

ISSN 2664-4452
2021 | 12 (2)



Ukrainian Journal of Forest and Wood Science

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

**UKRAINIAN JOURNAL OF FOREST
AND WOOD SCIENCE**

Vol. 12, № 2

Київ – 2021

УКРАЇНСЬКИЙ ЖУРНАЛ ЛІСІВНИЦТВА ТА ДЕРЕВИНОЗНАВСТВА

Науковий журнал, 2021, том 12, № 2
ISSN 2664-4452 (Print) ISSN 2664-4460 (Online)
<https://doi.org/10.31548/forest2021.02>

Науковий журнал входить до категорії «Б» (сільськогосподарські та технічні науки) Переліку наукових фахових видань України (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.) за такими спеціальностями:

*205 – Лісове господарство, 206 – Садово-паркове господарство,
187 – Деревообробні та меблеві технології*

Засновник:

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Редакційна колегія:

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР П. І. Лакида , д. с.-г. н., проф., чл.-кор. НААН України	<i>206 – Садово-паркове господарство</i> Д. І. Бідолах , д. с.-г. н., доц. Я. В. Генник , д. с.-г. н., доц. С. Б. Ковалевський , д. с.-г. н., проф. О. В. Колесніченко , д. б. н., проф. М. І. Сорока , д. б. н., проф.
ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА Р. Д. Васишин , д. с.-г. н., проф. В. В. Миронюк , к. с.-г. н., доц.	<i>187 – Деревообробні та меблеві технології</i> П. А. Бехта , д. техн. н., проф. А. М. Єрошенко , к. техн. н., доц. О. О. Пінчевська , д. техн. н., проф. Олександр Саленікович , Ph. D. (Канада)
ВІДПОВІДАЛЬНИЙ СЕКРЕТАР В. І. Мельник , к. с.-г. н., доц.	Ю. В. Цапко , д. техн. н., проф. М. Г. Чаусов , д. техн. н., проф.
ЗАСТУПНИК ВІДПОВІДАЛЬНОГО СЕКРЕТАРЯ В. І. Блищик , к. с.-г. н.	<i>091 – Біологія</i> С. Ю. Білоус , к. б. н., доц. А. Ф. Ліханов , к. б. н., доц. С. Ю. Попович , д. б. н., проф. Б. Є. Якубенко , д. б. н., проф.
ЧЛЕНИ КОЛЕГІЇ <i>205 – Лісове господарство</i> А. М. Білоус , д. с.-г. н., проф. А. Ф. Гойчук , д. с.-г. н., проф. С. В. Зібцев , д. с.-г. н., проф. Флоріан Кракснер , Ph. D. (Австрія) І. П. Лакида , к. с.-г. н., доц. А. З. Швиденко , д. с.-г. н., проф. (Австрія) В. Ю. Юхновський , д. с.-г. н., проф.	<i>101 – Екологія</i> В. І. Бондарь , к. с.-г. н., с. н. с. Д. М. Голяка , к. с.-г. н. В. В. Коніщук , д. б. н., проф. А. М. Чурілов , к. б. н.

Адреса редакції:

03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15. Тел./факс: +380 44 527 87 20
e-mail: ukrforest@nubip.edu.ua

Рекомендовано до друку

*Вченою радою Національного університету біоресурсів і природокористування України
Протокол № 8 від 31.03.2021 р.*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №23989-13829ПР від 19.06.2019 р.

Науковий редактор – Пазюк О. Г.

Дизайн обкладинки – Ковалевська Ю. Ю., Шевчук М. О.

Підписано до друку 21.04.2021 р. Формат 70x100/16. Друк офсетний.
Папір офсетний. Ум. друк. арк. 7.56. Зам. № 458.

Віддруковано у ТОВ «КОМПРИНТ»
03150, м. Київ, вул. Предславинська, 28, тел.: 067-209-54-30

UKRAINIAN JOURNAL OF FOREST AND WOOD SCIENCE

Scientific journal, 2021, Vol. 12, No. 2
ISSN 2664-4452 (Print) ISSN 2664-4460 (Online)

<https://doi.org/10.31548/forest2021.02>

According to the «List of scientific professional publications of Ukraine», scientific journal is classified as belonging to the category «Б» (Agricultural and Technical Sciences) in the following specialties:

**205 – Forestry, 206 – Landscape-Park Management,
187 – Wood Processing and Furniture Technologies**

Founder:

NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL SCIENCES OF UKRAINE

Editorial Board:

EDITOR-IN-CHIEF Petro Lakyda , Dr. Sci., Prof.	<i>Landscape-Park Management</i> Dmytro Bidolakh , Dr. Sci., Assoc. Prof. Yaroslav Henyk , Dr. Sci., Assoc. Prof. Sergii Kovalevskyyi , Dr. Sci., Prof. Olena Kolesnichenko , Dr. Sci., Prof. Myroslava Soroka , Dr. Sci., Prof.
DEPUTY CHIEF EDITORS Roman Vasylyshyn , Dr. Sci., Prof. Viktor Myroniuk , Ph. D., Assoc. Prof.	<i>Wood Processing and Furniture Technologies</i> Pavlo Bekhta , Dr. Sci., Prof. Andriy Yeroshenko , Ph. D., Assoc. Prof. Olena Pinchevska , Dr. Sci., Prof. Alexander Salenikovich , Ph. D. (Canada)
EXECUTIVE SECRETARY Viktoriia Melnyk , Ph. D., Assoc. Prof.	Yuriy Tsapko , Dr. Sci., Prof. Mykola Chausov , Dr. Sci., Prof.
DEPUTY EXECUTIVE SECRETARY Volodymyr Blyshchuk , Ph. D.	<i>Biology</i> Svitlana Bilous , Ph. D., Assoc. Prof. Artur Likhanov , Ph. D., Assoc. Prof. Sergii Popovych , Dr. Sci., Prof. Borys Yakubenko , Dr. Sci., Prof.
EDITORIAL BOARD MEMBERS <i>Forestry</i> Andrii Bilous , Dr. Sci., Prof. Anatolii Hoichuk , Dr. Sci., Prof. Sergiy Zibtsev , Dr. Sci., Prof. Florian Kraxner , Ph. D. (Austria) Ivan Lakyda , Ph. D., Assoc. Prof. Anatoly Shvidenko , Dr. Sci., Prof. (Austria) Vasyl Yukhnovskyyi , Dr. Sci., Prof.	<i>Ecology</i> Valeriia Bondar , Ph. D., Assoc. Prof. Dmytrii Holiaka , Ph. D. Vasyl Konishchuk , Dr. Sci., Prof. Andrii Churilov , Ph. D.

Editorial Address:

03041, Kyiv, Ukraine, Heroiv Oborony Str.15. Phone: (044) 527-87-20
E-mail: ukrforest@nubip.edu.ua

*Recommended for publication by
Academic council of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
(record № 8 dated March 31, 2021).*

Certificate of the printed media state registration: series KV, No. 23989-13829IIP dated June 19, 2019.

Scientific editor – Olena Paziuk

Cover photo – Yuliia Kovalevska, Mariia Shevchuk

Signed for printing April 21, 2021. Format 70x100/16.
7.56 conventional printed sheets. Order No. 458.

Producer: «PC Komprynt» LLC
03150, Kyiv, Ukraine, Predslavynska Str. 28. Phone: (067) 209-54-30

ЗМІСТ

ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО

Малюга В. М., Міндер В. В.

ВІКОВІ ПЕРІОДИ РОЗВИТКУ ЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ
У ВІДНОВЛЕННІ ЕРОДОВАНИХ ЯРУЖНО-БАЛКОВИХ ЗЕМЕЛЬ 6

САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО

Страшок О. Ю., Морозько А. П.

ФІТОДЕКОРУВАННЯ ІНТЕР'ЄРІВ БУДИНКУ УРЯДУ УКРАЇНИ:
АНАЛІЗ ТА ПРОПОЗИЦІЇ 22

ДЕРЕВООБРОБНІ ТА МЕБЛЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ

Буйських Н. В.

ЩОДО ДЕЯКИХ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРАСНОЇ ДОШКИ
З ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ РІЗНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ 33

Пінчевська О. О., Спірочкін А. К.

ІМПУЛЬСНЕ СУШІННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ДЕРЕВИНИ ДУБА ЧЕРВОНОГО 40

ЛІСОВА ЕКОЛОГІЯ ТА ДОВКІЛЛЯ

Бойко Г. О., Пузріна Н. В.

ВПЛИВ УМОВ МІСЦЕЗРОСТАННЯ НА ЗМІНУ ВИДОВОГО СКЛАДУ
МІКОБІОТИ НАСІННЯ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ 50

**Рєбко С. В., Поплавська Л. Ф., Ламоткін С. А., Кімейчук І. В., Хрик В. М.,
Юхновський В. Ю.**

ВМІСТ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕФІРНОЇ ОЛІЇ У ХВОЇ СОСНИ
ЗВИЧАЙНОЇ, ЯКА РОСТЕ У ГЕОГРАФІЧНИХ КУЛЬТУРАХ
(англійською мовою) 58

БІОЛОГІЯ ЛІСОВИХ ТА УРБАНІЗОВАНИХ ЕКОСИСТЕМ

Білоус С. Ю., Олійник О. О., Гунько О. О.

ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *DROSER* L.
З ВИКОРИСТАННЯМ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ 71

Гойчук А. Ф., Кульбанська І. М., Швець М. В.

МІКО- І МІКРООРГАНІЗМИ ТУБЕРКУЛЬОЗНОЇ ПАТОЛОГІЇ
ЯСЕНА ЗВИЧАЙНОГО В УКРАЇНІ ТА ВЗАЄМОВІДНОСИНИ
МІЖ НИМИ (англійською мовою) 81

CONTENTS

FORESTRY

Maliuha V. M., Minder V. V.

AGE PERIODS OF THE DEVELOPMENT OF PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS
IN THE RESTORATION OF ERODED RAVINE AND RAVINE LANDS 6

LANDSCAPE-PARK MANAGEMENT

Strashok O. Y., Morozko A. P.

PHYTODECORATION OF INTERIORS OF THE GOVERNMENT HOUSE
OF UKRAINE: ANALYSIS AND PROPOSALS 22

WOOD PROCESSING AND FURNITURE TECHNOLOGIES

Buiskykh N. V.

REGARDING SOME MECHANICAL PROPERTIES OF TERRACE BOARD MADE
OF WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH DIFFERENT FILLER 33

Pinchevska O. O., Spirochkin A. K.

OSCILLATING DRYING OF RED OAK WOOD BLANKS 40

FOREST ECOLOGY AND ENVIRONMENT PROTECTION

Boyko G. O., Puzrina N. V.

INFLUENCE OF LOCAL GROWTH CONDITIONS ON THE CHANGE
OF SPECIES COMPOSITION OF MYCOBIOTS OF PINE SEEDS 50

**Rabko S. V., Poplavskaya L. F., Lamotkin S. A., Kimeichuk I. V., Khryk V. M.,
Yukhnovskyi V. Yu.**

CONTENT OF THE MAIN COMPONENTS OF ESSENTIAL
OIL IN THE NEEDLES OF SCOTS PINE GROWING
IN GEOGRAPHIC CULTURES 58

BIOLOGY OF FOREST AND URBAN ECOSYSTEMS

Bilous S. Yu., Oliinyk O. O., Hunko O. O.

PRESERVATION OF REPRESENTATIVES THE GENUS *DROSER* L.
USING BIOTECHNOLOGICAL METHODS 71

Kulbanska I. M., Goychuk A. F., Shvets M. V.

MYCO- AND MICROORGANISMS IN THE TUBERCULOSIS
PATHOLOGY OF THE COMMON ASH IN UKRAINE
AND INTERACTION BETWEEN THEM 81

ВІКОВІ ПЕРІОДИ РОЗВИТКУ ЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ У ВІДНОВЛЕННІ ЕРОДОВАНИХ ЯРУЖНО-БАЛКОВИХ ЗЕМЕЛЬ

В. М. МАЛЮГА, доктор сільськогосподарських наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-9786-0239>, e-mail: malyuga@nubip.edu.ua
В. В. МІНДЕР, кандидат сільськогосподарських наук
<https://orcid.org/0000-0002-5213-2078>, e-mail: vikaminder@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

На теперішній час питанням ролі, значущості, оптимального використання ґрунтів, їхньої охорони та боротьби з деградацією приділяють величезну увагу. Ухвалюючи Цілі Сталого Розвитку на національному рівні, Україна зобов'язана впроваджувати нові програми та проекти, які на практиці гарантуватимуть макроекономічну стабільність, екологічний баланс і соціальну згуртованість. Під час наукових досліджень багатофункціональної ролі захисних лісових насаджень, які свого часу створювали на еродованих територіях, до складу яких входять яружно-балкові землі, для відродження властивостей ґрунтів проведено дослідження з обґрунтування їхньої відновлювальної функції. Для виконання поставленої мети закладено 90 ґрунтолісотипологічних пунктів у протиерозійних насадженнях різних періодів росту і розвитку рослин із відбором 270 зразків ґрунту. Здійснено дослідження їхніх водно-фізичних і агрохімічних властивостей із обробленням отриманих даних статистичними методами. На підставі аналізу наукових літературних джерел, вивчення успішного виробничого досвіду та власних досліджень протиерозійних насаджень із визначення їхнього впливу на властивості ґрунту і навколишнє середовище, розроблено якісні етапи екологічного відновлення еродованих ґрунтів. Зміна вікових періодів росту і розвитку деревних рослин у захисних лісових насадженнях, створених на яружно-балкових землях, призводить до поступового поетапного екологічного відновлення еродованих ґрунтів. Отримано чітке співвідношення вікових періодів росту і розвитку деревних рослин з якісними етапами екологічного відновлення еродованих ґрунтів. Добір об'єктів досліджень передбачав урахування однакової технології створення протиерозійних насаджень, зростання і розвиток в однакових умовах, які б відповідали п'ятьом віковим періодам росту і розвитку деревних рослин. У кожному віковому періоді відбуваються якісні зміни під час росту і розвитку рослинного покриву, а також кількісні зміни показників, що характеризують властивості ґрунту, які представлені порівняно з контролем, яким обрано вигін. Надано основні функції цих насаджень. Приділено увагу всім віковим періодам росту і розвитку протиерозійних насаджень у частині проведення лісівничих заходів для успішного вирощування протиерозійних насаджень та їхньої ефективною дії. З виділеними віковими періодами чітко узгоджуються етапи екологічного відновлення еродованих територій. Відкриваються перспективи розуміння процесу відновлення захисного рослинного покриву, зокрема лісових насаджень і їхнього безпосереднього впливу на властивості еродованих ґрунтів.

Ключові слова: ерозійні процеси, еродовані ґрунти, протиерозійна роль, періоди розвитку, якісні етапи, властивості ґрунту, гідравлічна шорсткість.

Актуальність. Нині питанням ролі, значущості й оптимального використання ґрунтів, їхньої охорони та боротьби з деградацією приділяють величезну увагу (Pdivinen et al., 1994; Manual on methods and criteria, 1994; Lund, 1998; ISO/TR 14061, 1998; Mayer, 2003; Johnson, 2004; Duran Zuazo & Pleguezuelo, 2008; Prescott, Katzensteiner & Weston, 2021). За оцінками експертів міжнародних організацій, під деградованими землями перебуває 47,5 % суші Землі. Україна станом на 2015 р. мала загальну площу деградованих земель 148,14 км² (25,57 %). На Саміті ООН зі сталого розвитку 2015 р. було надано загальне бачення нових орієнтирів розвитку планетарного суспільства до 2030 р. (Let's save the soil). Для досягнення Цілей Сталого Розвитку на національному рівні Україна має впроваджувати нові програми та проекти, які на практиці гарантуватимуть макроекономічну стабільність, екологічний баланс (On the National Program, 2000) і соціальну згуртованість. Отже, забезпечення раціонального використання, охорони та поліпшення природного середовища, зокрема властивостей еродованих ґрунтів, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Грандіозні роботи зі створення протиерозійних насаджень в Україні припадають на 60-ті рр. ХХ століття. Комплексне дослідження їхнього впливу на відновлення властивостей еродованих яружно-балкових земель розпочалося з 1980 р. За результатами наукових досліджень кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій НУБіП України для встановлення послідовності ліквідації наслідків процесів водної ерозії на

яружно-балкових землях було запропоновані якісні етапи екологічного відновлення еродованих територій (Maliuha, 1987, 2008). Екологічне відновлення здійснювалося шляхом застосування протиерозійних лісових насаджень.

