

УДК 504 : 57.08

© С. В. Беспалова, О. В. Федотов

БІОТЕСТУВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИДІОМІЦЕТІВ

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: bio.graff@yandex.ua

Беспалова С. В., Федотов О. В. Біотестування атмосферного повітря урбанізованих територій з використанням базидіоміцетів. – Проаналізовано численні літературні дані з питань використання мікологічних об'єктів у біоіндикації та біомоніторингу екологічного стану довкілля. Доводиться, що ці напрямки взаємопов'язані та є складовими однієї проблеми, вирішення якої буде сприяти збереженню та відновленню антропогенно порушених екосистем. Розглянуто результати біотестування атмосферного повітря урбанізованих територій з використанням базидіоміцетів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* з різних моніторингових точок. Результати дослідження підтверджують загально біологічну закономірність про те, що будь-який організм під час впливу на нього нового фактору зовнішнього середовища чи при освоєнні нової еконіши або є резистентний, або, як правило, адаптується, набуваючи при цьому властивості та зміну норм реакції, що досягається за рахунок варіабельності онтогенетичних і фізіологічних властивостей. Виявлені адаптаційні перебудови скоріше за все ведуть і до формування мікобіоти урбанізованих систем цих міст. Як наслідок отримані результати з інтенсивності процесів перекисного окислення ліпідів карпофорів доводять, що базидіоміцети *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* можуть бути застосовані як індикатори стану довкілля чи наявності певних поллютантів у середовищі, що аналізується. Обґрунтовується перспективність використання в біотестуванні навколишнього середовища новітніх методів і приладів із фіксацією хемілюмінесценції, оскільки реакції вільних радикалів та антиоксидантного захисту в живих системах, інтенсивність яких змінюється під впливом різноманітних факторів, супроводжуються слабким світінням.

Ключові слова: біотестування, урбанізовані території, базидіоміцети, карпофор, перекисне окислення ліпідів.

Вступ

Результати моніторингових досліджень території Донбасу показують, що забруднення атмосферного повітря є однією з найбільш серйозних екологічних проблем багатьох промислових міст регіону. Вплив забруднення повітря на здоров'я людини проявляється через зростання та атипичний розвиток захворюваності та як наслідок скорочення середньої тривалості життя.

Хоча останнім часом спостерігається тенденція до зниження валових викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами, проте рівень забруднення атмосферного повітря залишається ще порівняно високим. Аналіз таких даних для м. Донецька показує, що за останні 10 років загальні валові викиди шкідливих речовин промислових підприємств знизилися на 32%, а викиди транспорту зросли на 76%. У разі збереження існуючих тенденцій кількість викидів шкідливих речовин від пересувних джерел до 2020 р. перевищить відповідну кількість викидів від стаціонарних джерел. У цьому випадку валова кількість викидів по місту зросте на 30-40% і може скласти від 280 до 300 тис. тонн на рік. Аналогічні тенденції відмічаються і в інших містах регіону: зростання рівня забруднення атмосфери переважно за рахунок збільшення вмісту в повітрі діоксиду азоту, формальдегіду, аміаку, фенольних речовин, діоксиду сірки, пилу та інших поллютантів.

Основна мета моніторингу атмосферного повітря – спостереження за його якістю, оцінка, прогноз і виявлення тенденцій зміни стану атмосфери для попередження негативних ситуацій, що загрожують здоров'ю людей і навколишньому середовищу. Сучасною тенденцією розвитку екологічного контролю довкілля є біотичний підхід, що доповнює хімічний аналіз навколишнього середовища. Це дозволяє фіксувати стан і прогнозувати розвиток різних компонентів біоти та екосистеми в цілому. Отже, завданнями екологічного контролю є пристосування біологічних методів і відбір інформативних біологічних об'єктів і показників. Найважливішою складовою частиною екологічного моніторингу навколишнього природного середовища є біомоніторинг – система спостережень, оцінки та прогнозу різноманітних змін у біоті, викликаних чинниками антропогенного походження. Біомоніторинг уможливорює пряму оцінку якості середовища та є одним з рівнів

послідовного процесу вивчення стану екосистем [6, 10, 22].

