

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

КУЛЬБАНСЬКА ІВАННА МИКОЛАЇВНА

УДК 630*2:574:581.526(477.85/.86)

**ЛІСІВНИЧО-ЕКОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ
БІОТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗА УЧАСТІ *ABIES ALBA* MILL.
У ПОКУТСЬКО-БУКОВИНСЬКИХ КАРПАТАХ**

06.03.03 «Лісознавство і лісівництво»

Реферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора біологічних наук

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України
Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант доктор сільськогосподарських наук, професор
ГОЙЧУК Анатолій Федорович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
професор кафедри лісівництва

Опоненти: доктор біологічних наук, професор
КРИНИЦЬКИЙ Григорій Томкович,
Національний лісотехнічний університет України,
професор кафедри лісівництва

доктор біологічних наук, доцент
ЧЕРНЕВИЙ Юрій Іванович,
Прикарпатський фаховий коледж
лісового господарства та туризму,
директор

доктор сільськогосподарських наук, професор
МЄШКОВА Валентина Львівна,
Український ордена «Знак Пошани»
науково-дослідного інституту лісового господарства
та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького,
головний науковий співробітник
відділу ентомології, фітопатології та фізіології

Захист відбудеться «05» липня 2025 року о 10⁰⁰ годині на засіданні докторської спеціалізованої вченої ради Д 26.852.58 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Вчений секретар докторської
спеціалізованої вченої ради

Олександр СОШЕНСЬКИЙ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Лісові ценози є не лише визначальним резерватом наземного біорізноманіття, а й центральною компонентою біогеохімічних механізмів Землі та джерелом важливих екосистемних послуг для добробуту людини. В останні десятиріччя кліматичні зміни у комплексі з антропогенним пресом призвели до відчутних порушень природних закономірностей взаємозв'язків між складовими лісового біоценозу як саморегулюючої системи.

Темпи антропогенної зміни клімату наразі значно перевищують ті, при яких лісові екосистеми, де переважають нерухомі довгоживучі організми, здатні адаптуватися. Деадаптація лісів, що виникає внаслідок цього, негативно впливає на функціонування екосистеми. Крім того, оскільки багато видів живих організмів лісового біоценозу трофічно і топічно залежать від переважаючих видів деревних рослин, відтермінована реакція останніх на зміну клімату може призводити до значних порушень гомеостазу, збіднення біорізноманіття у його системній взаємодії, а також зниження біотичної стійкості едифікаторів деревної компоненти лісу. Незрозуміло, чи є вплив клімату прямим чи опосередкованим, проте ясно, що зміни клімату взаємодіють і будуть у майбутньому взаємодіяти і впливати на стійкість дерев до патогенів, що залежить від стохастичної генетичної варіації, сформованого імунітету, пластичності та толерантності виду, а також екологічних умов навколишнього середовища. Водночас, як лісові деревні рослини у більшості будуть змушені адаптуватися до змін клімату без втручання людини, то раціональним веденням лісгосподарської діяльності на основі сучасних методів моделювання на окремих лісових ділянках можна мінімізувати небажані ефекти прогнозованого збільшення відмирання дерев внаслідок кліматичних (погодних) аномалій.

Таким чином, трансформація екосистем Карпат уже призвела до зменшення площ лісів та порушення їх функцій, зміни їх видового складу, у тому числі внаслідок поширення інвазійних видів комах та збудників хвороб, масового всихання деревних рослин, деградації і ерозії ґрунтів, що у сукупності викликає руйнування системи природних гірських лісів.

Представлені напрацювання докторської дисертації спрямовано на дослідження нагальних проблем у галузі лісознавства, екології та фітопатології. Обрана для дослідження тема є актуальною з огляду на проблему глобального порушення біотичної стійкості лісів Карпатського регіону у контексті кліматичних змін та недосконалої системи комплексної діагностики патологій деревних видів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт за темою: «Дослідити стан і структуру гірських захисних лісів і розробити заходи з їх раціонального використання» (номер державної реєстрації 0120U105144, 2020–2024 рр.), а також госпрозрахункових тем «Дослідити фітосанітарний стан листяних деревостанів у ДП «Словечанський лісгосп АПК» (Н-03-25/з від 31.03.2023 р., 31.03.2023–31.12.2024 рр.), «Дослідити видовий склад фітофагів сосни звичайної у ДП «Словечанський лісгосп АПК та визначити шляхи поліпшення санітарного стану лісів» (Н-11-02/23 від 17.11.2023 р., 17.11.2023–31.07.2024 рр.).

До виконання зазначених наукових тем здобувачка залучалася відповідальною виконавицею окремих розділів.

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – встановити видовий склад, токсикопатогенний потенціал і поширення збудників інфекційних хвороб у контексті лісівничо-екологічних, біотичних та фітоценотичних чинників як передумови порушення біотичної стійкості у лісових екосистемах Покутсько-Буковинських Карпат.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- проаналізувати та узагальнити наукові надбання щодо базових тригерів зниження біотичної стійкості лісів в Україні та в зарубіжжі;
- оцінити сучасний санітарний стан деревостанів за участі *Abies alba*;

- визначити поширення патологічних процесів та особливості структурно-функціональної і ценотичної організації патогенної біоти в залежності від основних лісівничо-таксаційних показників деревостанів;

- ідентифікувати видовий склад і визначити токсикопатогенний потенціал міко- і мікроорганізмів у лісах Покутсько-Буковинських Карпат;

- дослідити симптоматику бактеріальної водянки лісових деревних рослин та морфолого-культуральні властивості її збудника;

- виокремити послідовність етапів деградації деревостанів з участю *Abies alba*;

- визначити біоценотичні чинники стійкості деревостанів за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах;

- провести оцінювання біотичної стійкості лісових деревних рослин (на прикладі деревостанів з участю *Abies alba*);

- з'ясувати роль і місце ендofітів в епіфітотійних патологіях лісових деревних рослин у регіоні дослідження;

- розробити пропозиції щодо підвищення біотичної стійкості деревостанів за участю *Abies alba* в межах дослідного регіону.

Об'єкт дослідження – фітосанітарний стан деревостанів дослідного регіону в системній взаємодії абіотичних і біотичних, у т. ч. патогенних, чинників.

Предмет дослідження – методологічні та методичні засади формування біотично-стійких деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат.

Методи дослідження. У ході виконання дослідження проведено аналітичний огляд літератури, обґрунтовано методологічні та теоретичні положення, підібрано та опрацьовано сучасні спеціальні методи та методики досліджень (мікологічні, мікробіологічні, фітопатологічні, лісівничі, таксаційні, фітоценологічні), закладені тимчасові пробні площі в лісових масивах Покутсько-Буковинських Карпат, які повністю репрезентують типові умови регіону дослідження. На базі Інституту мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного; навчально-наукової лабораторії біотехнології та клітинної інженерії НУБіП України; Української лабораторії якості і безпеки продукції АПК; Українського науково-дослідного інституту гірського лісівництва імені П. С. Пастернака проведено дослідження патогенних властивостей міко- і мікроорганізмів, їх ідентифікація. За матеріалами ВО «Укрдержліспроект», ДСЛП «Львівлісозахист» та «Івано-Франківськ-лісозахист» здійснено аналіз фітосанітарного стану лісів дослідного регіону за попередні роки. Статистичну обробку даних здійснювали методами графоаналітичного, кореляційного, регресійного аналізів із залученням програм стандартних пакетів комп'ютерно-інформаційного забезпечення MS Excel та ANOVA.

Наукова новизна одержаних результатів. *Вперше:*

- визначено видовий склад патогенної мікро- і мікобіоти, пов'язаної з деградацією деревостанів за участі *Abies alba*, в їх системній взаємодії з лісовими деревними рослинами в залежності від лісівничо-екологічних, біотичних та фітоценотичних чинників як передумов порушення біотичної стійкості у лісах дослідного регіону;

- встановлено поширення збудників патологічних процесів та особливості структурно-функціональної і ценотичної організації патогенної біоти у різних типах лісорослинних умов і в лісах різного видового складу, а також генезису лісостану як чинника його біотичної резистентності;

- досліджено головні предиктори ослаблення деревостанів за участі *Abies alba* та виокремлено стадії її деградації;

- з'ясовано симптоматику і етіологію виразково-пухлиноподібної хвороби;

- сформовано схему формування біотичної стійкості рослин;

- встановлено потенційну роль ендofітної міко- та мікробіоти у формуванні біотичної стійкості лісових деревних рослин;

- з тканин *Abies alba*, на основі сукупності результатів морфолого-культуральних досліджень, а також аналізу послідовностей нуклеотидів фрагменту гена 16S рРНК, виділено

штам *Lelliottia amnigena* Ab(L-22) як складник ендоефітної мікробіоти та внесено до бази даних GenBank за номером PP734867;

- оцінено біопротекторні та антагоністичні властивості бактерій, що здатні підвищувати біотичну стійкість лісових деревних рослин;

- розроблено концептуальні засади формування біотичностійких деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат;

- удосконалено методологію досліджень деревостанів із ознаками захворювання едифікаторного виду;

- розширено методичні підходи до виявлення і діагностування стану деревостанів зі зниженим ступенем біотичної стійкості;

набули подальшого розвитку:

- поліфакторіальна теорія виникнення та розвитку деградацій деревостанів як ознаки порушення їх біотичної стійкості під впливом чинників довкілля;

- фітоценотична методика діагностування причин виникнення патологічних процесів у лісах;

- методичні підходи до виявлення і діагностування стану деревостанів зі зниженим ступенем біотичної стійкості.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведених досліджень запропоновано систему заходів із підвищення еколого-біотичної стійкості деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат. Зокрема, шляхом підбору біотичностійких (резистентних) форм лісових деревних рослин для ведення лісового господарства, а також застосування антагоністичних властивостей мікроорганізмів для профілактики і захисту лісів від збудників інфекційних хвороб.

Основні положення дисертації впроваджено у виробничу діяльність філій «Кутське ЛГ» та «Чернівецьке ЛГ» ДП «Ліси України», УкрНДІгірліс ім. П. С. Пастернака, ВО «Укрдержліспроект». Результати досліджень застосовуються в освітньому процесі під час викладання дисциплін «Лісова фітопатологія», «Інтегрований захист лісу», «Захист декоративних рослин», «Гриби лісів України», студентам спеціальностей 205 «Лісове господарство» та 206 «Садово-паркове господарство» ОС «Магістр» та ОС «Бакалавр» у Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Особистий внесок здобувачки. Дисертація є завершеною науковою працею, яку виконано на основі багаторічних наукових досліджень здобувачки. Особистий внесок полягає в аналізі наукової літератури; визначенні етапів наукових досліджень, формулюванні мети та завдань дослідження; проведенні наукових досліджень; статистичній обробці цифрових результатів та їх аналізі; написанні дисертації, формулюванні висновків.

Здобувачкою особисто організовано науково-виробничі дослідження, проведено обстеження насаджень, закладено пробні площі, здійснено облік результатів польових і камеральних досліджень, статистичну обробку й аналіз зібраного матеріалу, узагальнено отримані результати, сформульовано висновки. Основна частина наведених у дисертації наукових положень, висновків і пропозицій належать особисто здобувачці та є її науковим доробком. Деякі результати одержано у співпраці з іншими науковцями, про що свідчать спільні наукові публікації та посилання у тексті роботи.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення дисертації представлено та обговорено на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях: «Актуальні проблеми лісового і садово-паркового господарства» (м. Умань, 2018 р.); «Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства» (м. Київ, 2019 р.); «Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоєкології та фітомеліорації» (м. Львів, 2019 р.); «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти» (м. Київ – м. Миколаїв – м. Херсон, 2019 р.); «Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва» (м. Київ, 2019 р.); «Дослідження лісових та урбанізованих екосистем для забезпечення сталого розвитку» (м. Київ, 2020 р.);

«Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки» (м. Рівне, 2020 р.); «Проблеми ведення та експлуатації лісових і мисливських ресурсів» (м. Житомир, 2020 р.); «Ideas and innovations in natural sciences» (м. Люблін, Польща, 2021 р.); «Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives» (м. Вільнюс, Литва, 2021 р.); «Лісівнича наука: стан, проблеми, перспективи розвитку» (м. Харків, 2021 р.); «Юність науки – 2022: Соціально-економічні та гуманітарні аспекти розвитку суспільства» (м. Чернігів, 2022 р.); «Ліси в умовах сучасних викликів» (м. Харків, 2022 р.); «Мікробіологія в сучасному сільськогосподарському виробництві» (м. Чернігів, 2022 р.); «Молодіжна наука заради миру та розвитку» (м. Чернівці, 2022 р.); «Ліси та урбоєкосистеми України в умовах війни: стан, збереження та відновлення» (м. Київ, 2020 р.); «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови» (м. Київ, 2023 р.); «Актуальні проблеми дослідження лісових та урбоєкосистем України в умовах воєнного стану» (м. Київ, 2023 р.); «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем» (м. Львів, 2023 р.); «Modern aspects of microbiology, virology, and biotechnology in wartime and post-war period» (м. Київ, 2023 р.); «Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку» (м. Малин, 2024 р.); «Сучасний стан, проблеми, перспективи та завдання відтворення лісів в умовах антропогену» (м. Київ, 2024 р.); «Наближене до природи лісівництво: проблеми та перспективи» (м. Київ, 2024 р.); «Колесніковські читання» (м. Харків, 2024 р.); «Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку» (м. Львів, 2024 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано в 54 наукових працях, з яких 18 статей у періодичних виданнях, включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України, та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 6 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 2 статті у наукових виданнях інших держав, 28 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертацію викладено на 334 сторінках, вона містить 56 рисунків, 38 таблиць та складається з анотацій, переліку умовних позначень і скорочень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (488 джерел, у тому числі 296 латиницею) та додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ **«Проблема глобального порушення біотичної стійкості Карпатських лісів у контексті кліматичних змін (огляд літератури)»** присвячено аналізу чинників, які впливають на біотичну стійкість Карпатських лісів. Зокрема, він зосереджується на тому, як зміни клімату впливають на санітарний стан лісу та які це має наслідки.

Глобальні зміни клімату становлять серйозну загрозу для збереження видового біорізноманіття. Це твердження неодноразово підтверджувалося на міжнародних форумах, таких як «Саміт Землі – 2002» (Йоханесбург, Південна Африка, 2002 р.), Конференція ООН зі сталого розвитку «Ріо-2012» або «Ріо +20» (Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 2012 р.), Конференція Міністрів довкілля регіону ЄЕК ООН (Нікосія, Кіпр, 2022 р.) та інших, і знайшло відображення у численних наукових дослідженнях (Дідух та ін., 2016; Johnstone et al., 2016; Seidl & Rammer, 2017; Thom et al., 2017; Tretyak & Chernevyy, 2022).

Зміни клімату призвели до трансформацій лісової рослинності, а також змінили умови ведення лісового господарства в Українських Карпатах. Темпи цих змін наразі значно перевищують ті, при яких лісові екосистеми здатні адаптуватися (Franić et al., 2023). Як наслідок спостерігаються: зниження лісистості регіону (Багнюк, Дідух, 2002; Калуцький, 2008; Фельбаба-Клушина, 2009), порушення основних функцій лісу (Багнюк, Дідух, 2002; Стойко, 2011); зміни видового складу деревостанів (Калуцький, 2008; Фельбаба-Клушина, 2009; Парпан та ін., 2014; Голубець, 2016), спрощення структури та зміни внутрішніх взаємозв'язків між елементами фітоценозів внаслідок занесення чужерідних видів рослин

(Протопопова та ін., 2010), поширення інвазійних видів шкідників та збудників хвороб (Калуцький, 2008; Мацях, 2021), знищення криволісся (Ковальчук, Михнович, 2004), посилення антропогенного впливу (Устименко, Дубина, 2007; Калуцький, 2008), деградація ґрунтів (Багнюк, Дідух, 2002), що в сумі дестабілізує та знижує біотичну стійкість лісових екосистем. Кліматичні зміни також суттєво впливають на динаміку взаємовідносин, що виникають між рослиною-господарем та інфекційним агентом. Тому, ймовірно, кліматичні трансформації формуватимуть вагомий вплив на агресивність, вірулентність та патогенність збудника захворювання, а також вроджену резистентність рослини-господаря. Наразі існує необхідність переосмислення традиційних методів ведення лісового господарства та розроблення нових адаптаційних стратегій, орієнтованих на підвищення біотичної стійкості лісів Українських Карпат в умовах кліматичних змін.

Міко- та мікроорганізми – невід’ємний структурний елемент лісового біоценозу, який відіграє велику роль у його функціонуванні на всіх етапах росту та розвитку рослин, бере участь у внутрішньому кругообігу органіки та утилізації детриту. Серед різних систематичних і функціональних груп міко- та мікробіоти особливе місце займають фітопатогенні ендofіти різної трофічної спеціалізації, здатні завдавати істотних екологічних, економічних та соціальних збитків, що підтверджується глибокою патологією з масовим усиханням більшості видів деревних рослин, що зростають у лісах як України, так і поза її межами (Гойчук та ін., 2019).

Всихання деревостанів із *Quercus robur* в Україні та світі є найяскравішим прикладом фатальної деградації лісових біоценозів внаслідок впливу антропогенних чинників, синоптичних та кліматичних аномалій (Thomas et al., 2002), інвазійних видів шкідників (Moussa et al., 2021; Mukhamadiyev et al., 2021; Мацях, 2021) та інфекційних агентів (Brady et al., 2017; Jiang et al., 2019; Kulbanska et al., 2021; Ruiz-Gómez et al., 2019). Провідна роль у зазначеному процесі серед біотичних, у т. ч. патогенних, чинників належить збудникам бактеріозів – фітопатогенним бактеріям, які виступають невід’ємною компонентою супутньої мікрофлори рослинного організму. Видовий склад фітопатогенних бактерій, приурочених до деградації лісів із дуба звичайного наступний: *Xanthomonas quercus* Sczerbin-Parfenenko sp. n., *Plasmopara nigro-quercina* Sczerbin-Parfenenko sp. n., *Erwinia multivora* Sczerbin-Parfenenko sp. n. та *E. lignifilla* Sczerbin-Parfenenko sp. n. (Щербин-Парфененко, 1953), *Pseudomonas fluorescens* Migula 1895 і *Pseudomonas* sp. (Гойчук та ін., 2004), *Lonsdalea quercina* subsp. *britannica* Brady et al. 2012 і *L. quercina* subsp. *populi* Toth et al. 2013 (Li et al., 2014), *Brenneria goodwinii* Denman et al. 2012, *Gibbsiella quercinecans* Brady et al. 2011, *Lonsdalea britannica* (Brady et al. 2017) Li et al. 2017 та *Rahnella victoriana* Brady et al. 2017 (Doonan et al., 2019; Gathercole et al., 2021), *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 (Kulbanska et al., 2021).