Весь життєвий цикл лісових культур складається із послідовного поєднання певних фаз росту і розвитку. При цьому тимчасовий стан лісових культур відбивається відповідними етапами. Отже, фаза зростання і розвитку лісових культур – це певний якісний і кількісний стан протягом конкретного періоду життя. Засновником вчення про фази росту і розвитку по праву вважають Н. П. Кобранова, а наступні дослідження у цьому напрямі продовжили В. В. Огієвський, А. А. Хіров, П. Р. Тальман, М. Е. Ткаченко, П. В. Воропанов, Л. Н. Грібанов, В. Г. Атрохін, А. А. Кайрюкштіс, А. І. Юодвалькіс та ін. (Merzlenko & Babich, 2020). Були отримані різні інтерпретації, однак мета всіх полягала у сприянні проведенню господарських заходів, необхідних для оптимізації росту насаджень (лісовідновлення): доповнення і оцінка культур, регулювання умов життя шляхом застосування доглядових рубок тощо.

М. А. Лохматов (1985) розглядає такі періоди розвитку захисних лісових насаджень на яружно-балкових землях: 1 – утворення, 2 – активного розвитку та взаємодії ярусів, 3 – порівняно сталої структури і взаємовпливу ярусів, 4 – послаблення життєдіяльності насаджень, їх старіння, деградації і розпаду деревостану у контексті оцінки їхнього стану (Lokhmatov, 1999). Подібний розподіл за стадіями розвитку надає (Johnson, 2004).

Останнім часом цим питанням приділяють чимало уваги різні науковці (Duran Zuazo & Pleguezuelo, 2008; Prescott, Katzensteiner & Weston, 2021; Johnson, 2004; Yukhnovskyi, Dudarets, Maliuha & Khryk, 2013). Здійснено дослідження окремих моментів меліоративних властивостей паркових насаджень в умовах складного рельєфу (Minder, Maliuha & Yukhnovskyi, 2019). На жаль, такого спрямованого напрямку досліджень на яружно-балкових землях недостатньо.

Мета дослідження полягає у вивченні протиерозійної ролі лісових насаджень за їхніми віковими періодами розвитку в умовах яружно-балкових земель. У складі еродованих земель перебуває 4,5 млн га із середньо та сильно змитими ґрунтами, зокрема 68 тис. гектарів повністю втратили гумусовий горизонт. Відкриваються перспективи розуміння процесу відновлення захисного рослинного покриву, зокрема лісових насаджень і їхнього безпосереднього впливу на властивості еродованих ґрунтів.

Матеріали і методи дослідження. Основний об'єм наукових досліджень здійснено в зоні Лісостепу упродовж десяти років. Дослідження проведено на території двох колишніх гідролісо-меліоративних станцій – Канівської (1958) і Ржищівської (1964), створених для ліквідації наслідків водної ерозії гідротехнічними та лісомеліоративними методами у захисній зоні р. Дніпро. Об'єктами досліджень обрано захисні лісові насадження на еродованих яружно-балкових землях.

Підібрано об'єкти, які мали однакову технологію створення, зростали і розвивалися в однакових умовах та відповідали п'яти віковим періодам росту і розвитку деревних рослин. Як контроль обрано вигін.

Закладено 90 ґрунтолісотипологічних пунктів із відбором 270 зразків

ґрунту відбірником (Maliuha, Dudarets, Yukhnovskyi & Harkava, 2006; Maliuha et al., 2014).

Для оцінки змін протиерозійних властивостей ґрунту, оскільки його руйнація відбувається концентрованим поверхневим стоком, обрано показники, які характеризують: структурність, твердість, водопроникність. Структурний аналіз ґрунту визначено за методом Саввінова (Астапов, 1958) шляхом сухого просіювання ґрунтового зразка вагою до 1,0 кг на колонці сит від 10 до 0,25 мм. Твердість ґрунту визначено приладом Голубєва у 30-разовій повторності. Використано шкалу твердості ґрунту за М. А. Качинським (Berezhniak, 2013; Zrazhevskiy & Lohvynenko, 1971). Визначення водопроникності ґрунту здійснено за допомогою сталевих циліндрів діаметром 80 мм і висотою 100 мм, які заточені в нижній частині для легкого встановлення в ґрунтову товщу. Дослідження виконано з поверхні 10-сантиметрового шару ґрунту. Циліндри нижньою частиною наполовину заглиблювали в ґрунт, а верхні 50 мм заповнювали водою. Стопчик води заввишки у 50 мм умовно відповідає рівню води під час проходження рясної зливи. Секундоміром визначено час поглинання води у 10-разовій повторності.

Оцінку зміни родючості еродованих ґрунтів здійснено за агрохімічними показниками метрової товщі. Вміст агрохімічних показників отримано за методиками: азоту, що легко гідролізується, мг/кг ґрунту – Тюріна–Кононової (Workshop on agrochemistry, 2001); рухомого фосфору та обмінного калію, мг/кг ґрунту – Кірсанова (Workshop on agrochemistry, 2001); гумусу, % – Тюріна (Workshop on agrochemistry, 2001). За отриманими результатами з урахуванням щільності складання ґрунту здійснено розрахунки запасів поживних речовин метрової товщі.

1. Співвідношення вікових періодів росту і розвитку деревних рослин з якісними етапами екологічного відновлення еродованих ґрунтів

Вікові періоди, років	Зміст вікових періодів росту і розвитку деревних рослин захисних лісових насаджень	Етапи відновлення	Зміст якісних етапів екологічного відновлення еродованих ґрунтів
До 7	Приживлення і зімкнення лісових культур	I	Початок впливу на еродовані ґрунти, уповільнення та різке зменшення процесів ерозії
8–15	Формування лісового намету насаджень	II	Призупинення ерозії ґрунтів, посилення в них біологічних процесів
16–30	Інтенсивна диференціація видів деревних рослин	III	Суттєве поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунтів, повне припинення процесів ерозії
31–60	Формування лісового біогеоценозу	IV	Екологічне відновлення еродованих умов місцезростання і створення передумов повернення таких земель до господарського обігу
Понад 60	Ефективна дія першого покоління лісонасаджень	V	Повне повернення земель після реабілітації в повноцінний господарський обіг

Статистичне оброблення даних здійснювали із використанням графоаналітичного, кореляційного, регресійного аналізу із залученням програм стандартних пакетів комп'ютерно-інформаційного забезпечення Excel та Statistica.

Результати дослідження та їх обговорення. Зміна вікових періодів росту і розвитку деревних рослин у захисних лісових насадженнях, створених на яружно-балкових землях, призводить до поступового поетапного екологічного відновлення еродованих ґрунтів, що відображено в табл. 1.

У перший віковий період життя (до 7-річного віку) відбувається приживлення і зімкнення лісових культур, які створюються на еродованих землях. Успіх у справі захисного лісорозведення залежить від якості виконання технології зі створення лісомеліоративних насаджень.

У перший віковий період захисні лісові насадження статистично значущого впливу на властивості ґрунту, порівняно з контролем, не виявляють (табл. 2). У цьому періоді росту і розвитку деревних рослин протиерозійних

2. Показники відновлення властивостей верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту під впливом лісових насаджень і безхребетних тварин

Насадження віком до 7 років	Твердість, кг·см ⁻²	Водопроникність, мм·хв ⁻¹	Структурні частки >1 мм, %
	$\chi \pm m$		
Чисті дубові	19,3 ± 0,4	6,5 ± 0,4	27,8 ± 1,0
Контроль	20,4 ± 0,3	6,0 ± 0,5	24,5 ± 0,7
Мішані дубові	19,1 ± 1,0	7,0 ± 0,7	32,1 ± 1,2
Контроль	20,1 ± 0,4	3,9 ± 0,4	28,6 ± 1,1
Чисті соснові	18,7 ± 1,2	6,5 ± 1,9	34,4 ± 3,6
Контроль	19,0 ± 0,6	6,3 ± 0,3	26,6 ± 0,6
Мішані соснові	19,0 ± 0,4	5,6 ± 0,9	31,0 ± 1,3
Контроль	20,5 ± 0,5	4,3 ± 0,4	25,8 ± 0,8

3. Запаси поживних речовин метрового шару ґрунту

Насадження віком до 7 років	Запаси поживних речовин			
	органічна речовина, т·га ⁻¹	азот, що легко гідролізується	рухомий фосфор	обмінний калій
		кг·га ⁻¹		
$\chi \pm m$				
Чисті дубові	75 ± 4,2	274 ± 22,0	354 ± 14,6	266 ± 16,0
Контроль	57 ± 3,5	201 ± 2,3	200 ± 17,0	239 ± 14,3
Мішані дубові	77 ± 4,4	282 ± 13,8	348 ± 13,4	276 ± 15,5
Контроль	60 ± 8,8	213 ± 4,0	212 ± 4,6	238 ± 20,2
Чисті соснові	61 ± 6,1	204 ± 9,2	428 ± 13,6	585 ± 33,6
Контроль	68 ± 2,1	202 ± 7,5	418 ± 13,5	508 ± 19,7
Мішані соснові	74 ± 4,2	224 ± 9,4	458 ± 24,4	564 ± 20,5
Контроль	75 ± 3,1	197 ± 3,0	400 ± 10,4	507 ± 23,9

насаджень наявні представники живо-го трав'яного надґрунтового покриву, переважно степові чи лучні види. З одного боку, трав'яні рослини слугують важливими складовими елементами природного захисного рослинного покриву, які протидіють інтенсивному розвитку ерозійних процесів, з іншого – створюють достатньо потужні конкурентні умови для приживлення захисних лісових насаджень. Їхня кількість у цей період становить 100–300 шт.·м².

Серед представників трав'яної рослинності, яка інтенсивно розвивається, потрібно назвати: берізку польову, горошок вузьколистий, деревій благородний, еспарцет віколистий, зірочник середній, конюшину рівнинну, кульбабу осінню, лопух павутинистий, молочай кипарисовий, осот звичайний та ін.

Проведеними дослідженнями встановлено, що відбувається певне поліпшення, а інколи й погіршення деяких показників, які визначають властивості ґрунту, зокрема його твердість, структурність та водопроникність. Показники, які характеризують агрохімічні властивості, зокрема вміст і запаси поживних речовин, також не мають статистично значущої різниці, оскільки їхні значення слабо відрізняються

від контрольних. Запаси поживних речовин метрового шару ґрунту наведено в табл. 3.

Порівняно слабкий вплив лісових насаджень на властивості ґрунту пояснюється тим, що їм надзвичайно важко адаптуватися до невластивих і жорстких умов місцезростання, тому вони мають великі енергетичні витрати і значний показник напруженості життєвого простору (Maliuha & Minder, 2020). Інтенсивність відпаду залежить переважно від дотримання технології створення насаджень, а також від того, наскільки вдало вдається створити умови для приживлення рослин, які у молодому віці чутливі та разом із тим пластичні щодо прилаштуваності.

Насадження потребують допомоги у вигляді своєчасного проведення агротехнічних доглядів, що надає їм можливість позбутися зайвої конкуренції трав'яної рослинності, легше подолати «стресові» ситуації під час приживлення. Характерною ознакою першого вікового періоду у протиерозійному відношенні є той факт, що немає суцільного шару лісової підстилки. Оптимальною густиною штучно створюваних насаджень можна регулювати тривалість періоду їхнього зімкнення.

Під час другого вікового періоду росту і розвитку деревних рослин (від 8 до 15 років) відбувається формування лісового намету. Спостерігається цілковите зімкнення гілок у рядах і міжряддях, ґрунт покривається суцільним шаром підстилки. Трав'яниста рослинність із насаджень густокронних видів деревних рослин, коли освітленість ґрунту становить не більше ніж 10 % порівняно з відкритим місцем у сонячні дні, суттєво обмежується або її зовсім немає. Трапляється вона тільки у місцях розрідженого деревного намету та на узліссях у кількості 0–15 шт.·м², а в насадженнях мають місце лише поодинокі тіневитривалі представники: герань лучна, тонконіг дібровний, осока волосиста, медунка вузьколиста, копитняк європейський, ягиця звичайна, зеленчук жовтий тощо.

Отже, у міру росту та розвитку деревних рослин захисних лісових насаджень, завдяки розростанню крон і затіненню ґрунту відбувається зміна трав'яного рослинного покриву. Світловибагливі види трав'яної рослинності зріджуються і поступово зникають, а на зміну їм приходять пристосованіші тіньовитривалі.

Утворення суцільного шару підстилки, яка обмежує умови інтенсивного розвитку лучної трав'яної рослинності, посилює її гідравлічну шорсткість, сприяє переведенню поверхневих талих і зливових вод у ґрунтові та зберігає вологість ґрунту. Вологоємність непорушеного стану лісової підстилки, залежно від видового складу насаджень, може досягати 150–200 %. Порушення стану підстилки внаслідок можливого прояву поверхневого стоку чи прогону худоби суттєво знижує її вологоємність у 1,4–1,9 разу. У цей період продовжується взаємопроникнення корневих систем, а та-

кож освоєння глибоких горизонтів ґрунту залежно від густоти і складу насаджень (Pasternak, Shinkarenko & Kravcova, 1974; Orlovskij, Podzharov & Vorob'ev 1980; Maliuha, 1987; Minder, Maliuha & Yukhnovskiy, 2019).

Для цього вікового періоду характерне збільшення чисельності ґрунтових безхребетних: черв'яків, ногохвіток, нематод, кліщів (Zonn, 1955; Zrazhevskij, 1957; Zrazhevskiy & Lohvynenko, 1971; Gordienko, Nagornaya & Kisten', 1986), які окрім основної роботи посилюють водопроникність ґрунту. Після перетворення підстилки їхні екскременти зумовлюють прискорення діяльності бактерій (Kachinskij, 1975; Prescott, Katzensteiner & Weston, 2021). Особлива роль у перемішуванні та подрібненні підстилки з глинистими частинками ґрунту належить дощовим черв'якам (Zrazhevskij, 1957; Zrazhevskiy & Lohvynenko, 1971; Kachinskij, 1975). Їхні екскременти значно багатші на фосфор, ніж ґрунт: вони містять на 300 % більше розчинної у лактаті фосфорної кислоти і на 40 % більше азоту. Дощовим черв'якам потрібен добре наповнений повітрям і вологою ґрунт із *pH* 5,8–8,3. Завдяки ходам черв'яків ґрунт розпушується. Також значною мірою на розпушування і перемішування ґрунту впливають мурахи (Zonn, 1955; Pogrebnyak, 1955; Zrazhevskij, 1957; Zrazhevskiy & Lohvynenko, 1971).

Діяльність безхребетних тварин та інших землерийв позитивно позначається на фізичних і водно-фізичних властивостях ґрунту, які своєю чергою спричинюють зміни фізико-хімічних ознак, що сприяє уповільненню розвитку ерозії. Властивості ґрунту, основними з яких визначено твердість, водопроникність і структурність, є своєрідними маркерами його протиерозійних можливостей (табл. 4).

4. Показники відновлення властивостей верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту під впливом лісових насаджень і безхребетних тварин

Насадження віком 8–15 років	Твердість, кг·см ⁻²	Водопроникність, мм·хв ⁻¹	Структурні частки >1 мм, %
	$\chi \pm m$		
Чисті дубові	16,7 ± 0,5	8,2 ± 0,4	32,9 ± 3,0
Контроль	19,8 ± 0,6	6,5 ± 0,6	25,1 ± 1,7
Мішані дубові	17,2 ± 0,4	8,5 ± 0,2	38,4 ± 1,2
Контроль	19,5 ± 1,0	4,2 ± 0,7	29,0 ± 1,3
Чисті соснові	16,6 ± 0,6	7,3 ± 0,5	32,4 ± 2,6
Контроль	18,4 ± 0,9	6,5 ± 0,2	27,2 ± 0,9
Мішані соснові	15,9 ± 0,7	8,3 ± 0,8	37,0 ± 2,1
Контроль	19,3 ± 0,8	5,0 ± 0,5	26,7 ± 1,1

У другому віковому періоді росту і розвитку деревних рослин лісомеліоративних насаджень помітно зменшується твердість ґрунту на 10–18 % порівняно з контрольними ділянками, що сприяє посиленому розростанню кореневих систем. Водопроникність, маючи із твердістю ґрунту обернену залежність, навпаки, зростає від 26 до майже 123 %. Ґрунт набуває структурних ознак, зокрема кількість структурних часток діаметром понад 1 мм зростає на 19–38 %. Звісно, всі ці зміни відбуваються залежно від видового складу насаджень.