Головними етапами розробки систем біологічного моніторингу є добір придатних природних об'єктів і створення біотехнологій аналізу, спроможних із достатньо великою точністю виявляти «відгук» організму біоіндикатору на забруднення середовища, у якому він знаходиться, визначення регламенту, узгодження методик, проектування й експлуатація мережі моніторингу. Методами біоіндикації і біотестування визначається наявність у навколишньому середовищі того або іншого забруднювача, а також аналізується стан визначених організмів, найбільше чутливих до зміни екологічних умов, тобто виявлення і визначення біологічно значущих антропогенних навантажень на основі реакції на них живих організмів чи їх угруповань.

Отже, застосування біологічних методів для оцінки екологічного стану середовища має метою виділення біологічних видів, що чутливо реагують на той або інший тип впливу зовнішнього середовища. Методами біоіндикації з використанням індикаторних організмів у визначених умовах може здійснюватися якісна та кількісна оцінка ефекту антропогенного та природного впливу на навколишнє середовище, яка не містить визначення ступеня забруднення. Біологічні методи біоіндикації визначають або допомагають діагностувати негативні зміни в природному середовищі при різних концентраціях різноманітних речовин, які його забруднюють [10, 17].

При цьому використовувані біологічні види – біоіндикатори повинні задовольняти низці вимог. Це повинні бути види, характерні для природної зони, де проводиться біомоніторинг. Біологія цих видів-індикаторів повинна бути добре вивчена. Організми-монітори повинні бути поширені всюди на всій досліджуваній території та мати чітко виражену кількісну та якісну реакцію на відхилення властивостей середовища від екологічної норми [6, 10].

За допомогою біоіндикаторів можливо провести наступні дослідження. Перш за все вони дозволяють виявити місця скупчень в екологічних системах різноманітного роду забруднень і простежити швидкість змін, що відбуваються в навколишньому середовищі. За ступенем реакції біоіндикаторів можна судити про рівень шкідливості тих або інших речовин для живої природи, а за умови тривалих спостережень прогнозувати подальший розвиток обраної екосистеми [17].

Перевагою методів біоіндикації і біотестування перед фізико-хімічними методами є інтегральний характер відповідних реакцій організмів. Крім того, вони підсумовують усі без винятку біологічно важливі дані про стан навколишнього середовища та характеризують його в цілому. Ці методи виявляють наявність у навколишньому природному середовищі комплексу забруднювачів, а в умовах хронічного антропогенного навантаження види-біоіндикатори можуть реагувати на дуже слабкі впливи в силу акумуляції дози. Вони фіксують швидкість змін, що відбуваються в навколишньому середовищі, та вказують шлях і місця скупчень різноманітного роду забруднень в екологічних системах і можливі шляхи потрапляння цих речовин в організм людини [10, 17].

Представники біоти, що є високочутливими до антропогенного забруднення, є організмами-індикаторами, які використовуються для ідентифікації змін у навколишньому середовищі, зумовлених дією суміші забруднювачів. Особливу значущість має та обставина, що біоіндикатори відбивають ступінь небезпеки відповідного стану навколишнього середовища для всіх живих організмів, у тому числі для людини.

Показниками забруднення та порушення екологічної рівноваги можуть слугувати такі ознаки: присутність толерантних індикаторних організмів у виді високої щільності їх популяцій; відсутність популяцій чутливих видів-індикаторів; вірогідна зміна морфологічних ознак індикаторних організмів; стійкі порушення чи зміни метаболізму індикаторних організмів тощо [10]. Отже, індикаційні властивості проявляються на різних рівнях біологічної організації – як на рівні популяції чи організму, так і в змінах молекулярних, біохімічних, фізіологічних, тканинних та інших параметрів. Виходячи з цього, для вирішення задач екологічного моніторингу розглядаються можливості застосування різних організмів –

як прокаріот, так і еукаріот, що може забезпечити швидке та недороге проведення випробувань.

Ксилотрофні базидіоміцети – унікальна група організмів, які забезпечують мобілізацію депонованого в деревині вуглецю шляхом повної деструкції її лігніноцелюлозного комплексу. Гриби як гетеротрофний компонент екосистем відіграють величезну роль в їх функціонуванні, активно беручи участь у розпаді і ресинтезі органічних речовин і водно-мінеральному живленні рослин. В якості специфічного компоненту екосистем, яка є основою механізму регуляції процесів накопичення та розкладання рослинних залишків, ксилотрофні базидіоміцети вважаються дуже актуальними об'єктами дослідження. В останні десятиліття вони визнаються серед грибів одними з найбільш перспективних об'єктів біотехнології [4, 16]. Результати низки ґрунтовних робіт [1, 3, 5, 7, 9, 15, 18-21] зумовили інтенсивний розвиток екологічного напрямку досліджень цієї групи грибів. Не зважаючи на це, на сьогоднішній день наявні досить обмежені відомості щодо аспектів біології видів грибів урбанізованих територій.