Всихання темнохвойних лісів (у т. ч. і за участі видів роду *Abies* (Mill.)) також зумовлене комплексом несприятливих абіотичних, антропогенних і біотичних чинників, серед яких особливе місце займають збудники бактеріальних хвороб (Goychuk et al., 2020). Водночас, дослідники також пов’язують відмирання дерев ялиці з масовим поширенням *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s. l. та рослин роду *Viscum* L. (Oliva & Colinas, 2010), *Fusarium* sp. та виду *H. parviporum* Niemelä & Korhonen (Погрібний та ін., 2018), *Phytophthora citricola* Sawada (Orlikowski et al., 2004). Серед причин погіршення санітарного стану дерев *Abies alba* є її висока чутливість до викидів SO₂ (Elling et al., 2009) та зменшення процесів її регенерації через травоядних тварин (Nagel et al., 2015).

Наразі у літературі нараховується більше 170 причин ослаблення та всихання ялинових деревостанів (Rehfuess, 1991). Багато дослідників причиною біотичних порушень та загибелі ялиників вважають *Ips typographus* L. (Raffa et al., 2008; Fahse & Heinrich, 2011; Seidl et al., 2014), *I. duplicatus* (C. R. Sahl.), *Pityogenes chalcographus* (L.), *Polygraphus polygraphus* (L.), *Pityophthorus pityographus* (Ratz.) та ін.) (Крамарець, & Мацях, 2018). Не меншу шкоду завдають фітопатогенні гриби, зокрема офіостомові – *Ophiostoma piceae*, *O. tetropii*, *O. minus*, *Grosmannia piceiperda*, *G. cucullata* (Jankowiak, & Kolařík, 2010), а також

Heterobasidion spp. – *H. parviporum* Niemelä & Korhonen, *H. annosum* (Fr.) Bref. (Крамарець & Мацях, 2018; Krisans et al., 2020) і *Armillaria* spp. – *A. ostoyae* (Romagn.) Herink) (Кеца, & Solheim, 2011). Супутнім чинником дестабілізації ялиників є фітонематода *Bursaphelenchus mucronatus* Mamiya et Enda (Мєдведева, Козловський, 2017).

Серед причин ослаблення і відмирання дерев *Fagus sylvatica* найбільш поширеними і ймовірними є версії, що стосуються інфекційної патології, зокрема, мова йде про фітопатогенні мікро- та мікоорганізми. Найчастіше чинниками деградації дерев бука є два види патогенних грибів із роду *Neonectria*, зокрема, *N. ditissima* (Tul. & C. Tul.) Samuels & Rossman або *N. faginata* (M. L. Lohman, A. M. J. Watson & Ayers) Castl. & Rossman (Castlebury et al., 2006; Stauder et al., 2020; Reed et al., 2022). Також відомо, що *F. sylvatica* чутливий до шкодочинного впливу грибів роду *Phytophthora*, *Meripilus*, *Ganoderma* і *Armillaria* (Matsiakh et al., 2021). Особливо небезпечною для бука є хвороба «чорний бактеріоз», збудник – *Erwinia horticola* (Beltjukova, Gwozdjak, Pastushenko, Zujkova) (Гвоздяк та ін., 1972; Kulbanska et al., 2019), *E. horticola* sp. nova. (Tovkach & Zlatohurska, 2017).

У першому розділі наведено також різноманітні трактування поняття «біотична стійкість», що зумовлені специфікою досліджуваних екосистем, методологічними підходами та еволюцією наукових поглядів. Так, «біотична стійкість» може розглядатися через призму стійкості до шкідників та хвороб, через здатність до самовідновлення після антропогенних впливів, через збереження біорізноманіття тощо (Maron & Vila, 2001; Шпарик, 2012; Криницький та ін., 2021, 2023; Андрєєва, 2023).

У другому розділі «Теоретичні і методологічні аспекти дослідження» зазначено, що в основі теоретико-методологічних, методичних та експериментальних досліджень лежить поліфакторіальна теорія К. Лосицького як одна з фундаментальних концепцій в екології лісу. Згідно з нею, динаміка лісових екосистем, зокрема такі процеси як всихання дерев, визначаються не одним, а цілим комплексом взаємодіючих факторів, як абіотичних, так і біотичних. Зазначається, що ліс – це динамічна система, в якій будь-яка зміна одного з компонентів може призвести до ланцюгової реакції і порушення балансу. Підтвердження головних постулатів поліфакторіальної теорії, а також створення теоретичної моделі оцінки біотичної стійкості деревостанів у контексті лісівничо-екологічних, біотичних і фітоценотичних чинників дозволяє більш точно оцінювати стан лісових екосистем та прогнозувати їхню динаміку.

Покутсько-Буковинські Карпати займають площу близько 6,6 тис. км² та розташовані у зовнішній смузі північного мегасхилу Українських Карпат у межах Івано-Франківської та Чернівецької областей. Близько третини території регіону віднесено до природно-заповідного фонду. Згідно геоботанічного районування, регіон знаходиться у межах району Покутсько-Буковинських смереково-ялицево-букових і смереково-буково-ялицевих лісів, підокругу темнохвойно-букових привододільних лісів, округу букових лісів Українських Карпат. Клімат помірно-континентальний, вологий. Середньорічна температура складає приблизно 6 °С, середня кількість опадів у низинній частині округу доходить до 800 мм, у гірській – до 1500 мм.

Площа лісів Покутсько-Буковинських Карпат становить 39,1 тис. га, з них частка ялинових лісостанів природного походження – 8,2 тис. га або 21 % площі лісів регіону. Близько 30,3 % території Покутсько-Буковинських Карпат віднесено до природно-заповідного фонду (Лосюк та ін., 2021). Лісове господарство на цій території здійснюють одинадцять лісокористувачів: філії «Кутське ЛГ», «Верховинське ЛГ», «Гринявське ЛГ», «Косівське ЛГ», «Чернівецьке ЛГ», «Берегометське ЛМГ» ДСГП «Ліси України», Косівське РП «Райагроліс», Верховинський районний лісгосп, а також НПП «Гуцульщина», «Вижницький» і «Черемоський» (Ванджурак & Дебринюк, 2022).

Рекогносцирувальні та детальні лісопатологічні обстеження і фітопатологічні дослідження здійснено на тимчасових і постійних пробних площах згідно загальноприйнятих методів і вимог СОУ 02.02-37-476:2006 «Пробні площі лісовпорядні. Метод закладання». Дослідження проводилися у межах 230 дослідних ділянок. Вікові межі обстежених деревних

рослин коливалися від 20 до 119 років. Ці деревостани є чистими та змішаними за складом лісами, які сформувалися у різних умовах, зокрема, сухих, свіжих та вологих гігротопах. Всього зрубано 29 модельних дерев, у т. ч. 12 дерев *Abies alba*, 9 дерев *Picea abies*, 5 дерев *Fagus sylvatica*, 1 дерево *Quercus robur*, 1 дерево *Ulmus glabra*. Відібрано 223 зразки окремих тканин та органів деревних рослин із візуальними ознаками ураження інфекційними хворобами (дерева II та III категорії санітарного стану) для мікологічних та мікробіологічних досліджень, які проводили у відповідності зі стандартними протоколами та за методиками В. Патики та співавторів (Патика та ін., 2017).

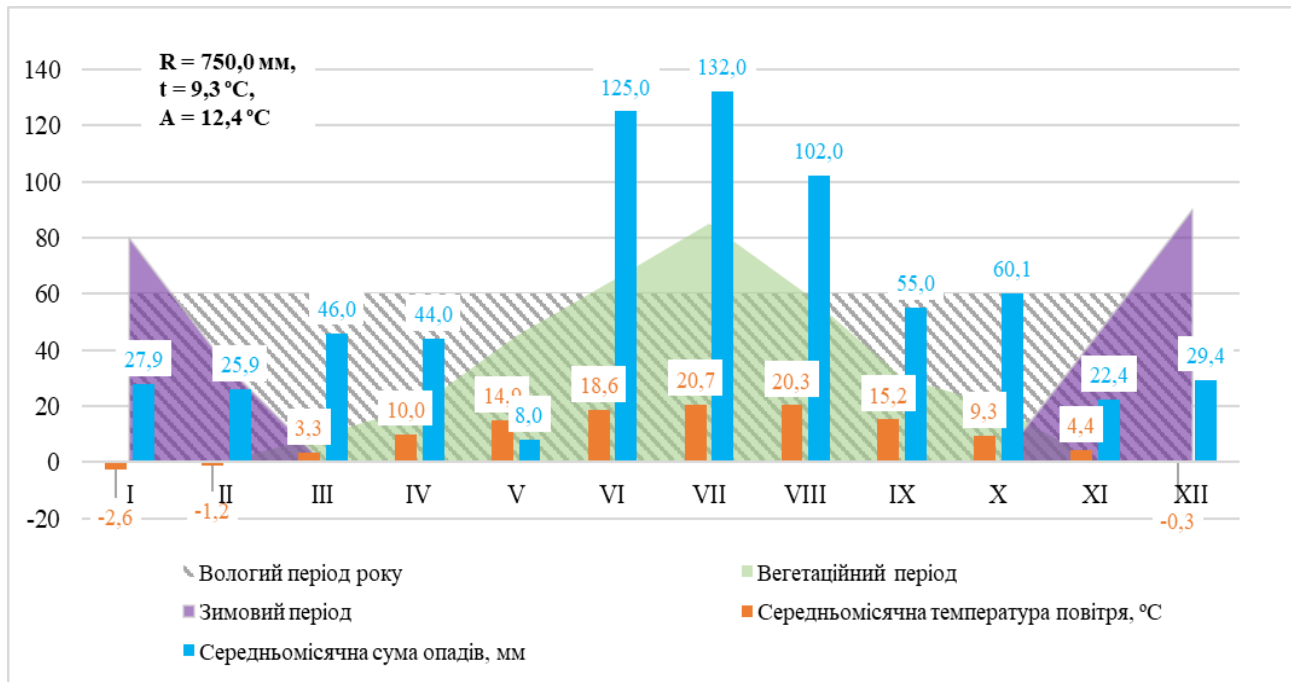


Рис. 1. Клімадіаграма Покутсько-Буковинських Карпат за багаторічними середньомісячними величинами* (за 2005–2018 рр., метеостанція Косів та метеопост НПП «Гуцульщина»): 1 – середньомісячна сума опадів; 2 – середньомісячна температура повітря; 3 – вологий період року; 4 – вегетаційний період; 5 – зимовий період; R – середньорічна сума опадів; t – середньорічна температура повітря; A – річна амплітуда температури повітря

Оцінка санітарного стану ценозів проведена з використанням середньозваженого індексу санітарного стану деревостану (I_c), обчисленого за формулою:

$$I_c = \frac{\sum k_i \cdot n_i}{N},$$

де I_c – індекс санітарного стану деревостану; k_1 – k_6 – категорія санітарного стану дерев (від I до VI); n_i – кількість дерев відповідної категорії санітарного стану; N – загальна кількість облікованих дерев.

Мікробіологічні дослідження проведено на базі відділу фітопатогенних бактерій Інституту мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАН України та включали культивування, ідентифікацію, а також підтвердження фітопатогенності мікроорганізмів – потенційних збудників хвороб – в умовах *in vivo* та *in vitro*. Морфологічну та фізіолого-біохімічну характеристику відібраних штамів бактерій проводили у відповідності зі стандартними протоколами та за методиками З. Клемента та співавторів (тест Ковака на оксидазу, тест Хью-Лейфсона, розрідження желатини, ріст в 5 % NaCl, формування редуруючих цукрів із сахарози, утворення кислоти з вуглеводів та ін.) (Klement et al. 1990; Patyka et al., 2014; Патика та ін., 2017; Patyka et al., 2019). Для уточнення видової належності ізолятів бактерій використовували молекулярно-генетичні аналізи за допомогою набору

GeneJet Genomic DNA Purification Kit (ThermoScientific) та тест індексу аналітичного профілю (API 20E). Антагоністичні властивості в системі «бактерія-бактерія», «бактерія-мікоміцет» досліджували методом відстроченого антагонізму. Ступінь антагоністичної активності штамів визначали за зонами затримки росту культур бактерій і мікоміцетів із відповідною градацією. Видову належність бактерій уточнювали за визначниками Bergey (1994) та іншою спеціальною літературою (Patyka et al., 2019). Ідентифікацію мікроорганізмів проводили за допомогою секвенування гена 16S рРНК за стандартними методиками (Gardes and Bruns, 1993). Дослідження патогенності виділених бактерій проводили, дотримуючись положень триади Генле-Коха.

Мікологічні дослідження проводилися за загальноприйнятими у лісовій фітопатології і мікології макроскопічними, мікроскопічними і мікологічними методами із використанням стандартних поживних середовищ і оптичної техніки навчально-наукової лабораторії біотехнології та клітинної інженерії Національного університету біоресурсів і природокористування України. Системно-структурний аналіз мікобіоти лісових біоценозів за участю *Abies alba* у дослідному регіоні ґрунтувався на опрацюванні гербарних зразків мікоміцетів. Окрема інформація отримана на основі даних під час роботи із гербарними зразками фунгарію кафедри лісівництва НУБіП України, інтерактивної бази даних «Світ грибів України» (<http://gribi.net.ua/>). Сучасні назви мікоміцетів та їхню систематичну належність узгоджено з номенклатурною базою даних MycoBank (n.d.) та International Code of Botanical Nomenclature (n.d.).

Фітоценологічні дослідження базувалися на принципах еколого-флористичної класифікації рослинності із застосуванням методу J. Braun-Blanquet (1964), із використанням комбінованої шкали кількісних показників та категоризацією видів за шкалою вірності. Синтаксономічна схема рослинності побудована на основі європейських класифікаційних систем (Mayer, Onno, 1970; Ellenberg, & Klötzli, 1972; Müller, et al., 1992; Matuszkiewicz, Polakowska, 1995; Kučera, 2008; Matuszkiewicz, 2013). Назви та структуру синтаксонів наведено за W. Matuszkiewicz (2022).

Латинські назви видів наведено за таксономічними електронними базами даних: вищих рослин – за: *World Flora Online* (2023) (<https://www.worldfloraonline.org>) з деякими уточненнями за *The Plant List* (2022) (<http://www.theplantlist.org>), мікобіоти – за: *Index Fungorum* (<https://www.indexfungorum.org>), мікробіоти – за: *List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature* (<http://www.bacterio.cict.fr/e/erwinia.html>).

Детальну інформацію щодо сучасного стану лісового фонду регіону досліджень, зокрема лісів Покутсько-Буковинських Карпат та предикторів їхнього ослаблення одержано з літературних джерел (Гетьман, 2010; Васишин, 2016; Природні ліси Українських Карпат, 2018; Лосюк та ін., 2021), архівної бази даних Державного агентства лісових ресурсів України, ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2023 рр., лісгосподарських та лісозахисних підприємств (зокрема Державного спеціалізованого лісозахисного підприємства «Івано-Франківськлісозахист»), Українського науково-дослідного інституту гірського лісівництва імені П. С. Пастернака, а також із власних досліджень 2020–2024 рр. Під час проведення аналізу фактичних причин ослаблення та деградації лісових насаджень дослідного регіону використано зведені дані статистичної звітності (Форма 12-ЛГ), матеріали лісопатологічних обстежень та дані з офіційних сайтів лісгосподарських підприємств Чернівецької та Івано-Франківської області.

Багаторічні середні місячні дані по різних метеостанціях отримані з Агрокліматичних довідників та інших літературних джерел (Геренчук, 1973; Геренчук, 1978; Фокшей, 2019), а поточні дані – з сайту Метеопост – <https://meteorpost.com>.

Моніторинг довгострокових змін лісовкритих площ Покутсько-Буковинських Карпат проводили за допомогою хмарних платформ GoogleEarth (<https://earth.google.com>) та Global Forest Watch (<https://www.globalforestwatch.org/>) дистанційними методами.

Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали методами графоаналітичного, кореляційного і регресійного аналізів із використанням програми Microsoft EXCEL-2007 та ANOVA.

У третьому розділі «Сучасний фітосанітарний стан лісів Покутсько-Буковинських Карпат та чинники його погіршення» наведено результати моніторингу лісистості Покутсько-Буковинських Карпат за допомогою геоінформаційних технологій; проаналізовано сучасний фітосанітарний стан лісів за участю *Abies alba* та здійснено системно-структурний аналіз їхньої мікобіоти. Виокремлено етапи деградації особин *Abies alba*.

Використання ГІС-інструментарію для моніторингу лісистості Покутсько-Буковинських Карпат здійснювали на основі геоданих Global Forest Change (<https://www.globalforestwatch.org/>), урахувавши зімкненість лісового покриву та його зміни з 2001 по 2022 рік.

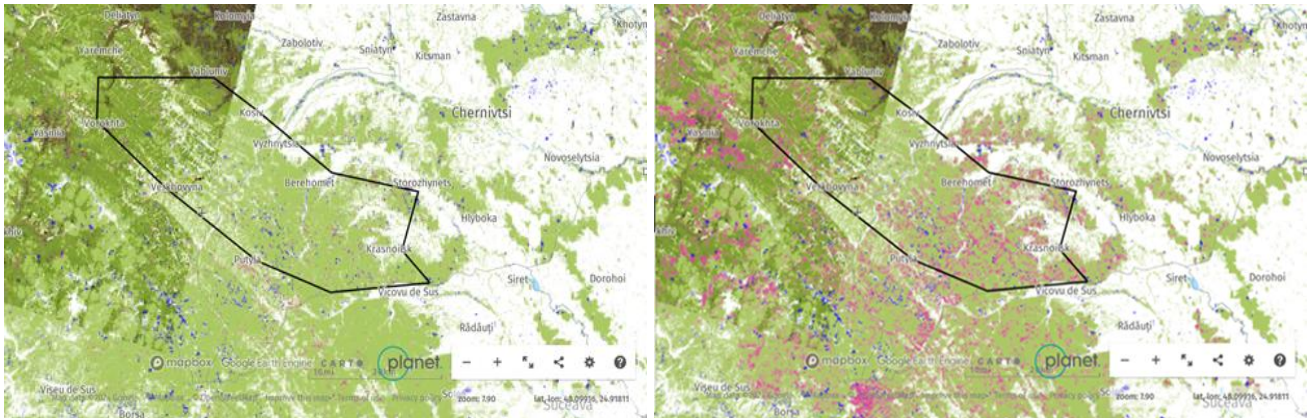


Рис. 2. Порівняльний аналіз втрат лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат за 2004 та 2020 роки за даними Global Forest Watch

На основі багаторічних кліматичних показників, отриманих з офіційного архіву погоди Метеопост, встановили тісну залежність проявів висихання лісових деревних рослин від індексу вологозабезпеченості регіону. Виявлено циклічність цього явища, яке повторюється через певні проміжки часу. Встановлено, що у період з 2001 по 2022 рік територія Покутсько-Буковинських Карпат втратила 19,3 тис. га лісового покриву, що еквівалентно його зменшенню на 12,0 % з 2000 року.



