

**КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ҐРУНТОВИМИ
ЕКОСИСТЕМАМИ ТА ЛАНДШАФТАМИ, ЇХ БІОЛОГІЧНИМИ
ТА ЕКОЛОГІЧНИМИ СКЛАДОВИМИ**

**CONCEPTUAL MODEL FOR MANAGING SOIL ECOSYSTEMS AND
LANDSCAPES, THEIR BIOLOGICAL AND ECOLOGICAL COMPONENTS**

Вікторія Оліферчук, доктор біологічних наук, доцент кафедри екології НЛТУ України,
e-mail: victorijaoliferchuk@gmail.com, Національний лісотехнічний університет України,
ORCID: 0000-0003-2800-2254

Оксана Олейнюк-Пухняк, канд. с.-г. наук, доцент кафедри ландшафтної архітектури, садово-
паркового господарства та урбоекотології НЛТУ України, e-mail: olejniuk@nltu.lviv.ua, Національний
лісотехнічний університет України, ORCID: 0000-0003-0090-298X

Наталія Кендзьора, канд. с.-г. наук, директор ботанічного саду загальнодержавного значення
НЛТУ України, e-mail: nataly_kend@ukr.net, Національний лісотехнічний університет України,
ORCID: 0000-0002-0603-7811

<https://doi.org/10.32447/bcet.2025.23>

Анотація. У статті представлено концептуальну модель управління ґрунтовими екосистемами та ландшафтами в умовах антропогенного тиску, змін клімату та воєнних дій в Україні. Автори обґрунтовують необхідність біоцентричної парадигми, заснованої на відновленні ризосферного мікробіому та залученні грибних ендوفітів як V-стратегів у формуванні мікоризних взаємодій, покращенні родючості ґрунтів та стійкості рослин. Описано методику виділення, культивування й ідентифікації ендوفітів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів, а також результати дослідження їхнього впливу на метагеном ґрунтів і фітоценози. Представлено експериментальні дані та технологічні карти застосування розроблених біопрепаратів у польових умовах. Особливу увагу приділено ролі таких підходів у повоєнному екологічному відновленні територій.

Ключові слова: ґрунтовий мікробіом, грибні ендوفіти, біотехнологія, ризосфера, мікориза, родючість ґрунту, біоіндикація, кліматичні зміни, повоєнне відновлення, Basidiomycota, Ascomycota.

Abstract. This article presents a conceptual model for managing soil ecosystems and landscapes under anthropogenic pressure, climate change, and the impacts of war in Ukraine. The authors justify the need for a biocentric paradigm based on the restoration of the rhizosphere microbiome and the application of fungal endophytes as V-strategists in forming mycorrhizal interactions, improving soil fertility, and enhancing plant resilience. The methodology for isolating, cultivating, and identifying endophytes from the fruiting bodies of ascomycetes and basidiomycetes is described, along with research results on their effects on soil metagenomes and phytocoenoses. Experimental data and technological maps for the application of developed biopreparations in field conditions are presented. Special attention is given to the role of such approaches in the post-war ecological restoration of territories.

Keywords: soil microbiome, fungal endophytes, biotechnology, rhizosphere, mycorrhiza, soil fertility, bioindication, climate change, post-war recovery, Basidiomycota, Ascomycota.

1. ВСТУП

Ґрунтовий мікробіом – критично важливий регулятор функціонування екосистем, від якого залежать родючість, водний і вуглецевий баланс, фітозахист та адаптаційна здатність рослин до

стресових умов. Проте нині він зазнає системного виснаження через людську діяльність, а в Україні це посилюється ще й впливом військових дій та значній її території.

За даними FAO, понад 33% ґрунтів у світі вже деградовані, а щороку втрачаються 24 млрд тон родючого шару. Основними факторами є: інтенсивне сільське господарство, яке базується на глибокій оранці, хімічній стимуляції, монофункціональних культурах та зниженні біорізноманіття. Застосування мінеральних добрив понад норму чинить хронічне хімічне навантаження на мікробіом ґрунту, знижує мікробну біорізноманітність, руйнує сигнальні мікоризні системи, які забезпечують ріст та ефективний розвиток рослин. У Європі щорічно використовується понад 350 000 тон пестицидів, залишки яких акумулюються в ґрунтах, викликаючи мутації, блокаду метаболічних шляхів і зміну співвідношення між симбіотичними та патогенними формами мікробіоти. Видобуток корисних копалин, меліорація, осушення боліт, індустріальна забудова — призводять до фізичного руйнування ґрунтової структури, втрати гумусу та десукцесії мікробіому. В Україні ці проблеми стоять ще більш гостро у зв'язку з війною. Кліматичні зміни: підвищення температури, посухи, ерозія, закислення ґрунтів — знижують буферну здатність мікроорганізмів до екстремальних стресів, порушуючи їх функціональні мережі.