Доведено, що тільки в умовах чистої культури можливе детальне дослідження екологічних особливостей видів і встановлення параметрів, оптимальних для реалізації природного потенціалу грибів. Вищенаведене свідчить про актуальність охорони ксилотрофних базидіоміцетів і досліджень їх екології, доцільність створення колекцій чистих культур грибів з достатнім обсягом експериментального матеріалу для відбору штамів потенційно перспективних у біотехнології [16].

Охорона біорізноманіття є однією з найважливіших проблем сучасної екології. У міському середовищі, особливо в великих містах, створюються екологічні умови, різко відмінні від зональних. Формування в цих особливих умовах грибних угруповань досі є мало вивченим. Недостатність і вибірковість даних про якісний, кількісний склад і біосинтетичні особливості грибів урбанізованих територій, тісно взаємопов'язаних з автотрофними рослинами, не дозволяють всебічно судити про функціонування таких екосистем як єдиного цілого, особливо в період глобальних змін біосфери в результаті прояву дії антропогенного чинника. Це є особливо актуальним у зв'язку з тим, що грибні організми ксилотрофів є еволюційно молодими та мають суттєві відмінності в будові клітин (не мають потужної клітинної стінки), способі живлення (абсорбційний або осмотрофний), метаболізмі та ін., що зумовлює їх першочерговий (у порівнянні з організмами інших царств живої природи) відгук на зовнішні впливи. Не менш важливим є вивчення сукцесійних процесів у біогеоценозах, що виникають під впливом різних факторів навколишнього середовища та в результаті діяльності людини. Якщо для інших груп організмів є дані щодо організації та проведення екологічного моніторингу, то у відношенні грибів такі відомості майже відсутні. Вивчення взаємодії організмів між собою та з середовищем існування є в даний час одним з найбільш перспективних напрямків біологічних досліджень. Особливої значущості набувають багаторічні дослідження, що дозволяють простежити за динамікою взаємин між компонентами екосистем. Вкрай необхідне пізнання мікобіоти клімаксових угруповань як еталонів історично сформованих комплексів грибів і вищих рослин у непорушених біомах, яких стає все менше в переважній більшості регіонів Донбасу. Оцінка стану клімаксових систем, вторинних сукцесій і демуаційних процесів розроблена на прикладі вищих рослин. Відомості про поведінку базидіоміцетів у цих явищах нечисленні.

Особливу тривогу викликають різного роду антропогенні впливи на біосферу найбільш виражені в урбанізованих екосистемах. Стійкість останніх безпосередньо пов'язана з функціонуванням біосфери як саморегулювальної системи. Антропогенний вплив може виявлятися безпосередньо в результаті прямого знищення природних угруповань, а також опосередковано через забруднення атмосфери, ґрунту, води промисловими викидами. Стан мікобіоти порушених угруповань може слугувати індикатором ступеня негативних впливів [9]. За вказаними проблемами ведуться іррегулярні роботи, але в Донбасі, що має величезний промисловий потенціал і навантаження, подібні дані щодо грибів різних таксонів практично відсутні.

Численні роботи щодо використання вищих грибів у якості біоіндикаторів, які відкривають новий напрямок їх практичного застосування, лише частково вирішують поставлені задачі [1, 3, 5, 7, 9, 15, 18-21]. Проте велике значення базидіоміцетів у забезпеченні нормального функціонування природних екосистем виправдовує необхідність практичного застосування результатів мікологічних досліджень, включення мікологічних показників у системи біотичних спостережень. Вивчення фізіологічних і біохімічних реакцій окремих видів цих грибів на забруднення різних типів може послужити у проведенні якісного та всебічного тестування навколишнього середовища [12-14, 17].