Поліпшення фізичних і водно-фізичних властивостей своєю чергою спричиняють зміни агрохімічних характеристик ґрунту. Свіжоутворений

гумус, скріплюючи ґрунтові грудочки та формуючи водотривку структуру, не лише уповільнює розвиток ерозії, а й припиняє її прояв. Запаси основних агрохімічних показників метрового шару ґрунту наведено в табл. 5.

Дослідженнями виявлено, що в другому віковому періоді росту й розвитку деревних рослин лісомеліоративних насаджень їхній вплив посилюється. Запаси органічної речовини зростають на 8–58 %, азоту, що легко гідролізується, – на 14–64 %, рухомого фосфору – на 18–124 %, обмінного калію – на 23–48 % залежно від виду рослин та складу насаджень.

Період індивідуального росту рослин поступово переходить у безпосередню взаємодію та взаємовплив. Рос-

5. Запаси поживних речовин метрового шару ґрунту

Насадження віком 8–15 років	Запаси поживних речовин			
	органічна речовина, т·га ⁻¹	азот, що легко гідролізується	рухомий фосфор	обмінний калій
$\chi \pm m$				
Чисті дубові	90 ± 6,2	339 ± 28,9	460 ± 25,5	356 ± 27,8
Контроль	60 ± 6,4	207 ± 2,0	205 ± 12,2	241 ± 10,9
Мішані дубові	103 ± 7,3	362 ± 23,8	456 ± 14,0	362 ± 12,5
Контроль	65 ± 7,0	218 ± 3,6	217 ± 10,3	245 ± 15,7
Чисті соснові	76 ± 2,0	235 ± 2,3	473 ± 5,6	645 ± 12,2
Контроль	70 ± 5,5	206 ± 7,0	400 ± 14,0	506 ± 16,1
Мішані соснові	80 ± 2,6	246 ± 10,2	487 ± 15,2	624 ± 12,8
Контроль	74 ± 4,3	200 ± 4,1	407 ± 11,3	508 ± 20,2

лини починають тіснити одна одну у просторі, конкуруючи за світло, воду, поживні речовини ґрунту тощо. Боротьба за життєвий простір (Maliuha & Minder, 2020) посилюється до кінця другого вікового періоду як у надземній, так і в підземній частинах насаджень. Напет деревостану стає щільнішим і потужним по всій висоті розміщення крони. Відносини між деревними рослинами стають напруженими, що призводить до неминучої диференціації насамперед порівняно швидкорослих видів деревних рослин.

Доглядові рубання у протиерозійних насадженнях мають бути спрямовані на поліпшення умов росту насаджень (передусім головних видів деревних рослин), на посилення їхніх меліоративних функцій і підвищення рівня біологічної стійкості. З метою підвищення протиерозійної ролі насаджень порубкові залишки варто подрібнювати та використовувати як мульчу (Lokhmatov, 1999).

Посилення меліоративних функцій протиерозійних насаджень досягається формуванням добре розвинутого чагарникового підліску та деревного намету; суцільної, достатньо потужної, пухкої підстилки, що в сукупності збільшує гідравлічну шорсткість (Orlovskij, Podzharov & Vorob'ev, 1980; Teleshok, Cherneckij, Ivashchenko, 1985). Доглядові рубання, як зазначають П. С. Пастернак, І. Б. Шинкаренко, П. С. Кравцова, позитивно впливають на поліпшення освоєння ґрунту, збільшення об'єму ґрунту, пронизаного корінням (Pasternak, Shinkarenko & Kravcova, 1974). Характерним за таких умов є припинення розвитку ерозійних процесів на зайнятій насадженням території та призупинення на прилеглий до нього. Загроза щодо відновлення площинної ерозії залишається у випадках надходження транзитного поверхневого стоку по мікропониженнях.

У третьому віковому періоді відбувається інтенсивна диференціація деревних рослин лісостанів штучного походження, що відповідає віку жердняку (16–30 років), і формування в них лісового середовища у жорстких умовах конкуренції за існування. Рослини ростуть і розвиваються завдяки дії своєї активної поверхні, яка потребує простору, що необхідний для збільшення розмірів надземної частини стовбурів і крон та поширення кореневих систем. Тому вирішення просторового питання для окремих дерев і насадження в цілому є життєво необхідним (Maliuha & Minder, 2020). Упродовж цього вікового періоду всі дерева не можуть продовжувати подальший ріст і розвиток за однакових умов. Неминучою стає диференціація дерев, яка проявляється через напружену конкуренцію за життєвий простір. Відбуваються процеси інтенсивного зрідження насаджень, що негативно позначається на протиерозійних властивостях, зокрема гідравлічній шорсткості, що частково компенсується відновленням активності живого надґрунтового покриву. Трав'яниста рослинність становить 15–35 шт.·м².

Серед представників живого надґрунтового покриву під час цього вікового періоду насаджень переважають такі: орляк звичайний, медунка темна, підмаренник запашний, зірочник ланцетовидний, купина багатоквіткова, гравілат міський та інші, що поширені у свіжих умовах судіброви. В інших лісорослинних умовах формуються відповідні індикатори із представників живого надґрунтового покриву.

Упродовж третього вікового періоду екологічного відновлення еродованих земель насадження інтенсивніше здійснюють вплив на навколишнє середовище та, особливо, на ґрунт. Завдяки їхнім лісомеліоративним властивостям відбуваються такі процеси: освоєння

6. Показники відновлення властивостей верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту під впливом лісових насаджень і безхребетних тварин

Насадження віком 16–30 років	Твердість, кг·см ⁻²	Водопроникність, мм·хв ⁻¹	Структурні частки >1 мм, %
	$\chi \pm m$		
Чисті дубові	14,0 ± 2,3	12,8 ± 0,9	52,6 ± 5,2
Контроль	19,0 ± 1,1	7,0 ± 0,8	26,0 ± 1,2
Мішані дубові	14,9 ± 0,7	11,4 ± 0,3	53,9 ± 6,1
Контроль	18,9 ± 1,3	5,3 ± 1,0	30,1 ± 1,4
Чисті соснові	15,7 ± 0,6	9,4 ± 0,8	46,2 ± 2,5
Контроль	18,0 ± 0,7	6,9 ± 0,9	29,3 ± 1,7
Мішані соснові	14,0 ± 0,5	10,3 ± 0,4	46,8 ± 1,8
Контроль	18,8 ± 0,8	5,8 ± 1,2	28,4 ± 1,3

кореневими системами глибинних горизонтів, відмирання та відновлення активних коренів, що супроводжується збільшенням умісту органічної речовини у ґрунті; нагромадження органічного опаду на поверхні, який завдяки мінералізації поповнює ґрунт легкодоступними для рослин поживними речовинами, а також прояв насадженнями кольматувальної здатності. У цей період особливо активними стають ґрунтові безхребетні тварини, які разом з іншими представниками флори та фауни виступають безпосередніми учасниками ґрунтоутворних процесів.

Показники фізичних, водно-фізичних, фізико-хімічних, агрохімічних і біологічних властивостей ґрунтів цього вікового періоду набувають конкретної статистичної значущості, що свідчить про їхню активну ґрунтоутворювальну роль. Поліпшення водно-фізичних властивостей ґрунту, насамперед водопроникності, сприяє якнайповнішому переведенню талих і дощових вод у внутрішньоґрунтові (табл. 6). Твердість ґрунту під чистими і мішаними насадженнями становить 14,0–15,7 кг·см⁻². Порівняно з контролем зменшення відбулося на 13–26 %. Це невеликі значення для згаданого вікового періоду, що порівняно з попередніми періодами суттєво зменшилися. Водопроникність зросла на 36–

115 %, вміст структурних часток збільшився на 64–102 %.

Отже, значна зміна водно-фізичних властивостей ґрунту зумовлює повне припинення розвитку ерозійних процесів на площах під лісомеліоративними насадженнями.

Насадження починають вступати у фазу плодоношення, що має позитивний результат з утворення самосіву на відкритих позбавлених деревної рослинності яружних відкосах, що важливо у протиерозійному плані. Порівняння запасів поживних речовин вказаного вікового періоду наведено в табл. 7.

Запаси органічної речовини зростають на 22–51 %, азоту, що легко гідролізується, – на 31–135 %, рухомого фосфору – на 5–136 %, обмінного калію – на 42–68 % залежно від виду рослин та складу насаджень.

У цей віковий період необхідно проводити рубки догляду, які мають виключно диференційований підхід до кожного окремого лісостану залежно від особливостей росту і розвитку деревних рослин.

Варто зазначити, що в захисних протиерозійних насадженнях (особливо у віці до 30 років) доглядові рубання потрібно виконувати з меншою інтенсивністю, ніж в експлуатаційних лісах. Зрубану рослинну масу доцільно подрібнити і рівномірно розкидати по

7. Запаси поживних речовин метрового шару ґрунту

Насадження віком 16–30 років	Запаси поживних речовин			
	органічна речовина, т·га ⁻¹	азот, що легко гідролізується	рухомий фосфор	обмінний калій
$\chi \pm m$				
Чисті дубові	103 ± 4,9	416 ± 31,6	502 ± 19,4	421 ± 12,4
Контроль	68 ± 3,3	209 ± 3,0	213 ± 8,9	250 ± 17,1
мішані дубові	104 ± 13,0	519 ± 35,3	430 ± 15,2	411 ± 67,8
Контроль	70 ± 9,2	221 ± 6,2	230 ± 10,7	249 ± 18,0
Чисті соснові	93 ± 3,5	272 ± 9,0	440 ± 42,0	727 ± 31,9
Контроль	75 ± 5,1	208 ± 7,3	420 ± 13,7	512 ± 20,7
Мішані соснові	98 ± 8,9	352 ± 46,4	578 ± 35,3	765 ± 25,3
Контроль	80 ± 5,8	204 ± 5,6	414 ± 12,4	514 ± 21,4

території. Такий захід має на меті збільшувати гідравлічну шорсткість поверхні, запобігати можливим змивам та розмиванню ґрунту за рясних злив і транзитного надходження поверхневого стоку по мікропониженнях.

Четвертий віковий період, життєвий інтервал якого охоплює від 31 до 60 років, передусім характеризується завершенням формування лісового середовища в лісостанах за участю швидкоростучих видів рослин та проявом ефективної дії їхнього першого покоління. Сосна звичайна та дуб звичайний, як представники довговічних головних видів рослин, вказані функції встигають виявити лише під кінець згаданого періоду розвитку лісостанів. Вдало створені захисні лісові насадження першого покоління з використанням швидкоростучих видів рослин за умов наявності життєвого енергосуму не обмежують своє існування у віці 60 років. Формування лісового середовища докорінно змінює лісорослинні умови порівняно з територіями, що не вкриті лісовою рослинністю.

Противерозійні насадження цього вікового періоду характеризуються початком зрідження намету за рахунок зменшення кількості листків і хвої на одиниці довжини пагона, а також за рахунок проведених доглядових ру-

бань, вилучення відсталих у рості та сухих дерев. Догляд за такими насадженнями – плановий лісівничий.

Через це зменшується кількість органічного опаду, збільшується освітленість ґрунту, що у сукупності призводить до інтенсивного розростання трав'яної рослинності (35–50 шт·м²). Наслідком цього стає поява під наметом дубових насаджень, крім тонконога дібровного і осоки волосистої, ще й яглиці звичайної, маренки пахучої, копитняку європейського; у робінієвих – чистотілу; у соснових – котячих лапок дводомних, осоки вереснякової, костриці овечої тощо. Коренева система рослин цього періоду інтенсивніше освоює верхні горизонти ґрунту, що позитивно позначається на водопроникності, а отже сприяє переведенню поверхневого стоку у ґрунтовий.

У цьому віковому періоді продовжується інтенсивний вплив насаджень на властивості ґрунту, його ґрунтоутворення. За своїми властивостями ґрунт стає лісовим і має суттєві відмінності від ґрунту сільськогосподарського призначення.

Щодо середніх показників фізичних, водно-фізичних, фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту спостерігається статистично значуща різниця не лише порівняно з контрольною ділян-

8. Показники відновлення властивостей верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту під впливом лісових насаджень і безхребетних тварин

Насадження віком 31–60 років	Твердість, кг·см ⁻²	Водопроникність, мм·хв ⁻¹	Структурні частки >1 мм, %
	$\chi \pm m$		
Чисті дубові	14,5 ± 0,6	20,0 ± 2,9	66,2 ± 1,6
Контроль	18,7 ± 0,9	7,4 ± 0,7	26,9 ± 1,7
Мішані дубові	13,5 ± 1,0	14,2 ± 1,1	63,4 ± 3,2
Контроль	18,5 ± 0,8	6,8 ± 0,5	30,7 ± 2,0
Чисті соснові	15,4 ± 0,2	12,8 ± 0,4	56,2 ± 5,4
Контроль	17,6 ± 0,7	7,1 ± 0,8	31,3 ± 1,9
Мішані соснові	13,3 ± 0,6	15,1 ± 0,2	58,6 ± 3,3
Контроль	18,2 ± 1,1	6,2 ± 0,9	29,8 ± 2,1

кою, а і з попередніми віковими періодами росту і розвитку деревних рослин лісомеліоративних насаджень. Поверхневого стоку на лісових ділянках немає. Досліджені показники відновлення властивостей активного поверхневого шару ґрунту наведено в табл. 8.

Твердість ґрунту зменшується на 12–27 %, водопроникність посилюється на 80–170 %, кількість структурних часток у ґрунті збільшується на 79–146 % порівняно з контрольними показниками залежно від видів рослин і складу деревостанів.

Насадження продовжують масово плодоносити, що слугує основою для поширення насіння і появи самосіву. Його життєздатність має особливості прояву не лише на ділянках відкосів

ярів, які залишалися незалисненими та продовжували виположуватися, а й під наметом чи на узліссі протиерозійних насаджень, які продовжували зріджуватися внаслідок диференціації деревостанів.

Агрохімічні властивості, зокрема представлені тут на прикладі запасів поживних речовин ґрунту, також мають переконливу статистичну значущість порівняно з контролем (табл. 9).

Запаси органічної речовини зростають на 36–74 %, азоту, що легко гідролізується, – на 52–132 %, рухомого фосфору – на 43–138 %, обмінного калію – на 56–75 % залежно від виду рослин та складу насаджень.

Отже, четвертий віковий період може бути охарактеризований як пе-

9. Запаси поживних речовин метрового шару ґрунту

Насадження віком 31–60 років	Запаси поживних речовин			
	органічна речовина, т·га ⁻¹	азот, що легко гідролізується	рухомий фосфор	обмінний калій
		кг·га ⁻¹		
$\chi \pm m$				
Чисті дубові	105 ± 1,8	330 ± 7,9	603 ± 25,1	884 ± 40,0
Контроль	69 ± 4,5	217 ± 7,8	422 ± 14,7	518 ± 18,6
Мішані дубові	106 ± 2,9	438 ± 45,7	619 ± 43,0	908 ± 27,0
Контроль	78 ± 8,1	219 ± 5,0	430 ± 11,3	520 ± 22,4
Чисті соснові	97 ± 10,6	426 ± 38,3	439 ± 10,9	401 ± 65,5
Контроль	67 ± 5,4	220 ± 6,3	217 ± 15,0	257 ± 19,3
Мішані соснові	113 ± 3,2	499 ± 29,7	527 ± 16,4	452 ± 55,0
Контроль	65 ± 8,6	215 ± 8,2	221 ± 13,6	268 ± 23,2

10. Показники відновлення властивостей верхнього 10-сантиметрового шару ґрунту під впливом лісових насаджень і безхребетних тварин

Насадження віком понад 60 років	Твердість, кг·см ⁻²	Водопроникність, мм·хв ⁻¹	Структурні частки >1 мм, %
	$\chi \pm m$		
Чисті дубові	13,9 ± 0,4	26,2 ± 0,7	65,3 ± 4,1
Контроль	18,9 ± 1,3	7,7 ± 1,1	28,7 ± 2,5
Мішані дубові	13,2 ± 1,1	27,5 ± 0,3	77,1 ± 2,0
Контроль	18,6 ± 1,2	7,4 ± 0,7	32,5 ± 1,8
Чисті соснові	13,8 ± 0,5	21,7 ± 0,9	62,6 ± 1,0
Контроль	17,9 ± 1,0	6,9 ± 0,6	33,0 ± 2,4
Мішані соснові	14,2 ± 0,3	26,0 ± 0,5	68,3 ± 1,5
Контроль	18,0 ± 1,4	6,5 ± 0,8	33,7 ± 1,7

ріод початку віку захисної стиглості протиерозійних лісових насаджень на еродованих землях (Pavlovskij, 1973). У цьому віковому періоді природне лісовідновлення поширюється і на прилеглі сільськогосподарські угіддя.