Згідно з останніми дослідженнями у сільськогосподарських ґрунтах може міститися до 100 разів більше мікропластику та важких металів, ніж в океані. Це змінює кислотність, структуру та хемо-атрактивність середовища для мікробів. У результаті відбувається спрощення трофічних структур ґрунту, порушуються механізми фіксації азоту, мобілізації фосфору, утворення фітогормонів, знижується метаболічна гнучкість та екологічна резилієнтність культур, втрачається здатність до синтезу біоактивних речовин, що напряду впливає на якість продукції, антиоксидантність, смак, склад вторинних метаболітів, зменшується здатність ґрунту утримувати вуглець, що підсилює парниковий ефект.

Усе це робить агросистеми вразливими до змін клімату, водного дефіциту й економічних ризиків. Саме тому ключовим викликом стає біологічне відновлення ризосферного мікробіому як критичного центру взаємодії рослини, ґрунту й клімату. Основними агентами у такому відновленні вважаються ендofіти. В основному, наукова література про роль ендofітних мікроорганізмів та їх консорціумів, які є основою для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур, управління здоров'ям ґрунту та родючістю, присвячена рослинним ендofітам⁷¹². Ендofітні мікроорганізми виділяють з кореня, пагона, листя, квітки та насіння, які мають потенційну здатність стимулювати ріст рослин та бути біоконтролюючим агентом для посилення росту та розвитку рослин^{713,714,715,716,717}.

Про ендofіти, виділені з плодових тіл базидіоміцетів та аскоміцетів у літературі існує значно менше відомостей. З усіх виділених видів 90% належить до *Ascomycota*. Дуже незначними є дослідження ендofітів родини *Basidiomycota*, а, отже, їх роль у здоров'ї дерев, кущів ще належить

⁷¹² Muhammad, M., Wahab, A., Waheed, A., Mohamed, H. I., Hakeem, K. R., Li, L., & Li, W. J. (2024). Harnessing bacterial endophytes for environmental resilience and agricultural sustainability. *Journal of Environmental Management*, 368, 122201.

⁷¹³ Song, C., Zhu, F., Carrión, V. J., & Cordovez, V. (2020). Beyond plant microbiome composition: Exploiting microbial functions and plant traits via integrated approaches. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 896. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00896>

⁷¹⁴ Ahmed, A., He, P., He, Y., Singh, B. K., Wu, Y., Munir, S., & He, P. (2024). Biocontrol of plant pathogens in omics era—With special focus on endophytic bacilli. *Critical Reviews in Biotechnology*, 44(4), 562–580.

⁷¹⁵ Enyi, E. O., Chigozie, V. U., Okezie, U. M., Udeagbala, N. T., & Oko, A. O. (2024). A review of the pharmaceutical applications of endophytic fungal secondary metabolites. *Natural Product Research*, 1–17.

⁷¹⁶ Malkawi, H. L., & Kapiel, T. Y. S. (2024). Microbial biotechnology: A key tool for addressing climate change and food insecurity. *European Journal of Biology and Biotechnology*, 5(2), 1–15.

⁷¹⁷ Muhammad, M., Wahab, A., Waheed, A., Mohamed, H. I., Hakeem, K. R., Li, L., & Li, W. J. (2024). Harnessing bacterial endophytes for environmental resilience and agricultural sustainability. *Journal of Environmental Management*, 368, 122201.

дослідити. Було показано, що різні ендоефітні базидіоміцети виробляють речовини, такі як паклітаксел з протигрибковою та антибактеріальною активністю⁷¹⁸, *Perenniporia tephropora* з *Taxus* sp. утворює цитотоксичний альбіканол⁷¹⁹. Це яскраво демонструє потенціал *Basidiomycota* для виробництва біологічно активних сполук і може позиціонувати їх діяльність як ендоефітів⁷²⁰.

Нами була проведена багаторічна робота по виділенню ендоефітів із плодового тіла чорного трюфеля. В результаті ми отримали ендоефіт *Vitasergia svidasoma*, який визнаний новим для науки видом, що належить до родини *Ascomycota*. Він є діючим агентом препарату «Міковітал», що використовується для процесів стимуляції мікоризоутворення у рослин і сприяє їх імунітету та ефективному росту та плодоношенню^{721,722}. Таким чином ми отримали поштовх для продовження роботи над пошуком активних штамів ендоефітів грибів і розробили методологію їх виділення та застосування у екосистемах.

Тому, мета нашої роботи: сформувати біоцентричну парадигму управління ґрунтовими екосистемами та ландшафтами в умовах кліматичних змін, антропогенного навантаження та руйнування в наслідок війни, через наукову розробку та лабораторну валідацію нової біотехнологічної платформи мультифункціональних препаратів на основі лісових грибних ендоефітів вищих аскомікот та базидіомікот, здатних відновлювати ризосферні мікробіоти, нейтралізувати токсиканти та підвищувати стресостійкість біопродуктивних систем.

Основним етапом у формування такої парадигми є розробка методології та методики дослідження.

2. МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологія та методика досліджень передбачає дослідження ґрунтів, визнане винаходом⁷²³.