Процеси перекисного окислення ліпідів (ПОЛ) спричиняють значний вплив на життєдіяльність всіх організмів. Їх роль та особливості протікання значною мірою вивчені у людини і тварин. Все більше з'являється робіт про значення процесів ПОЛ у життєдіяльності рослин. Що стосується мікроорганізмів і грибів, то вони в цьому відношенні залишаються практично не вивченими. Разом з тим передбачається, що ПОЛ може відігравати важливу роль у різноманітних природних процесах, здійснюваних цими організмами. Встановлено, що в процесі розкладання ксилотрофами деревини та її компонентів – лігніну та целюлози під дією позаклітинних ферментів велике значення мають реакції вільно-радикального окиснення. Реакції супроводжуються утворенням активних форм кисню. Радикали пероксидів ліпідів, утворені грибами під час реакцій ПОЛ, посилюють розкладання лігніну. Особлива увага приділяється ролі окисного стресу при різноманітних патологіях і діях стресорів. Неприятливі умови життєдіяльності спричиняють розширення пластичності функцій і властивостей усіх головних метаболічних систем базидіоміцетів. Адаптаційні перебудови в першу чергу торкаються ферментативних систем і приводять до активізації процесів ПОЛ. Є й інші експериментальні дані про здатність ксилотрофних базидіоміцетів утворювати високоактивні кисневі радикали, які можуть провокувати деструкцію лігніну та целюлози [8, 17]. Оскільки вільні радикали мають також здатність ініціювати перекисне окиснення різноманітних компонентів клітини і в першу чергу ліпідів, важливими є оцінка можливості протікання та активності процесів ПОЛ у міцелії ксилотрофних базидіоміцетів і її порівняльна характеристика.

Відомі дослідження, за якими доведено, що ксилотрофні базидіоміцети володіють засобами антиоксидантного захисту, а також здатні до ініціації реакцій ПОЛ. Баланс цих процесів встановлює інтенсивність ПОЛ на певному стаціонарному рівні, який потенційно вищий у грибів білої гнилі в порівнянні з грибами бурої гнилі та може розглядатися в якості біохімічної адаптації цієї групи грибів до виживання в умовах окисного стресу, зумовленого вільнорадикальними реакціями, які проходять у процесі деструкції лігніну. Наводяться дані з вмісту в міцелії ксилотрофних базидіоміцетів продуктів ПОЛ, що реагують з ТБК у грибів різних груп [8]. У роботах не наводяться дані з інтенсивності процесів ПОЛ дикоростучих карпофорів, які зростали на територіях із різними екологічними умовами.

Виходячи з вищезазначеного, метою роботи було формування бази даних рівня процесів ПОЛ карпофорів *Flammulina velutipes* й *Pleurotus ostreatus* і з'ясування можливості біотестування атмосферного повітря урбанізованих територій з використанням цих базидіоміцетів.

Матеріал і методи дослідження

Матеріалами дослідження були плодові тіла (ПТ) ксилотрофних базидіоміцетів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus*, зібрані в різних моніторингових точках (табл. 1). Активність процесів ПОЛ у міцелії оцінювали за тестом із тіобарбітуровою кислотою (ТБК), визначаючи вміст малонового діальдегіду (МДА) – одного з продуктів (ТБК-АП) ПОЛ [8, 14]. Спектри поглинання ТБК-АП реєстрували на спектрофотометрі СФ-26 (Росія), при 532 нм і перераховували на вміст у наномолях МДА (А) на 1 г маси досліджуваного матеріалу.

Розрахунки вели за формулою [14]:

$$A = \frac{D_{532} \cdot 10 \cdot V \cdot \alpha}{P \cdot \varepsilon},$$

де D_{532} – показники оптичної густини при 532 нм; V – об'єм реакційної суміші (4 мл); α – відношення загального об'єму витяжки до об'єму проби, яку взято для визначення МДА; ε – молярний коефіцієнт екстинкції, складає $155000 \text{ л. см}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$; P – наважка матеріалу, г. рН розчинів визначали потенціометричним методом. Одержані цифрові дані обробляли за методом дисперсійного аналізу, порівняння середніх величин проводили за методом Дункана із застосуванням пакету програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів [11].