У цей період росту і розвитку деревних рослин протиерозійних насаджень запаси лісової підстилки коливаються від 2,5 до 8,5 т·га⁻¹ (Yukhnovskyi, Dudarets, Maliuha & Khryk, 2013; Maliuha et al., 2021). Особливості впливу лісової підстилки полягають у такому: зменшення фізичного випаровування вологи з ґрунту, його ущільнення та промерзання; сприяння нагромадженню вологи за рахунок талих вод і атмосферних опадів, що переводяться у ґрунті, а також зростання рівня вологоємності підстилки, яка може досягти 300–400 %. Відбувається посилення протиерозійного впливу захисних лісових насаджень не лише на території, які вони власне охоплюють, а й на прилеглі.

П'ятий віковий період ефективної дії першого покоління, що характеризується входженням середньовікових насаджень у фазу саморегулювання, пов'язаний із віковим інтервалом понад 60 років для видів деревних рослин тривалого життєвого циклу. Лісо-стани за участю сосни звичайної та дуба звичайного в цей період свого

росту і розвитку мають цілком сформоване ефективне лісове середовище, в якому докорінно змінюються лісорослинні умови порівняно з еродованими територіями, не вкритими лісовою рослинністю.

Основні показники відновлення фізичних і водно-фізичних властивостей активного шару ґрунту протиерозійних насаджень наведено в табл. 10.

Твердість ґрунту в мішаних дубових насадженнях виявляється найменшою – 13,2 кг·см⁻². Загальний же показник твердості ґрунту дубових і соснових деревостанів зменшився на 21–29 % порівняно з контролем. Значення показника водопроникності зросло на 214–300 %. Найбільший показник водопроникності мають мішані дубові насадження – 27,5 мм·хв⁻¹.

Такі результати відповідають, за оцінкою Н. А. Качинського, провальній водопроникності (Kachinskij, 1975; Berezhniak, 2013) за першу годину всмоктування, яка дорівнюватиме понад 1000 мм. Пояснюється це активною дією ґрунтових тварин: кротів, черв'яків і безлічі інших дрібніших, а також впливом кореневих систем. Ґрунт із такими показниками здатен забезпечити поглинання навіть транзитної частини поверхневого стоку, яка може потрапляти до насаджень із водозбірної площі. До цього важливо до-

11. Запаси поживних речовин метрового шару ґрунту

Насадження віком понад 60 років	Запаси поживних речовин			
	органічна речовина, т·га ⁻¹	азот, що легко гідролізується	рухомий фосфор	обмінний калій
		кг·га ⁻¹		
$\chi \pm m$				
Чисті дубові	121 ± 14,3	440 ± 15,7	798 ± 34,1	1007 ± 18,8
Контроль	71 ± 7,2	224 ± 6,3	423 ± 17,2	523 ± 17,9
Мішані дубові	146 ± 3,8	417 ± 4,0	908 ± 23,6	1092 ± 30,7
Контроль	78 ± 5,2	230 ± 6,5	437 ± 16,2	527 ± 21,9
Чисті соснові	115 ± 2,7	494 ± 26,6	545 ± 12,0	497 ± 53,8
Контроль	83 ± 6,0	228 ± 9,2	237 ± 13,8	261 ± 24,3
Мішані соснові	128 ± 4,6	612 ± 18,4	732 ± 20,7	632 ± 42,9
Контроль	85 ± 9,0	240 ± 8,7	260 ± 14,3	268 ± 20,6

дати позитивні зміни стосовно збільшення частки структурних агрегатів на 90–137 %.

Процеси ґрунтоутворення у протиерозійних насадженнях продовжують набувати інтенсивного прояву, а середні значення розглянутих показників властивостей ґрунту, як і у попередній віковий період, мають вагому статистично значущу різницю не лише порівняно з контрольною ділянкою, а й із насадженнями інших вікових періодів росту і розвитку деревних рослин.

Під наметом насаджень, які зріджуються, достатня кількість органічного опаду та оптимальна освітленість зумовлюють розвиток трав'яної рослинності (50–150 шт.·м²). До її складу входять як ґіневитривалі види – копитняк європейський, зірочник ланцетовидний, щитник чоловічий, яглиця звичайна, медунка темна купина багатоквіткова, так і порівняно світлолюбиві – анемона дібровна, фіалка дивна, подорожник ланцетолистий, кульбаба лікарська, конюшина повзуча, бузина трав'яниста, волошка лучна, глуха кропива пурпурова та інші. З'являється не лише самосів, а й розвивається підріст, посилюючи гідравлічну шорсткість.

Властивості ґрунту, що став лісовим, продовжують покращуватися. Ра-

зом із тим варто зазначити, що у цей період (принаймні до віку 70–80 років) першому поколінню не вдається повністю досягти рівня властивостей зональних ґрунтів, які сформовані під природними лісостанами. Порівняння запасів поживних речовин метрової товщі ґрунту під лісовими насадженнями наведено в табл. 11.

Запаси органічної речовини зростають на 38–87 %, азоту, що легко гідролізується, – на 81–155 %, рухомого фосфору – на 89–182 %, обмінного калію – на 90–136 % залежно від виду рослин та складу насаджень.

Насадження продовжують плодоносити, а життєздатність самосіву та його біологічна стійкість зростають. Отже, після 60 років захисні протиерозійні насадження визначаються як саморегульовані екологічні системи, тобто настає екологічне відновлення колишніх еродованих земель, перетворення їх на продуктивні, важливі для господарського використання території.

Цей віковий період характеризується максимальним проявом усіх функцій захисних лісових насаджень: енергетичної, водорегулювальної, водопоглинальної, ґрунтозахисної, кольматувальної, ґрунтоутворювальної, відновлювальної, рекреаційної, санітарно-гігієнічної, естетичної, виховної,

кліматорегулювальної, екологостабілізувальної. Вказані функції діють одночасно та забезпечують поліфункціональну роль лісових насаджень (Yukhnovskiy, Dudarets, Maliuha & Khryk, 2013).

Максимальний прояв усіх наведених вище функцій має місце лише за життя лісу чи протиерозійних насаджень як потужного й налагодженого організму, що діє чітко.

Висновки і перспективи. Отримано чітке співвідношення вікових періодів росту і розвитку деревних рослин з якісними етапами екологічного відновлення еродованих ґрунтів. У кожному віковому періоді відбуваються якісні зміни під час росту і розвитку рослинного покриву, а також кількісні зміни показників, що характеризують властивості ґрунту, які представлені у порівнянні з контролем (вигін).

У перший віковий період захисні лісові насадження статистично значущого впливу на властивості ґрунту, порівняно з контролем, не виявляють. Вони потребують допомоги у вигляді своєчасного проведення агротехнічних доглядів. За вдального створення насаджень лісівничих доглядів не потребують.

Другий період вирізняється поліпшенням фізичних і водно-фізичних властивостей, які спричинюють зміни агрохімічних характеристик ґрунту. Лісівничі догляди застосовують за умов, якщо мали місце прорахунки під час підбору видів деревних рослин чи за недотримання технології. Для цього

проводять освітлення, з метою поліпшення умов росту, посилення меліоративних функцій, підвищення стійкості насаджень. Для посилення протиерозійної ролі насаджень порубкові залишки потрібно подрібнювати та використовувати як мульчу.

У третій період відбувається значна зміна водно-фізичних властивостей ґрунту, що зумовлює повне припинення розвитку ерозійних процесів на площах під лісомеліоративними насадженнями. Рубки догляду мають виключно диференційований підхід, а зрубану рослинну масу доцільно подрібнювати і рівномірно розкидати територією для збільшення гідравлічної шорсткості у регулюванні поверхневого стоку.

Четвертий період відрізняється початком віку захисної стиглості протиерозійних лісових насаджень. Відбувається посилення їхнього впливу на процеси ґрунтоутворення. Середні показники фізичних, водно-фізичних, фізико-хімічних, агрохімічних і біологічних властивостей ґрунту мають вагому статистично значущу різницю не лише порівняно з контрольною ділянкою, а й із насадженнями інших вікових періодів росту і розвитку деревних рослин.

Після 60 років, що стосується п'ятого вікового періоду, захисні протиерозійні насадження визначаються як саморегулювні екологічні системи, які характеризуються проявом основних функцій.

Список літератури

- Astapov, S. V. (1958). *Meliorative soil science (workshop)*. Moscow: Sel'hozgiz, 367 [in Russian].
- Berezhniak, M. F. (2013). *Pedology*. Kyiv: TOV «NVP «Interservis», 304 [in Ukrainian].
- Duran Zuazo, V. H., & Pleguezuelo C. R. R. (2008). Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag, 28 (1), 65–86. <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2007062>
- Gordienko, M. I., Nagornaya, R. V., & Kisten', A. V. (1986). Impact of clearing of felling areas on soil properties. *Forest Journal*, 1, 8–13 [in Russian].
- ISO/TR 14061. Information to assist forestry organizations in the use of the Environmental Management System standards ISO 14001

- and ISO 14004. International Organization for Standardization. (1998). 11. <https://www.sis.se/api/document/preview/612099/>.
- Johnson, P. S. (2004). Thinking about oak forests as responsive ecosystems. Gen. Tech. Rep. SRS-73. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 13–18. <https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/6486>
- Kachinskij, N. A. (1975). *Soil, its properties and life*. Moscow: Nauka, 294 [in Russian].
- Let's save the soil – let's save our well-being. Available at <https://www.ua.undp.org/content/ukraine/uk/home/ourperspective/ourperspectivearticles/2018/01/02/desertification-un-convention-ukraine.html>.
- Lokhmatov, N. A. (1999). *Development and restoration of the steppe forest plantings*. Balakleya: SIM [in Russian].
- Lund, H. Gyde. (1998). IUFRO Guidelines for Designing Multipurpose Resource Inventory. IUFRO World Series, 8, 216. Available at <https://www.iufro.org/uploads/media/ws8.pdf>.
- Maliuha, V. M., Dudarets, S. M., Yukhnovskiy, V. Yu., & Harkava, O. M. (2006). Soil sampler. Patent of Ukraine for useful model. G01N 1/04. № 22065; declared 27.11.2006; published 10.04.2007, № 4 [in Ukrainian].
- Maliuha, V. M., Yukhnovskiy, V. Yu., Dudarets, S. M., Minder, V. V., Protchenko, I. A., & Krylov, Ya. I. (2014). Device for soil sampling. Patent of Ukraine for useful model. G01N 1/04. № 88990; declared 10.10.2013; published 10.04.2014, № 7 [in Ukrainian].
- Maliuha, V., Khryk, V., Minder, V., Kimeichuk, I., Raduchych, M., Rasenchuk, A., Brovko, F., & Yuhnovskiy, V. (2021). Fractional composition and formation of forest litter in scots pine plantations on ravine-gully systems and the plain of the Central part of Ukraine. *Forestry ideas*, 27, 1 (61), 89–100.
- Maliuha, V. M. (1987). *The experience of creating protective plantations on the eroded lands of the Kanev dislocations*. Kyiv [in Russian].
- Maliuha, V. M. (2008). Stages of restoring the fertility of eroded soils under the influence of protective forest plantations. *Forestry and agroforestry*, 112, 118–124 [in Ukrainian].
- Maliuha, V. M., & Minder V. V. (2020). Indicator of tension in the living space of protective forest plantations. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (4), 47–59 [in Ukrainian]. <http://dx.doi.org/10.31548/forest2020.04.005>
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests/3rd edition. (1994). Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), 177.
- Mayer, P. (2003). Impulses for Research. *Living Forest Summit in Vienna*, 11 (1–2), 10–11.
- Merzlenko, M. D., & Babich, N. A. (2020). *Artificial reforestation*. Moscow: Izd-vo Yurajt [in Russian].
- Minder, V., Maliuha, V., & Yuhnovskiy, V. (2019). *Meliorate properties of park stands in the conditions of complex relief*. Kyiv: Kondor [in Ukrainian].
- On the National Program for the Formation of the National Ecological Network of Ukraine for 2000–2015: Law of Ukraine (2000). Newspaper "Guide", 3–16 [in Ukrainian].
- Orlovskij, V. B., Podzharov, V. K., & Vorob'ev, V. N. (1980). *Protective afforestation in Belarus*. Minsk: Urozhaj [in Russian].
- Pasternak, P. S., Shinkarenko, I. B., & Kravcova, P. S. (1974). Scots pine root system development at different planting density and thinning intensity. *Forestry and agroforestry*, 38, 16–20 [in Russian].
- Pavlovskij, E. S. (1973). *Arrangement of agroforestry plantations*. Moscow: Lesnaya prom-st [in Russian].
- Pdivinen, R., Lund, H. Gyde, Poso, S., & Zawila-Niedzwiecki, T. (Eds.). (1994). IUFRO International Guidelines for Forest Monitoring. IUFRO World Series, 5, 42. Available at <https://www.iufro.org/uploads/media/ws5-en.pdf>
- Pogrebnyak, P. S. (1955). *Basics of forest typology*. Kyiv: Akademiya Nauk USSR [in Russian].
- Prescott, C. E., Katzensteiner, K., & Weston, C. (2021). Soils and restoration of forested landscapes. *Soils and landscape restoration*, 299–331. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813193-0.00011-4>
- Teleshek, Yu. K., Cherneckij, A. I., & Ivashchenko, S. S. (1985). *The owner's use of ravine and ravine lands*. Kyiv: Urozhaj [in Russian].
- Workshop on agrochemistry. Tutorial. (2001). Moscow: Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet [in Russian].
- Yukhnovskiy, V. Yu., Dudarets, S. M., Maliuha, V. M., & Khryk, V. M. (2013). *Anti-erosion forest plantations of ravine-gully systems*. Kyiv: Kondor [in Ukrainian].
- Zonn, S. V. (1955). Biogeocenotic method and its significance for studying the role of biological factors in soil formation. *Pedology*, 6, 5–13 [in Russian].
- Zrazhevskij, A. I. (1957). *Earthworms as a factor of forest soil fertility*. Kyiv: AN USSR [in Russian].
- Zrazhevskiy, A. I., & Lohvynenko, I. I. (1971). About biological activity of soil and decomposition of forest waste. Collection of scientific works of the Ukrainian Agricultural Academy. *Biological bases of increasing crop yields*, 40, 121–124 [in Ukrainian].

Maliuha V. M., Minder V. V.

AGE PERIODS OF THE DEVELOPMENT OF PROTECTIVE FOREST PLANTATIONS IN THE RESTORATION OF ERODED RAVINE AND RAVINE LANDS

At present, high-level attention is paid to the issues of the role, significance, optimal use of soils, their protection and combating degradation. By introducing the Sustainable Development Goals at the national level, Ukraine is obliged to introduce new programs and projects that, in practice, will have macroeconomic stability, ecological balance and social cohesion. During scientific research on the multifunctional role of protective forest plantations, which at one time were created on eroded territories, which include gully-ravine lands, to revive the properties of soils, work was carried out to substantiate their regenerative function. To achieve this goal, 90 soil-forest typological stations were established in erosion control plantations of various periods of plant growth and development with the selection of 270 soil samples. A study of their water-physical and agrochemical properties was carried out with the processing of the data obtained by statistical methods. Based on the analysis of scientific literary sources, the study of successful production experience and our own research on anti-erosion plantations to determine their impact on soil properties and the environment, qualitative stages of the ecological restoration of eroded soils have been developed. Changes in the age periods of growth and development of woody plants in protective forest plantations created on gully-ravine lands lead to a gradual step-by-step ecological restoration of eroded soils. Thus, a clear correlation of the age periods of growth and development of woody plants with the qualitative stages of ecological restoration of eroded soils was obtained. The selection of research objects provided for taking into account the same technology for creating anti-erosion plantings, growth and development in the same conditions, corresponding to five age periods of growth and development of woody plants. In each age period, qualitative changes occur during the growth and development of the vegetation cover, as well as quantitative changes in indicators characterizing the properties of the soil, which are presented in comparison with the control, which is the pasture. The main functions of these plantings are presented. Attention is paid to all age periods of growth and development of anti-erosion plantings in terms of forest measures for the successful cultivation of anti-erosion plantings and their effective action. The stages of ecological restoration of eroded territories are clearly consistent with the identified age periods. The prospects for understanding the process of restoring protective vegetation cover, including forest plantations, and their direct impact on the properties of eroded soils are opening up.