Методологія досліджень передбачає виділення ендоефітів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів, обробку насіння тестових рослин препаратами ендоефітів і визначення ефективності їх впливу у модельних дослідах.

2.1. Виділення ендоефітів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів. Подрібнені частини плодових тіл грибів обробляємо 3% перекисом водню протягом 15 хв та викладаємо на тверді середовища. Для інгібування росту бактерій застосовуємо стрептоміцин сульфат (20 мг/л) із левоміцитином (20 мг/л) і хлортетрацикліном солянокислим (100 мг/л). Розвиток міцеліальних грибів пригнічуємо за допомогою циклогексаміду (50 мг/л) та пропіонату натрію (0,20%). Ріст біомаси досліджуємо на середовищах різного складу: сусло-агарі, картопляно-декстрозному агарі, середовищі Сабура, Чапека-Докса Беркгольдера, VPD-середовищі, глюкозо-амонійному середовищі для дріжджів.

Для виділення мікоризних симбіонтів з плодових тіл аскоміцетів та базидіоміцетів використовуємо буферне середовище наступного складу (г/л води): глюкоза – 8; K_2HPO_4 – 0,3;

⁷¹⁸ Das, A., Rahman, M. I., Ferdous, A. S., Amin, A., Rahman, M. M., Nahar, N., Uddin, M. A., Islam, M. R., & Khan, H. (2017). An endophytic Basidiomycete, *Grammothele lineata*, isolated from *Corchorus olitorius*, produces paclitaxel that shows cytotoxicity. *PLoS ONE*, 12, e0178612. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178612>

⁷¹⁹ Adhikari, P., Joshi, K., & Pandey, A. (2023). Taxus associated fungal endophytes: Anticancerous to other biological activities. *Fungal Biology Reviews*, 45, 100308. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2023.100308>

⁷²⁰ Rungjindamai, N., & Jones, E. B. G. (2024). Why are there so few Basidiomycota and basal fungi as endophytes? A review. *Journal of Fungi*, 10(1), 67. <https://doi.org/10.3390/jof10010067>

⁷²¹ Оліферчук, В., Kendzora, N., Shukel, I., Samarska, M., & Olejniuk-Puchniak, O. (2023). The role of V-strategist endophytes in stimulating the formation of mycorrhizal interactions and soil regeneration. In *Symbiosis in Nature* (p. 269). <https://doi.org/10.5772/intechopen.109912>

⁷²² Оліферчук, В. П., Федорович, Д. В., Самборський, М. В., & Самарська, М. І. (2023). Вплив на метагеном ґрунту нового для науки виду ендоефіта *Vitasergia svidasoma* Оліферчук VS 1223 (IMB F-100106), виділеного з чорного трюфеля. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія, Біологія*, 1, 79–88. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2023.1.10>

⁷²³ Оліферчук, В. П., Оліферчук, С. П., & Дінер, Т. В. (2021). Патент №124179. Спосіб відновлення і підвищення родючості ґрунту за принципом біорегуляції у мікробо- та мікоценозах. *Бюл. № 19*, 29.07.2021.

KH_2PO_4 – 0,9; MgSO_4 – сліди, аспарагін – 0,01. Ці гриби потребують для проростання речовини, тому використовуємо препарати-аналоги до Симбіонт 1 та Симбіонт 2, які були розроблені в Інституті мікробіології та вірусології ім. Заболотного НАН України Фанією Гельцер⁷²⁴.

Для виділення дріжджових грибів використовуємо сусло-агар 6–7⁰ по Балінгу з молочною кислотою 4 мл/л. Надалі використовуємо агар 6–7⁰ по Балінгу для нарощування біомаси ендofітів у рідкому середовищі.

2.2. Виділення геномної ДНК отриманих з плодових тіл видів. Виділення геномної ДНК отриманих видів ендofітів здійснюємо за допомогою набору для виділення ДНК Macherey-Nagel NucleoSpin Microbial DNA. Секвенування проводили на платформі Illumina NovaSeq з довжиною зчитувань 2x150 пн та Oxford Nanopore MinIon із використанням однієї комірки Flongle. Розпізнавання послідовностей нуклеотидів здійснювали за допомогою ONT Guppy v.5.0.11, використовуючи gpu Nvidia 1060 3GB із такими параметрами: chunk size: 5000; chunks per runner: 24; num basecallers: 4; runners per device: 2. Адаптери з ONT зчитувань видаляємо програмою Porechop v.0.2.4. Збірку здійснюємо за допомогою програми Flye v.2.9. Шліфування консенсусу ONT збірки проводимо за три проходи програми Medaka v.1.4.4. Фінальний прохід шліфування з даними Illumina здійснюємо за програмою Pilon v.1.24. Окремо збираємо дані з Illumina за допомогою Newbler v.3.0 та використовуємо їх у програмі Consed v.2.9 для визначення копійності кластера генів рРНК. У результаті отримуємо послідовність ДНК ITS2 елемента кожного з виділених видів анаморфних грибів.