Рис. 3. Залежність показників деградації лісів Покутсько-Буковинських Карпат від індексу вологозабезпеченості регіону (2001–2022 рр.).

Рокам масового всихання лісів (2002–2003, 2011–2012) передували роки, які характеризувалися різким гідротермічним стресом (зниженням індексу волого-забезпеченості – 2001, 2009, 2022). На основі даної залежності можна очікувати на нову хвилю масового всихання лісів найближчими роками.

Таблиця 1

Середні значення індексу санітарного стану (Іс1-6) на пробних площах у лісах Покутсько-Буковинських Карпат у 2021–2023 рр.

№ ПП	Коротка характеристика ПП* (лісництво/ПНДВ, квартал/виділ, склад, вік, висота/діаметр, тип лісу)	Іс ₁₋₆ ± довірчий інтервал*		
		2021	2022	2023
Філія «Кутське лісове господарство»				
1	Березівське, 2/13, 7Яцб2Яле1Бкл, 90 р., 27/32, С3БЯП	2,05±0,22	2,23±0,21	2,34±0,21
2	Березівське, 3/22, 6Яле4Яцб, 50 р., 20/26, Д3БЯП	1,39±0,14	1,57±0,14	1,67±0,15
3	Кутське, 23/13, 9Яцб1Яле+Бкл, 93 р., 28/40, С2ПБ	2,51±0,19	2,51±0,18	2,21±0,17
4	Кутське, 30/23, 7Яцб3Бкл, 118 р., 27/50, С3БЯ	1,54±0,16	1,56±0,14	1,77±0,15
5	Косівське, 23/13, 9Яцб1Яле+Бкл, 93 р., 28/40, С2ПБ	1,74±0,18	1,88±0,18	1,89±0,18
Філія «Берегометське лісомисливське господарство»				
6	Вашківецьке, 9/17, 9Яцб1Бкл, 90 р., 27/40, Д3БЯП	3,51±0,17	3,27±0,18	3,17±0,19
7	Берегометське, 11/46, 5Яцб4Яле1Бкл+Гз, 58 р., 23/30, С3БЯП	1,60±0,15	1,53±0,14	1,55±0,14
8	Берегометське, 11/36, 9Яцб1Яле+Бкл, 67 р., 27/32, С3ПБ	2,48±0,17	2,56±0,16	2,69±0,15
НПП «Гуцульщина»				
9	Шешорське, 4/10, 6Яцб2Яле1Бкл1Бп, 43 р., 17/18, С2ПД	2,91±0,16	2,99±0,16	3,01±0,16
10	Шешорське, 11/16, 9Яцб1Яле, 85 р., 27/44 С3Б	2,66±0,18	2,59±0,17	2,67±0,17
11	Косівське, 10/29, 8Яцб1Яле1Бкл, 100 р., 29/44, Д3ПБ	2,75±0,15	2,71±0,17	2,69±0,17
РП «Косівський райагролісгосп»				
12	Пістинське, 6/25, 10Яцб, 80 р., 24/32, С3БПЯ	3,12±0,16	2,81±0,18	2,67±0,17
13	Яворівське, 13/43, 7Яцб3Яле, 60 р., 24/28, С3БЯП	3,34±0,16	3,52±0,16	3,51±0,16
14	Роженське, 17/14, 5Яцб3Яле2Бкл, 75 р., 22/32, С3БЯП	3,55±0,15	3,17±0,17	3,15±0,16
15	Роженське, 20/29, 9Яцб1Яле, 85 р., 24/36, С3БЯП	2,41±0,17	2,61±0,18	2,53±0,18

Примітка. *ПП – пробна площа

Узагальнений індекс санітарного стану лісів Покутсько-Буковинських Карпат за розрахунками склав 2,50, 2,49 і 2,50 у 2021, 2022 і 2023 роках відповідно. Середньозважені індекси санітарного стану варіювали за роками досліджень від 1,39 до 3,55. Загальний санітарний стан лісів дослідного регіону наразі слід вважати ослабленим. Спостерігається повільне, проте стійке зростання площ розладнаних та загиблих деревостанів за участю головних лісоутворюючих видів. На всіх обстежених ділянках нагромаджуються сухостійні дерева 5–6 категорій стану, які заселені та вже відпрацьовані комплексом ксилофагів. Також у ході обстежень відмітили типову симптоматику інфікування дерев бактеріозами, мікозами, а також комплексом афілофороїдних макроміцетів, зокрема ксилотрофних.

Дослідженнями встановлено певну залежність показників санітарного стану від основних лісівничо-таксаційних характеристик дослідних деревостанів.

Прослідковується чітка залежність підвищення середньозваженого показника індексу санітарного стану у деревостанах штучного походження (за інших рівних умов). Природні ліси (із переважанням у складі аборигенних видів деревних рослин) є практично здоровими.

Аналіз ослаблення лісостанів за участю *Abies alba* в залежності від категорії стиглості показує, що практично здоровими (без видимих ознак ослаблення) є перестійні лісостани. Ослабленими – стиглі деревостани та молодняки. У групі ризику – середньовікові насадження, які наразі знаходяться на межі переходу до стиглої фази, що пов'язано з фізіологічними змінами, які знижують їхню стійкість до впливу абіотичних і біотичних чинників.

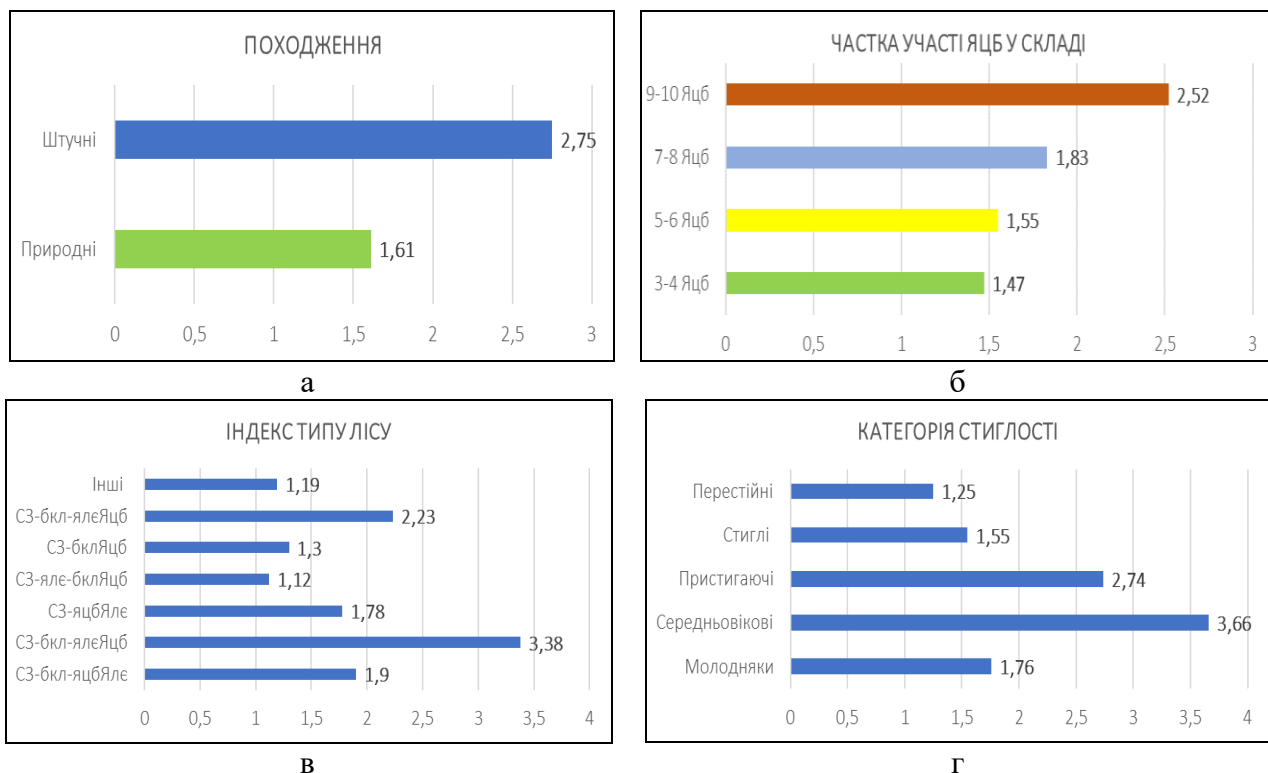


Рис. 4. Залежність поширення патологій у ялицевих лісах від таксаційних показників деревостану: а – походження, б – складу, в – типу лісу, г – категорії стиглості

Співставляючи дані про санітарний стан та типи лісу встановлено, що найбільш ослабленими (середньозважений індекс санітарного стану на основі аналізу 93 дослідних ділянок становить 3,38) є ялицеві деревостани, що формуються в умовах вологої буково-смерекової суяличини. Такий стан може бути пов'язаний із підвищеною вразливістю ялиці до фітопатогенів в умовах високої вологості, що характерно для буково-смерекових суяличин. А також з конкуренцією з боку бука та смереки за ресурси, що призводить до ослаблення ялиці і зростання її сприйнятливості до збудників хвороб.

Таблиця 2

Санітарний стан ценозів за участю *Abies alba*

№ ПП	Синтаксони асоціацій з участю <i>Abies alba</i>	Індекс санітарного стану ценозів, Іс	
		Нормальний ценоз	Ценоз із ознаками всихання <i>A. alba</i>
1	<i>Abieti-Piceetum (montanum)</i>	1,18	2,30
2	<i>Vaccinio myrtilli-Abietetum albae</i>	1,20	3,80
3	<i>Luzulo luzuloidis-Abietetum albae</i>	1,00	3,80
4	<i>Luzulo luzuloidis-Fagetum var. Abies alba</i>	1,16	2,80
5	<i>Luzulo pilosae-Fagetum var. Abies alba</i>	1,00	3,10
6	<i>Galio rotundifolii-Abietetum albae</i>	1,20	3,90
7	<i>Tilio cordatae-Carpinetum betuli var. Abies alba</i>	1,50	4,63
8	<i>Dentario glandulosae-Fagetum var. Abies alba</i>	1,00	5,80

Аналіз ступеня ослаблення лісостанів у залежності від складу деревостану показує, що частка ялиці у складі у межах ценотичного оптимуму (25–30 %) впродовж усього періоду вирощування деревостанів є одним із вагомих чинників індукції демутаційних процесів у лісові біоценози та сприяє формуванню високопродуктивних, біотичностійких лісів як з точки зору активізації метаболічних процесів, так і підвищення стійкості до збудників інфекційних хвороб.

Встановлено поширення патологічних процесів у різних типах лісорослинних умов, а також особливості структурно-функціональної і ценотичної організації патогенної біоти у лісах різного видового складу. Показано, що генезис лісостану є провідним чинником його біотичної резистентності.

Встановлено, що *Abies alba* є елементом 8 лісових асоціацій, виділених за методикою еколого-флористичної класифікації рослинності та методу J. Braun-Blanquet. Вони найбільше детермінуються едафічно і формують три еколого-фітоценотичні групи асоціацій.

До першої групи відносяться оліготрофні, ацидофільні, бідні у флористичному відношенні ценози, які формуються на мілких щербенистих буроземах з виходами кремнієвих пісковиків. Вони відносяться до класу хвойних лісів *VACCINIO-PICEETEA*. Це фітоценози асоціацій *Abieti-Piceetum (montanum)*, *Vaccinio myrtilli-Abietetum albae*. До другої групи відносяться олігомезотрофні чисті і мішані ялицево-букові і буково-ялицеві ліси, поширені на середньопотужних буроземах, підстелених пісковиками. Це фітоценози класу листяних лісів *QUERCO-FAGETEA* з асоціацій *Luzulo luzuloidis-Abietetum albae*, *Luzulo luzuloidis-Fagetum* var. *Abies alba* і *Luzulo pilosae-Fagetum* var. *Abies alba*. Третю групу складають мезотрофні мішані, флористично багаті ялицево-букові, ялицево-яворово-букові і рідкісні тут ялицево-грабово-букові ліси з класу *QUERCO-FAGETEA*, які формуються на потужних буроземах. Це фітоценози асоціацій *Galio rotundifolii-Abietetum albae*, *Dentario glandulosae-Fagetum* var. *Abies alba*, *Tilio cordatae-Carpinetum betuli* var. *Abies alba*.

Для пошуку причин ураження дерев ялиці патогенами вираховано індекс санітарного стану ценозів нормального типу і з ознаками всихання ялиці білої у лісах трьох еколого-фітоценотичних груп і помічено, що найгірший санітарний стан притаманний лісам третьої групи із класу *QUERCO-FAGETEA*. Натомість ялиця у природних і непорушених людиною ценозах асоціації *Abieti-Piceetum (montanum)* уражується слабо.

У четвертому розділі «Вплив міко- та мікроорганізмів, асоційованих із патологічними процесами, на стабільність екосистем за участі *Abies alba*» представлено результати системно-структурного аналізу мікобіоти лісів за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах. Голову увагу зосереджено на етіології, симптоматиці та патогенезі бактеріальної водянки, а також виразково-пухлиноподібної хвороби *Abies alba*. Досліджено стан реліктової ценопопуляції *Ulmus glabra* в умовах Покутсько-Буковинських Карпат і виокремлено чинники, які ведуть до погіршення їх санітарного стану. Отримані результати мають наукове і практичне значення для визначення оптимальних методів боротьби з патологічними процесами в деревостанах та збереження біорізноманіття в умовах змін клімату.

Загальна кількість зареєстрованих та ідентифікованих видів представників мікобіоти лісів за участю *Abies alba* у Покутсько-Буковинських Карпатах складає 54 види, у т. ч. консортивні зв'язки з *Picea bies* мають 13 видів, *A. alba* – 6 видів, *Fagus sylvatica* – 35 видів.

Аналіз таксономічної структури виявленої мікобіоти показав, що види належать до 45 родів, 31 родини, 4 підпорядки, 13 порядків, 6 підкласів, 5 класів, 3 підвідділів та двох відділів, зокрема 18,5 % видів – це представники відділу *Ascomycota* Caval.-Sm., 1998, а 81,5 %, відповідно, *Basidiomycota* Whittaker ex Moore, 1980 підцарства *Dikarya* Hibbett, 2007 царства *Fungi* Bartling, 1830.

Всі види відділу *Ascomycota* представлені видами підвідділу *Pezizomycotina* O.E. Erikss. & Winka, 1997 класу *Sordariomycetes* O.E. Erikss. & Winka, 1997, в межах якого виокремлено 2 підкласи (*Hypocreomycetidae* та *Xylariomycetidae*), 2 порядки (*Hypocreales* та *Xylariales*), 5 родин (*Diatrypaceae*, *Hypocreaceae*, *Melanconidaceae*, *Nectriaceae*, *Xylariaceae*), 7 родів (*Diatrype*, *Kretzschmaria*, *Melogramma*, *Nectria*, *Neonectria*, *Trichoderma*, *Xylaria*) і 10 видів міцетів.

Відділ *Basidiomycota* представлений 2 підвідділами (*Agaricomycotina* та *Pucciniomycotina*), 4 класами (*Agaricomycetes*, *Dacrymycetes*, *Pucciniomycetes* та *Tremellomycetes*), 4 підкласами (*Agaricomycetidae*, *Phallomycetidae*, *Phallomycetidae*,

Tremellomycetidae), 11 порядками (*Agaricales*, *Corticiales*, *Dacrymycetales*, *Gloeophyllales*, *Gomphales*, *Hymenochaetales*, *Phallales*, *Polyporales*, *Pucciniales*, *Russulales*, *Tremellales*), 4 підпорядками (*Marasmiineae*, *Melampsorineae*, *Phyllotopsidineae* та *Pleurotineae*), 26 родинами (*Amylocorticiaceae*, *Bondarzewiaceae*, *Clathraceae*, *Climacocystaceae*, *Corticaceae*, *Dacrymycetaceae*, *Fomitopsidaceae*, *Ganodermataceae*, *Gloeophyllaceae*, *Gomphaceae*, *Hericiaceae*, *Hymenochaetaceae*, *Incrustoporiaceae*, *Irpicaceae*, *Laetiporaceae*, *Mycenaceae*, *Phanerochaetaceae*, *Physalacriaceae*, *Polyporaceae*, *Pucciniastraceae*, *Pycnoporellaceae*, *Radulomycetaceae*, *Schizophyllaceae*, *Stereaceae*, *Tremellaceae* та *Trichaptaceae*), 38 родами (*Amylocorticium*, *Armillaria*, *Bjerkandera*, *Calocera*, *Cerioporus*, *Chondrostereum*, *Clathrus*, *Climacocystis*, *Dacrymyces*, *Daedalea*, *Daedaleopsis*, *Dentipellis*, *Fomes*, *Fomitopsis*, *Ganoderma*, *Gloeophyllum*, *Henningsomyces*, *Hericium*, *Heterobasidion*, *Inonotus*, *Irpex*, *Laetiporus*, *Melampsorella*, *Panellus*, *Phellinus*, *Plicaturopsis*, *Pycnoporellus*, *Radulomyces*, *Ramaria*, *Rhodofomes*, *Schizophyllum*, *Skeletocutis*, *Stereum*, *Trametes*, *Trametopsis*, *Tremella*, *Trichaptum* та *Vuilleminia*) і 44 видами міцетів.

Аналізуючи розподіл представників мікобіоти лісів дослідного регіону за трофічною спеціалізацією встановлено, що більшість видів є сапротрофами, життєдіяльність яких забезпечується за рахунок розкладання відмерлих рослинних решток. Найбільш чисельною є група облігатних сапротрофів, їх частка становить 49,1 % у загальному розподілі. Частка факультативних сапротрофів складає 45,5 %. Представники інших трофічних груп (кситотроф-факультативний патоген, облігатний патоген і надґрунтовий сапротроф) виявилися нечисленними, їх частка у загальному розподілі сягає 1,8 %.

Для досліджуваних міцетів лісів Покутсько-Буковинських Карпат характерна спеціалізація за субстратутворювальними деревними видами (це дерева-детермінанти консорції). Найбільша кількість видів виявлена в межах мікогоризонту *Fagus sylvatica* (35 видів, 64,8 % від загальної кількості знахідок), значно менше – на *Picea abies* (13 видів, 24,1 %) та *Abies alba* (6 видів, 11,1 %).