Keywords: erosion processes, eroded soils, anti-erosion role, periods of development, qualitative stages, soil properties, hydraulic roughness.

Отримано: 2021-03-21

ФІТОДЕКОРУВАННЯ ІНТЕР'ЄРІВ БУДИНКУ УРЯДУ УКРАЇНИ: АНАЛІЗ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

О. Ю. СТРАШОК, кандидат біологічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-2779-7692>, e-mail: landscape_architecture@nubip.edu.ua

А. П. МОРОЗЬКО, аспірантка*

<https://orcid.org/0000-0002-0304-4450>, e-mail: anmorozko@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті наведено результати досліджень біоестетичних характеристик декоративних елементів фітодизайну інтер'єрів офісних приміщень. Встановлено, що фітодекорування інтер'єрів є важливою компонентою формування комфортного середовища для працівників різних установ. Осучаснення елементів фітодизайну здійснювали для приміщень Будинку Уряду України, базуючись на результатах обстежень та аналізу видового складу тропічних і субтропічних рослин, що культивуються у приміщеннях цієї установи. Збирання та первинне оброблення інформації проводили за допомогою методу маршрутного обстеження. Візуалізації модельних фітокомпозицій формували на основі спеціалізованого програмного забезпечення Real Time Landscaping Architect.

Під час досліджень вивчено наявний асортимент тропічних і субтропічних рослин, які були використані для фітодекорування інтер'єрів Будинку Уряду України, та запропоновано його розширення. Проаналізовано групи рослин за функціональним та естетичним призначенням у приміщеннях і розроблено на їх основі проектні пропозиції щодо підвищення декоративності інтер'єрів Будинку Уряду України.

Встановлено, що декорування приміщень за участю фітокомпозицій на території досліджуваного об'єкту з'явилось лише у 2003 р., при цьому композиції із живих рослин замінили використання штучних квітів. Виявлено, що асортимент декоративно-листяних і красивоквітучих рослин, які були залучені для фітодекорування інтер'єрів Будинку Уряду України, налічує 22 види. Зважаючи на специфіку внутрішнього планування будівлі, розроблено сім проектних пропозицій фітокомпозицій для декорування кімнат відпочинку, вхідної та транзитної зон, зали засідань, зали преси та журналістики і Малої зали Будинку Уряду України. Запропоновано розширення асортименту декоративно-листяних і красивоквітучих рослин на сім видів, а саме представників родин *Araliaceae* Juss., *Araceae* Juss., *Arecaceae* Bercht. & J. Presl., *Begoniaceae* C. Agardh, *Campanulaceae* Juss., *Nephtrolepisaceae* Pic. Serm., з урахуванням їхніх естетичних та утилітарних функцій, а також оптимальні варіанти розміщення фітокомпозицій і розроблено на їх основі модельні фітокомпозиції для декорування інтер'єрів Будинку Уряду України.

Ключові слова: закритий простір, громадські будівлі, проектні пропозиції, фітодизайн, фітоергономіка, фітокомпозиція.

* Науковий керівник – доктор біологічних наук, професор О. В. Колесніченко.

Актуальність. Фітодекорування є новим напрямом у формуванні архітектурного середовища за допомогою гармонійного поєднання рослинності з предметним світом. Нині використання рослин для облаштування інтер'єрів різних приміщень зумовлено потребою людини бути ближче до природи через широкомасштабну урбанізацію міст і локальне техногенне забруднення навколишнього середовища. Для успішного вирішення цих проблем потрібен комплексний підхід до широких можливостей застосування корисних властивостей рослин: фітонцидотерапії, кольоротерапії, естетотерапії, ароматерапії та багатьох інших функцій.

Людина проводить у закритому середовищі більшу частину свого життя, тому ізолюваність від природи має бути компенсовано за рахунок створення у приміщеннях елементів флора і фітодизайну, які допомагають підвищити художню виразність внутрішнього простору, удосконалити його функціональну організацію, сприяють поліпшенню санітарно-гігієнічних параметрів повітря.

Рівень комфорту закритого середовища створюється шляхом оптимального для людини поєднання комплексу важливих показників, що забезпечують виконання двох головних функцій: естетичної – гармонійність, цілісність, відповідність середовищу, стилю, тенденціям та утилітарної – температура, чистота, вологість і швидкість руху повітря, звуко- та шумоізоляція. Фітодекорування забезпечує виконання перелічених параметрів і дає змогу вирішити низку питань, пов'язаних із виконанням цих функцій.

Науковий підхід до озеленення закритих приміщень передбачає поєднання естетичного сприйняття забарвлення, фактури, форми квіток і листків рослин із іншою важливою особливис-

тю – фітонцидними властивостями, що є актуальним, адже окремі елементи інтер'єру та декору з лакофарбовим покриттям, вироби з пластику можуть виділяти отрути й токсини. Крім того, в повітрі будь-якого приміщення будівлі містяться спори грибів, патогенні мікроорганізми, пилок, мікрочастинки сажі та різні хімічні сполуки. Тож раціональний підбір асортименту рослин для фітодизайну закритого середовища вирішує низку завдань, що стосуються як комплексного естетичного характеру, так і фітосанітарного плану.

Використання принципів функціонально-декоративного озеленення в організації інтер'єрів адміністративних будівель сприяє візуальній гармонізації середовища, оптимізації його функціональної організації та поліпшенню екологічних показників. Це, своєю чергою, знижуватиме стомлюваність людини, що перебуває у цьому середовищі, підвищуватиме її працездатність і позитивно впливатиме на фізичний і психологічний стан.

Фітодекорування інтер'єрів адміністративних будівель – специфічний напрям фітодизайну, тому нині є актуальним використання елементів природи в оформленні замкнених архітектурних композицій інтер'єрів Будинку Уряду України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними із найважливіших питань сьогодення є екологічна безпека і захист людини, а також середовища її життєдіяльності та існування в умовах стрімкого розвитку урбанізованих територій і розширення промислових комплексів. Питання озеленення закритого середовища зацікавило науковців ще наприкінці 1970-х рр. У 1981 р. Д. Гродзинський дав визначення фітодизайну й окреслив теоретичну основу для використання рослин у закритих системах, а також розробив

технологічні аспекти формування фітокомпозицій (Grodzinskiy, 1986).

Практичним застосуванням принципів фітодизайну в інтер'єрах та вивченням їхнього естетичного та функціонального значення займалися В. Сніжко, В. Пушкар, Н. Крижанівська, Н. Чхартішвілі, Н. Мхітарян, М. Хантер та Д. Хесайон. Особливості фітодизайну приміщень досліджували Л. Машинський, О. Степаненко. Багато праць було присвячено визначенню декоративної ролі рослин та вивченню їхніх художньо-естетичних аспектів у фітодизайні (Кругonos, 2019; Kuznetsova & Stepanyuk, 2013; Hnatyuk & Shereplyuk, 2019), використанню декоративних рослин і сучасним тенденціям у фітодизайні інтер'єрів (Kosenko, Hrabovyi, Opalko, Muzyka & Opalko, 2020; Cetti, 2014).

Мета дослідження – аналіз наявних фітокомпозиційних рішень інтер'єрів у приміщенні Будинку Уряду України та на їх основі надання пропозицій щодо підбору асортименту рослин для створення нових композицій, призначених для декорування просторів адміністративних будівель.

Матеріали та методи дослідження. Під час проведення дослідження було використано такі методи й методики: маршрутного обстеження – збирання і первинне оброблення матеріалу; оцінювання декоративності рослин.

Для створення візуалізації проектних пропозицій використовували спеціалізоване програмне забезпечення Real Time Landscaping Architect.

Результати дослідження та їх обговорення. У дизайні інтер'єрів громадських адміністративних будівель переважають ідеї раціоналізму і функціональності над естетичним виглядом, адже, зважаючи на специфіку роботи у таких типах приміщень, передусім звертають увагу на проблеми

кондиціювання повітря, ізоляції та шумопоглинання. Встановлено, що у 2000-х рр. перші фітокомпозиції в інтер'єрах Будинку Уряду України були сформовані зі штучних квітів (Saakov, 1983), що тільки частково забезпечувало виконання естетичних функцій. Лише 2003 р. з'явилися живі квіти, що прикрашали загальний вигляд приміщень (рис. 1).

У 2004 р. завершили реконструкцію залів Будинку Уряду України, а спеціалісти відділу озеленення та фітодекорування сформували перші фітокомпозиції (рис. 2).

Перші фітокомпозиції великої зали Клубу Кабінету Міністрів України були сформовані з рослин *Spathiphyllum wallisii* Regel (рис. 3).

Головним акцентом фітодекорування інтер'єру зали Клубу Кабінету Міністрів України до реконструкції слугувала композиція із рослин *S. wallisii* та *Hedera helix* L. (рис. 4).

У сучасних фітокомпозиціях приміщень Будинку Уряду України представлено різноманітний асортимент субтропічних і тропічних рослин – *Aglaonema commutatum* Schott, *Asparagus aethiopicus* L., *Epipremnum aureum* (Linden & André) G. S. Bunting, *Dracaena deremensis* Engl., *H. helix*, *Crassula arborescens* (Mill.) Willd., *Clivia nobilis* Lindl., *Monstera deliciosa* Liebm., *S. wallisii*, *Schlumbergera truncata* (Haw.) Moran, *Zamioculcas zamiifolia* (Lodd.) Engl., *Saintpaulia grandifolia* B. L. Burt, *Yucca gigantea* Lem., *Ficus benjamina* L., *Oxalis acetosella* L., *Oxalis hedyssaroides* Kunth., *Nolina longifolia* (Karw. Ex Schult. & Schult.f.) Hemsl., *Hibiscus rosa-sinensis* L., *Codiaeum variegatum* (L.) Rumph. ex A. Juss., *Chlorophytum comosum* (Thunb.) Jacques, *Dieffenbachia seguine* (Jacq.) Schott та види роду *Phalaenopsis* Blume (рис. 5).



Рис. 1. Загальний вигляд зали засідань Будинку Уряду України до реконструкції (<http://inpress.ua/ru/economics/14281-zasedanie-kabmina-kommunalnye-tarify-ponizit-chislo-turistov-povysit-osoboe-vnimanie-gorlovke>)



Рис. 2. Офіційна зала засідань Будинку Уряду України після реконструкції (<http://www.center.net.ua/news/396>)



Рис. 3. Загальний вигляд великої зали Клубу Кабінету Міністрів України (<http://www.center.net.ua/news/396>)



Рис. 4. Загальний вигляд зали Клубу Кабінету Міністрів України до реконструкції (<http://www.center.net.ua/news/396>)



Рис. 5. Загальний вигляд зали Клубу Кабінету Міністрів України після реконструкції (<http://rian.com.ua/columnist/20151024/375735012.html>)

Естетичне оформлення вільного простору в приміщеннях створюється за допомогою фітодизайну закритого середовища, що дає змогу досягти максимального комфорту й затишку.

Ми запропонували сучасні фітокомпозиції, прийоми та засоби озеленення для організації та візуальної гармонізації інтер'єрів Будинку Уряду України, що дадуть змогу підвищити естетичність і поліпшити санітарно-гігієнічні показники середовища за допомогою привнесення природних обрисів і властивостей. Проаналізовано видовий склад рослин, які було використано для фітодекорування приміщень Будинку Уряду України, та

встановлено, що він налічує 22 види декоративно-листяних і красивоквіткових рослин. Було запропоновано його розширення шляхом залучення деяких представників родин *Araliaceae*, *Araceae*, *Arecaceae*, *Begoniaceae*, *Campanulaceae*, *Nephrolepisaceae* та на їх основі розроблено проектні пропозиції фітодекорування окремих приміщень Будинку Уряду України.

Сучасні прийоми фітодизайну полягають у тому, що використання рослин у житлових приміщеннях, офісах, кабінетах допомагає формувати умови, наближені до природного середовища, що позитивно впливатиме як на характер сприйняття людиною кожної ком-

позиції окремо, так і загалом на до-
вколишній простір (Kniazeva, 2013).
Рослини, які використовують для вну-
трішнього озеленення, мають бути
стійкими до умов оточення та гармо-
нійно поєднуватись із загальним сти-
лем оформлення інтер'єру.

Потрібно зауважити, що за фраг-
ментарного фітодекорування інтер'єрів
внутрішніх приміщень доцільно вико-
ристовувати солітерні рослини або їх
групи. Оскільки рослини привертають
до себе особливу увагу, необхідно оби-
рати їм місце, враховуючи освітлення,
температуру і вологість повітря, його
забруднення шкідливими речовинами
(Porova, 2012). Крім того, рослини ма-
ють відповідати умовам приміщення
за розмірами, структурою, силуетом,
малюнком, кольором і забарвленням
листіків. Для цього типу озеленення
використовують великі за розміром
рослини із великими листками (пред-
ставники родини *Arecaceae* та родів
Monstera Adans., *Aralia* L., *Philoden-
dron* Schott, *Ficus* L., *Cordyline* Comm.
Ex R. Br., *Agave* L., *Sansevieria* Thunb.),
доповнюючи видами меншого розміру
(*Aspidistra* Ker Gawl., *Aglaonema* Schott,
Pilea Lindl., *Chlorophytum* Ker Gawl.,
Oxalis L., *Begonia* L. *Hedera* L. та ін.)
(Porubynovskaia, 1974). Кашпо та кон-
тейнери, в яких вирощують рослини,
мають гармоніювати з архітектурою
конкретного приміщення за формою,
розміром, кольором, матеріалом,
а верхній шар ґрунту доцільно декору-
вати мохом, галькою, керамзитом, піс-
ком або ґрунтово-покровними росли-
нами (Artiushyn, 1982; Orlova, 2011).

Ми спроектували фітокомпозицію
в Будинку Уряду України у приміщен-
ні Малої зали (рис. 6). Асортимент
складається з рослин *C. comosum*, який
вирізняється декоративністю і фітоер-
гономією, komponується за габітусом
з усіма іншими рослинами. *A. commu-
tatum* створює вертикальну вісь май-

бутньої фітокомпозиції, є досить неви-
багливим до рівня освітлення і не по-
требує частого поливу. *Nephrolepis
cordifolia* (L.) C. Presl. прикрашатиме
композиції своєю пишністю, завдяки
формі ажурних листків. Цю компози-
цію в майбутньому буде розташовано
в центрі Малої зали Будинку Уряду
України. В цьому приміщенні низький
рівень освітлення, тому ми підбрали
асортимент рослин, невибагливих до
рівня інсоляції (Rak, 2009). Вважаємо,
що така високодекоративна фітокомпо-
зиція доповнюватиме дизайн Малої
зали Будинку Уряду України.



Рис. 6. Проектна пропозиція щодо
фітодекорування Малої зали Будинку
Уряду України: 1 – *A. commutatum*,
2 – *C. Comosum*, 3 – *N. cordifolia*

Фітокомпозиція для оформлення
зали засідань у приміщенні Клубу Бу-
динку Уряду України (рис. 7) є про-
стою за асортиментом, невибагливою
до світла, поливу, декоративною та не
потребує ретельного догляду (Smugno-
va, 2015). Фітокомпозицію буде сфор-
мовано у модулях прямокутної форми
у регулярному стилі. Асортимент міс-
тить види *S. wallisii* та *N. cordifolia*.
Рослини вирізняються фітонцидними
властивостями, а різні відтінки зеле-
ного кольору позитивно впливатимуть
на емоційний стан працівників.



Рис. 7. Проектна пропозиція фітодекорування приміщення зали засідань Клубу Будинку Уряду України: 1 – *S. wallisii*, 2 – *N. cordifolia*



Рис. 8. Проектна пропозиція фітодекорування вхідної зони Будинку Уряду України: 1 – *A. andreaeanum*, 2 – *N. cordifolia*

Також ми запроектували фітокомпозиції для вхідних зон Будинку Уряду України (рис. 8). Для створення фітокомпозиції пропонуємо невибагливі рослини, які добре зростають в умовах обмеженої інсоляції (Фомуна, 2015): *N. cordifolia* і представники родини *Araceae* Juss. – *Anthurium andraeanum*

Linden ex Andre, що завдяки своїм незвичним червоним приквітковим покривалам виступатимуть як головні акценти. Встановлено, що ці рослини підвищують працездатність, добре впливають на навколишнє середовище і добре адаптовані до закритих приміщень.