Дослідження впливу біопрепаратів на їх основі на метагеном ґрунту проводимо екстракцією ДНК із ґрунту. ПЛР 16S та ITS2 рРНК здійснюємо з праймерами (v 1-4). Бібліотеки для секвенування ампліконів на платформі Illumina створюємо з використанням NEBNext® DNA Library Prep Kit. Секвенування здійснюємо на платформі Illumina MiSeq (2x250bp). Обробку результатів 16S та ITS2 секвенування проводимо згідно з методикою обробки даних. Дослідження впливу створених біопрепаратів на ріст і розвиток лісових та сільськогосподарських культур вивчаємо загальноприйнятими методами^{725,726}.

Аналіз результатів лабораторних і виробничих дослідів оцінюємо за відповідними параметричними критеріями в основі яких є розподіл варіанту. Стандартне відхилення визначаємо за відомою програмою (MS Excel). Для побудови математичних моделей біотехнологічних і екологічних процесів використовуємо методи оптимізації, чисельного диференціювання та інтегрування функцій, знаходження розв'язків нелінійних рівнянь. Програмне забезпечення базуємо на мові *Delphi*.

2.3. Вивчення стану ґрунтів. Класифікацію ґрунтів щодо рівня деградації проводили методом біотестування (ДСТУ ISO 11268-1:2003 (ISO 11268-1:1993, IDT); ДСТУ ISO 1269-1:2004 (ISO 11269-1:1993, IDT); ДСТУ ISO 11269-2:2002 (ISO 11269- :1995, IDT); ДСТУ ISO 17126:2007 (ISO 17126:2005, IDT); ДСТУ ISO 0963:2007 (ISO 20963:2005, IDT); ДСТУ ISO 22030:2007 (ISO 22030:2005, DT).

Обрані для дослідження ґрунти класифікували за ступенем деградації та критерієм родючості: 0 – недеградовані: продуктивність відповідає природній родючості або нижча на 5%;

⁷²⁴ Гельцер, Ф. Ю. (1990). *Симбиоз с микроорганизмами — основа жизни растений*. Москва: Изд-во МСХА.

⁷²⁵ Дем'янюк, О. С., Симочко, Л. Ю., & Тертична, О. В. (2017). Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології*, 22(1), 55–68.

⁷²⁶ Ткач, С. Д., Шерстобоева, О. В., Крижанівський, А. Б., Стародуб, В. І., Шавріна, В. І., & Лобова, О. В. (2017). *Науково-методичні основи оцінки агрофітоценозів в умовах змін клімату: методичні рекомендації*. Київ.

- 1 – слабодegradовані: продуктивність нижча на 5–25% порівняно з природною родючістю;
- 2 – середньодegradовані: продуктивність нижча на 25–50% порівняно з природною родючістю;
- 3 – сильнодegradовані: продуктивність нижча на 50–75% порівняно з природною родючістю;
- 4 – дуже сильнодegradовані: продуктивність знижена на понад 75%.

Вміст основних елементів живлення в ґрунтах визначали за допомогою NPK-сенсору та стандартних методик (ДСТУ 4115:2002; ДСТУ 4289:2004; ДСТУ 4729:2007; ДСТУ 7945:2015; ДСТУ ISO 10390:2007). Для оцінювання екологічного стану ґрунтів використовуємо метод біоіндикації, який передбачає визначення якості середовища організмів за видовим складом та показником кількісного розвитку мікроміцетів-біоіндикаторів та структури їх угруповань. Як біоіндикатори застосовували мікроміцети ґрунту⁷²⁷.

Зразки ґрунту для мікологічних досліджень відібрано згідно з ДСТУ ISO 10381-6:2015 (ISO 10381-6:2009, IDT). Для оцінювання стану ґрунтової мікробіоти використовували загальноприйняті в ґрунтовій мікробіології методи⁷²⁸.

Відбір, збереження та транспортування зразків ґрунту проводили відповідно до стандартних методик. (ДСТУ 4115:2002; ДСТУ 4289:2004; ДСТУ 4729:2007; ДСТУ 7945:2015; ДСТУ ISO 10390:2007). Для отримання достовірних характеристик комплексу мікроскопічних грибів аналізи проводимо у трикратній повторності протягом вегетаційного періоду. Аналізування зразків ґрунту проводимо на основі 5–7-ми окремо взятих зразків, відібраних методом випадкових проб. Зразки ґрунту відбираємо з шарів 0-10 см, 10-20, 20-40, 40-80, 80-120 см відповідно до ДСТУ ISO 10381-6:2015

2.4. Обробка ґрунтів перед мікологічним аналізом. Під час підготовки ґрунту для посіву за методом серійних розведень проводимо руйнування ґрунтових агрегатів, десорбцію спор та міцелію з поверхні ґрунтових частинок, дезагрегацію накопичення спор та розбивали гіфи на достатньо однорідні за розмірами життєздатні фрагменти. Ґрунтову суспензію (1 г ґрунту на 9 мл стерильної водопровідної води) обробляємо шляхом 3–5 хв струшування на пропелерній мішалці-міксері (мікроподрібнювач тканин РТ-2) при 5000 об/хв. Посів на агаризовані поживні середовища проводимо з розведень 1:100 – 1:1000 залежно від типу ґрунту.