На дослідних ділянках здійснювали облік мікоризоутворюючих грибів з метою встановлення їх видового складу та визначення їх потенційної ролі у стабільності та здатності до адаптації лісових екосистем Покутсько-Буковинських Карпат. Під час досліджень зареєстровано 47 видів макроміцетів, видовий склад яких змінювався залежно від часу після проведення лісогосподарського заходу (доглядових чи санітарних рубань), а також ґрунтово-кліматичних умов. Більшість мікоризних грибів, приурочених до співжиття із *A. alba*, належить до родин *Amanitaceae* R. Heim ex Pouzar (1983), *Boletaceae* Chevall. (1828), *Russulaceae* Litsy (1907) та *Cortinariaceae* R. Heim ex Pouzar (1983). Виявлено гриби, які є типовими ектомікоризними видами, а також облігатними симбіонтами, що формують облігатні мутуалістичні взаємовідносини з *A. alba*, *Fagus sylvatica* та *Picea abies*.

Встановлено, що в деревостанах за участю *Abies alba*, особливо старших вікових груп, основну роль у мікоризації субстрату відіграють пластинчасті та трубчасті макроміцети, тоді як після вирубки першими зникають трубчасті гриби і суттєво змінюється склад пластинчастих мікоризних грибів. На етапах, пов'язаних зі значним збільшенням освітленості, також припиняється розвиток гумусових сапротрофів і дереворуйнівних грибів, приурочених до перших етапів розкладання деревини, але присутні багаторічні плодові тіла грибів, які поселяються на детриті.

Встановлено та експериментально підтверджено, що головною причиною деградації деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат за участю *A. alba* є небезпечне захворювання бактеріальної етіології – бактеріальна водянка.

До основних симптомів інфікування відносяться наступні ознаки: зрідженість крони, а також дефоліація та всихання окремих верхівкових і бічних пагонів, які, при цьому, є нетипово викривленими і вугільно-чорними, наче пошкоджені заморозками; формування тріщин та виразок на пагонах і стовбурах; відшарування ритідому (кірки); ясні виділення ексудату; «їжакуватий» вигляд стовбурів через розвиток водяних пагонів; аномальні зміни в будові деревини, зокрема утворення мокрого патологічного ядра округлої чи зірчастої

форми (в уражених тканинах розвивається м'яка гниль зі слизом, некротизацією та мацерацією тканин); засмоленість шишок тощо.

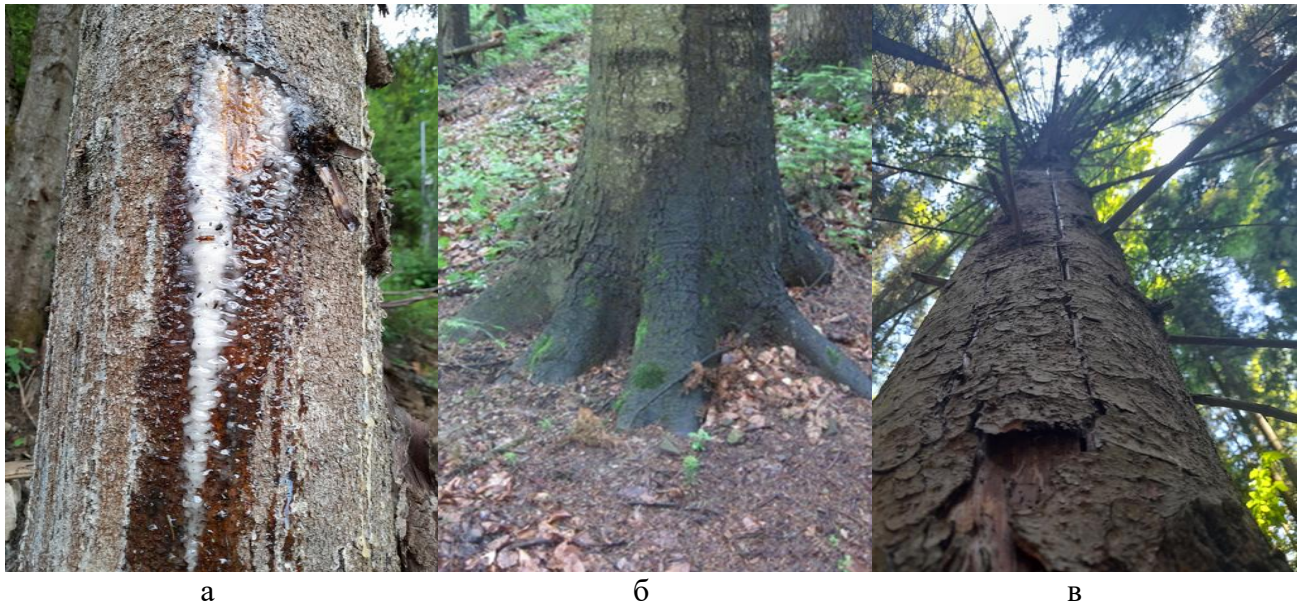


Рис. 5. Макроознаки бактеріальної водянки *A. alba*: а – тріщини і ексудат на ритідомі; б – мокра основа стовбура; в – відмерлі водяні пагони

Таблиця 3

Коротка характеристика дослідних об'єктів

№ п/п	Загальна кількість зразків, шт.	Вид зразка	Кількість ізольованих штамів бактерій		Кількість штамів фітопатогенних бактерій		Вид фітопатогенних бактерій
			шт.	%	шт.	%	
3	34	Насіннєвий матеріал (крилатка), пагін, виразка	18	29,0	12	32,5	<i>Lelliottia nimipressuralis</i> , <i>L. amnigena</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Xanthomonas campestris</i>
4	25	Апекс вегетуючого пагона, насіннєвий матеріал (крилатка), сучок	12	19,4	8	21,6	<i>P. fluorescens</i> , <i>L. nimipressuralis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pectobacterium caratovororum</i>
7	18	Пагін, сучок, виразка	9	14,5	4	10,8	<i>L. nimipressuralis</i> , <i>L. amnigena</i> , <i>P. syringae</i> , <i>Xanthomonas sp.</i>
10	27	Виразка, насіннєвий матеріал (крилатка)	10	16,1	5	13,5	<i>L. nimipressuralis</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>B. subtilis</i>
11	21	Пагін, сучок, виразка, насіннєвий матеріал (крилатка)	6	9,7	3	8,1	<i>P. fluorescens</i> , <i>L. nimipressuralis</i> , <i>X. campestris</i> , <i>B. pumilus</i>
14	23	Апекс вегетуючого пагона, насіннєвий матеріал (крилатка), сучок	7	11,3	5	13,5	<i>L. nimipressuralis</i> , <i>L. amnigena</i> , <i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Xanthomonas sp.</i>
Всього	148		62	100,0	37	100,0	

Всього зі зразків вегетативних і генеративних органів ялиці білої із ознаками інфікування бактеріальною водяною виділено 62 ізоляти бактерій, з яких 37 штамів виявилися фітопатогенними видами і використані у подальших дослідженнях. На чашках Петрі домінували три основні морфотипи бактеріальних колоній – сірувато-білі, непрозорі кремово-білі, жовтопигментні та ін. Ізоляти умовно були віднесені до родів *Lelliottia* Brady et al. 2013, *Bacillus* Cohn 1872 (Approved Lists 1980), *Pseudomonas* Migula 1894 (Approved Lists 1980), *Xanthomonas* Dowson 1939 (Approved Lists 1980).

Найбільшу кількість (166 та 122 КУО відповідно), утворили бактерії, які в подальшому були ідентифіковані як *Lelliottia nimipressuralis*. Сіропигментні бактерії, віднесені до *Pseudomonas* sp. та *P. fluorescens*, були ізольовані з трьох типів досліджуваних зразків – крилатка, виразка на стовбурі та сучок (12, 5 і 3 КУО відповідно). Жовтопигментні бактерії, віднесені до *Xanthomonas* sp. та *X. campestris*, були ізольовані лише з двох типів досліджуваних зразків (16 і 23 КУО відповідно). Постійними компонентами були бактерії, віднесені до *Bacillus subtilis*.

Таблиця 4

Кількість КУО бактерій, ізольованих вегетативних та генеративних органів *Abies alba*

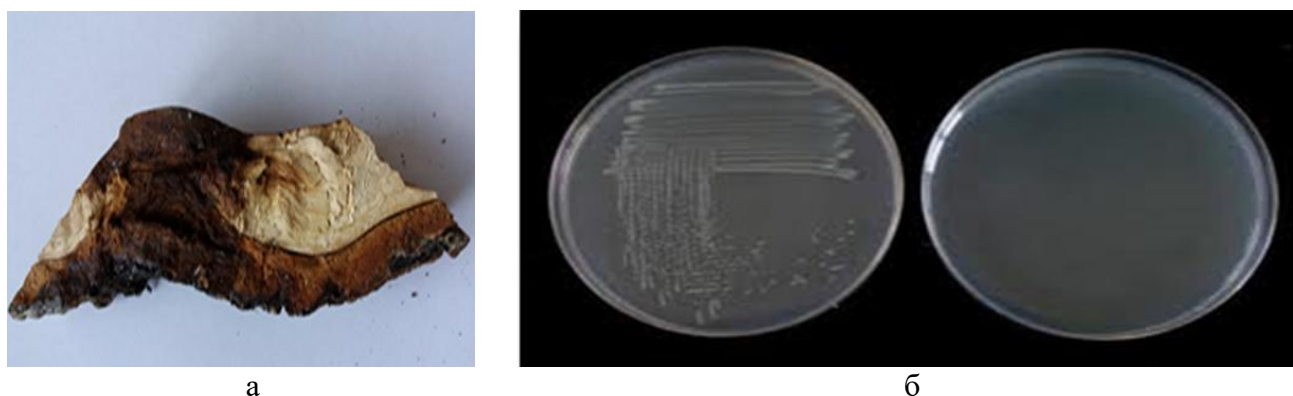
Вид зразка	Штами, кількість КУО бактерій				
	<i>Lelliottia nimipressuralis</i>	<i>Pseudomonas</i> sp., <i>P. fluorescens</i>	<i>Xanthomonas</i> sp., <i>X. campestris</i>	<i>Bacillus subtilis</i>	Інші
Насінневий матеріал (крилатка)	166	12	0	54	21
Пагін	68	0	16	27	15
Виразка на стовбурі	41	5	23	18	39
Апекс (конус наростання) вегетуючого пагона	19	0	0	21	0
Сучок	122	3	0	31	–

На основі проведених спеціальних мікробіологічних експериментів в умовах *in vitro* встановлено та підтверджено морфологічні та біохімічні властивості *Lelliottia nimipressuralis* – збудника бактеріальної водянки ялиці білої. Встановлено, що ізоляти із тканин *Abies alba* являють собою прямі або еліпсоподібні грамнегативні палички із перитрихальним розташуванням джгутиків. Культури клітини розташовуються поодинокі, рідше – короткими ланцюжками. Капсул і спор не формують. Колонії на картопляному агарі – округлі, розміром 4–5 мм у діаметрі, сірувато-білі, напівпрозорі, випуклі, зі слабким блиском. Край колоній формує слабкі хвилі. Досліджені бактерії є факультативними анаеробами, використовують глюкозу як в аеробних, так і анаеробних умовах. Загалом, за комплексом досліджених характеристик, ізоляти бактерій, виділені з ялиці, відповідають властивостям, наведеним у Визначнику бактерій Берджі для *Lelliottia nimipressuralis*.

Також у деревостанах Покутсько-Буковинських Карпат зафіксовано та ідентифіковано типові симптоматичні ознаки ураження дерев ялиці білої різних вікових груп виразково-пухлиноподібною хворобою, збудником якої є облигатний патоген *Melampsorella cerastii*. Основними симптомами патогенезу цієї хвороби є утворення на молодих гілках та пагонах типових муфтоподібних наростів, а також «відьминих мітл». Виокремлено два типи протікання цієї хвороби, зокрема I тип проявляється у формі муфтоподібних потовщень і «відьминих мітл», і є характерним, головним чином, для підросту ялиці. При II типі хвороби утворюються глибокі поперечні виразки з тріщинами.

Виразково-пухлиноподібна хвороба ялиці білої має значне поширення в лісах регіону, середньозважений показник поширення складає 43,5 % на підрості і 7,1 % на деревах старших вікових груп. Розвиток даної патології веде до загального ослаблення дерев *Abies alba*, що робить її чутливою (сприйнятливою) до впливу інших чинників

навколишнього середовища. Особливістю даної патології є те, що хвоя на відьминих мітлах, які утворюються при даному ураженні, не опадає.



а

б

Рис. 6. Відібрані для аналізу зразки деревини *Abies alba* (а) та колонії бактерій на пластинках КА, ізольовані з *Abies alba* (б)

Таблиця 5

Поширення виразково-пухлиноподібної хвороби на підрості та деревах *Abies alba* верхніх ярусів

Ступінь товщини, см	Всього обліковано дерев, шт.	У т. ч. інфіковано дерев, шт.	Кількість виразково-пухлиноподібних уражень за типами				Всього уражень, шт.	Поширення хвороби, %
			І тип		ІІ тип			
			шт.	%	шт.	%		
Підріст								
2	62	43	84	81,6	19	18,4	103	69,4
4	49	24	46	88,5	6	11,5	52	49,0
6	43	10	20	71,4	8	28,6	28	23,3
8	31	12	7	63,6	4	36,4	11	38,7
10	18	3	4	66,7	2	33,3	6	16,7
12	11	1	2	66,7	1	33,3	3	9,1
Разом	214	93	163	—	40	—	203	—
Дерева верхніх ярусів								
28	26	1	0	0,0	1	100,0	1	3,8
32	71	3	0	0,0	3	100,0	3	4,2
36	119	4	1	20,0	4	80,0	5	3,4
40	186	15	3	15,8	16	84,2	19	8,1
44	18	2	0	0,0	2	100,0	2	11,1
48	6	4	0	0,0	4	100,0	4	66,7
52	7	1	0	0,0	1	100,0	1	14,3
56	3	1	0	0,0	1	100,0	1	33,3
Разом	436	31	4	—	32	—	36	—

Примітка. *Уражені – до уражених віднесено рослини підросту, які мали як симптоми хвороби І та ІІ типу, так і «відьмині мітли». При цьому, часто зустрічалися рослини, єдиною візуальною ознакою ураження яких були «відьмині мітли». **І тип пухлиноподібні нарости (без виразок) і ІІ – виразково-пухлиноподібні (східчасті для підросту і молодих рослин) і поперечні (для дерев верхніх ярусів)

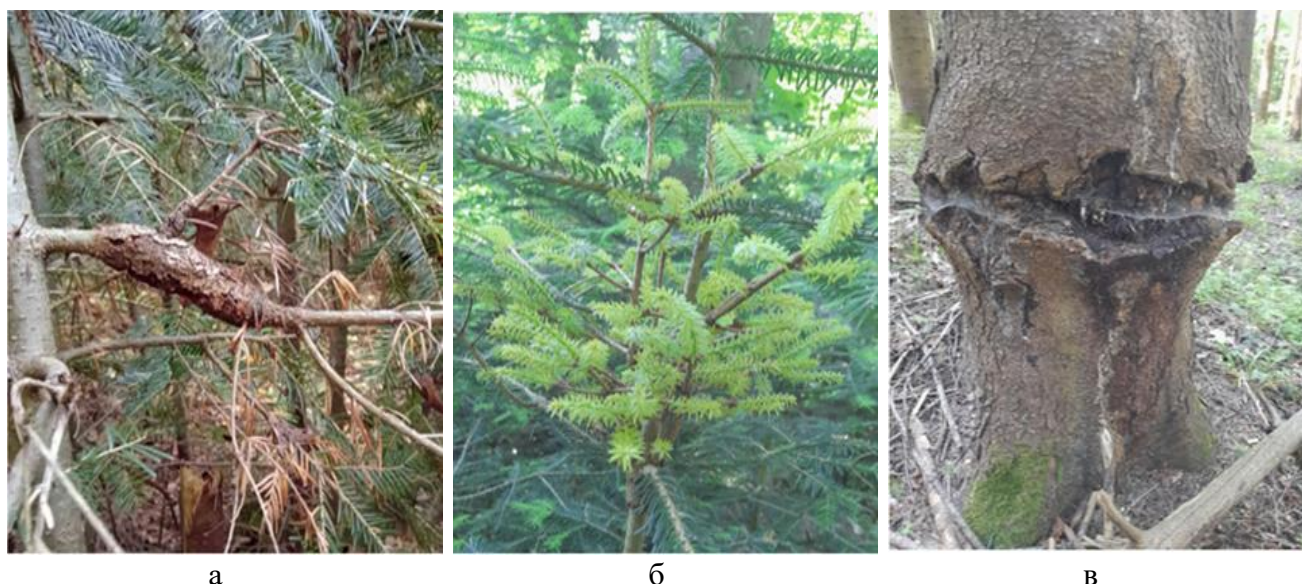


Рис. 7. Муфтоподібні потовщення (а), формування «відьминих мітл» (б) і поперечна тріщина на стовбурі (в) – типові симптоми виразково-пухлиноподібної хвороби *Abies alba*

Візуально на обстежених особинах підросту, а також на деревах старших вікових груп, у т. ч. на модельних деревах 60–80-річного віку, які були відібрані для інших досліджень (зокрема трахеїдної патології *A. alba*), в кроні реєструвалися «відьміні мітли», що різнилися за морфометричними показниками.

Таблиця 6

Морфометричні параметри пагонів «відьминої мітли» *Abies alba*

Порядок розгалуження пагона	Ознака							
	Довжина пагону, мм		Бруньки регулярного розгалуження, шт.		Охвоєність пагона, шт./10 мм пагона		Пазухові бруньки, шт.	
	ПВМ	НП	ПВМ	НП	ПВМ	НП	ПВМ	НП
III	42,4±2,1	50,9±3,7	3,2±0,2	2,4±0,2	17,1±0,5	14,6±1,5	9,4±0,8	1,6±0,4
IV	31,5±1,2	27,8±2,4	2,2±0,1	0,7±0,1	14,3±0,2	16,9±1,4	8,0±0,2	1,0±0,1
V	32,4±1,0	18,5±1,3	1,6±0,1	0,1±0,03	13,7±0,2	18,1±0,8	7,2±0,1	0,05
VI	25,1±0,4	–	1,0±0,1	–	13,4±0,1	–	3,6±0,1	–
VII	15,2±0,4	–	0	–	9,5±0,1	–	1,4±0,1	–

Примітка. ПВМ – пагін «відьминої мітли»; НП – нормальний пагін (контроль); III–VII порядок розгалуження, знак + означає, що дана ознака у пагонів одного порядку розгалуження «відьминої мітли» і контролю має статистично значимі похибки (при $p \leq 0,05$)

Під час обстеження лісів філії «Кутське лісове господарство» у лісовому фонді Косівського лісництва в ущелині лісового потоку виявлено ценопопуляцію великовікових дерев *Ulmus glabra* на площі близько 1 га. Знахідка є унікальною з огляду на епіфітотії «голландської хвороби» у минулому столітті, які стали причиною масової загибелі в'язів у лісах Європи. Виявлена ценопопуляція складається із 15 дерев *U. glabra* віком понад 100 років, а також включає велику кількість ювенільних і віргінільних особин, що може стати добрим резервом для створення генетичних плантацій. Зроблено висновок, що особини, які входять до реліктової популяції, наразі піддаються загрозі загибелі через інфікування бактеріальною водяню, викликаною агресивною фітопатогенною бактерією *Lelliottia nimipressuralis*. Супутніми патогенами дерев в'яза є *Taphrina ulmi*, *Septogloeum ulmicolum*, *Septoria ulmi*, *Nectria cinnabarina* та *Cerioporus squamosus*.