Результати та обговорення

Вибір матеріалів дослідження – карпофорів базидіоміцетів *Flammulina velutipes* (зимовий опеньок) і *Pleurotus ostreatus* (глива звичайна) пояснюється тим, що застосування біологічних методів для оцінки екологічного стану середовища саме опирається на ті чи інші реакції цих організмів; основна маса їх міцелію зосереджується у верхніх шарах деревини та карпофори цих базидіоміцетів формуються та певний час зростають в оточенні атмосферного повітря. Використання ж біологічних методів має метою виділення біологічних видів, що чутливо реагують на той або інший тип впливу зовнішнього середовища.

Використовувані біологічні види *F. velutipes* і *P. ostreatus* задовольняють низці вимог. Це види характерні для природної зони, де проводиться біотестування. Вони поширені всюди на всій досліджуваній території. Оскільки ці види широко вирощують промислово в грибівницьких господарствах, порівняно добре вивчені їх біологія, культурально-морфологічні характеристики. Вони мають чітко виражену кількісну та якісну реакцію на відхилення властивостей середовища зростання від екологічної норми [17]. Тобто глива звичайна та зимовий опеньок задовольняють вимогам, що виставляються до біоіндикаторів.

На першому етапі досліджень була сформована база даних з рівня інтенсивності процесів ПОЛ карпофорів досліджуваних базидіальних грибів, зібраних у моніторингових точках. Збір мікологічного матеріалу проводили в жовтні – листопаді 2011 р., карпофори мали приблизно один рік.

Результати досліджень представлені в табл. 1, яка містить дані з кількості досліджених зразків карпофорів *F. velutipes* і *P. ostreatus* на певній моніторинговій точці урбоєкосистеми та усереднені дані з вмісту продуктів ПОЛ у цьому матеріалі. Як бачимо, відмічається значна амплітуда вмісту продуктів ПОЛ в одновікових плодових тілах *F. velutipes* і *P. ostreatus*, що може свідчити про внутрішньовидову мінливість, з одного боку, та вплив на цей показник умов зростання карпофорів, з іншого. На останнє припущення вказують результати серії попередньо проведених досліджень [13, 14, 17].

Дані з рівня інтенсивності процесів ПОЛ 195 плодових тіл базидіального гриба *F. velutipes*, зібраних у 12 моніторингових точках можна розподілити на три групи. До першої групи відносяться найвищі результати вмісту продуктів ПОЛ від 39,3 до 25,8 нмоль МДА/г. Вони отримані з карпофорів, зібраних в точках моніторингу Д1, Г, М1, Д2, М2, що знаходяться в містах Донецьк, Горлівка та Макіївка. У другу групу можна віднести результати з інтенсивності процесів ПОЛ від 16,4 до 15,0 нмоль МДА/г, отримані з плодових тіл, що зростали в точках моніторингу Донецький ботанічний сад, м. Сніжне, Великоанадольське лісництво, Донецьке лісництво. Ці місцевості знаходяться або на периферії великих міст Донецьк і Макіївка, або в невеликому місті Сніжне, або в зоні ризикованого лісівництва. До третьої групи відносяться найнижчі результати вмісту продуктів ПОЛ від 10,3 до 10,8 нмоль МДА/г. Вони характерні карпофорам *F. velutipes*, що зростали в місцевостях з низьким антропогенним навантаженням – Краснолиманське лісництво, Національний природний парк «Святі гори» та Слов'янське лісництво.

**Рівень інтенсивності процесів ПОЛ плодових тіл деяких базидіоміцетів
різних моніторингових точок урбоєкосистем**

Моніторингова точка та об'єкти, що входять до неї	<i>Flammulina velutipes</i>		<i>Pleurotus ostreatus</i>	
	Кількість зразків ПТ	Вміст МДА, нмоль/г	Кількість зразків ПТ	Вміст МДА, нмоль/г
ВЛ – Великоанадольське лісництво	12	15,45 ± 2,50	9	107,29 ± 2,55
Г – м. Горлівка	12	37,20 ± 2,05	15	180,07 ± 4,35
Д1 – м. Донецьк (вул. Університетська, пр. Київський)	27	39,28 ± 3,22	24	205,26 ± 5,07
Д2 – м. Донецьк (пр. Ілліча)	18	32,50 ± 5,01	21	153,74 ± 3,80
ДБС – Донецький ботанічний сад НАН України	18	16,37 ± 2,13	21	98,63 ± 1,86
ДЛ – Донецьке лісництво	18	15,00 ± 1,01	18	90,33 ± 3,45
КЛ – Краснолиманське лісництво	15	10,80 ± 1,90	21	70,74 ± 1,40
М1 – м. Макіївка (мікрорайон «Центральноміський»)	18	36,63 ± 2,51	21	173,98 ± 3,59
М2 – м. Макіївка (мікрорайон «Зелений»)	18	25,80 ± 4,10	15	108,39 ± 4,09
НПП«СГ» – Національний природний парк «Святі гори»	12	10,30 ± 2,50	15	81,68 ± 2,55
С – м. Сніжне	15	16,20 ± 1,05	15	107,65 ± 1,24
СЛ – Слов'янське лісництво	12	10,28 ± 1,95	12	81,68 ± 1,55