2.5. Вибір середовищ та умов культивування для виділення мікроскопічних грибів різноманітних еколого-трофічних та систематичних груп. Для виділення грибів, які швидко ростуть і ефективно засвоюють легкодоступні вуглеводні використовуємо сусло-агар 3–4⁰ по Балінгу, а також середовище Чапека (г/л): сахароза – 20,0; NaNO₃ – 2,0; KH₂PO₄ – 1,0; MgSO₄·7H₂O – 0,5; KCl – 0,5; FeSO₄ – 0,01; агар – 20,0; вода дистильована, середовище Чапека з додаванням мікроелементів та дріжджового екстракту (г/л): (глюкоза або сахароза) – 30,0; NaNO₃ – 3,0; KH₂PO₄ – 0,3; MgSO₄·7H₂O – 0,25; KCl – 0,25; FeSO₄ – 0,01; ZnSO₄ – 0,04; CuSO₄·5H₂O – 0,005; агар – 20,0; вода дистильована, pH – 5,0–5,5.

Оліготрофні гриби, які не витримують високих концентрацій моноцукрів і конкуренції з копіотрофами за високих їх концентрацій в середовищі і здатні до росту при їх слідових кількостях, виділяємо на «голодні» середовища: водяний агар, агар із ґрунтовою витяжкою, агар із розведеним у 10 разів суслom. На цих середовищах більшість анаморфних грибів розвивалось повільно, утворювали дрібні (2–3 мм діаметром) колонії, за оптимального розведення віддалені одна від одної, що було використано в подальшому для виділення їх у чисті культури.

⁷²⁷ Борисова, В. Н. (1988). *Микромицеты лесной подстилки в разных экосистемах*. Київ: Наукова думка.

⁷²⁸ Дем'янюк, О. С., Симочко, Л. Ю., & Тертична, О. В. (2017). Сучасні методичні підходи до оцінювання екологічного стану ґрунту за активністю мікробіоценозу. *Питання біоіндикації та екології*, 22(1), 55–68.

Визначення кольору колоній, який необхідний для опису ізолятів, проводимо двома способами: за допомогою шкали Бондарева і за допомогою адитивної моделі RGB Adobe Photoshop CS5.

2.6. Визначення екологічної ролі видів у досліджуваних ґрунтах. Культивування мікроскопічних грибів різноманітних еколого-трофічних та систематичних груп проводимо при температурі 24–28°C, оскільки переважна їх більшість є мезофіли.

Кінцевий облік проводимо залежно від середовища виділення: на сусло-агарі та синтетичних середовищах – на 6–12 добу, на голодному агарі – через 2–4 тижні. Чисельність грибних зародків у ґрунті, виділених методом посіву на тверді середовища, розраховуємо за формулою:

$$A = b \times v \times g / d, \quad (1)$$

де, A – число грибних зародків на 1 г ґрунту, шт.;

b – середня кількість колоній на чашках, шт.;

v – розведення, з якого зроблено посів;

g – кількість крапель в 1 мл суспензії;

d – маса ґрунту, яку брали для аналізу, г.

Ідентифікацію виділених культур проводимо на основі морфологічних та фізіологічних ознак, враховуючи будову та спосіб розвитку репродуктивних структур. Для ідентифікації культур грибів використовуємо відповідні визначники^{729,730,731}.

Для визначення значущості виду застосовуємо критерій частоти його трапляння. Показник просторової частоти трапляння розраховуємо за формулою :

$$A = B \times 100\% / C, \quad (2)$$

де, A – просторова частота трапляння видів;

B – кількість зразків, в яких виявлено цей вид;

C – загальна кількість досліджуваних зразків.

Для встановлення достовірності різниці у траплянні виду у ґрунтах усіх досліджуваних об'єктів використовуємо метод порівняння частин⁷³².

Для оцінки достовірності різниці різноманітності видів у порівнюваних ґрунтах використовуємо метод порівняння середніх арифметичних двох незалежних сукупностей, які мають різні дисперсії⁷³³, при цьому використовуємо програму Statistica v6.0. для встановлення достовірності різниці у траплянні видів та різноманітності видів у різних ґрунтах .

Одноразове визначення просторової частоти трапляння виду не дає уяви про сталість представленості виду у досліджуваному ґрунті біогеоценозу протягом вегетаційного періоду. Тому, було використано показник часової частоти трапляння виду – відношення числа моментів часу, коли вид виявлено, до загального числа моментів відбору зразків⁷³⁴. За спільного використання показників просторового та часового трапляння характеризуємо структуру комплексу ґрунтових мікроміцетів: типові домінуючі види – просторова і часова частота трапляння вище 50%; типові часті види – просторова і часова частота трапляння понад 30%; типові рідкі види – просторова частота трапляння нижче 30%, часова частота трапляння – вище 30%, випадкові види – обидва показники нижче

⁷²⁹ Білай, В. Й. (1977). *Фузарії*. Київ: Наукова думка.