П'ятий розділ дисертації «Механізм ослаблення та деградації деревостанів за участі *Abies alba*» містить результати аналізу головних предикторів впливу та етапів

деградації деревостанів за участі *Abies alba*. Представлена континуальна структура *Lelliottia nimipressuralis* як основного чинника degradaції деревостанів за участі *Abies alba*. Описано макроскопічні особливості аномальних змін у анатомічній будові деревини *Abies alba* як потенційні адаптивні властивості деревних рослин в умовах стресу та degradaції.

Деградація *Abies alba* – це динамічне явище, яке характеризується поступовим ослабленням і відмиранням деревних рослин, що зростають в оптимальних для себе умовах, проте піддаються прямому та опосередкованому впливу комплексу абіотичних, біотичних та антропогенних чинників навколишнього середовища. Загальний процес degradaції *A. alba* можна розглядати як результат інтеграції численних чинників довкілля, що діють на різних рівнях рослинної організації, від молекулярного до екосистемного. Ці фактори взаємодіють і накопичуються протягом часу, перешкоджаючи природному відновленню деревостанів і прискорюючи degradaційні процеси.

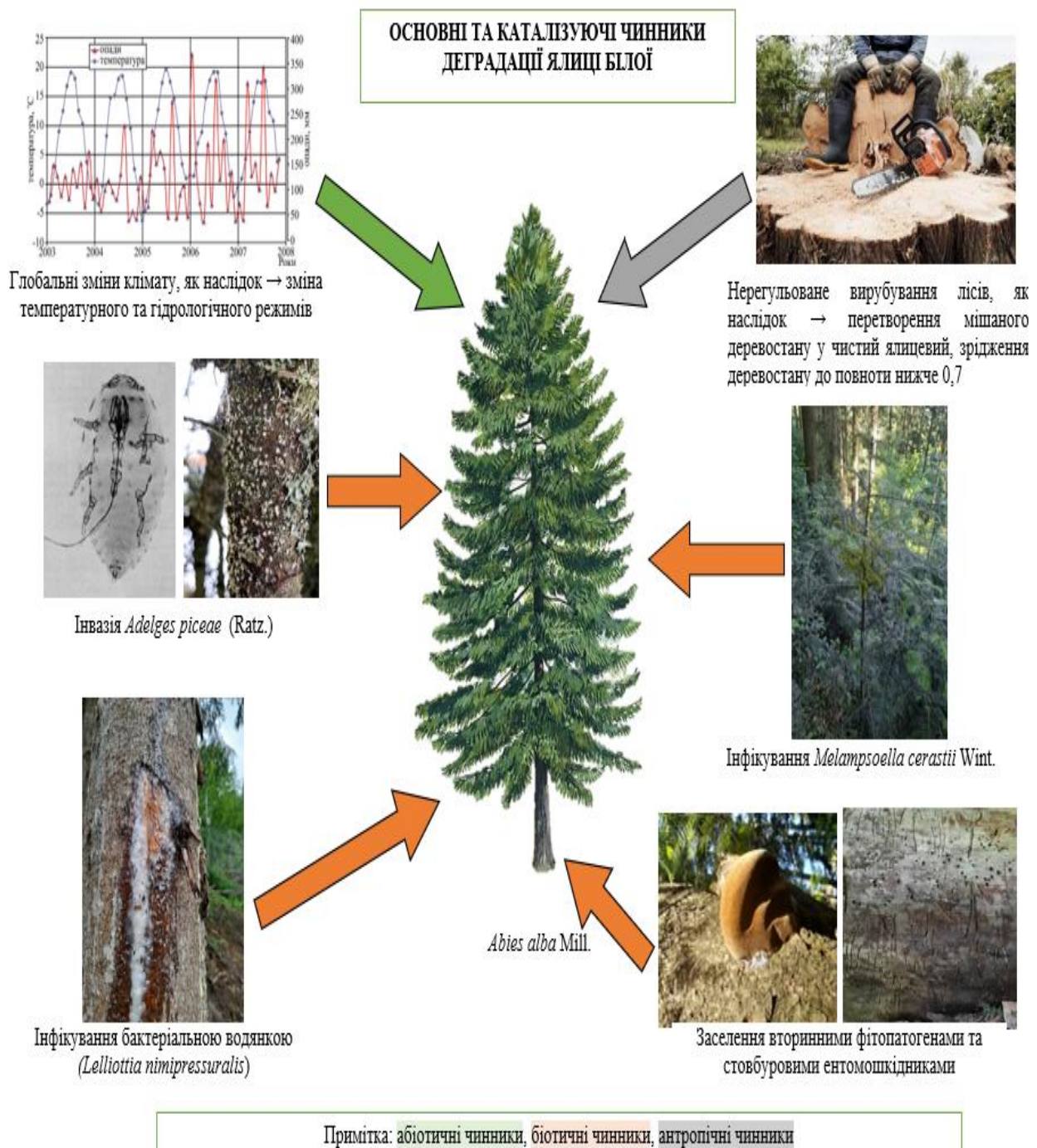


Рис. 8. Основні та каталізуючі чинники degradaції *Abies alba*

Аналізуючи чинники ослаблення *Abies alba* (у т. ч. каталізуючі) виокремлено п'ять основних стадій втрати гомеостазу деревостанами.

Таблиця 7

Стадії деградації деревних рослин *Abies alba*

Стадія	Чинник впливу та тривалість його дії	Типові симптоми патології	Наслідки
I	Зміна температурного та гідрологічного режимів ($\pm 20\text{--}50$ років)	Різкі перепади температурного режиму в межах доби; зростання середньорічної температури повітря; порушення гідрологічного режиму та, як наслідок, засушливі періоди, що періодично повторюються	Вагоме ослаблення деревостану загалом
II	Інвазія <i>Adelges (Dreyfusia) piceae</i> (Ratz.) ($\pm 1\text{--}2$ вегетаційні періоди)	Білий шерстистий ватоподібний наліт на стовбурах і скелетних гілках; «набряк» гілкових вузлів і верхівкових бруньок на пагонах; локальне пожовтіння хвої, ажурність пагонів	Ослаблення окремих деревних рослин та порушення їх фізіологічних функцій
III	Інфікування бактеріальною водянюкою (<i>Lelliottia nimipressuralis</i> (Carter 1945) Brady et al. 2013) (± 5 років)	Формування тріщин і витікання ексудату на ритідомі; утворення виразок із наступним оголенням вторинної флоєми та раневої меристеми; блокада ксилемної течії у стовбурі	Формування чітких меж осередків патології; відмирання та випадання інфікованих дерев; накопичення інфекційного фону в межах деревостану
	«Їжакуватий вигляд» стовбурів та аномальні зміни в будові деревини (± 15 років)	Масовий розвиток водяних пагонів; набуття стовбуром характерного «їжакуватого вигляду»; формування значної кількості незарослих сучків; засмоленість шишок	Вади деревини різних груп та ступені інтенсивності
	Інфікування <i>Melampsoella cerastii</i> Wint. ($\pm 3\text{--}5$ років)	Ракові напливи або муфтоподібні пухлини на пагонах; «відьмині мітли» у кронах дерев	Хлороз хвої; деформація пагонів; надмірне утворення придаткових та розвиток сплячих бруньок
IV	Заселення вторинними фітопатогенами та стовбуровими ентомошкідниками (до моменту повної загибелі деревостану)	Плодові тіла афілофороїдних макроміцетів та наслідки життєдіяльності деревозабарвлюючих грибів; формування несправжнього зірчастоподібного ядра; ходи камбіо- та ксилофагів	Повна деградація деревостану
V	Саногенез	Оптимізація екологічних та фізіологічних характеристик ґрунту, що ефективно відновлює фізіологічні процеси рослин – продуцентів	Відновлення порушеної саморегуляції деревостану

Варто зауважити, що між чинниками впливу на стан *Abies alba* спостерігається чіткий кумулятивний ефект, тобто найменший (незначний) дисбаланс в одній із ланок (наприклад, порушення гідрологічного режиму) стає причиною стрімкого незворотного «лавиноподібного» процесу руйнування консортних зв'язків на різних рівнях взаємодії та вагомо підсилює негативну дію інших чинників. Подібний дисбаланс сприяє тому, що дерево стає більш чутливим до змін навколишнього середовища, таких як підвищення температури, зміна складу ґрунтів або зниження рівня біорізноманіття. Це створює

так званий «замкнений цикл», де негативні ефекти одного чинника сприяють (підсилюють) розвиток інших, що в підсумку посилює деградацію деревостанів і призводить до їх швидшого всихання. Більш того, збереження консортних зв'язків між різними видами в екосистемах, таких як *Abies alba* і супутні види рослин, тварини та мікро- та мікорганізми, є важливим для підтримання біотичної стійкості лісових екосистем.

Досліджуючи габітуальні прояви епіфітотійного всихання *A. alba*, зафіксували нетипові для відомих хвороб ялиці патології та аномальні зміни у анатомічній будові деревини окремих дерев, які ростуть у межах осередків всихання. Мова йде про «їжакуватість» стовбура внаслідок формування великої кількості водяних пагонів, які засохли і перетворилися на незарослі сучки. Дане явище не є типовим для прямого, рівного повнодеревного стовбура *A. alba*. Іноді, якщо аномальні бічні пагони практично повністю обламуються, то на поверхні кірки чітко візуалізуються незарослі обвуглені сучки, які є потенційними «воротами інфекції» для афілофороїдних макроміцетів і загалом класифікуються як вади деревини. Нетиповою є структура цих сучків. Вони характеризуються надзвичайною міцністю, нагадують «гвіздки», які під прямим кутом стирчать із деревини.

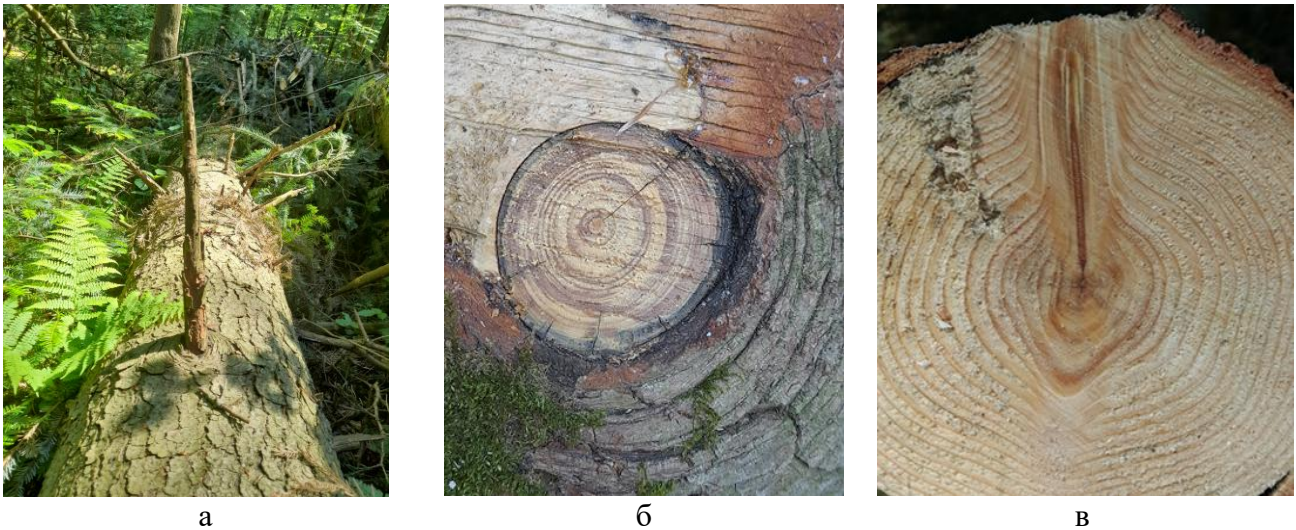


Рис. 9. Стовбур *Abies alba* з аномальними бічними пагонами (а), патологічний незарослий обвуглений сучок (б), аномальний незарослий сучок на поперечному перетині стовбура (в)

На поперечному зрізі стовбура чітко помітна різниця між формуванням та розвитком нормального та аномального сучка. Таким чином, аналізуючи зазначене, стає зрозумілим те, що явище «їжакуватості» стовбурів не є типовим наслідком утворення великої кількості сучків, а є аномалією, яка виникла як реакція деревної рослини на подразнення або/та нестачу води внаслідок блокування ксилеми.

У шостому розділі «**Концептуальні засади формування біотичної стійкості деревостанів Карпат**» наведено результати вивчення потенційної ролі ендofітної міко- та мікробіоти у формуванні індивідуальної біотичної стійкості лісових деревних рослин. Досліджено біопротекторні процеси бактерій, що здатні підвищувати біотичну стійкість лісових деревних рослин. Встановлено перспективи використання явища антагонізму для захисту рослин від фітопатогенів. Наведено ознаки та характеристики для оцінювання біотичної стійкості лісових деревних рослин (на прикладі *Abies alba*).

Спільно зі співробітниками навчально-наукової лабораторії біотехнології та клітинної інженерії НУБіП України та Інституту мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАН України проведено дослідження деревини ялиці білої без ознак видимих патологічних змін та з ознаками інфікування бактеріальною водянюкою і «їжакуватістю» стовбура на предмет виявлення та ідентифікації мікроорганізмів, які прямо чи опосередковано

впливають на фізіологічну діяльність деревної рослини та здатні підвищувати її біотичну стійкість. На основі секвенування гену 16S рРНК у колекції штамів представлено 15 бактеріальних родів.

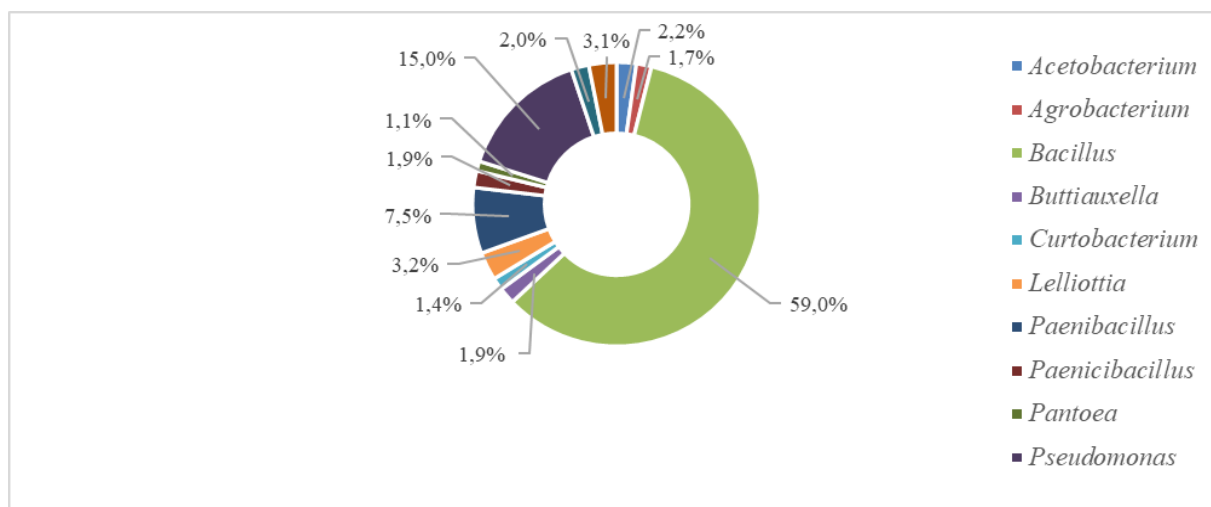


Рис. 10. Розподіл асоційованих із *Abies alba* штамів бактерій, виділених із вегетативних органів. Представлено відносну чисельність штамів на рівні роду

Найбільш чисельними ізолюваними штамами були представники роду *Bacillus*, на які припадає 59,0 % від загальної кількості штамів, меншою мірою представлені роди *Pseudomonas* (15,0 %) і *Paenibacillus* (7,5 %). Сумарна чисельність інших родів ізолюваних штамів бактерій склала 18,5 % (*Acetobacterium*, *Agrobacterium*, *Buttiauxella*, *Curtobacterium*, *Lelliottia*, *Paenibacillus*, *Paenicibacillus*, *Pantoea*, *Serratia*, *Stenophomonas*).

Відібрані ізоляти бактерій перевірили на потенційну здатність стимулювати ріст лісових деревних рослин (на прикладі *Abies alba*) і формувати індивідуальну біотичну стійкість. Асоційовані з рослинами ялиці бактерії показали здатність фіксувати азот, засвоювати хітин, целюлозу та пектин, що вказує на їх здатність утилізувати компоненти клітинної стінки. Також ізоляти виробляли інгібуючі метаболіти, які дифундували в агаризоване середовище та пригнічували ріст патогенів, що призводило до утворення зони інгібування.

Для дослідження активності ізолятів ендofітних бактерій щодо стимуляції росту і формування індивідуальної біотичної стійкості *Abies alba* виділено 40 видів бактерій, що безпосередньо пов'язані із життєдіяльністю рослин, з яких 12 ізолятів були ендofітами, а 28 – епіфітами. Для дослідження фітостимулювальної активності використані ізоляти бактерії роду *Bacillus* (зокрема *Bacillus subtilis* – Ab-1 та Ab-2) із генеративних органів ялиці білої, які проявили найвищі показники продукування природних ауксинів.

Дослідженнями підтверджено, що існує взаємозв'язок між здатністю бактеріальних штамів до синтезу фітогормонів та збільшенням морфометричних показників рослин, які їх попередньо інокулюють. Позитивні фітостимулюючі результати отримано при впливі екзометаболітів штаму *B. subtilis* Ab-1 та *B. subtilis* Ab-2 на насіннєвий матеріал *Abies alba*.