Аналіз даних табл. 1 з рівня інтенсивності процесів ПОЛ 207 плодових тіл базидіоміцету *P. ostreatus*, зібраних у тих же моніторингових точках, показав наступне. Плодові тіла гливи звичайної мають значно вищу інтенсивність процесів ПОЛ порівняно з карпофорами опенька зимового, яка перевищує показники останнього у 4,2-7,9 разів. За вмістом продуктів ПОЛ карпофори також можна розподілити на три групи. До першої групи відносяться найвищі результати вмісту ТБК-АП від 205,3 до 153,7 нмоль МДА/г. Вони отримані з карпофорів, зібраних в точках моніторингу Д1, Г, М1 і Д2, що знаходяться в центральних районах міст Донецьк, Горлівка та Макіївка. У другу групу можна віднести результати вмісту ТБК-АП від 108,4 до 107,3 нмоль МДА/г, отримані з плодових тіл, що зростали в точках моніторингу М2, С і ВЛ. Ці місцевості знаходяться або на периферії міста Макіївка, або в невеликому місті Сніжне, або в зоні ризикованого лісівництва – Великоанадольський ліс. До третьої групи відносяться найнижчі результати вмісту продуктів ПОЛ від 98,6 до 70,7 нмоль МДА/г. Вони характерні карпофорам *P. ostreatus*, що зростали в рекреаційних зонах і місцевостях з низьким антропогенним навантаженням – Донецькому ботанічному саду, Донецькому лісництві, Національному природному парку «Святі гори», Слов'янському та Краснолиманському лісництвах.

Спостерігається висока позитивна кореляція між показниками вмісту продуктів ПОЛ у карпофорах *F. velutipes* і *P. ostreatus* на певній моніторинговій точці, яка дорівнює 0,97 од. Не встановлено залежності інтенсивності процесів ПОЛ від субстрату зростання ПТ. Отже, отриманий розподіл інтенсивності процесів ПОЛ у плодових тілах гливи звичайної та опенька зимового не пов'язаний з внутрішньовидовою мінливістю та субстратом, а значні від'ємності виділених груп за реєстрованою величиною залежать від впливу умов навколишнього середовища. Виходячи з того, що основна маса міцелію зосереджується у верхніх шарах деревини і карпофори досліджених базидіоміцетів формуються та певний час зростають в оточенні атмосферного повітря визначеного місця, скоріше за все, якість його і впливає на інтенсивність процесів перекисного окислення ліпідів карпофорів. Зміна фізико-

хімічних показників досліджених базидіоміцетів під впливом характеристик повітря певного місця зростання може бути використана в системі біотестування довкілля з використанням новітніх методів і приладів фіксації хемілюмінесценції [2], оскільки реакції вільних радикалів і антиоксидантного захисту в живих системах супроводжуються слабким світінням.

Висновки

Результати біотестування атмосферного повітря урбанізованих територій з використанням базидіоміцетів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* з різних моніторингових точок дозволяють зробити такі висновки. Має підтвердження загальнобіологічна закономірність про те, що будь-який організм під час впливу на нього нового фактору зовнішнього середовища чи при освоєнні нової еконіши або є резистентним, або, як правило, адаптується, набуваючи при цьому властивості та зміну норм реакції, що досягається за рахунок варіабельності онтогенетичних і фізіологічних властивостей. Виявлені адаптаційні перебудови скоріше за все ведуть і до формування мікобіоти урбанізованих систем цих міст. Як наслідок отримані результати доводять, що базидіоміцети *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* можуть бути застосовані як індикатори стану довкілля чи наявності певних поллютантів у середовищі, що аналізується. Перспективним напрямком у біотестуванні довкілля є використання новітніх методів і приладів з фіксацією хемілюмінесценції, оскільки реакції вільних радикалів і антиоксидантного захисту в живих системах, інтенсивність яких змінюється під впливом різноманітних факторів, супроводжуються слабким світінням.