Розроблено проектну пропозицію щодо оформлення зали преси і журналістики (рис. 9). Формували її на основі гравійних піддонів, і асортимент підібрано так, щоб агротехніка догляду за фітокомпозицією не передбачала складних і частих операцій. Для її створення добирали невибагливі рослини, що мають фітонцидні властивості та здатні позитивно впливати на мікроклімат середовища (Tsvetkova, 2015), – *Chamaedorea elegans* Mart., *S. wallisii*, *N. cordifolia* і *Begonia semperflorens* Link & Otto.



Рис. 9. Проектна пропозиція фітодекорування зали преси і журналістики Будинку Уряду України: 1 – *C. elegans*, 2 – *N. cordifolia*, 3 – *S. wallisii*, 4 – *B. semperflorens*

Для добре освітлених приміщень Будинку Уряду України ми пропонуємо



Рис. 10. Проектна пропозиція фітодекорування приміщення кімнати відпочинку Будинку Уряду України: 1 – *S. actinophylla*, 2 – *B. semperflorens*

фітокомпозиції, які komponуються із *Schefflera actinophylla* (Endl.) Harms, що має наближену до колоноподібної форму крони, та *B. semperflorens* (рис. 10). Представники родини *Araliaceae* Juss. ефектно виглядають у кімнатних приміщеннях, їхній широкий асортимент та різноманіття будови, форми та забарвлення листкових пластинок підкреслюють і надають неповторності інтер'єру. *B. semperflorens* вирізняється червоними барвами квітів та яскраво-зеленими листками (Shakhov, 2006).

Ми розробили проектні пропозиції транзитних приміщень із використанням ще одного представника родини *Araliaceae* – *H. helix* (рис. 11). Вічно-зелена дерев'яниста ліана, що в'ється, або сланка, у природі може досягати 30 м у довжину та має велику кількість культиварів із різними декоративними особливостями (нетиповою формою та забарвленням листків, характером краю листової плас-

тинки) (Volkova, 2012). Гнучкі, розгалужені стебла плюща та численні повітряні корені-присоски здатні, прикріплюючись до сторонніх предметів, піднімати та утримувати рослину на висоті. Рослина є тіневитривалою, тому добре зростатиме у напівтіні, біля вікна північної частини приміщення, але не витримує потрапляння прямих сонячних променів (Hriunvald, 2006; Tsvetkova, 2011).

Для оформлення вхідної зони Будинку Уряду України ми пропонуємо моновидові композиції з використанням ліан родини *Araliaceae* (рис. 11), а також поєднані з ним декоративно-листяні та декоративно-квітучі види рослин (рис. 12). При створенні таких фітокомпозицій пагони рослин *H. helix* необхідно закріплювати на встановлених опорах або каркасних конструкціях, завдяки чому можна досягти бажаної форми та об'єму композиції.

Насичені, яскраво-зелені листки *H. helix* мають освіжаючий колір і за-



Рис. 11. Проектні пропозиції фітодекорування приміщень Будинку Уряду України з використанням рослин *H. helix*

спокійливий характер, вловлюють і поглинають значну частку пилу з повітря. Науковці Дрезденського університету у 2009 р. повідомляли про високу ефективність цієї рослини щодо

поглинання толуолу, октану, формальдегіду, трихлоретилену і бензолу з повітря, що сприяє поліпшенню його якісних характеристик у приміщенні (Mayrand, Clergeau & Vergnes, 2018).

Фітодизайн інтер'єрів передбачає естетичне, художнє та функціональне проектування загального вигляду простору, де значну роль відіграють декоративні рослини, які, своєю чергою, мають певне психоемоційне навантаження, що здатне позитивно впливати на настрій і працездатність людини. Отже, підбираючи асортимент для гармонійних фітокомпозицій, потрібно враховувати такі складові їхньої біоестетичної характеристики, як колір, контраст, динаміка, ритм, пропорція, масштаб, симетрія.

Висновки і перспективи. За результатами досліджень встановлено, що перші фітокомпозиції із живих рослин в інтер'єрах Будинку Уряду України з'явилися у 2003 р., що свідчило про необхідність формування функціонально-декоративного озеленення.

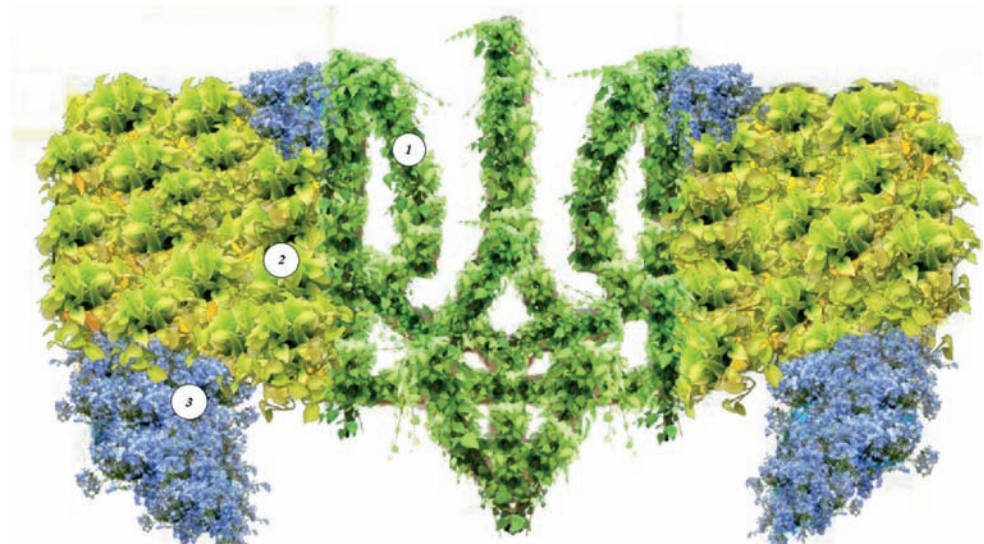


Рис. 12. Проектні пропозиції стилізації державної символіки України з використанням декоративних рослин: 1 – *H. helix*, 2 – *E. aureum* 'Neon', 3 – *Campanula isophylla* 'Blue Bali'

Видовий склад тропічних та субтропічних рослин, які є у складі фітокомпозицій інтер'єрів Будинку Уряду України, налічує 22 види декоративно-листяних і красивоkvітучих рослин. Ми пропонуємо розширити цей асортимент високодекоративних рослин шляхом залучення семи видів представників родин *Araliaceae*, *Araceae*,

Arecaceae, *Begoniaceae*, *Campanulaceae*, *Nephrolepisaceae*.

Враховуючи необхідність формування цілісної картини оздоблення інтер'єрів, ми розробили сім модельних фітокомпозицій для декорування вхідної та транзитної зон, зали засідань, зали преси та журналістики, Малої зали та окремих кімнат Будинку Уряду України.

Список літератури

- Artiushyn, L. F. (1982). *Floriculture*. Moscow: Knyga [in Russian].
- Cetti, L. (2014). *Exquisite Book of Paper Flower Transformations: Playing with Size, Shape, and Color to Create Spectacular Paper Arrangements*. New York: Abrams.
- Fomya, Y. A. (2012). *Flowers in the house. Fitodesign for your health*. Moscow: Eksmo [in Russian].
- Grodzinskiy, A. M. (1986). *Phytoncide in ergonomics*. Kyiv: Navukova dumka Publ. [in Russian].
- Hnatyuk, L. R., & Shepelyuk, K. S. (2019). Use of phytodesign in the interior of office space. *Theory and practice of design*, 17, 31–39. <https://doi.org/10.18372/2415-8151.17.14344>
- Hriunvald, G. (2006). *Houseplants: Features of growth in at home and in nature*. Saint Petersburg: Krystall [in Russian].
- Kniازهva, T. P., & Kniازهva, D. V. (2013). *Houseplants*. Moscow: Olma Medya Hrupp [in Russian].
- Kolesnykova, E. N. (2014). *Simple floriculture. Unpretentious houseplants*. Moscow: Feynyks [in Russian].
- Kosenko, I. S., Hrabovyi, V. M., Opalko, O. A., Muzyka, H. I., & Opalko, A. I. (2020). Current trends in Green Urbanism and peculiarities of multifunctional complexes, hotels and offices greening. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10 (1), 226–236. https://doi.org/10.15421/2020_36
- Kostyna-Kassanelly, N. N. (2013). *Palm trees, cacti, ferns and other exotic houseplants*. Kharkiv: Klub semeinoho dosuha [in Russian].
- Kryvonos, V. H. (2019). Formation of an aesthetic comfortable environment for public interiors by means of phytodesign. *Cultural heritage of Siberia*, 1 (27), 40–46 [in Russian].
- Kutas, E. N. (1984). *Ecological and biological features of the life of plants in the conditions of interiors*. Minsk: Nauka i tekhnika [in Russian].
- Kuznetsova, I. O., & Stepanyuk, T. O. (2013). Influence of main artistic means of composition on use of phytodesign in the interior. *Scientific Bulletin of NFTU of Ukraine*, 23 (18), 316–320 [in Ukrainian].
- Mayrand, F., Clergeau, P., Vergnes, A., & Madre, F. (2018). Vertical Greening Systems as Habitat for Biodiversity. In *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability* (pp. 227–237). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03181-9>
- Official website Club CMU. Available at <http://www.center.net.ua/news/396>.
- Official website CMU. Available at <http://rian.com.ua/columnist/20151024/375735012.html>.
- Official website of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Available at <http://inpress.ua/ru/economics/14281-zasedanie-kabminakommunalnye-tarifypozizitchislo-turistovpovysit-osoboe-vnimanie-gorlovke>.
- Orlova, T. F. (2011). *Floriculture*. Volgograd: NAA [in Russian].
- Popova, G. R. (2012). *Your houseplants plants*. Moscow: Kladez-buks, Astrel [in Russian].
- Porubynovskaia, G. V. (1974). *Decorative houseplants*. Moscow: Planeta [in Russian].
- Rak, Y. (2009). *Encyclopedia of houseplants*. Moscow: Nyolla-Press [in Russian].
- Saakov, S. G. (1983). *Greenhouse and houseplants and their care*. Lviv: Nauka [in Ukrainian].
- Shakhov, V. V. (2006). *Begonias*. Moscow: Kladez-buks [in Russian].
- Smyrnova, T. V. (2015). *Houseplants: monthly care calendar*. Moscow: Eksmo [in Russian].
- Tsvetkova, M. V. (2005). *Floriculture: professional advice*. Moscow: Knyzhkyn Dom; Moscow: Eksmo [in Russian].
- Tsvetkova, M. V. (2011). *1000 species of indoor plants. Floriculture from A to Z*. Kharkiv: Klub semeinoho dosuha [in Russian].

Strashok O. Y., Morozko A. P.
**PHYTODECORATION OF INTERIORS OF THE GOVERNMENT HOUSE
OF UKRAINE: ANALYSIS AND PROPOSALS**

The article presents the features of bioaesthetic characteristics of decorative elements of phytodesign of the closed environment. The analysis of groups of plants by functional and aesthetic purpose in the room is carried out and on their basis project offers on improvement of features of an interior of the House of the Government of Ukraine were developed. When decorating the premises with the help of ornamental plants, the specifics of the interior design of the building and the carefully selected range of plants were taken into account, taking into account the optimal options for their placement. Aesthetic design of free space in the premises is created in order to achieve maximum comfort and coziness and the phytodesign of the closed environment copes with it best. It actively influences the nature of comfort and perception of the interior and is an important component in the design of the environment, and with its help you can increase the artistic expressiveness of the interior, improve its functional organization and, importantly, improve sanitation. The interior design of modern public office buildings is characterized by the predominance of ideas of rationalism and functionality over the aesthetic appearance of the premises. The Government House of Ukraine is the administrative building of our capital, so phytodecoration of its interiors requires careful selection of the range of plants of future phytocompositions. Today, the use of plants in the formation of interiors of various premises is due to the need of man to be closer to nature due to large-scale urbanization of cities and local man-made pollution. To successfully solve these problems requires a comprehensive approach to the wide range of uses and applications of beneficial properties of plants: volatile therapy, color therapy, aesthetic therapy, aromatherapy, ionization and many other functions.

Keywords: closed space, public buildings, phytocomposition, phytodesign, phytoergonomics, project proposals.

Отримано: 2021-02-24

ЩОДО ДЕЯКИХ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕРАСНОЇ ДОШКИ З ДЕРЕВИННО-ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ РІЗНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Н. В. БУЙСЬКИХ, кандидат технічних наук

<http://orcid.org/0000-0003-3229-7235>, e-mail: nataby@meta.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Одним із напрямів перероблення деревинних відходів є їх використання у виробництві деревинно-полімерних композитів (ДПК). Актуальність деревинно-полімерних виробів зумовлено широким спектром застосування та якостями цього матеріалу. ДПК не гниє, не ушкоджується комахами та грибами, не містить шкідливих в'яжучих. Вироби з ДПК не розтріскуються, не жолобляться, водостійкі, що робить їх гарним матеріалом для виготовлення терасної дошки. Разом з тим, у терасної дошки мають бути певні механічні якості, що дасть змогу використовувати її в досить жорстких умовах – під дією вологи, УФ-випромінювання та з певним навантаженням.

Це дослідження мало на меті визначення основних фізико-механічних характеристик (щільності, міцності на згин, модуля пружності, водопоглинання, твердості, стійкості на стирання, зміни лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища) зразків терасної дошки, виготовленої з ДПК з різними наповнювачами. Для дослідження було відібрано зразки з пористої терасної дошки, у яких як наповнювач застосовано поліетилен (ПЕ) та полівінілхлорид (ПВХ).

На основі проведених експериментальних досліджень було встановлено, що щільність обох зразків є достатньо високою, близькою до максимальної; різниця є несуттєвою, однак при дослідженні мікрорізів під мікроскопом у зразках, у яких як в'яжуче застосовано ПЕ, спостерігається більша кількість порожнин, що свідчить про наявність зайвої вологи або нестачу мінеральних наповнювачів. Також це може бути ознакою деструкції полімеру. Визначено, що низка інших важливих показників, як-от міцність на згин, модуль пружності, водопоглинання, стійкість до стирання, найкращими виявилися у зразках із наповнювачем із полівінілхлориду. Найбільша різниця була у показника міцності на згин – 35 %. Також встановлено, що за твердістю обидва зразки виявилися рівнозначними. Проте модуль пружності у зразка з наповнювачем з ПЕ перевищує показники зразка з наповнювачем із ПВХ майже у 2,5 разу. Отже, на основі проведених досліджень можливо виявити низку чітких залежностей, які свідчать, що застосування полівінілхлориду як в'яжучого значно покращує фізико-механічні показники терасної дошки на основі деревинно-полімерного композиту.

Результати проведених досліджень дадуть змогу вирішувати проблеми покращення міцнісних характеристик деревинно-композиційного матеріалу для розширення асортименту на основі деревинних відходів.

Ключові слова: щільність, твердість, модуль пружності, водопоглинання, стійкість до стирання.

Актуальність та аналіз останніх досліджень. Одним із напрямів перероблення деревинних відходів є їх використання у виробництві деревинно-полімерних композитів (ДПК). Актуальність деревинно-полімерних виробів зумовлюється широким спектром застосування, починаючи від внутрішнього оздоблення будинків, офісів, будівництва альтанок, терас і закінчуючи деталями виробів автомобільної промисловості. До недоліків наявних аналогічних виробів можна віднести високу вартість, пов'язану з використанням тільки первинної сировини (Galiyev, 2015).

Ураховуючи те, що основна частка виробів із ДПК припадає на терасні настили, актуальним є завдання розроблення підлогового настилу у вигляді дощок і плит на основі деревинних відходів і вторинних полімерів, що виготовляють традиційними методами перероблення полімерних композитів. Деревинно-полімерний композит – сучасний матеріал, що містить деревинний наповнювач (50–80 %), полімери та спеціальні хімічні домішки (адитиви). Швидкий розвиток ДПК зумовлено низкою переваг, що зауважено у роботах (Klesov, 2010; Safin et al., 2014). Властивості, що мають ДПК, залежать від властивостей полімерної матриці, часточок деревини та характеру зв'язку і взаємодії між ними. ДПК не гниє, не ушкоджується комахами та грибами, не містить шкідливих в'язучих. Вироби з ДПК не розтріскуються, не жолобляться, є водостійкими. Низка авторів зазначають, що на вологостійкість більшою мірою впливає вид в'язучого, а не відсоткове співвідношення деревинного наповнювача (Khasanshin et al., 2011). Також встановлено функціональну залежність, що описує зміни водопоглинання та щільності ДПК залежно від кількості полімеру (Safin et al., 2014).