Довжина коренів у експериментальних рослин ялиці (I сорт), які інокулювали з бактеріальною суспензією *Bacillus subtilis* Ab-1, збільшувалася на 64,1 % у порівнянні з рослинами ялиці (II сорт) та на 79,5 % у порівнянні з контролем (як для I, так і для II сорту). Довжина надземної частини у експериментальних рослин ялиці (I сорт), які інокулювали з бактеріальною суспензією *B. subtilis* Ab-1, збільшувалася на 60,6 % у порівнянні з рослинами ялиці (II сорт) та на 3,0 % – у порівнянні з контролем (для I сорту) і на 66,7 % (для II сорту). Тобто оброблення інокулянтном насіннєвого матеріалу *Abies alba* (як для I сорту, так і для II сорту) формує позитивний результат на біометричні показники росту відносно контрольної групи проростків.

Таблиця 8

**Порівняльна активність ізолятів ендоефітних бактерій
щодо стимуляції росту і формування індивідуальної біотичної стійкості *Abies alba***

Видова (родова) назва ендоефітних бактерій	Вид активності ізолятів				
	Солюбілізація фосфату ¹	Фіксація азоту ²	Розпад хітину ¹	Розпад целюлози ¹	Розпад пектину ¹
<i>Bacillus</i> sp. (A1-3)	–	–	+	++	++
<i>Bacillus subtilis</i> (A1-12)	+	–	–	+	+
<i>Bacillus siamensis</i> (A1-9)	+	+	–	+	–
<i>Bacillus mycoides</i> (B1-2)	–	–	+	++	+++
<i>Bacillus methylotrophicus</i> (B1-3)	–	–	–	–	–
<i>Bacillus licheniformis</i> (A1-1)	+	–	++	+	+
<i>Serratia marcescens</i> (B3-1)	++	+++	–	++	–
<i>Lysinibacillus xylanilyticus</i> (A2-1)	+	+	–	+	–
<i>Paenibacillus uliginis</i> (B1-2)	–	–	+	++	–
<i>Buttiauxella izardii</i> (A1-11)	–	–	–	–	–
<i>Pseudomonas baetica</i> (A3-3)	++	+++	+	++	–
<i>Pseudomonas argentinensis</i> (B2-5)	–	+++	–	–	–
<i>Pseudomonas palleroniana</i> (A2-9)	+++	++	–	+	–

Примітка. А – ізолят із хвої; Б – ізолят із деревини стовбура; В – ізолят із кореневої частини. 1 – розмір зони; 2 – інтенсивність забарвлення. – відсутність активності; + зона ореолу 10 мм і незначна зміна кольору після 3 дні інкубації; ++ зона ореолу >10 мм і помірна зміна кольору після 3 дні інкубації; +++ зона ореолу >20 мм і різка зміна кольору після 3 дні інкубації

Таблиця 9

**Основні статистичні показники значень біометричних показників
насіннєвого матеріалу *Abies alba* після обробки бактеріальною суспензією
Bacillus subtilis (10⁸ КУО/мл)**

Біометрична ознака	Варіант		Показник			
			Min	Max	m±SE	SD
Довжина коренів, мм	Ab-1	I сорт	1,7	5,3	3,9±0,19**	0,99
		II сорт	0,5	2,5	1,4±0,11**	0,56
	Ab-2	I сорт	1,4	4,6	3,5±0,18**	0,89
		II сорт	0,4	2,2	1,2±0,10**	0,51
	Контроль	I сорт	0,2	2,7	0,8±0,12	0,57
		II сорт	0,4	1,4	0,8±0,06	0,31
Довжина надземної частини, мм	Ab-1	I сорт	1,2	6,2	3,3±0,30**	1,55
		II сорт	0,5	2,2	1,3±0,11**	0,47
	Ab-2	I сорт	1,0	5,7	3,1±0,27**	1,22
		II сорт	0,9	5,0	3,0±0,27	1,29
	Контроль	I сорт	0,6	6,3	2,9±0,30	1,41
		II сорт	0,3	2,0	1,1±0,09	0,39

Примітка. Min – мінімальне значення ознаки; Max – максимальне значення ознаки; m±SE – середнє значення і стандартна похибка; SD – стандартне відхилення; * – різниця з контролем достовірна за p<0,05, ** – різниця з контролем достовірна за p<0,01

Також обробка насіннєвого матеріалу перед пророщуванням вагомо покращила посівні якості – енергію проростання та лабораторну схожість. У більшості випадків насіння, оброблене бактеріальною суспензією, демонструвало вищу енергію проростання порівняно з контрольною групою. Це свідчить про те, що бактерії стимулюють швидше проростання насіння. При цьому, в деяких випадках спостерігається незначне зниження лабораторної схожості після обробки, хоча загалом цей показник залишається на високому рівні. Між сортами Ab-1 та Ab-2 спостерігаються деякі відмінності в реакції на обробку. Однак загальна тенденція до підвищення енергії проростання зберігається для обох сортів.

Таблиця 10

**Посівні якості насіннєвого матеріалу *Abies alba*
після обробки бактеріальною суспензією *Bacillus subtilis* (10⁸ КУО/мл)**

Варіант		Показник	
		Енергія проростання (7 доба), %	Лабораторна схожість (14 доба), %
Ab-1	I сорт	86,6	89,9
	II сорт	86,6	84,4
Ab-2	I сорт	82,5	75,8
	II сорт	75,5	72,3
Контроль	I сорт	83,3	75,5
	II сорт	70,0	70,0

На підставі досліджень вдалося підтвердити здатність ізолюваних штамів *Bacillus subtilis* із генеративних органів *Abies alba* до продукування фітогормону, який стимулює розтягування клітин, активує ферменти, що відповідають за міцність клітинної стінки, та бере участь у регуляції різноманітних ростових процесів, внаслідок чого формується довше коріння з чисельними корневими волосками, які залучені у поглинання поживних речовин.

Антагоністичні властивості штамів бактерій *B. subtilis*, ізолюваних із генеративних органів *Abies alba*, які мали типові ознаки інфікування бактеріальною водянюкою, та колекційним штамом *B. subtilis* IMB B-7100, визначали методом радіальних штрихів. Як тест-культури збудників бактеріальних хвороб *A. alba* використовували штами *Lellottia nimipressuralis*, *Xanthomonas* sp., *X. campestris*, *Pseudomonas* sp., *P. fluorescens* 8573, *P. savastanoi* 9174, *P. syringae* 8511, *Pantoea agglomerans* та *Erwinia carotovora* 8982 у концентрації 10⁸ КУО/мл.

Таблиця 11

Антагоністична активність бактерій роду *Bacillus*

	<i>Bacillus subtilis</i> (Ab-1)	<i>Bacillus subtilis</i> (Ab-2)	<i>Bacillus subtilis</i> IMB B-7100
	Зона затримки росту тест-культур, мм		
<i>Lellottia nimipressuralis</i>	27,5±0,8	23,0±0,2	34,5±0,5
<i>Xanthomonas</i> sp.	9,5±0,5	6,0±0,1	8,0±0,2
<i>X. campestris</i>	10,5±0,2	5,0±0,1	10,0±0,2
<i>Pseudomonas</i> sp.	9,1±0,5	6,5±0,2	10,0±0,3
<i>P. fluorescens</i> 8573	12,0±0,2	10,0±0,3	20,0±0,1
<i>P. savastanoi</i> 9174	8,0±0,3	8,5±0,3	10,0±0,1
<i>P. syringae</i> 8511	15,0±0,3	7,1±0,2	12,0±0,2
<i>Pantoea agglomerans</i>	13,2±0,1	6,1±0,3	15,0±0,3
<i>Erwinia carotovora</i> 8982	17,1±0,4	15,0±0,2	20,0±0,2

Досліджувані штами *B. subtilis* виявилися активними (у більшій чи меншій мірі) щодо тест-культур. Зокрема, високоактивними (зони затримки росту понад 20 мм) до збудника

бактеріальної водянки – *Lellottia nimipressuralis*. Окрім того, високоактивним щодо *P. fluorescens* 8573 та *Erwinia carotovora* 8982 був колекційний штам *B. subtilis* IMB B-7100. Середню антагоністичну активність (зони затримки росту від 11 до 20 мм) ізольовані штами *B. subtilis* проявили до *X. campestris*, *P. fluorescens* 8573, *P. syringae* 8511, *Pantoea agglomerans* та *Erwinia carotovora* 8982. Низькоактивними (зони затримки росту до 10 мм) вони виявилися до *Xanthomonas* sp., *Pseudomonas* sp. та *P. savastanoi* 9174.

Таким чином, високий ступінь антагоністичної активності штамів *B. subtilis* (Ab-1), *B. subtilis* (Ab-2) та *B. subtilis* IMB B-7243 щодо збудників бактеріальної водянки *Abies alba* засвідчує фітопротекторний ефект, що може стати основою розроблення теоретико-прикладних аспектів біологічного захисту ялиці білої від *Lellottia nimipressuralis*, а також використаний в основі біологічного пестициду.

У ході еволюції та власне онтогенезу рослини сформували своєрідні механізми самозахисту (стресові реакції) у відповідь на вплив стресорів, які в майбутньому можуть стати фундаментом біотичної стійкості. Ці адаптаційні реакції включають фізіологічні, біохімічні та морфологічні зміни, що дозволяють рослинам зберігати гомеостаз у несприятливих умовах.

Проаналізовано послідовність фізіологічних процесів, які виникають у рослинному організмі у відповідь на стресори, формуючи механізм самозахисту. Першим етапом самозахисту або першою реакцією на біологічного подразника є формування механічних бар'єрів, яке відбувається за рахунок відкладання речовини типу суберин і лігнін, формування у провідній системі рослини спеціальних пробок із полісахаридів та тілів, які перешкоджають просуванню фітопатогена. Другим етапом самозахисту є активізація окислювальних процесів, внаслідок чого знижується активність гідролітичних ферментів фітопатогена, нейтралізуються його токсини. Продукування антибіотичних речовин є третім закономірним етапом у самозахисті рослини.

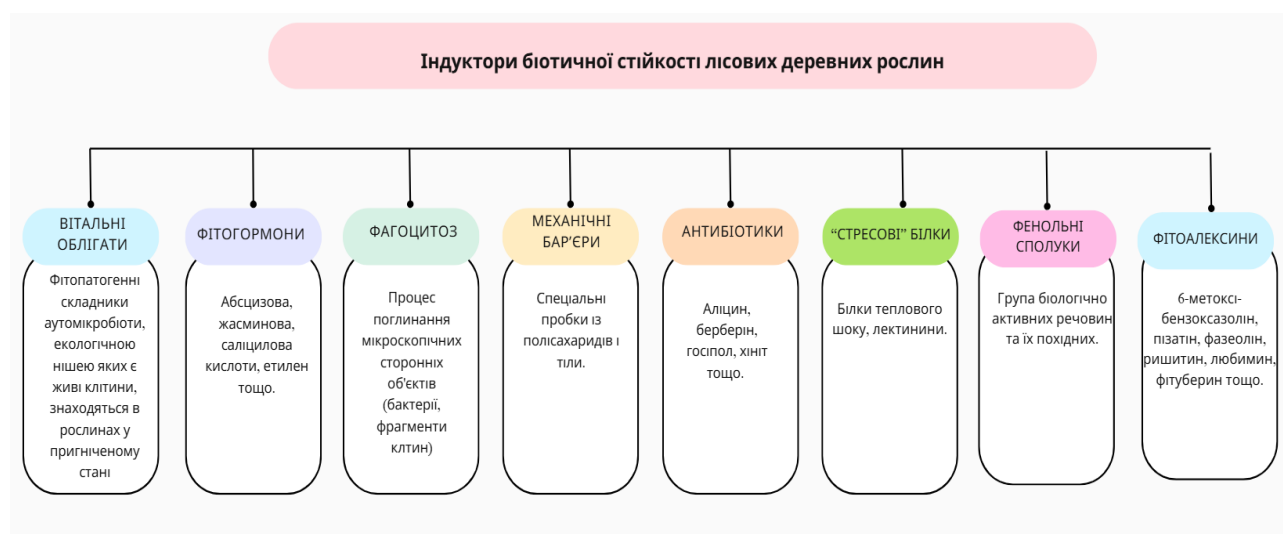


Рис. 11. Індуктори біотичної стійкості лісових деревних рослин

На основі аналізу теоретичних основ біотичної стійкості рослинного організму виокремлено індуктори (біомаркери) стійкості рослин, а також запропоноване авторське трактування терміну «біотична стійкість деревостану», яка розглядається як здатність лісової екосистеми зберігати свою структуру, функції та продуктивність у відповідь на різноманітні біотичні стресори та абіотичні чинники, підтримуючи при цьому стійкий стан гомеостазу за рахунок адаптивних змін, механізму самозахисту та саморегуляції.

За результатами досліджень механізмів біотичної стійкості едифікаторних видів дерев у лісових біоценозах, запропоновано комплексний підхід щодо оцінки їх стійкості, яка включає три групи чинників, що 1 – виступають потенційними каталізаторами порушення біотичної стійкості та 2 – беруть безпосередню участь у процесі формування

біотичної стійкості. Також виокремлено 3 групи чинників, які в майбутньому можуть стати основою для санагенезу деревостану із порушеною біотичною стійкістю.

Таблиця 12

Шкала оцінювання біотичної стійкості деревостанів за участі *Abies alba*

Ознака		Категорія стійкості		
		I	II	III
1	Кліматичні флуктуації	–	±	++
2	Антропічне навантаження	–	±	++
3	Вік деревостану	Різновікові	Молодняки, перестійні	Середньовікові
4	Склад і структура деревостану	Мішаний, складний	Мішаний, простий	Чистий, складний (простий)
5	Частка Яц у складі деревостану	Оптимальна (25–30 %)	Допустима (30–50 %)	Висока (понад 60 %)
6	Природне поновлення	Добре (<15 тис. шт.)	Задовільне або незадовільне (>15 тис. шт.)	Відсутнє
7	Походження	Природне насіннєве	Штучне	Природне вегетативне
8	Тип лісорослинних умов	Волога смереково-букова суяличина, волога букова яличина	Волога буково-ялицева сушмеречина, волога ялицева сушмеречина, волога буково-смерекова яличина	Волога ялицева субучина
9	Екологічна амплітуда	Амплітуди >10 % відносно шкал різних екологічних факторів	Звужена (<10 %) амплітуда відносно шкал понад одного екологічного фактора	Вузька (<5 %) амплітуда відносно шкал кількох екологічних факторів
10	Екологічні умови поширення	Широке поширення в оптимальних умовах	Спорадичне поширення у наближених до оптимальних умов	Специфічні або екстремальні екологічні умови
11	Індекс санітарного стану	1,00–1,50	1,51–3,50	>3,51
12	Вітальні облігати	++	±	–
13	Механізм самозахисту	++	±	–
14	Принадність для фітопатогенів і шкідників	–	±	++
15	Синтаксони асоціацій з участю ялиці	<i>Abieti-Piceetum (montanum)</i>	<i>Vaccinio myrtilli-Abietetum albae</i> , <i>Luzulo luzuloidis-Abietetum albae</i> , <i>Luzulo luzuloidis-Fagetum var. Abies alba</i> , <i>Luzulo pilosae-Fagetum var. Abies alba</i> та інші	<i>Dentario glandulosae-Fagetum var. Abies alba</i>

До предикторів або чинників «первинного» впливу на порушення біотичної стійкості деревостанів належать абіотичні аномалії (зокрема, гідротермічний стрес) та антропічний тиск. Біотичні чинники є вторинними, підсилюючи роль попередніх і призводячи до незворотних змін у лісових екосистемах. До ключових чинників, які в майбутньому сприятимуть формування біотичностійких деревостанів, віднесено відсутність стрес-індукторів, наближене до природи лісівництво (яке передбачає сприяння природному поновленню, змішані ліси, а також «ліси, видовий склад яких відповідає біотопу», збереження мертвих дерев, мінімізація рубок) та мікоризація субстрату.

Аналізуючи концептуальні засади формування біотичностійких деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат, виокремлено ключові ознаки стійких лісових екосистем, розглядаючи їх з лісівничо-екологічної, біотичної та фітоценотичної перспектив.

Провідне місце займає група лісівничо-екологічних чинників. Так, збалансована вікова структура та змішаний склад деревостану збільшує його стійкість до шкідників та збудників хвороб, оскільки різні види дерев менш вразливі до одних і тих же патогенів. Надійне природне поновлення свідчить про здатність лісу до самовідновлення і гарантує його довготривале існування. Оптимальні умови для росту і розвитку рослин забезпечують їхню здорову життєдіяльність, а широка екологічна амплітуда дозволить лісу витримувати різноманітні екологічні умови та підвищувати його стійкість до змін.

Біотичні чинники покликані регулювати різні види взаємодії, що виникають у межах лісової екосистеми, впливаючи на структуру і функціонування. Так, регульована чисельність фітопатогенів свідчить про наявність природних механізмів регуляції їх чисельності. Відсутність інвазивних видів забезпечить збереження природного біорізноманіття. Наявність природних ворогів є важливим компонентом природної регуляції популяцій шкідників.

Здатність формувати механізми самозахисту – це одна з найважливіших характеристик стійких лісових екосистем. Вона дозволяє лісу протистояти різноманітним стресовим факторам, таким як шкідники, хвороби, пожежі, посухи та інші.

Як свідчать результати фітоценотичних досліджень, відповідність видового складу лісового угруповання біотопу; відповідність видового складу деревних ярусів типу рослинної асоціації; характерне для синтаксону видове біорізноманіття з обов'язковою присутністю діагностичних видів; невеликий відсоток (до 5,0 %) чужерідних видів є характерними ознаками біотичної стійкості деревостанів.

Для оцінювання біотичної стійкості деревостанів зроблено спробу розроблення шкали для оцінювання фактичної біотичної стійкості на прикладі деревостанів за участю *Abies alba*. На основі виокремлених 15 основних ознак та характеристик пропонуємо розрізняти 3 категорії стійкості:

I категорія стійкості (стійкі або інертні) – це лісові угруповання, що при розладнанні (руйнуванні), внаслідок комплексного впливу абіотичних і біотичних чинників навколишнього середовища, мають здатність до повного самовідновлення через певний проміжок час, при цьому послідовно проходячи стадії сингенезу, ендоекогенезу, філоценогенезу (на даній стадії переважають загалом процеси трансгенезу), що супроводжується поступовим відновленням еко- та біотопу;

II категорія стійкості (з порушеною стійкістю або толерантні) – це лісові угруповання, що мають потенційну здатність до відновлення, проте характеризуються відносно низьким рівнем біологічного різноманіття (багатства), сприйнятливі (чутливі) до впливу антропогенного чинника і потребують певних цільових заходів щодо їх захисту та охорони;

III категорія стійкості (нестійкі) – це лісові угруповання, в яких відбулися незворотні деградаційні процеси внаслідок комплексного впливу чинників довкілля, через що вони фактично втратили свою здатність до відновлення.