⁷³⁰ Білай, В. Й., & Коваль, Е. З. (1988). *Аспергіли*. Київ: Наукова думка.

⁷³¹ Білай, В. Й., Сланська, І. А., & Кириленко, Т. С. (1984). *Мікроміцети ґрунтів* / за ред. В. Й. Білая. Київ: Наукова думка.

⁷³² Експериментальна ґрунтова мікробіологія: монографія / В. В. Волкогон, О. В. Надкернична, Л. М. Токмакова та ін.; за ред. В. В. Волкогона. (2010). Київ: Аграрна наука.

⁷³³ Symochko, L. Y., Demyanyuk, O. S., & Symochko, V. V. (2017). Soil bioindication and biotesting as modern methodological approaches. *Scientific Bulletin of Uzhhorod National University. Biology*, 42, 77–81.

⁷³⁴ Жданова, Н. М. (2002). Моніторинг мікроміцетів при визначенні екологічного стану ґрунтів. У *Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель* (с. 146–152). Київ: Фітосоціоцентр.

30%. Статистичну обробку одержаних результатів проводимо з використанням загальноприйнятих методів за допомогою програм Microsoft Excel та Statistica v6.0.

Визначаємо також показники видового різноманіття, домінування і подібності угруповань анаморфних грибів у ґрунтах досліджуваних екотопів.

Для оцінки ступеня подібності комплексів грибів різного ступеня деградації ґрунтів використовували коефіцієнт подібності Соренсена, для оцінювання видового різноманіття комплексів ґрунтових анаморфних грибів використовували індекс Шенона, для оцінки ступеня домінування видів у комплексах використовували індекс Сімпсона та індекс вирівняності Пієлу.

Використання екологічних індексів дає змогу отримати інформацію про ступінь зрілості та стабільності комплексів грибів кожного з досліджуваних ґрунтів. Метод кореляційних плеяд застосовуємо для виявлення корелюючих ознак між видами виділених мікроміцетів та характеристиками зовнішнього середовища. Метод головних компонент застосовуємо для визначення вкладу конкретного виду анаморфного гриба в загальну дисперсію видів. Коефіцієнт детермінації r^2 свідчить на скільки ступінь спорідненості у варіації однієї ознаки виду, яку вивчаємо, пояснюється зміною іншого, а остання частина варіацій або взаємозалежна, або залежить від факторів, котрі не враховували.

2.7. Молекулярно-генетичні дослідження бактеріальних та грибних угруповань у досліджуваних ґрунтах. Методика метагеномної екстракції ДНК із ґрунту. З ризосферних зразків ґрунту ДНК виділяємо за використання модифікованого протоколу для виділення метагеномної ДНК із ґрунту. Для цього 1 г ґрунту та 2 г стерильного скляного порошку (подрібнений лабораторний скляний посуд (боросилікат) за допомогою товкачика та ступки, стерилізація в автоклаві при 121°C протягом 15 хв) подрібнювали протягом 5 хв за допомогою товкачика та ступки. Подрібнений зразок ґрунту та скляний порошок змішували піпетуванням з 5 мл буфера для екстракції ДНК (100 мМ Трис, 100 мМ ЕДТА, 1,5 М NaCl (pH 8)) і переносили в пробірки на 2 мл. Суміш інкубуємо на водяній бані при 65°C протягом 10 хв із перемішуванням кожні 2 хв. Пробірки центрифугуємо при 12000 g протягом 5 хв, щоб зібрати 500 мкл супернатанту в свіжі 2 мл пробірки Епендорфа. Метагеномну ДНК осаджуємо шляхом додавання 100 мкл 3М ацетату натрію (pH 5,2) разом із 400 мкл ізопропанолу та інкубували при -20°C у глибокій морозильній камері. Через 20 хв метагеномну ДНК осаджуємо центрифугуванням при 12000 g протягом 10 хв, промивали один раз 70% (об./об.) етанолом. Висушений осад розчиняємо в 100 мкл TE буфера (pH 8).

EZ-10 Spin Column DNA Gel Extraction Kit використовували для очищення метагеномної ДНК від гумінової кислоти.

Варіації послідовності гена 18S рибосомної РНК (рРНК) використовуємо для ідентифікації бактерій, а ITS (Internal Transcribed Spacer) використовуємо для характеристики таксономічного різноманіття грибів, представленого у мікробних угрупованнях досліджуваних ґрунтів.

Наступний етап роботи передбачає дослідження патогенних властивостей штамів та всі необхідні аналізи, заплановані санітарно-епідеміологічною експертизою, яка встановлює його безпечність для використання у сільському господарстві.

На основі виділених ефективних штамів ендofітів створюємо препарати і підбираємо параметри росту культури та склад середовищ, а також визначаємо всі параметри культивування. Отримані препарати використовуємо для стимуляції мікоризоутворення, підвищення імунітету рослин та збільшення ґрунтового біорізноманіття.

3. РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Обробка насіння тестових рослин препаратами ендоефітів і визначення ефективності їх впливу у модельних дослідках. На основі попередньо проведених досліджень можна визначити стан ґрунту, зрозуміти, які біотехнологічні прийоми застосувати аби отримати продуктивний ріст, розвиток та плодоношення рослин та ґрунтовий міко- та мікробіом, біорізноманіття якого забезпечує усі потреби рослин та функції ґрунту.

Отже, на основі цих даних створюємо, технологічну карту, в яку включаємо ті препарати з отриманих нами, які ефективно вирішують проблеми конкретного фітоценозу, а саме: сприяють збереженню вологи в рослині через створення загальної мікоризної сітки в екосистемі, трансформують ксенобіотики, впливають на метагеном ґрунту, контролюючи патогени, сприяють депонуванню вуглецю в ґрунті та у рослинах (табл.1). Технологічну карту догляду за рослинами розроблено за концептуальною моделлю, яка включає використання природного самовідновлення ґрунту і рослинного покриття та оптимізацію ґрунту шляхом покращення властивостей ґрунтової системи, біодетоксикацію і біодеконтамінацію через розширення популяцій ґрунтових мікроорганізмів та використання ендоефітів V-стратегів за одночасного впливу на біологічну та косну складову ґрунту⁷³⁵.

Таблиця. 1.

Приклад технологічної карти (без встановлення термінів внесення складових для регенерації міко- та мікробіому ґрунту)

«Список рекомендованих препаратів для посадки фундука»

N	Препарат	Виробник	Склад	Призначення
1.	БИОТРЕНД біоферментоване добриво	ТОВ «БИОТЕХ- АГРО»	N заг. – до 4% P ₂ O ₅ -0,38% K ₂ O -до 2,5% MgO – 0,5% Ca-3,2% S-3600 мг /кг Мікроелементи Cu,Zn,Mn,Fe,Co Рекомендовано лише для ділянки з низьким вмістом сірки	Забезпечує покращення біоценозу і властивостей ґрунту, збільшує врожайність с/г культур.
2.	БМ «Біочар Green»	автор Володимир Бунецький	біочар	Активоване деревне вугілля, яке є органічним структурним модифікатором ґрунту. Ця органічна речовина хімічно нейтральна, здатна добре вбирати та поглинати вологу та поживні речовини, абсорбувати та нейтралізувати шкідливі хімічні речовини, знижувати кислотність ґрунту та збільшувати накопичення у ньому вуглецю.

⁷³⁵ Oliferchuk, V., Kendzora, N., Shukel, I., Samarska, M., & Olejniuk-Puchniak, O. (2023). The role of V-strategist endophytes in stimulating the formation of mycorrhizal interactions and soil regeneration. In *Symbiosis in Nature* (p. 269). <https://doi.org/10.5772/intechopen.109912>

**Продовження таблиці 1.
Призначення**

N	Препарат	Виробник	Склад	Призначення
3.	Доломіт Біо	ТОВ «Укрюгімпекс» м.Київ	СаО -32% MgO-21% Гумати-2%	Для розкислення і збагачення ґрунтів гуматами, кальцієм і магнієм та активації мікробіологічних процесів.
4.	«Міковітал»	ФОП Оліферчук	Діючий агент ендоефіт чорного трюфеля <i>Vitasergia svidasoma</i> <i>Oliferchuk</i>	Вид V-стратег, організм, що забезпечує стимуляцію мікоризоутворення в рослин і впливає на метагенот ґрунту, знімаючи фон патогенів та збільшуючи корисну симбіотичну мікрофлору. Стимулює розвиток рослин, їх плодоношення, забезпечує 50% збереження вологи.
5.	Флорабацилін	ТОВ НВЦ Черкасибіозахист	Діюча речовина – спороутворююча аеробна бактерія <i>Bacillus subtilis</i>	Екологічно безпечний, природний, біологічний препарат на основі бактерій роду <i>Bacillus</i> – біофунгіцид, стимулятор росту, має азотфіксуючі та фосфатмобілізуючі властивості.
6.	Метаризин	ТОВ НВЦ Черкасибіозахист	Діюча речовина гриб <i>Metarhizium anisopliae</i>	Ефективний засіб проти личинок молодшого віку, прямокрилих та твердокрилих шкідників: травневого хруща, капустянок, колорадського жука, довгоносиків, коваликів, дротяників. Використовують методом внесення в ґрунт перед оранкою, скопуванням, під культивуацію, при садінні, рихленні міжрядь сільськогосподарських культур.
7.	Ліпосам	БТУ- Центр «Жива Земля»	Композиція екзоолігополісахаридів природного походження з міцними зв'язками між моносахарами	Закріплює біопрепарати, інші засоби захисту та живлення рослин на посадковому матеріалі, забезпечує їх тісний контакт з обробленою поверхнею; утворює захисну еластичну сітку, яка зберігає вологу, не руйнує природну оболонку насіння, дихання і фотосинтез проходять вільно; захищає рослини в період вегетації від сонячних опіків, посухи; забезпечує краще засвоєння макро-, мікроелементів при позакореновому живленні; працює в широкому спектрі температур до 50 °С.
8.	Деструктор целюлози Біо- Мінераліс		ферменти грибів з фунгіцидними та целюлозолітичними властивостями роду триходерма (<i>Trichoderma</i> <i>specius, viride</i>), лігнінових дріжджів з лігнінолі- тичними властивостями (<i>Trichosporon cutaneum</i>) та актиноміцетів (<i>Actinomyces</i> <i>crisooviride</i>); і фермент бактеріального целюлозолітика (<i>Bacterial</i> <i>acilocalldarium</i>)	Призначений для обробки стерні та ґрунту після збирання врожаю сільськогосподарських культур. Прискорює розкладання рослинних решток, поліпшує ґрунтову родючість за рахунок збагачення його живильними речовинами та розвитку специфічної мікрофлори. Знищує патогени, що передаються через рослинні рештки у ґрунт. Підвищує продуктивність сільськогосподарських культур на 10 – 30%.