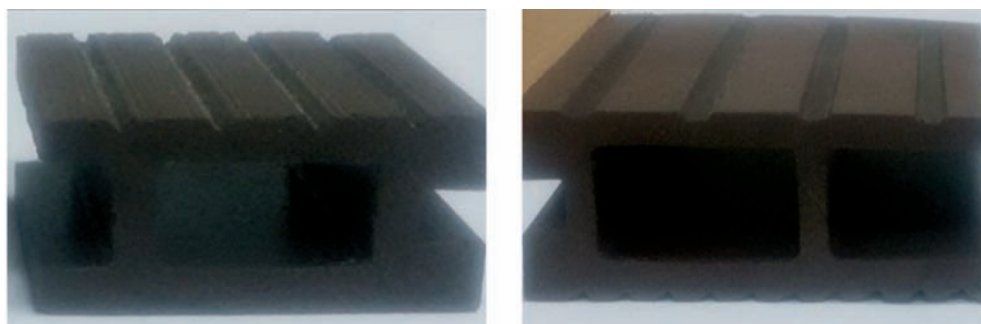
Оскільки ДПК часто застосовують як конструкційні елементи, важливого значення набувають їхні фізико-механічні якості. В літературі є досить обмежені відомості щодо залежності фізико-механічних властивостей ДПК від їхнього складу. Деякі автори зазначали, що жорсткість і міцність є задовільними тільки в тому випадку, якщо до складу матеріалу додано дороге в'язуче: це необхідно для збільшення сумісності між деревним борошном і полімером, які в іншому випадку не мали б жодних подібностей перебігу відповідних хімічних реакцій (Lu et al., 2005; Yang et al., 2012), і для створення ефективного передання навантаження між деревинними волокнами та довшолишнім полімером (Mazzanti et al., 2012).

Оскільки ДПК крихкі, до їхнього складу часто входять домішки, що підвищують ударну в'язкість (Mazzanti et al., 2019, 2019, 2020).

Matseyevich & Askadskiy (2017) помітили, що ДПК на основі матричного полімеру ПВХ мають набагато кращі властивості, ніж ДПК на основі таких матричних полімерів, як поліетилен та поліпропілен. Це стосується таких важливих показників, як міцність на згин і модуль пружності.

На основі аналізу зазначених літературних джерел було встановлено, що деревинно-полімерний композит – сучасний матеріал, який набуває все більшої популярності завдяки своїм якостям. Основний напрям досліджень – вивчення полімерної складової матеріалу та його впливу на фізико-механічні показники.

Метою дослідження є визначення основних фізико-механічних характеристик (щільності, міцності на згин, модуля пружності, водопоглинання, твердості, стійкості до стирання, зміни лінійних розмірів у разі зміни атмос-



а **Рис. 1.** Дослідні зразки терасної дошки:
а – з наповнювачем ПЕ, *б* – з наповнювачем ПВХ

ферного середовища) зразків ДПК із різним наповнювачем.

Матеріали і методи дослідження. Для дослідження було відібрано зразки пористілої терасної дошки з деревино-полімерного композиту з поперечним перетином 23×128 мм темно-коричневого кольору, пласть із тильного боку рівна, профільована з лицьової сторони з різним наповнювачем. У зразку 1 наповнювачем був поліетилен (ПЕ), у зразку 2 – полівінілхлорид (ПВХ) (рис. 1, *а*, *б*).

Оскільки ДПК – досить новий матеріал, державної нормативної бази для проведення випробування на механічні властивості немає. Щільність визначали за міжнародним стандартом ISO 1183-1. Щільність для ДПК є довідковим показником і дає непряму оцінку показників міцності, характеризує наявність у складі ДПК мінеральних наповнювачів, залежить від виду полімеру й складу композита. Потрібно зауважити, що знижена щільність прискорює процес окиснення ДПК і є результатом підвищеної пористості (наявності порожнин) дощок через наявність вологи у вихідних компонентах ДПК (насамперед, деревинних волокнах) і деструкцію полімеру під час перероблення (у разі перегріву, надмірного зсуву й/або нестачі адитивів).

Надлишкова пористість дає змогу кисню проникати у ДПК матеріал «зсередини», значно збільшуючи доступну площу поверхні поряд зі швидкістю окиснення. Ефективним каталізатором окиснення полімерів є волога.

Дуже важливим показником для терасної дошки є твердість, що характеризує контактну міцність виробу, дає змогу оцінити опір вдавлюванню й стійкість до подряпин. Величина показника залежить від типу полімерної матриці, кількості наповнювача, щільності готового композита. Твердість визначали за Шором. Застосовували методику, викладену в ГОСТ 24621-91. Для дослідження використовували індентор для дюрометра типу D (від 20 до 90) у вигляді сталюго стрижня діаметром 1,10–1,40 мм.

Межа міцності на згин – один з основних показників механічних властивостей матеріалу. Характеризує правильність обраної композиції і технологічних режимів виробництва, ефективність роботи сумісника в композиції. Величина цього показника характеризує збалансованість формули й правильність ведення технологічного процесу. Міцність на згин визначали за методиками, наведеними в EN 310 та ГОСТ 10635.

Модуль пружності при згинанні безпосередньо пов'язаний із прогином

дошки, що розміщена на опорах, за умов певного навантаження. На відміну від міцності на згин композитних дощок, що, як правило, значно перевищує вимоги будівельних норм за звичай прийнятого кроку вкладання лаг (приблизно 40 сантиметрів (16 дюймів) від центру), модуль пружності при згинанні композитних дощок на полімерній основі часто накладає певні обмеження на їх монтаж: крок вкладання лаг не має перевищувати 1/360 прогону. Цей показник не нормується, проте за такої щільності має бути більшим за 1300 МПа.

Водопоглинання характеризує геометричну стабільність і гігроскопічність ДПК-профілю. Вода є основним агресивним фактором атмосферних впливів, оскільки спричиняє розбухання матеріалу й накопичення дефектів, особливо за перепадів температур від (-) до (+). Для визначення водопоглинання застосовували метод дослідження, наведений в EN 1087-1 та ГОСТ 32399.

Величина показника водопоглинання залежить від рецептури й гомогенізації композиції, свідчить, наскільки компоненти розподілилися та сполучилися в повному обсязі деревинного наповнювача.

Водопоглинання матеріалів із ДПК може призвести до: деформування дощок, розбухання й спучування, поширення цвіль. Крім того, насичення дощок ДПК водою іноді знижує модуль пружності при згинанні дощок, отже, спричиняє більший прогин під навантаженням. Поглинання води призводить також до швидшого руйнування дощок, окиснення (вода є каталізатором окиснення полімерів) та інших негативних наслідків. ДПК-матеріали поглинають воду через їхню пористість (порожнини).

Зразки терасної дошки з ДПК спочатку кондиціонували до постійної маси, потім витримували у воді (рН

7±1) за температури 20 ± 1 °C протягом 72 годин. У воді зразки встановлювали на кромку так, щоб до стінок і дна ємності було не менше ніж 15 мм. Після витримування зразки виймали та протирали фільтрувальним папером. Висушені зразки розміщували у морозильній камері з температурою мінус 12 °C на 24 години. Потім зразки виймали і встановлювали у сушильну камеру на 70 годин із температурою 70 °C. Після висушування і охолодження зразків протягом 4 годин цикл повторювали. Всього було проведено три цикли випробування.

Важливими показниками для терасної дошки є швидкість зношування (стирання) та зміна лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища (висока вологість/низька вологість), мм/100 мм довжини. Дослідження проводили за методикою, наведеною в ГОСТ 9590. Зношувальність визначали на ротаційному абразиметрі Taber 5155. Зразки попередньо зважували з точністю до 0,001 г та закріплювали на приладі. При досягненні 500 об/хв випробування зупиняли і знову зважували зразки з точністю до 0,001 г. Швидкість зношування розраховували за формулою.

Перед визначенням зміни лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища довжину зразків вимірювали з точністю до 0,02 мм. По три зразки розміщували в сушильну шафу і витримували за температури 70 ± 2 °C протягом 24 годин і три зразки в камері з відносною вологістю 92 ± 3 % та температурою 40 ± 2 °C протягом 96 годин.

Результати дослідження та їх обговорення. Щільність обох зразків достатньо висока, близька до максимальної; різниця несуттєва, але при дослідженні мікрорізів під мікроскопом за 600-кратного збільшення у зразку № 1 спостерігається більша кількість по-

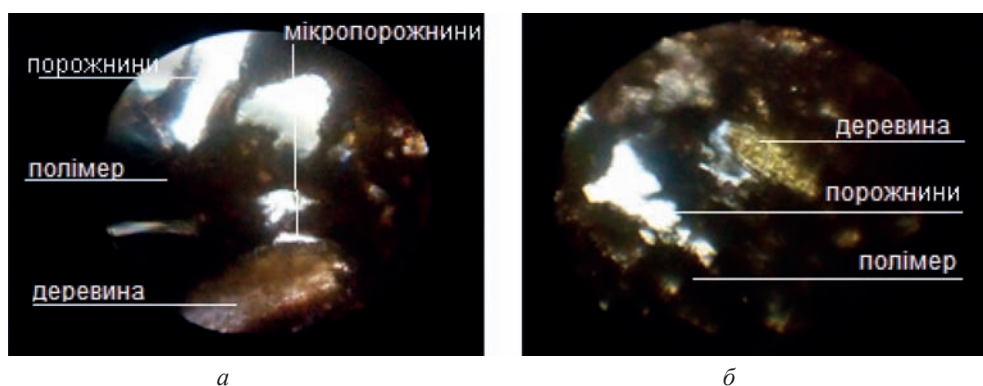


Рис. 2. Знімки зрізів ДПК-дошки під мікроскопом за 600-кратного збільшення:
а – зразок № 1, дошка з більшими порожнинами;
б – зразок № 2, дошка з меншими порожнинами

рожнин (рис. 2а), що свідчить про наявність зайвої вологи в дошці або нестачу мінеральних наповнювачів, а також деструкцію полімеру. У зразку № 2, який має більшу щільність на 1,91 % і меншу пористість (рис. 2б), спостерігається наявність металу, що може прискорити процес окиснення дошки за високих температур.

У табл. 1 наведено результати визначення фізико-механічних показників дощок, виготовлених із ДПК. Як бачимо, твердість зразка № 1 незначно перевищує твердість зразка № 2 – на 5,8 %. Тому цим параметром у комплексі зразки можна вважати рівно значущими.

При дослідженні міцності на згин було встановлено, що зразок № 2 значно перевищує міцність зразка № 1, задовольняє нормативним вимогам (25 МПа) і має переваги у значному запасі міцності на згин під час експлуатації дошки.

Дослідження модуля пружності показало значне перевищення цього показника у зразка № 1 порівняно зі зразком № 2. Значення модуля пружності зразка № 2 можна вважати задовільним, але недостатнім для наявної щільності.

У процесі експерименту з визначення водопоглинання спостерігалось інтенсивне викришування зразків дошки

1. Результати експериментального визначення фізико-механічних показників терасної дошки з ДПК

Показник	Значення параметрів	
	Зразок № 1 ДПК (ПЕ)	Зразок № 2 ДПК (ПВХ)
Щільність, г·см ⁻³ (кг·м ⁻³)	1,258 (1258)	1,282 (1282)
Твердість за Шором (од. Шора за D Дюрометром від 20 до 90)	62,1	58,5
Міцність на згин, МПа (кгс·см ⁻²)	17,1 (174,42)	26 (265,2)
Модуль пружності (жорсткість), МПа	2646	1053
Водопоглинання, %	2,63	2,02
Стирання (швидкість зношування, мг/100 об)	0,08	0,05
Зміна лінійних розмірів при зміні атмосферного середовища (висока вологість/низька вологість), мм/100 мм довжини	0,72/1,6	0,5/0,3

№ 1, на відміну від цілісності зразків № 2. Також під час підвищення вологості та температури, а також за механічних пошкоджень спостерігалось виділення стійкого неприємного специфічного запаху із зразків дошки № 1. За цим показником зразок № 1 значно перевищує зразок № 2 (на 30,2 %), що вказує на те, що в умовах підвищеної вологості й атмосферного впливу кращі показники за водопоглинанням забезпечить дошка № 2.

Із табл. 1 видно, що зношуваність зразка № 1 значно перевищує зношуваність зразка № 2, що свідчить про більшу стійкість до стирання дошки № 2. Це зумовлюється також армуванням металевими елементами.

Дослідження такого важливого показника для терасної дошки, як зміна лінійних розмірів при зміні умов експлуатації, показало, що подовження 100 мм дошки із ДПК № 1 склало 0,72 мм і 1,6 мм, а зразка № 2 – 0,5 мм і 0,3 мм. Отже, зразок № 2 виявився більш стійким до змін лінійних розмірів в умовах високої вологості (92 ± 3 %) та температури середовища (40 ± 2 °C) і високих температур (70 ± 2 °C) із низькою вологістю. Треба зауважити, що загалом цей показник дощок із ДПК значною мірою непередбачуваний. Підвищення температури на кожні 10 °F ($\approx 3,6$ °C) прискорює окисну деструкцію ДПК приблизно у три рази. Спекотного сонячного дня за температури повітря 90 °F (32 °C) поверхня настилу з ДПК-дощок нагрівається приблизно до 130–140 °F (54–60 °C).

При 110 °F (43 °C) температура поверхні настилу сягає 160 °F (70 °C), а термічне окиснення полімеру в ДПК прискорюється у 240 раз. Два потужні стабілізуючі фактори сприяють продовженню терміну служби композитних терасових дощок – це щільність ДПК і введення антиоксидантів.

Висновки і перспективи. Отримані результати експериментальних досліджень дають можливість оцінити фізико-механічні показники терасної дошки з ДПК з різним наповнювачем. За результатами дослідження встановлено, що якісні показники терасної дошки з деревинно-полімерного композиту мають достатньо високий рівень та загалом відповідають встановленим нормам. Водночас зауважено, що терасна дошка з ДПК із в'язучим на основі ПЕ має гірші показники, що деякою мірою можна пояснити наявністю великої кількості порожнин. Наявність порожнин свідчить про зайву вологу в дошці або нестачу мінеральних наповнювачів, а також деструкцію полімеру. Отже, на основі проведених досліджень можна виявити низку чітких залежностей, які свідчать, що застосування полівінілхлориду як в'язучого значно покращує фізико-механічні показники терасної дошки на основі деревинно-полімерного композиту.

Результати проведених досліджень допоможуть вирішувати проблеми покращення міцнісних характеристик деревинно-композитного матеріалу для розширення асортименту на основу деревинних відходів.

Список літератури

- Galiyev, I. M. (2015). *Creation of multilayer flooring based on wood-polymer composites*. Kazan [in Russian].
- Khasanshin, R. R., Lashkov, V. A., Safin, R. R., & Valiyev, F. G. (2011). Heat treatment of wood filler in the production of composite materials. *Technological University Bulletin*, 20, 150–154 [in Russian].
- Klesov, A. A. (2010). *Wood-polymer composites*. Sankt-Peterburg: Nauchnyye osnovy i tekhnologii [in Russian].
- Lu, J. Z., Wu, Q., & Negulescu, I. I. (2005). Wood-fiber/high-density-polyethylene composites: Coupling agent performance. *J. Appl. Polym. Sci*, 96, 93–102. <https://doi.org/10.1002/app.21410>

- Mazzanti, V., Pariante, R., Bonanno, A., Ruiz de Ballesteros, O., Mollica, F., & Filippone, G. (2019). Reinforcing mechanisms of natural fibers in green composites: Role of fibers morphology in a PLA/hemp model system. *Compos. Sci. Technol*, 180, 51–59. <https://doi.org/10.1016/j.compsci-tech.2019.05.015>
- Mazzanti, V., Malagutti, L., Santoni, A., Sbardella, F., Calzolari, A., Sarasini, F., & Mollica, F. (2020). Correlation between mechanical properties and processing conditions in rubber-toughened wood polymer composites. *Polymers*, 12, 278. <https://doi.org/10.3390/polym12051170>
- Mazzanti, V., Malagutti, L., Blanchard, M., Yi S., & Mollica, F. (2019). In-line rheological properties of rubber toughened Wood Polymer Composites. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci.*, 634:012043. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/634/1/012043>
- Mazzanti, V., Cavalcoli, V., Balbo, A., & Mollica, F. (2019). Hygrothermal degradation effects on a rubber toughened WPC. *Mater. Today*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.062>
- Matseyevich, T. A., & Askadskiy A. A. (2017). Mechanical properties of a terrace board on the basis of polyethylene, polypropylene and polyvinylchloride. *Construction: science and education*, 3 (24), 48–49. <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2017.3.4>
- Safin, R. R., Galiyev, I. M., & Akhmadiyev, M. G. (2014). Modeling the properties of highly filled wood-polymer composite materials obtained by extrusion. *Kazan Technological University Bulletin*, 20, 150–154 [in Russian].
- Yang, T. H., Leu, S. Y., Yang, T. H., & Lo, S. F. (2012). Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood-plastic composites (WPCs). *Constr. Build. Mater*, 29, 120–127.
- Leu SY, Yang TH, Lo SF, Yang TH (2012) Optimized material composition to improve the physical and me-chanical properties of extruded wood-plastic composites (WPCs). *Constr Build Mater* 29:120-127.