Запропонована класифікація категорії стійкості лісових деревних рослин дозволяє чітко оцінити здатність рослин до адаптації та виживання в умовах біотичних стресів. Такий підхід є важливим для планування лісової політики, відбору видів та сортів для лісовідновлення, а також для прогнозування змін в екосистемах у відповідь на кліматичні зміни та антропогенні впливи. Оцінка біотичної стійкості допомагає також у створенні більш стійких і продуктивних лісів, здатних протистояти сучасним викликам.

ВИСНОВКИ

У дисертації представлено результати різнопланових напрацювань у напрямі вирішення комплексної наукової проблеми деградації гірських лісів Покутсько-Буковинських Карпат. На основі теоретичних і аналітичних узагальнень та експериментальних досліджень сучасного стану лісів, оцінки проявів деградації і масового всихання лісотвірних видів встановлено причини і закономірності поширення патологічних процесів та особливості структурно-функціональної і ценотичної організації патогенної біоти під впливом чинників довкілля. Дослідження спрямоване на розкриття основних

підходів і способів формування біотичної стійкості лісових деревних рослин в умовах Покутсько-Буковинських Карпат, встановлення діагностичних ознак та характеристик для оцінювання як індивідуальної резистентності окремих дерев, так і визначення ступеня стійкості деревостанів.

1. Наразі спостерігаються масштабні обсяги трансформації лісових екосистем Карпатського регіону, що призвели до зменшення їх площ, зміни видового складу, збіднення біорізноманіття, порушення виконуваних ними функцій, епіфітотійного всихання, що в сукупності свідчить не лише про зниження біотичної стійкої лісових деревних рослин, а й про гостру екологічну кризу в регіоні.

2. Ліси Покутсько-Буковинських Карпат відносяться до категорії ослаблених за санітарним станом і є середньопошкодженими/середньоураженими за ступенем деградації – узагальнений індекс санітарного стану склав 2,50, 2,49 і 2,50 у 2021, 2022 і 2023 роках відповідно. Водночас, середньозважені індекси санітарного стану варіювали за роками досліджень від $1,39 \pm 0,14$ (здорові) до $3,55 \pm 0,15$ (дуже ослаблені). Розподіл дерев *Abies alba*, *Picea abies* і *Fagus sylvatica* за індексами санітарного стану у 2021 році засвідчив, що 37,3 % дерев віднесені до I категорії (без ознак ослаблення), до II категорії санітарного стану (ослаблені) віднесено 13,3 % дерев, до III категорії (дуже ослаблені) – 23,1 %, до IV категорії (відмираючі) – 18,1 %, до V (свіжий сухостій) – 5,1 %, до VI (старий сухостій) – 3,1 %. У 2022 році ці цифри склали відповідно 35,6 %, 16,0, 22,0, 19,1, 4,7 і 2,6 %. У 2023 році – відповідно 36,4 %, 16,2, 22,6, 20,0, 4,9, 1,7 %, що підтверджує погіршення санітарного стану лісів Покутсько-Буковинських Карпат.

3. Встановлено залежність показників санітарного стану лісів Покутсько-Буковинських Карпат від основних лісівничо-таксаційних показників деревостанів. Ослабленими є штучні насадження, тоді як деревостани природного походження характеризуються підвищеною стійкістю. Практично здоровими є перестійні лісостани; ослабленими – стиглі деревостани та молодняки; у групі ризику знаходяться середньовікові насадження. Найбільш ослабленими є ялицеві деревостани в умовах вологої буково-смерекової суяличини. Аналіз ослаблення лісостанів в залежності від складу деревостану показує, що частка ялиці в складі у межах ценотичного оптимуму (25–30 %) впродовж усього періоду вирощування деревостанів є одним із вагомих чинників його резистентності.

4. Фітосоціологічними дослідженнями виявлено одну із безпосередніх причин захворювання *Abies alba*, яка є елементом восьми лісових асоціацій, виділених на основі методу J. Braun-Blanquet (1964): *Abieti-Piceetum (montanum)*, *Vaccinio myrtilli-Abietetum albae*, *Tilio cordatae-Carpinetum betuli* var. *Abies alba*, *Luzulo luzuloidis-Abietetum albae*, *Luzulo luzuloidis-Fagetum* var. *Abies alba*, *Luzulo pilosae-Fagetum* var. *Abies alba*, *Dentario glandulosae-Fagetum* var. *Abies alba*, *Galio rotundifolii-Abietetum albae*. Зафіксовано виразну різницю у видовому складі ценозів нормального типу і з ознаками захворювання *A. alba*. Обстеження ялицевих лісів із найвищим ступенем ослаблення *A. alba* показало, що вони належать ялицевому варіанту асоціації *Dentario glandulosae-Fagetum* var. *Abies alba* зі зниженою участю *Fagus sylvatica*.

5. Видовий склад потенційних фітопатогенів, що ослаблюють деревостани Покутсько-Буковинських Карпат, включає міко- та мікроорганізми різних систематичних груп, зокрема найбільш небезпечними (спричинюють стрімке епіфітотійне всихання) є представники царства *Bacteria*, а найбільш чисельними – представники царства *Fungi*.

Встановлено та експериментально підтверджено, що головною причиною деградації деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат за участю *A. alba* є бактеріальна водянка (збудник – *Lelliottia nimipressuralis*). Габітуальні прояви захворювання бактеріальної етіології зареєстровано у межах реліктової ценопопуляції *Ulmus glabra*. Також у деревостанах Покутсько-Буковинських Карпат зафіксовано та ідентифіковано типові симптоматичні ознаки ураження рослин різних вікових груп виразково-пухлиноподібною хворобою (збудник – *Melampsorella cerastii*).

Мікобіота лісів Покутсько-Буковинських Карпат сформована видами з 45 родів, 31 родини, 4 порядків, 5 класів, 2 відділів (*Ascomycota* – 18,5 % і *Basidiomycota* – 81,5 % видів). Встановлено, що консортивні зв'язки з *Abies alba* формують 6 видів, з *Picea abies* – 13, *Fagus sylvatica* – 35 видів. За трофічною спеціалізацією 49,1 % мікроорганізмів віднесено до облигатних, 45,5 % – до факультативних сапротрофів. Консорція *P. abies* представлена, головним чином, ксилотрофами-облігатними сапротрофами (57,1 %), факультативні сапротрофи складають 35,7 %. Консорція *A. alba* сформована трьома трофічними групами міцетів: ксилотроф-облігатний сапротроф (50,0 %), ксилотроф-факультативний сапротроф (33,3 %) та облигатний патоген (16,7 %). Консорція *F. sylvatica* складена факультативними (51,4 %) та облигатними (45,7 %) сапротрофами.

6. Із деревини ялиці білої без ознак видимих патологічних змін та з ознаками інфікування бактеріальною водяною і «їжакуватістю» стовбура ізолювано та ідентифіковано 16 бактеріальних родів, які потенційно здатні підвищувати її біотичну стійкість. Найбільш чисельними ізолюваними штамами були представники роду *Bacillus*, на які припадає 59,0 % від загальної кількості штамів, у меншій ступені представлені роди *Pseudomonas* (15,0 %) і *Paenibacillus* (7,5 %). Вперше з *A. alba* ізолювано штам *Lelliottia amnigena*, який внесено до бази даних GenBank за номером PP734867.

7. Виокремлено п'ять стадій деградації деревостанів з участю *Abies alba*. Тригером I (логістичної) стадії є раптові трансформації умов довкілля абіотичними (гідротермічний стрес) і антропогенними (вирубка листяних дерев) чинниками, що призводить до зниження біотичної стійкості лісів. II (проміжна) стадія пов'язана з активізацією фітопатогенів різної систематичної належності та інвазіями шкодочинних комах, зокрема *Adelges piceae*. III (експоненціальна) стадія призводить до стрімкого «клінічного» відмирання *A. alba*, тоді як IV (логарифмічну) стадію характеризують аномальні зміни в будові деревини ялиці. Посилюються деградаційні зміни за рахунок заселення дерев ксилотрофами і ксилофагами, зокрема з родин *Scolytinae* і *Cerambycidae*. Під час настання V стадії (саногенез) відбувається оптимізація екологічних та фізіологічних характеристик ґрунту, що ефективно відновлює фізіологічні процеси рослин-продуцентів.

8. Запропоновано комплексний підхід щодо оцінки біотичної стійкості, яка включає три групи чинників: 1 (абіотичні, біотичні та антропогенні) – виступають потенційними каталізаторами порушення біотичної стійкості; 2 (лісівничо-екологічні, біотичні та фітоценологічні) – беруть безпосередню участь у процесі формування біотичної стійкості та 3 (чинники відновлення), які в майбутньому можуть стати основою для саногенезу деревостану із порушеною біотичною стійкістю.

9. Для оцінювання біотичної стійкості деревостанів розроблено шкалу для оцінювання фактичної біотичної стійкості на прикладі деревостанів за участю *Abies alba*. На основі виокремлених 15 основних ознак та характеристик пропонуємо розрізняти 3 категорії стійкості: I категорія стійкості (стійкі або інертні), II категорія стійкості (з порушеною стійкістю або толерантні) і III категорія стійкості (нестійкі).

10. Для підвищення біотичної стійкості деревостанів за участю *Abies alba* необхідно впроваджувати принципи наближеного до природи екологічного лісівництва: перехід до системи вибіркового рубок; відновлення структури корінних деревостанів за законами природного їх формування – у місці лісів класу *VACCINIO-PICEETEA* відновлювати ялиново-ялицеві деревостани, у місці лісів класу *QUERCO-FAGETEA* – ялицево-букові; сприяти збереженню природного біорізноманіття лісів та мікоризних видів грибів; розширити мережу природно-заповідного фонду за рахунок пралісів і створити систему постійного моніторингу стану лісів для своєчасного виявлення і реагування на проблеми їх функціонування.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних виданнях,
включених до категорії «А» Переліку наукових фахових видань України,
та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних
Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Гойчук А. Ф., Дрозда В. Ф., **Кульбанська І. М.**, Швець М. В. Бактеріози лісових деревних рослин у лісах Полісся та Лісостепу України. Scientific Journal Ukrainian Journal of Forest & Wood Science. 2019. Vol. 10 (2). P. 14–25. (Здобувачкою здійснено польові спостереження, фотографії, збір та обробку експериментальних даних).
2. **Kulbanska I.**, Shvets M., Markov F. Etiology and symptomatology of bacterioses of wood plants in the stands of the green zone of the city of Kiev. Scientific Horizons. 2019. Vol. 12 (85). P. 84–95. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
3. Goychuk A., Shvets M., **Kulbanska I.**, Markov F., Muljukina N., Patyka V. Bacterial diseases of silver birch (*Betula pendula* Roth.). Microbiological Journal. 2020. Vol. 82 (3). P. 22–34. (Здобувачкою здійснено польові спостереження, фотографії, збір та обробку експериментальних даних, написання частини тексту).
4. Goychuk F., **Kulbanska I.**, Shvets M. Bacteria associated with *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* in the pathology of *Fraxinus excelsior* L. Microbiological Journal. 2020. Vol. 82 (3). P. 22–34. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
5. Goychuk A., Drozda V., Shvets M., **Kulbanska I.** Bacterial wetwood of silver birch (*Betula pendula* Roth): symptomatology, etiology and pathogenesis. Folia Forestalia Polonica. 2020. Vol. 62 (3). P. 145–159. (Здобувачкою сформовано постановку проблеми та досліджено особливості впливу фітопатогенних бактерій на патогенез бактеріальної водянки берези повислої).
6. **Kulbanska I.**, Goychuk A., Shvets M., Biliavska L., Patyka V. *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 – pathogen of bacterial hydrogen oak (*Quercus robur* L.) in Ukraine. Microbiological Journal. 2021. Vol. 83 (5). P. 30–41. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
7. **Kulbanska I.**, Shvets M. Myco- and microorganisms in the tuberculosis pathology of the common ash in Ukraine and interaction between them. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2021. Vol. 12 (2). P. 81–92. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
8. **Kulbanska I. M.**, Plikhtyak P. P., Shvets M. V., Soroka M. I., Goychuk A. F. *Lelliottia nimipressuralis* (Carter 1945) Brady et al. 2013 as the causative agent of bacterial wetwood disease of common silver fir (*Abies alba* Mill.). Folia Forestalia Polonica. 2022. Vol. 64 (3). P. 173–183. (Здобувачкою проведено польові спостереження, зроблено фотографії, збір та обробку експериментальних даних, написання частини тексту).
9. Kulbanska I. Etiology of Bacterial Wetwood of *Quercus robur* L. Scientific Journal Ukrainian Journal of Forest & Wood Science. 2022. Vol. 13 (2). P. 16–23.
10. Goychuk A., **Kulbanska I.**, Vyshnevsky A., Shvets M., Andreieva O. Spread and harmfulness of infectious diseases of the main forest-forming species in Zhytomyr Polissia of Ukraine. Scientific Horizons. 2022. Vol. 25 (9). P. 64–74. (Здобувачкою здійснено статистичний та порівняльний аналіз бази даних лісового фонду досліджуваних підприємств, лісопатологічні обстеження лісових насаджень та статистичну обробку даних).
11. **Kulbanska I.**, Shvets M., Goychuk A., Sporek M., Pasichnyk L., Patyka V., Kalinichenko A., Bąk M. Phytopathogenic bacteria associated with bacterioses of common oak (*Quercus robur* L.) in Ukraine. Forests. 2023. Vol. 14 (1). Article 1. (Здобувачкою здійснено польові спостереження, фотографії, збір та обробку експериментальних даних, написання частини тексту).

12. Goychuk A., **Kulbanska I.**, Shvets M., Pasichnyk L., Patyka V., Kalinichenko A., Degtyareva L. Bacterial diseases of bioenergy woody plants in Ukraine. Sustainability. 2023. Vol. 15. 4189. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
13. **Kulbanska I.**, Boiko H., Shvets M., Vyshnevskiy A., Savchenko Y. The role of aphyllorphoroid macromycetes as indicators of forest ecosystem disruption and reducers of biomass accumulation. Scientific Horizons. 2023. Vol. 26 (3). P. 70–80. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
14. Yavorovskiy P., Hurzhii R., **Kulbanska I.**, Boyko H., Andrusiak Yu. Influence of winter storage methods of acorns on the development and growth processes of common oak. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2023. Vol. 14 (2). P. 96–108. (Здобувачкою здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).
15. **Kulbanska I.**, Goychuk A., Soroka M., Shvets M., Vyshnevskiy A. Ulcerative tumor-like disease of white fir in the forest stands of the Pokuttia Carpathians. Ukrainian Journal of Forest & Wood Science. 2024. Vol. 14 (2). P. 57–71. (Здобувачкою виконано польові спостереження, фотографії, збір та обробку експериментальних даних, написання частини тексту).
16. Kulbanska I. Systematic and structural analysis of forest mycobiota with the participation of *Abies alba* Mill. in the Pokutsko-Bukovyna Carpathians. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2024. Vol. 15 (2). P. 41–58.
17. **Kulbanska I.**, Goychuk A., Soroka M., Plikhtyak P., Shvets M., Pasichnyk L. Bacterial wetwood of *Ulmus glabra* Huds. in the relict coenopopulation of the Pokutsky Carpathians (Ukraine). Folia Forestalia Polonica. 2024. Vol. 66. No. 4. P. 371–382. (Здобувачкою виконано польові спостереження, фотографії, збір та обробку експериментальних даних, написання частини тексту).
18. Andreieva O., Martynchuk I., Zhytova O., Zymarioieva A., **Kulbanska I.** Symptoms of *Fraxinus excelsior* damage in Zhytomyr Polissya. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science. 2024. Vol. 15 (4). P. 8–24. (Здобувачкою здійснено постановку проблеми, аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).

**Статті у наукових виданнях,
включених до Переліку наукових фахових видань України**

19. Кульбанська І. М. Моніторинг комах-листогризів дуба звичайного (*Quercus robur* L.) та дуба червоного (*Quercus rubra* L.). Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 266. С. 139–147.
20. Гойчук А. Ф., Дрозда В. Ф., **Кульбанська І. М.** Туберкульоз ясена звичайного у Західному Поділлі України: етіологія, симптоматика, патогенез. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2018. № 16. С. 31–40. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
21. **Kulbanska I.**, Shvets M., Rusnak O., Vyshnevskiy A. Beech forests of the «Vyzhnytskyi National Natural Park»: current sanitary condition and problems of preservation. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology. 2024. № 55 (1). С. 18–25. (Здобувачкою здійснено збір та опрацювання матеріалу, аналіз, узагальнення та написання тексту).
22. Кульбанська І. М. Санітарний стан лісів Національного природного парку «Гуцульщина» та причини його ослаблення. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2024. № 34 (3). С. 45–52.
23. Кульбанська І. М. Моніторинг змін площ лісового покриву Покутсько-Буковинських Карпат засобами геоінформаційних технологій. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2024. № 34 (5). С. 23–28.

24. Сорока М., Возняк А., Пліхтяк П., Гойчук А., **Кульбанська І.** Системно-структурні особливості фітобіоти ялицево-букових лісів Покутських Карпат. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2024. № 26. С. 20–34. *(Здобувачкою здійснено аналітичний огляд та оцінено сучасний фітосанітарний стану обстежених насаджень регіону).*

Статті у наукових виданнях інших держав

25. **Kulbanska I. M.**, Shvets M. V., Plikhtyak P. P., Soroka M. I., Goychuk A. F. Bacterial and fungal interactions in the tuberculosis pathology of common ash in Ukraine. Zarządzanie ochroną przyrody w lasach. 2021. Tom XIV. P. 45–62. *(Здобувачкою здійснено польові спостереження, фотографії, збір та обробку даних, написання тексту).*

26. **Kulbanska I.**, Soroka M., Gojczuk A., Plichtiak P. Stan sanitarny lasów Karpat Pokucko-Bukowińskich i czynniki jego pogorszenia. Zarządzanie ochroną przyrody w lasach. 2023. Tom XV. P. 25–40. *(Здобувачкою здійснено польові спостереження, збір експериментальних даних, написання частини тексту).*

Тези наукових доповідей

27. Goychuk A. F., Drozda V. F., Rozenfeld V. V., Shvets M. V., **Kulbanska I. M.** Epiphytotics of bacreriosis of forest tree plants in Ukraine. Актуальні проблеми лісового і садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Умань, 23–24 травня 2018 року: тези доповіді. Умань, 2018. С. 36–39. *(Здобувачкою здійснено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).*

28. **Кульбанська І. М.**, Плитан Д. П. Фітосанітарний стан лісів ДП «Верхньогірське ЛГ»: моніторинг та заходи обмеження. Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства: 73-я Всеукраїнська науково-практична студентська конференція, м. Київ, 21 березня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 83. *(Здобувачкою проаналізовано чинники погіршення фітосанітарного стану дослідного регіону).*

29. **Кульбанська І. М.**, Фріцлер Е.-Д. В. Головні збудники хвороб та шкідники насаджень ДП «Сторожинецьке ЛГ»: видовий склад та поширення. Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства: 73-я Всеукраїнська науково-практична студентська конференція, м. Київ, 21 березня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 97. *(Здобувачкою проведено ідентифікацію та аналіз видового складу збудників хвороб і шкідників лісів дослідного регіону).*

30. **Кульбанська І. М.**, Штефюк Г. В. Санітарно-лісопатологічний стан ялинових насаджень ДП «Берегометське ЛМГ». Науковий пошук молоді для сталого розвитку лісового комплексу та садово-паркового господарства: 73-я Всеукраїнська науково-практична студентська конференція, м. Київ, 21 березня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 100.

