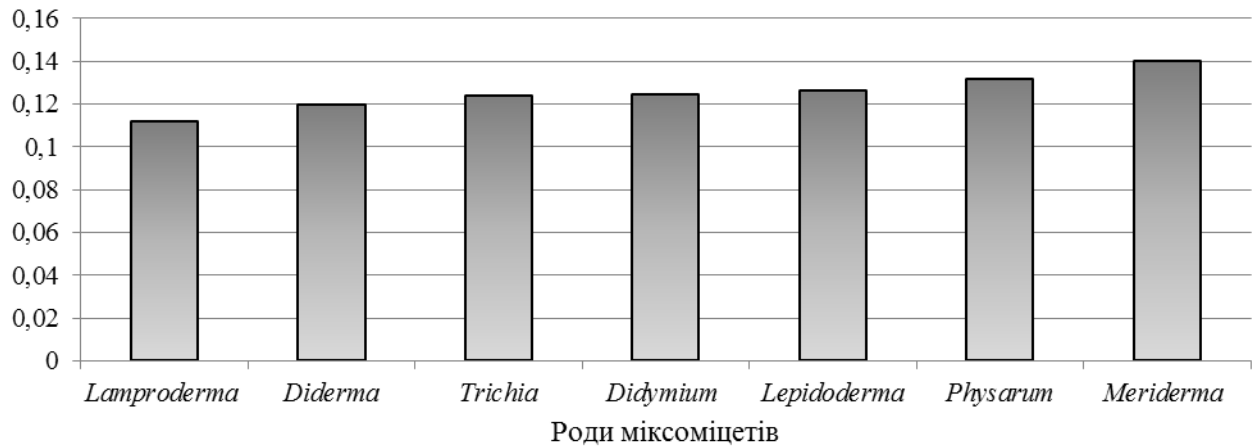
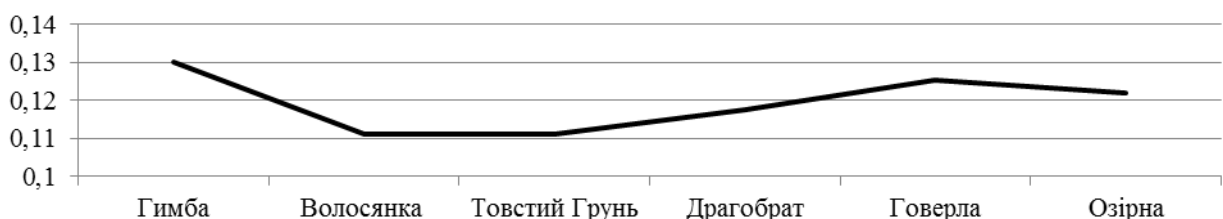


Рис. 2. Середні значення ПАЕД для родів нівальних міксоміцетів шести Карпатських схилів

З'ясувалось, що таксономічна відмежованість родів *Lamproderma* та *Meriderma* підтверджується не тільки мікроскопічними особливостями морфології, але й значеннями ПАЕД – для *Lamproderma* середні показники є мінімальними (0,1119 мкЗв/год) серед інших досліджених родів, а для *Meriderma* вони є максимальними – 0,1402 мкЗв/год. Можливо товсті вапняні покриви видів роду *Diderma* захищають їх від іонізуючого випромінювання, тому середні показники ПАЕД для 5 знайдених нами видів становить 0,1196 мкЗв/год. Два наступні роди представлені в наших дослідженнях поодинокими видами – *Trichia alpina* та *Didymium dubium*, для яких ПАЕД відповідно 0,1240 та 0,1245 мкЗв/год. Для чотирьох видів роду *Lepidoderma* середні значення ПАЕД сягають 0,1263 мкЗв/год, а для трьох знайдених видів роду *Physarum* – 0,1318 мкЗв/год. Незважаючи на виявлені відмінності значень ПАЕД на родовому рівні, для остаточного з'ясування впливу іонізуючого випромінювання на нівальні міксоміцети необхідні чисельні дослідження у майбутньому.