Список літератури

1. Арефьев С. П. Дереворазрушающие грибы – индикаторы состояния леса / С. П. Арефьев // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2000. – № 1. – С. 91–105.
2. Владимиров Ю. А. Активированная хемилюминесценция и биолюминесценция как инструмент в медико-биологических исследованиях // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 1. – С. 16–23.
3. Гродзинська Г. А. Макроміцети – біоіндикатори забруднення радіоцезієм лісових екосистем України / Г. А. Гродзинська, С. О. Сирчин, М. Д. Кучма, В. В. Коніщук // Вісник НАН України. – 2008. – № 9. – С. 26–37.
4. Древаль К. Г. Нові продуценти целюлозолітичних ензимів серед вищих базидіальних грибів / К. Г. Древаль, М. І. Бойко // Біотехнологія. – 2011. – Т. 4, № 1. – С. 87–93.
5. Дудка І. О. Мікологічний моніторинг як засіб оцінки і прогнозування фітосанітарного стану лісових екосистем / І. О. Дудка, Т. О. Мережко, В. П. Гайова // Укр. ботан. журн. – 1994. – Т. 51, № 6. – С. 53–59.
6. Захаров В. М. Здоровье среды: методика оценки (Оценка состояния природных популяций по стабильности развития: методическое руководство для заповедников) / В. М. Захаров. – М.: Здоровье, 2000. – 236 с.
7. Змитрович И. В. Эволюционно-таксономические аспекты поиска и изучения лигнинразрушающих грибов – активных продуцентов окислительных ферментов / И. В. Змитрович, Н. В. Псурцева, Н. В. Белова // Микология и фитопатология. – 2007. – Т. 41, вып. 1. – С. 57–78.
8. Капич А. Н. Содержание в грибах продуктов перекисного окисления липидов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой / А. Н. Капич, Т. С. Гвоздкова. // Микол. и фитопатол. – 1998. – Т. 32, вып. 4. – С. 30–36.
9. Марфенина О. Е. Антропогенная экология почвенных грибов / О. Е. Марфенина. – М.: Медицина для всех, 2005. – 196 с.
10. Мелехова О. П. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и

биотестирование: учеб. пособие для студ. вузов / О. П. Мелехова, Е. И. Сарапульцева, Т. И. Евсеева. – М.: Академия, 2007. – 287 с.

11. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассиопея, 1999. – 210 с.

12. Спосіб біотестування забруднення навколишнього середовища полутантами з використанням грибів / Сухомлин М. М., Куткова О. В. // Патент 41752 Україна МПК (2009) A01H 15/00, A01G 7/00, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, № u200814059; заявл. 05.12.2008; опубл. 10.06.2009 // Бюл. № 11.

13. Спосіб визначення стресового стану базидіоміцетів та екологічного стану місця їх зростання за вмістом продуктів перекисного окиснення ліпідів / Федотов О. В. Патент 12384 Україна МПК A01G 7/00, C30B 28/00, C04B 35/00, A01H 3/00, Донецький національний університет, № u200504732; заявл. 20.05.2005; опубл. 15.02.2006 // Бюл. № 2.

14. Спосіб мікотестування забруднення навколишнього середовища фенолом / Федотов О. В., Перцевой М. С. Патент 57945 Україна МПК (2011.01), A01G7/00, A01H15/00, Донецький національний університет, № u201009019, заявл. 19.07.2010, опубл. 25.03.2011 // Бюл. № 6.

15. *Терехова В. А.* Микотестирование химических воздействий / В. А. Терехова // Современная микология в России: матер. II съезда микологов России. – М.: Национальная академия микологии, 2008. – Т. 2. – С. 106–108.

16. *Федотов О. В.* Колекція культур шапинкових грибів – основа мікологічних досліджень та стратегії збереження біорізноманіття базидіоміцетів / О. В. Федотов, О. В. Чайка, Т. Є. Волошко, А. К. Велигодська // Вісник Донецького університету. Сер. А: Природн. науки. – Донецьк: ДонНУ, 2012. – Вип. 1. – С. 209–213.