31. Гойчук А. Ф., Дрозда В. Ф., Швець М. В., **Кульбанська І. М.** Вітальні облігати в епіфітотійних патологіях лісових деревних рослин. Сучасний стан і перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації: Міжнародна науково-практична конференція, м. Львів, 4–5 квітня 2019 року: тези доповіді. Львів, 2019. С. 98. *(Здобувачкою здійснено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).*

32. Гойчук А. Ф., Дрозда В. Ф., Швець М. В., **Кульбанська І. М.** Бактеріози лісових деревних рослин в лісах Полісся та Лісостепу України. Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: II Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, м. Миколаїв, м. Херсон, 10–12 квітня 2019 року: тези доповіді. Київ – Миколаїв – Херсон, 2019. С. 206–209. *(Здобувачкою проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).*

33. Гойчук А. Ф., Дрозда В. Ф., Швець М. В., **Кульбанська І. М.** Лісорослинні умови як каталізатори активізації ендofітних вітальних облігатів аутомікробіоти деревних рослин.

Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 9–12 жовтня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 22. *(Здобувачкою здійснено аналіз зв'язків між характеристиками середовища існування деревних рослин і різноманітністю та функціональною активністю вітальних облігатів).*

34. **Кульбанська І. М.**, Бойко Г. О. Фітопатологічна та ентомологічна характеристика лісових біоценозів Дзвінківського ННВЦ Боярської ЛДС. Лісова типологія як основа наближеного до природи лісівництва: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 9–12 жовтня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 42. *(Здобувачкою здійснено фітопатологічну характеристику лісових біоценозів лісів дослідного регіону).*

35. Гойчук А. Ф., **Кульбанська І. М.** До питання про інкубаційний період вітальних облігатів. Дослідження лісових та урбанізованих екосистем для забезпечення сталого розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 22 вересня 2020 року: тези доповіді. Київ, 2020. С. 86. *(Здобувачкою проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).*

36. Кульбанська І. М. Епіфітотійні патології лісу в контексті кліматичних змін. Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки: Міжнародна науково-практична конференція, м. Рівне, 21–22 травня 2020 року: тези доповіді. Рівне, 2020. С. 407–410.

37. **Кульбанська І. М.**, Гойчук А. Ф. Бактеріальна водянка дуба звичайного в умовах Київського Полісся. Проблеми ведення та експлуатації лісових і мисливських ресурсів: II Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена пам'яті професора А. І. Гузія, м. Житомир, 25 вересня 2020 року: тези доповіді. Житомир, 2020. С. 56. *(Здобувачкою проаналізовано особливості етіології, симптоматики та патогенезу бактеріальної водянки дуба).*

38. **Kulbanska I. M.**, Goychuk A. F., Shvets M. V. Ecological and forestry essence of bacteriosis of forest woody plants in the forests of the Forest-Steppe and Polissya of Ukraine. Ideas and innovations in natural sciences: Міжнародна науково-практична конференція, м. Люблін, Польща, 12–13 березня 2021 року: тези доповіді. Люблін, 2021. С. 95–99. *(Здобувачкою проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).*

39. **Кульбанська І. М.**, Гойчук А. Ф., Швець М. В. Вітальні облігати в патологіях лісових деревних рослин України. Interdisciplinary research: scientific horizons and perspectives: Міжнародна науково-практична конференція, м. Вільнюс, Литва, 12 березня 2021 року: тези доповіді. Вільнюс, 2021. *(Здобувачкою визначено роль і місце вітальних облігатів у виникненні патологічних процесів лісових деревних рослин).*

40. Гойчук А. Ф., **Кульбанська І. М.**, Швець М. В. Ендофітні вітальні облігати в дифузних патологіях лісових деревних рослин. Лісівнича наука: стан, проблеми, перспективи розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 23–24 червня 2021 року: тези доповіді. Харків, 2021. С. 174. *(Здобувачкою проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).*

41. Кульбанська І. М. Симптоматика та етіологія бактеріальної водянки ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в Українських Карпатах. Юність науки – 2022: Соціально-економічні та гуманітарні аспекти розвитку суспільства: Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених, м. Чернігів, 15–16 червня 2022 року: тези доповіді. Чернігів, 2022. С. 634.

42. Гойчук А. Ф., **Кульбанська І. М.**, Швець М. В. Асоційовані з бактеріозами дуба звичайного фітопатогенні бактерії в Україні. Ліси в умовах сучасних викликів: Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і здобувачів, м. Харків, 20 жовтня 2022 року: тези доповіді. Харків, 2022. С. 38. *(Здобувачкою проведено виділення та ідентифікацію фітопатогенних бактерій, які спричиняють бактеріози дуба звичайного в різних регіонах України).*

43. Гойчук А. Ф., **Кульбанська І. М.**, Швець М. В. Бактеріальна водянка *Quercus robur* L.: етіологія, симптоматика, патогенез. Мікробіологія в сучасному сільсько-

господарському виробництві: XV Всеукраїнська науково-практична онлайн-конференція молодих вчених, м. Чернігів, 26 жовтня 2022 року: тези доповіді. Чернігів, 2022. С. 19. (Здобувачкою проаналізовано особливості етіології, симптоматики та патогенезу бактеріальної водянки дуба).

44. Кульбанська І. М. Бактеріальна водянка дуба звичайного в Україні: симптоматика і етіологія. Молодіжна наука заради миру та розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернівці, 9–11 листопада 2022 року: тези доповіді. Чернівці, 2022. С. 117–119.

45. Гойчук А. Ф., **Кульбанська І. М.** Бактеріальні хвороби біоенергетичних лісових деревних рослин в Україні. Ліси та урбоєкосистеми України в умовах війни: стан, збереження та відновлення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 18 листопада 20220 року: тези доповіді. Київ, 2022. (Здобувачкою проведено огляд літературних джерел за темою дослідження, висновки).

46. **Кульбанська І. М.**, Бойко Г. О., Швець М. В., Вишневецький А. В., Савченко Ю. М. Роль афілофороїдних макроміцетів як індикаторів порушення лісових екосистем та редуцентів накопичення біомаси. Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклики для України та світу: Міжнародна науково-практична конференція до 125-річчя заснування НУБІП України, м. Київ, 25 травня 2023 року: тези доповіді. Київ, 2023. С. 436. (Здобувачкою здійснено оцінку біорізноманіття лісових екосистем, моніторингу стану лісів та виявлення ранніх ознак їх деградації, сформульовано висновки).

47. Кульбанська І. М. Бактеріальна водянка *Ulmus glabra* Huds. у реліктовій ценопопуляції Покутських Карпат. Актуальні проблеми дослідження лісових та урбоєкосистем України в умовах воєнного стану: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23 листопада 2023 року: тези доповіді. Київ, 2023. С. 116.

48. Кульбанська І. М. Етіологія та симптоматика виразково-пухлиноподібної хвороби *Abies alba* Mill. в деревостанах Покутських Карпат. Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: 73-а науково-технічна конференція, м. Львів, 5 грудня 2023 року: тези доповіді. Львів, 2023. С. 67.

49. Kulbanska I. Bacterial wetwood of *Ulmus glabra* Huds. in the relict cenopopulation of the Pokutsky Carpathians. Modern aspects of microbiology, virology, and biotechnology in wartime and post-war period: The International Scientific and Practical Conference, November 15–16, 2023) Kyiv. P. 115.

50. Кульбанська І. М. Фітосанітарний стан реліктової ценопопуляції в'яза шорсткого у Покутських Карпатах. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку: VI Міжнародна науково-практична конференція, м. Ломжа, м. Малин, 21 березня 2024 року: тези доповіді. Ломжа – Малин, 2024. С. 86–89.

51. Кульбанська І. М. Виразково-пухлиноподібна хвороба ялиці білої в деревостанах Покутських Карпат. Наближене до природи лісівництво: проблеми та перспективи: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 25–26 квітня 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 83.

52. **Кульбанська І. М.**, Гойчук А. Ф. Ендофіти аутоміко- та мікробіоти як чинники активізації епіфітотійного всихання лісових деревних рослин. Сучасний стан, проблеми, перспективи та завдання відтворення лісів в умовах антропоцену: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Київ, 04 квітня 2024 року: тези доповіді. Київ, 2024. С. 49. (Здобувачкою проведено аналітичний огляд літературних джерел за темою дослідження та сформульовано висновки).

53. Швець М. В., **Кульбанська І. М.** Фітосанітарний моніторинг насаджень ботанічного саду Поліського національного університету в контексті відбудови урбоєкосистем Житомира. Колесніковські читання: Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, м. Харків, 19 листопада 2024 року: тези доповіді. Харків, 2024. С. 39.

(Здобувачкою здійснено ідентифікацію видового складу шкідників та збудників хвороб дослідного регіону, сформульовано висновки).

54. Кульбанська І. М., Швець М. В. Санітарний стан та проблеми збереження букових пралісів НПП «Вижницький». Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку: Міжнародна науково-практична конференція, м. Львів, 23–25 жовтня 2024 року: тези доповіді. Львів, 2024. С. 71. (Здобувачкою проведено аналітичний огляд літературних джерел, моніторинг санітарного стану лісів, висновки).

АНОТАЦІЯ

Кульбанська І. М. Лісівничо-екологічні засади формування біотичної стійкості деревостанів за участі *Abies alba* Mill. у Покутсько-Буковинських Карпатах. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук зі спеціальності 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2025.

Вперше визначено видовий склад патогенної мікро- і мікобіоти, пов'язаної із деградацією деревостанів за участі *Abies alba*, в їх системній взаємодії з лісовими деревними рослинами в залежності від лісівничо-екологічних, біотичних та фітоценотичних чинників як передумов порушення біотичної стійкості у лісах дослідного регіону. Зокрема, зафіксовано та ідентифіковано 54 види грибів, з них 18,5 % представники відділу *Ascomycota* та 81,5 % – відділу *Basidiomycota*. З них 13 видів формують консортивні зв'язки з *Picea abies*, 6 видів – із *Abies alba* та 35 видів – із *Fagus sylvatica*.

Встановлено певну залежність показників санітарного стану лісів Покутсько-Буковинських Карпат із основними лісівничо-таксаційними показниками деревостанів. Ослабленими є штучні насадження, тоді як деревостани природного походження характеризуються підвищеною стійкістю. Практично здоровими є перестійні лісостани; ослабленими – стиглі деревостани та молодняки; у групі ризику знаходяться середньовікові насадження. Найбільш ослабленими є ялицеві деревостани в умовах вологої буково-смерекової суяличини. Аналіз ослаблення лісостанів в залежності від складу деревостану показує, що частка ялиці у складі у межах ценотичного оптимуму (25–30 %) впродовж усього періоду вирощування деревостанів є одним із вагомих чинників його резистентності.

Виокремлено п'ять стадій деградації деревостанів з участю *Abies alba*. Тригером I стадії є раптові трансформації умов довкілля абіотичними і антропогенними чинниками. II стадія пов'язана з активізацією фітопатогенів різної систематичної належності та інвазіями шкочинних комах, зокрема *Adelges piceae*. III стадія призводить до стрімкого «клінічного» відмирання *A. alba*, тоді як IV стадію характеризують аномальні зміни в будові деревини ялиці. Посилюються деградаційні зміни за рахунок заселення дерев ксилотрофами і ксилофагами із родин *Scolytinae* і *Cerambycidae*. Під час настання V стадії відбувається оптимізація екологічних та фізіологічних характеристик ґрунту, що ефективно відновлює фізіологічні процеси рослин-продуцентів.

З'ясовано, що типовими симптоматичними ознаками виразково-пухлиноподібної хвороби *Abies alba* є утворення на молодих гілках та пагонах типових муфтоподібних наростів, а також «відьминих мітл». Збудником є облигатний патоген *Melampsorella cerastii*.

Встановлено потенційну роль ендofітної міко- та мікробіоти у формуванні біотичної стійкості деревостанів за участі *Abies alba* та виділено 40 видів бактерій, що безпосередньо пов'язані із життєдіяльністю рослин, з яких 12 ізолятів були ендofітами, а 28 – епіфітами. Для дослідження фітостимулювальної активності використані ізоляти бактерії роду *Bacillus*.

З тканин *Abies alba*, на основі сукупності результатів морфолого-культуральних досліджень, а також аналізу послідовностей гена 16S рРНК, виділено штам *Lelliottia amnigena* як складник ендofітної мікробіоти, та внесено до бази даних GenBank за номером PP734867.

Досліджуючи механізм біотичної стійкості деревостанів за участі *Abies alba*, запропоновано комплексний підхід щодо оцінки стійкості, яка включає три групи чинників (абіотичні, біотичні та антропогенні), а також виокремлено ключові ознаки стійких лісових екосистем, розглядаючи їх з лісівничо-екологічної, біотичної та фітоценотичної перспектив.

Сформовано схему формування біотичної стійкості деревостанів на основі 15 ознак та запропоновано розрізняти 3 категорії стійкості: I категорія стійкості (стійкі або інертні), II категорія стійкості (з порушеною стійкістю або толерантні), III категорія стійкості (нестійкі).

Набула подальшого розвитку поліфакторіальна теорія виникнення та розвитку деградацій деревостанів як ознаки порушення біотичної стійкості під впливом чинників довкілля. На основі її головних постулатів створено теоретичну модель оцінки біотичної стійкості деревостанів у контексті лісівничо-екологічних, біотичних і фітоценотичних чинників.

Розроблено фітоценотичну методику діагностування причин виникнення патологічних процесів у лісах, за якою синтаксономічна приналежність, видовий склад та екологічна приуроченість лісів за участю *Abies alba* є однією з ознак біотичної стійкості деревостанів.

Ключові слова: *Abies alba*, збудники хвороб, етіологія, патогенез, ендоефітний паразитизм, етапи деградації, санітарний стан насаджень, вітальні облігати.

ANNOTATION

Kulbanska I. M. Forestry and ecological principles of the formation of biotic stability of stands with the participation of *Abies alba* Mill. in the Pokutsko-Bukovynsky Carpathians. Qualification scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of doctor of biological sciences on the specialty 06.03.03 «Forest Ecology and Silviculture». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2025.

For the first time, the species composition of pathogenic micro- and mycobiota associated with the degradation of stands with the participation of *Abies alba*, in their systemic interaction with forest woody plants, depending on forest-ecological, biotic and phytocenotic factors, as prerequisites for the violation of biotic stability in the forests of the research region, was determined. In particular, 54 species of fungi were recorded and identified, of which 18.5 % are representatives of the *Ascomycota* division and 81.5 % are representatives of the *Basidiomycota* division. Of these, 13 species form consortia with *Picea abies*, 6 species with *Abies alba*, and 35 species with *Fagus sylvatica*.

A certain dependence of indicators of the sanitary state of the forests of the Pokutsko-Bukovyna Carpathians with the main forestry and taxation indicators of stands has been established. Artificial plantations are weakened, while stands of natural origin are characterized by increased stability. Stagnant forests are practically healthy; weakened – mature stands and young trees; medieval plantations are in the risk group. The most weakened are the fir stands in the conditions of the wet beech-spruce forest. Analysis of the weakening of forest stands depending on the composition of the stand shows that the proportion of fir in the composition within the cenotic optimum (25–30 %) throughout the entire period of growing stands is one of the important factors of its resistance.

Five stages of degradation of stands with the participation of *Abies alba* are distinguished. The trigger of the first stage is the sudden transformation of environmental conditions by abiotic and anthropogenic factors. The II stage is associated with the activation of phytopathogens of different systematic affiliations and invasions of harmful insects, in particular *Adelges piceae*. Stage III leads to a rapid «clinical» death of *A. alba*, while stage IV is characterized by abnormal changes in the structure of fire wood. Degradative changes are intensified due to the settlement of trees by xylophages and xylophages from the families *Scolytinae* and *Cerambycidae*. During

the onset of the V stage, the ecological and physiological characteristics of the soil are optimized, which effectively restores the physiological processes of the producing plants.

It was found that the typical symptomatic signs of ulcerative tumor-like disease of *Abies alba* are the formation of typical cuff-like growths and «witches' brooms» on young branches and shoots. The causative agent is the obligate pathogen *Melampsorella cerastii*.

The potential role of endophytic myco- and microbiota in the formation of biotic stability of stands with the participation of *Abies alba* was established, and 40 species of bacteria directly related to plant life were isolated, of which 12 isolates were endophytes, and 28 were epiphytes. *Bacillus* bacterium isolates were used to study phytostimulating activity.

From the tissues of *Abies alba*, based on the results of morphological and cultural studies, as well as the analysis of the 16S rRNA gene sequences, the *Lelliottia amnigena* strain was isolated as a component of the endophytic microbiota, and entered into the GenBank database under the number PP734867.

Investigating the mechanism of biotic stability of stands with the participation of *Abies alba*, a comprehensive approach to the assessment of stability is proposed, which includes three groups of factors (abiotic, biotic and anthropic), as well as the key features of sustainable forest ecosystems are highlighted, considering them from the forestry-ecological, biotic and phytocenotic perspectives.

A scheme for the formation of biotic stability of stands based on 15 signs was formed and it was proposed to distinguish 3 categories of stability: I category of stability (stable or inert), II category of stability (with impaired stability or tolerant), III category of stability (unstable).

The polyfactorial theory of the emergence and development of forest stand degradation as a sign of biotic stability under the influence of environmental factors was further developed. Based on its main findings, a theoretical model for assessing the biotic stability of stands in the context of forestry-ecological, biotic and phytocenotic factors has been created.

A phytocenotic method of diagnosing the causes of pathological processes in forests has been developed, according to which the syntaxonomic affiliation, species composition and ecological timing of forests with the participation of *Abies alba* is one of the signs of biotic stability of stands.

Key words: *Abies alba*, causative agents, etiology, pathogenesis, endophytic parasitism, stages of degradation, sanitary condition of plantations, vital obligates.