Провівши детальні лабораторні дослідження, отримавши необхідні дані ми можемо застосувати модель для повоєнного відновлення ґрунтів та фітоценозів і на основі цього ініціювати створення «Фемерських парків», «Парків-лабораторій», «Фермерських господарств», які базуються на органічних та регенеративних біотехнологіях і сприяють відновленню ґрунтового біорізноманіття (рис. 1 а і б).



а



б

Рисунок 1. Фермерське господарство, де основні площі займає сад фундука, створений за органічними технологіями (Миколаївська обл.):
а) трирічний сад; б) посадка нових площ фундука.

Парадигма мислення щодо використання ґрунтів та ландшафтів повинна бути змінена і базуватися на принципі підтримання екосистем, основою яких є регулювання ґрунтами, їх мікро- та мікобіомом. За рахунок правильно сформованого мікробіому в ґрунті та рослинах проходить процес активного депонування вуглецю, що впливає на склад атмосфери та відповідно на клімат. За рахунок активного впливу на процеси регулювання ґрунтами стабілізуються симбіотичні сигнальні системи «рослина-гриб-бактерія», а на основі цих мікропроцесів у ґрунті, можна ефективно формувати ландшафти (рис.2)



Рисунок 2. Модель управління ґрунтами та ландшафтами.

Отже, фермерство, згідно описаної парадигми, розглядається не лише як утилітарне виробництво, а як процес народження і розвитку агрокультури у сучасному терапевтичному контексті повоєнного відновлення нації. Тому й формуємо парадигму, що дозволить створити в Україні «Світоглядний парк – лабораторію», де люди зможуть особисто долучитися до всіх моментів

«вироснування ґрунту» та культур на ньому, і цей процес сприятиме їх фізичному та психологічному відновленню. У такому парку-лабораторії будуть проводитись навчання органічному агробізнесу, який не шкодитиме довкіллю, не забруднюватиме ґрунти та навколишнє середовище і при цьому приносить прибутки. На модельних господарствах будуть показані всі можливості екологічного вирощування органічної продукції. Нині над пілотним проектом працюють науковці з Національного лісотехнічного університету України, а також із Державного природознавчого музею НАН України, Національного Парку Розточчя та інших наукових установ. Ландшафти створюються у дуже естетичному вигляді з елементами малих архітектурних форм, які не суперечать з простором. Парк поділено на кілька зон: відпочинкова, лабораторна, територія на якій вирощуватимуть культури за допомогою різних технологій, аби аграрії могли переконатися, що не використовуючи хімічних добрив можна отримувати високі врожаї органічно вирощених рослин. Поля та сади доглядаються різними методами: мікоризація рослин препаратами на основі активних ендоефітів, наповнення ґрунту біомасою, перегноєм рослинного походження, внесення ферментованих добрив, біочару та інших складових для структуризації ґрунтів.

ВИСНОВКИ

Для ефективного впровадження Концептуальної моделі управління ґрунтовими екосистемами та ландшафтами, їх біологічними та екологічними складовими важливо створити Наукову платформу Природничого відновлення України. Для цього необхідно залучити максимум вчених зі знаннями та науково-практичними навичками для створення програми дій у відновленні, збереженні та відбудові природних просторів. Вже зараз постає питання не тільки відновлення агроекосистем, але й лісів, збереженні старовинних парків, реновації національних заповідників, які попали під ворожу руйнацію. З цим процесом тісно пов'язані відновлення ландшафтної канви зруйнованих міст та малих населених пунктів, відновлення акваландшафтів, оздоровлення довкілля від отрутохімікатів різного походження та складу, створення умов для відновлення флори і фауни за межами населених пунктів. Всі ці відновлювальні процеси будуть ефективними при регулюванні мікобіомом та мікробіомом ґрунтів та створення біотехнологій, продуктивних у конкретно заданих умовах ландшафтів.