17. *Федотов О. В.* Активність ПОЛ і каталази макроміцетів – як можливі біоіндикаційні показники екологічного стану їх місця зростання / О. В. Федотов, Г. М. Євсієнкова, М. С. Перцевой // Зб. наук. праць Луганського нац. агр. ун-ту. Сер. «Сільськогосподарські науки». – Луганськ: ЛНАУ, 2008. – № 82. – С. 73–81.

18. *Щеглов А. И.* Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения / А. И. Щеглов, О. Б. Цветнова // Природа. – 2002. – № 11. – С. 13–16.

19. *Eriksson K.-E.* Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components / K.-E. Eriksson, R. A. Blanchette, P. Ander. – Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1990. – 190 p.

20. *Haselwandter K.* Fungi as bioindicators of radiocaesium contamination: Pre- and Post-Chernobyl activities / K. Haselwandter, M. Berreck // Transactions of the British Mycological Society. – 1988. – V. 90, 2. – P. 171–174.

21. *Hong J. W.* F-RISA fungal clones as potential bioindicators of organic and metal contamination in soil / J. W. Hong, M. Fomina, G. M. Gadd // Journal of Applied Microbiology. – 2010. – V. 109. – P. 415–430.

22. International bioindicators // International Conference on Environmental bioindicators. – Praha, 2005.

Беспалова С. В., Федотов О. В. Биотестирование атмосферного воздуха урбанизированных территорий с использованием базидиомицетов. – Проанализированы многочисленные литературные данные по вопросам использования микологических объектов в биоиндикации и биомониторинге экологического состояния окружающей среды. Доказывается, что эти направления взаимосвязаны и являются составляющими одной проблемы, решение которой будет способствовать сохранению и восстановлению антропогенно нарушенных экосистем. Рассмотрены результаты биотестирования атмосферного воздуха урбанизированных территорий с использованием базидиомицетов *Flammulina velutipes* и *Pleurotus ostreatus* из различных мониторинговых точек. Результаты исследования подтверждают биологическую закономерность о том, что любой организм во время влияния на него нового фактора внешней среды или при освоении новой экониши или является резистентным, или, как правило, адаптируется, приобретая при этом свойства и изменения норм реакции, что достигается за счет вариабельности онтогенетических и физиологических свойств. Обнаруженные адаптационные перестройки скорее всего ведут и к формированию микобиоты урбанизированных систем этих городов. Как следствие полученные результаты интенсивности процессов перекисного окисления липидов карпофоров доказывают, что базидиомицеты *Flammulina velutipes* и *Pleurotus ostreatus* могут быть применены как индикаторы состояния окружающей среды или наличия определенных веществ в анализируемой среде.

Обосновывается перспективность использования в биотестировании окружающей среды новейших методов и приборов с фиксацией хемилюминесценции, поскольку реакции свободных радикалов и антиоксидантной защиты в живых системах, интенсивность которых изменяется под влиянием разнообразных факторов, сопровождаются слабым свечением.

Ключевые слова: биотестирование, урбанизированные территории, базидиомицеты, карпофор, перекисное окисление липидов.

Bespalova S. V., Fedotov O. V. Biotesting of atmospheric air in urban areas by basidiomycetes. – Literature data of mycological objects using in bioindication and biomonitoring of environment ecological state was analyzed. It is shown that these directions are interconnected and are the components of one problem and solution of it will contribute to the conservation and rehabilitation of anthropogenically disrupted ecosystems. Results of atmospheric air biotesting in urban areas by basidiomycetes *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus* from various monitoring points are shown. The results of conducted research confirm biological regularity that any organism during impact of the new environment factors or expansion into new econiche is resistant or adapted, acquiring the properties and changing norms of their reaction, which is achieved due to the variability of ontogenetic and physiological properties. Adaptation restructuring that has been discovered probably leads to formation of mycobiota of the urban systems of these cities. The results of lipid peroxidation intensity of carpophores prove that basidiomycetes *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus* can be used as indicators of the environment state or as indicators of presence of certain substances in the analyzed environment. Perspectives of using of methods and devices with chemiluminescence fixation in biotesting of environment was justified because of the reaction of free radicals and antioxidant defense in living systems, the intensity of which is influenced by various factors, accompanied by a faint glow.

Key words: biotesting, urban territories, basidiomycetes, carpophorus, lipid peroxidation.