Встановлена кореляція накопичення дози випромінювання міксоміцетами, в залежності від висоти гірських схилів, на яких проводили збори нівальних видів (рис. 3). Значення ПАЕД поступово збільшується, в залежності від висоти гір: для зразків з г. Волосянка (1178 м) – середнє ПАЕД 0,1111 мкЗв/год, г. Товстий Грунь (1209м) – 0,1111 мкЗв/год, г. Драгобрат (1275 м) – 0,1175 мкЗв/год, г. Говерла (1382 м) – 0,1255 мкЗв/год. Проте, на г. Озірна (1397 м) доза випромінювання зразків знову дещо зменшується і середнє значення ПАЕД становить 0,1220 мкЗв/год. Крім того, із загальної тенденції випадають нівальні міксоміцети, знайдені на г. Гимба, де при найменшій висоті місця зборів (1155 м), середнє значення ПАЕД перевищує всі попередні (0,1300 мкЗв/год). Таким чином питання залежності ПАЕД нівальних міксоміцетів від висотності все ще залишається дискусійним і потребує подальших досліджень.

Середні значення ПАЕД, мкЗв/год



Місця відбору зразків (висота на схилах, м)

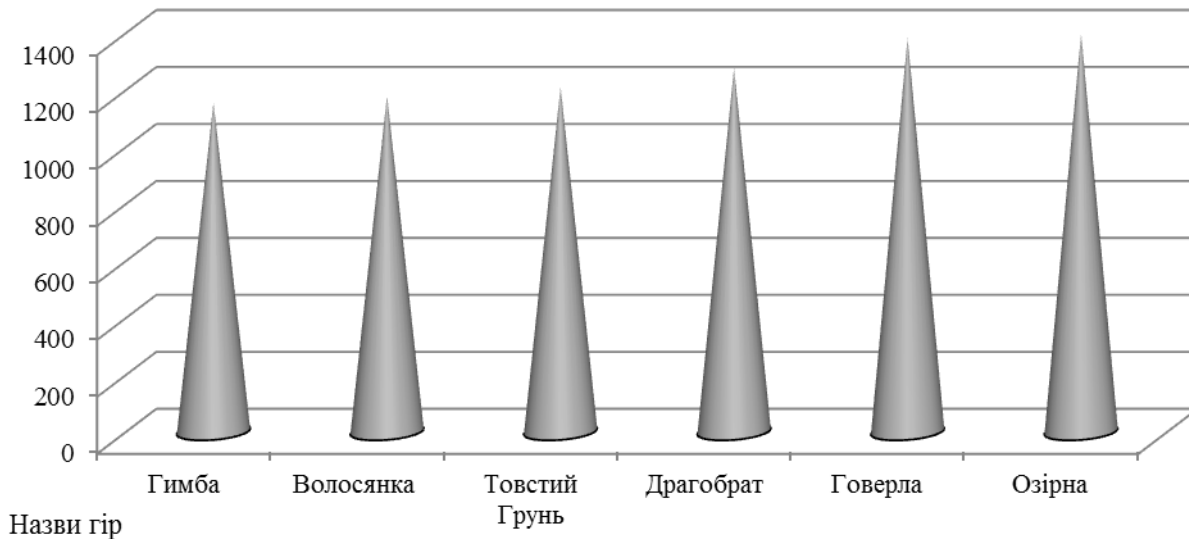


Рис. 3. Співвідношення висоти схилів гір, де були відібрані зразки та середніх значень ПАЕД міксоміцетів, виявлених в даних локалітетах

Оскільки гербарні зразки міксоміцетів зберігаються на шматочках субстратів, необхідно було переконатись, чи не впливає тип субстрату на значення ПАЕД. Для цього було проведено порівняння значень ПАЕД на різних типах субстратів. На опаді та сухій траві було виявлено 27 нівальних міксоміцетів з середнім ПАЕД 0,1211 мкЗв/год. На гілках живих кущів *Rubus idaeus* та *Salix* sp., де було зібрано 20 зразків міксоміцетів, середній рівень ПАЕД становив 0,1256 мкЗв/год. На живих кущиках чорниці було знайдено всього 12 зразків з середнім ПАЕД 0,1231 мкЗв/год. Очевидно, що в даному випадку субстрат мало впливає на значення ПАЕД у міксоміцетів і це підтверджує, що в процесі замірів коливання дози випромінювання викликалися саме міксоміцетами, а не субстратом, на яких вони утворили свої спорофори.

Висновки. Представники різних екологічних груп міксоміцетів характеризуються загальним високим рівнем адаптації до несприятливих умов, що забезпечує їх широке поширення в різноманітних екотопах всіх регіонів світу. Очевидно, що нівальним міксоміцетам притаманні особливі механізми адаптації, які дозволили їм пристосуватись до виживання в екстремальних умовах високогір'я під дією прямого ультрафіолетового та іонізуючого випромінювань, а також різких перепадах температури. З поміж інших видів міксоміцетів представники цієї відокремленої екологічної групи відрізняються тим, що їх неможливо культивувати в лабораторних умовах методом вологої камери. Крім того, до складу нівальних входять переважно темноспорові види, і завдяки цьому виникає припущення, що саме меланін є одним з факторів, який забезпечує унікальні адаптаційні можливості цієї групи. Весь спектр адаптаційних механізмів нівальних міксоміцетів поки що остаточно не з'ясований, але дане дослідження є певним внеском у висвітлення цього питання. Загалом ПАЕД нівальних міксоміцетів зростає в залежності від збільшення висоти для чотирьох з шести обстежених гірських схилів Карпат, проте для встановлення чіткої кореляції необхідні більш масштабні дослідження. Також перспективними напрямками є вивчення можливостей накопичення міксоміцетами радіонуклідів та дослідження реакції цих організмів на високі дози радіації, але такі експерименти потребують більш складних методик та обладнання. Особливості метаболізму, життєвого циклу та широке поширення міксоміцетів надає можливість використовувати їх для практичного визначення ступеню шкоди, яку може заподіяти іонізуюче випромінювання. Дослідження особливостей пристосування міксоміцетів до дії стресових факторів відкривають нові перспективи для практичного застосування їх специфічних адаптаційних механізмів у сфері екологічної безпеки. Розглядаються можливості використання окремих видів міксоміцетів у якості

об'єктів біоіндикації радіаційного забруднення і, можливо, перспективних об'єктів для біоремедіації радіаційно забруднених територій. Як перспективні модельні об'єкти, міксоміцети можуть бути використані для потреб вирішення цілого спектру практичних завдань екологічної безпеки. Слід відзначити, що дане дослідження є черговим вкладом в формування паспорту екологічної безпеки для міксоміцетів, який оцінює вплив цих організмів на інші види, людину та навколишнє середовище.

В результаті дослідження зроблені наступні висновки:

1. До екологічної групи нівальних міксоміцетів переважно входять темноспорові види, які містять у своїх морфологічних структурах пігменти меланінової групи, що дозволяє їм пристосуватися до екстремальних умов існування.

2. Потужність середнього амбієнтного еквіваленту дози нівальних міксоміцетів зростає в залежності від збільшення висоти на чотирьох з шести досліджених гірських схилах Карпат, проте кореляція накопичення дози іонізаційного випромінення нівальними міксоміцетами з висотністю потребує подальших досліджень.

3. Доведено, що потужність еквівалентної дози міксоміцетів, не корелює з такою у субстратів, тому окремі види міксоміцетів можуть бути використані для потреб вирішення практичних завдань екологічної безпеки, як біоіндикатори радіаційного стану місцевості.

4. Дане дослідження є вкладом у формування паспорту екологічної безпеки міксоміцетів для встановлення механізмів їх взаємодії з абіотичними факторами оточуючого середовища.

Література

1. Жданова Н. М. Моніторинг міксоміцетів при визначенні санітарного стану ґрунтів // Агроєкологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / Н.М. Жданова. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – С. 146-152.

2. Кривомаз Т.І. Оцінка модельних об'єктів для поетапної розробки «Паспортів екологічної безпеки видів» / Т.І. Кривомаз // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць/ М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2014. – Вип. 16. – С. 32-39.

3. Тимошенко М.М. Робочий зошит з питань радіаційного контролю / М.М. Тимошенко, Г.Я. Мінчук. – К.: ВАІТЕ, 2013. – 52 с.

4. Calvo A.M., Wilson R.A., Bok J.W., Keller N.P. Relationship between secondary metabolism and fungal development // *Microbiol Mol Biol Rev.* – 2002. – 66(3). – P. 447-459.

5. Keller H.W., Everhart S.E. Importance of Myxomycetes in Biological Research and Teaching // *Fungi.* – 2010. – 3(1). – P. 13-27.

6. Poulain M., Meyer M., Bozonnet J. Les Myxomycètes. 2 vol. – Delémont: FMBDS, 2011. – 1119 p., 544 plates.

7. Steiner M., Linkov I., Yoshida S. The role of fungi in the transfer and cycling of radionuclides in forest ecosystems // *J. Environ. Radioactivity.* – 2002. – Vol. 58. – P. 217-241.

8. Stephenson S.L., Novozhilov Yu.K., Schnittler M. Distribution and ecology of myxomycetes in high-latitude regions of the northern hemisphere // *J. Biogeogr.* – 2000 – 4. – P. 741–754.

Поступила в редакцію 10 березня 2015 р.

Рекомендовала до друку доктор техн. наук О.С. Волошкіна