Buiskykh N. V.

REGARDING SOME MECHANICAL PROPERTIES OF TERRACE BOARD MADE OF WOOD-POLYMER COMPOSITES WITH DIFFERENT FILLER

One of the areas of wood waste processing is their use in the production of wood-polymer composites (WPC). The relevance of wood-polymer products is due to the wide range of applications and qualities of this material.

WPC does not rot, is not damaged by insects and fungi, does not contain harmful binders. Products from the duodenum do not crack, do not gouge, are waterproof, which makes them an excellent material for manufacturing a terrace board. However, the terrace board must have certain mechanical qualities, which will allow it to be used in fairly harsh conditions - under the action of humidity, UV radiation and under a certain load.

This study aimed to determine the main physical and mechanical properties (density, strength at static bending, modulus of elasticity, water absorption, hardness, abrasion resistance, changes in linear dimensions with changing atmospheric environment) samples of terrace board manufacturing from duodenum with different fillers. Samples from a hollow terrace board, which were filled with polyethylene (PE) and polyvinyl chloride (PVC), were used for the study.

Based on experimental studies, it was found that the density of both samples is quite high, close to the maximum; the difference is not significant, but when examining microslices under a microscope in samples with PE as a binder, a larger number of voids is observed, indicating the presence of excess moisture or lack of mineral fillers. It may also indicate the destruction of the polymer.

It was determined that a number of other important indicators such as strength at static bending, modulus of elasticity, water absorption, abrasion resistance were the best in the samples with a filler of polyvinylchloride. The greatest difference was in the bending strength index and was 35 %. It was also found that the hardness of both samples were equivalent. However, the modulus of elasticity of the sample with a filler with PE exceeded the performance of the sample with a filler with PVC by almost 2.5 times.

Thus, based on the research, it is possible to identify a number of clear relationships that indicate that these of polyvinylchlorideas a binder significantly improves the physical and mechanical properties of the terrace board based on wood-polymer composite.

The results of the research will solve the problem of improving the strength characteristics of wood-composite material to expand the range based on wood waste.

Keywords: density, hardness, modulus of elasticity, water absorption, abrasion resistance.

Отримано: 2021-03-24

ІМПУЛЬСНЕ СУШІННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ ДЕРЕВИНИ ДУБА ЧЕРВОНОГО

О. О. ПІНЧЕВСЬКА, доктор технічних наук, професор
<https://orcid.org/0000-0001-8123-5490>, e-mail: olenapinchavska@nubip.edu.ua

А. К. СПІРОЧКІН, кандидат технічних наук, доцент
<https://orcid.org/0000-0002-2647-3784>, e-mail: spirochkin@nubip.edu.ua
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Визначено причини здешевлення виготовленої з деревини дуба ламелі – лицьового покриття дошок для підлоги. Встановлено, що під час сушіння деревини дуба за низьких температур виникає накопичення вологи у зоні біля поверхні – так зване умовне джерело вологи. Це призводить до утворення світлих плям усередині пило матеріалів, які довгий час зберігались в умовах підвищеного ступеня насичення повітря та мали низьку швидкість видалення вологи. Для уникнення цього дефекту запропоновано інтенсифікувати процес сушіння шляхом використання імпульсних режимів, які складаються з періодів нагрівання та охолодження деревини. У період нагрівання температура матеріалу поступово підвищується, деревина отримує тепловий удар і накопичує тепло, сушіння відбувається лише за рахунок градієнта вологості. Під час охолодження температура середовища знижується, ступінь насичення зростає і, відповідно, підвищується рівноважна вологість. У результаті поверхневі шари матеріалу зволожуються, волога по товщині деревини вирівнюється, відбувається релаксація сушильних напружень. У лабораторних умовах проведено експериментальні дослідження імпульсного сушіння заготовок із деревини дуба червоного товщиною 30 мм і 50 мм. Визначено амплітуду коливання температури – 30 °С та доцільність проведення циклічного нагрівання лише до досягнення середньої вологості матеріалу 20 %, після чого деревину потрібно висушувати до необхідної кінцевої вологості за сталої температури нагрівання. Запропоновано метод розрахунку тривалості імпульсного сушіння, який враховує особливості кінетики періодів нагрівання і охолодження пилопродукції з деревини дуба червоного товщиною 30 мм і 50 мм. Рекомендовано розглядати процес кінетики зміни температури як суму процесів циклічного нагрівання, що відбувається за поліноміальною залежністю, та циклічного охолодження, що відбувається за експоненціальною залежністю. Визначено, що співвідношення тривалості циклічного нагрівання до тривалості циклічного охолодження становить 1/3. З використанням тепломасообмінних критеріїв та визначеного експериментальним шляхом коефіцієнта вологопровідності деревини дуба червоного зроблено адекватну модель розрахунку температури деревини та відносної вологості повітря протягом циклів нагрівання та охолодження деревини. На основі отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано імпульсні режими сушіння заготовок дуба червоного різної товщини, які запобігають утворенню білих плям усередині матеріалу. Зауважено скорочення процесу у 1,5–2,4 рази та зменшення енерговитрат у 1,53 рази. Визначені експериментальним шляхом показники залишкових напружень, величини перепаду напружень у заготовках після сушіння та величини межі міцності на статичний згин показали, що якість сушіння їх відповідає I категорії якості згідно з ДСТУ 4921:2008. Порівняння отриманих значень із максимально допустимими значеннями межі міцності на розтяг поперек волокон у тангенціальному напрямку $\sigma_{\perp} = 6,5$ МПа показало запас міцності 25 %, що свідчить про можливість застосування імпульсних режимів сушіння для якісного сушіння заготовок із деревини дуба червоного.

Ключові слова: дуб червоний (*Quercus rubra*), коефіцієнт вологопровідності, імпульсні режими, якість сушіння, термін сушіння.

Актуальність. У виробників покриття для підлоги сьогодні набуває популярності швидкоростучий інтродуцент дуб червоний (*Quercus rubra*). Культури з участю дуба червоного у лісах держлісфонду Київського Полісся займають площу 2251 га (Poliakova, 1999).

До покриттів підлоги відносять як паркетну заготовку з масивної деревини, такі і покриття у вигляді паркетних дошок, що складаються з декількох шарів і мають лицьове покриття у вигляді ламелей із деревини твердих листяних порід. У технології виготовлення ламелей застосовують такі способи, як попередній розкрій пилопродукції на ламель і подальше її висушування, що супроводжується значними трудовитратами на формування сушильних пакетів, та попереднє сушіння пилопродукції з подальшим виготовленням ламелі.

Для сушіння пилопродукції сьогодні використовують конвекційні камери, що обігріваються гарячою водою. Під час сушіння деревини дуба за низьких температур виникає накопичення вологи у зоні біля поверхні – так зване умовне джерело вологи (Pinchevska, Spirochkin, Sedliacik & Oliynyk, 2016). Це призводить до утворення світглих плям усередині пиломатеріалів, які довгий час зберігались в умовах підвищеного ступеня насичення повітря та мали низьку швидкість видалення вологи. Утворення плям знижує вартість ламелі. Позбавитись цього браку можна за рахунок інтенсифікації процесу сушіння шляхом підвищення температури сушильного агента. Однак тривала дія високої температури $t_{нагр} > 60$ °С на деревину з вологістю більше ніж $W_{ном} > 30$ % сприяє різкому зменшенню її міцності. Через це постала необхідність розроблення раціональних режимів проведення процесу

сушіння пилопродукції з деревини дуба червоного.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Видаленню вологи з твердих листяних порід деревини притаманні певні особливості: значна тривалість процесу; вибагливість до режимних параметрів сушіння, зумовлених температурно-вологісними межами; ризик виникнення браку чи зміни кольору у процесі сушіння тощо (Pinchevska, Koval & Marchenko, 2012; Wegener & Fengel, 1987). Це передусім пояснюється анатомічною будовою деревини – речовинами, що утворюють мікроструктуру цих порід (Vintoniv & Uholiev, 2007).

Одним зі шляхів інтенсифікації процесу сушіння пилопродукції є використання імпульсних режимів, сутність яких полягає у чергуванні періодів нагрівання та охолодження (Miliū & Kolin, 2008; Remond & Perre, 2008). Під час сушіння імпульсними режимами цикли нагрівання та охолодження відіграють різну роль у процесах тепломасоперенесення (Lykov, 1956). У період нагрівання температура матеріалу поступово підвищується, деревина отримує тепловий удар і накопичує тепло, сушіння відбувається лише за рахунок градієнта вологості. Під час охолодження температура середовища знижується, ступінь насичення зростає і, відповідно, підвищується рівноважна вологість. Температура всередині деревини перевищує температуру поверхневих шарів. За рахунок цієї різниці в деревині виникає позитивний градієнт температури, що зумовлює міграцію вологи з більш нагрітих шарів до менш нагрітих. У результаті поверхневі шари матеріалу звожуються, волога по товщині деревини вирівнюється, відбувається релаксація сушильних напружень (Pleschberger, Hansmann, Müller & Teischinger,

2013). Оскільки у період охолодження деревини не витрачається енергія, то це призводить до значного зменшення її витрат (Kosarin, 2012; Miliū & Kolin, 2008) та зменшення собівартості процесу на 24 % (Kosarin, 2012). Щодо впливу періодичного нагрівання на тривалість сушіння висловлюють неоднозначні думки, зокрема, скорочення процесу у 1,5–2 рази для деревини бука і дуба зазначено у (Lubovitsly, 1986), протилежну думку висвітлено у роботах (Bond & Espinoza, 2016; Salin, 2003). Проте усі дослідники зауважують покращення якості сушіння.

Для визначення кількісних значень параметрів імпульсних режимів сушіння пилопродукції потрібно враховувати величину температури і вологості сушильного агента під час нагрівання, визначити безпечну для якості сушіння амплітуду коливання температури та вплив рівня температури нагрівання на механічні властивості матеріалу. Періодичність циклів «нагрівання – охолодження» під час сушіння доцільно проводити лише у період, коли деревина містить вільну вологу. Подальше застосування таких циклів не впливає на швидкість видалення зв'язаної вологи (Pleschberger, Hansmann, Muëller & Teischinger, 2013; Miliū & Kolin, 2008). Після досягнення деревиною вологості $W_{ном} = 20$ % температуру сушильного агента слід підтримувати на постійному рівні до досягнення пилопродукцією заданої кінцевої вологості (Welling, Riehl & Zerhau, 2004; Folvik & Magnar, 2004).

В основу створення імпульсних режимів покладено принцип переривчастих процесів, що спостерігаються за атмосферного сушіння або сушіння з використанням сонячної енергії у геліосушарках (Тепнадзе, 1986; Hasan & Langrish, 2016), коли деревина вдень нагрівається, а вночі охолоджується. Застосування імпульсних режимів, на

відміну від сушіння в геліосушарках, дає можливість регулювати параметри сушильного агента залежно від характеристики висушуваного матеріалу. Складність полягає у визначенні раціональних режимів, оскільки відомі аналітично розраховані параметри відрізняються як за рівнем температури та амплітудою її коливань, рівнем відносної вологості, так і за тривалістю циклів «нагрівання – охолодження» навіть для пилопродукції однієї породи і товщини (Kosarin, 2012; Shyshkina, 2006). Отже, на сьогодні немає теоретично підтверджених та експериментально перевірених режимів інтенсифікованого сушіння деревини дуба червоного, які б не викликали утворення «умовного джерела вологи», що спричиняє виникнення світлих плям у внутрішніх шарах пилопродукції.

Метою дослідження є визначення параметрів раціонального режиму сушіння пилопродукції з деревини дуба червоного у процесі імпульсного сушіння, що забезпечать якісне сушіння деревини зі збереженням механічних властивостей.

Матеріали і методи дослідження. Для дослідження основних режимних параметрів обрано заготовки дуба червоного без видимих дефектів товщиною 30 мм і 50 мм, що відповідає товщині промислових пиломатеріалів, які найчастіше використовують у технології виготовлення ламелі. Ширина експериментальних зразків становила 85–90 мм, середня початкова вологість коливалася у межах 45–50 %. Зразки висушували до вологості 7–8 %. Сушіння проводили у лабораторному сушильному пристрої, обсягом завантаження 0,12 м³ щільного матеріалу, оснащеному системою автоматичного керування процесом із підтримкою швидкості циркуляції сушильного агента на рівні 1,2 м/с. Температуру всередині зразків вимірювали за допо-

могою термопар. Для уникнення швидкого видалення вологи і, відповідно, розтріскування матеріалу під час нагрівання у камеру подавали насичену пару.

Для обчислення показника внутрішніх напружень висушених заготовок за відносною деформацією зубців силових секцій використовували методику ДСТУ 4921:2008 та ENV 14464:2002. Величини модуля пружності та пружних деформацій визначали згідно з методикою (Uholiev, 2007).

Визначення механічних властивостей висушеної деревини (межі міцності та модуля пружності за статичного згину) виконували відповідно до вказівок стандартної методики (EN 408:2010) з використанням випробувальної машини Р-5. Випробування проводили у приміщенні за вологості повітря 65 ± 5 % і температури навколишнього середовища 20 ± 2 °С.

Для розрахунку раціональних параметрів режиму сушіння запропоновано гіпотезу кінетики осцилювального сушіння, яка полягає в уявленні зміни температури матеріалу за синусоїдальним законом:

$$t_{surf} = t_{mid} + A_t \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{\tau_{per}} \cdot \tau_{dr}\right) + \frac{1}{2}(t_a - t_{in})Ki \cdot \varepsilon \cdot Ko \cdot Lu, \quad (1)$$

де t_{surf} – температура поверхні деревини, °С; t_{mid} – середнє арифметичне значеннь температури нагрівання та охолодження, °С;

A_t – амплітуда осцилювання, °С;

τ_{per} – тривалість одного циклу (нагрівання – охолодження), год;

τ_{dr} – тривалість процесу сушіння, год;

t_a – температура середовища, °С;

t_{in} – початкова температура деревини, °С;

Ki – критерій Кірпічова (Lykov, 1956);

ε – коефіцієнт фазового перетворення вологи (Horokhovsky, 2008);

Ko – критерій Косовича (Lykov, 1956);

Lu – критерій Ликова (Lykov, 1956).

Для визначення кількісних значень критерію Ликова Lu і критерію Кірпічова Ki необхідно мати кількісні значення коефіцієнтів вологопровідності деревини дуба, які визначають експериментальним шляхом. Для визначення коефіцієнтів вологопровідності використано метод контактного зволоження (Serhovsky & Rasev, 1987; Alpatkina, 1970). Для цього відібрано зразки деревини дуба червоного походженням із зони Полісся – найбільшого ареалу дубових лісів України. Загальна кількість дослідів з урахуванням отриманого (Alpatkina, 1970) коефіцієнта варіації $V_a = 7,7$ % становила 32 шт. Інші складові згаданих вище критеріїв та коефіцієнт фазового перетворення вологи визначали за відомими залежностями (Vintoniv, Sopushynsky & Teischinger, 2007; Horokhovsky, 2008; Kosarin, 2012; Shubin, 1990; Ozarkiv & Kopynets, 2006).

Результати дослідження та їх обговорення. Визначення параметрів режиму імпульсного сушіння проводили емпіричним шляхом. Параметри сушильного агента протягом нагрівання були такими: температура $t = 100$ °С, відносна вологість – $\varphi = 90$ – 100 %. Тривалість нагрівання зумовлено досягненням температури центру заготовок $t_{cep} = 85$ °С. Для визначення раціональної амплітуди коливань температури було проведено дослідження тривалості процесу у разі досягнення різних рівнів температури ($t_{ox1} = 25$ °С, $t_{ox2} = 55$ °С і $t_{ox3} = 70$ °С) охолодження. Визначено, що найбільша швидкість видалення вологи зі зразків характерна для амплітуди коливань періоду температури зразка, що дорівнює 30 °С, аналогічно з отрима-

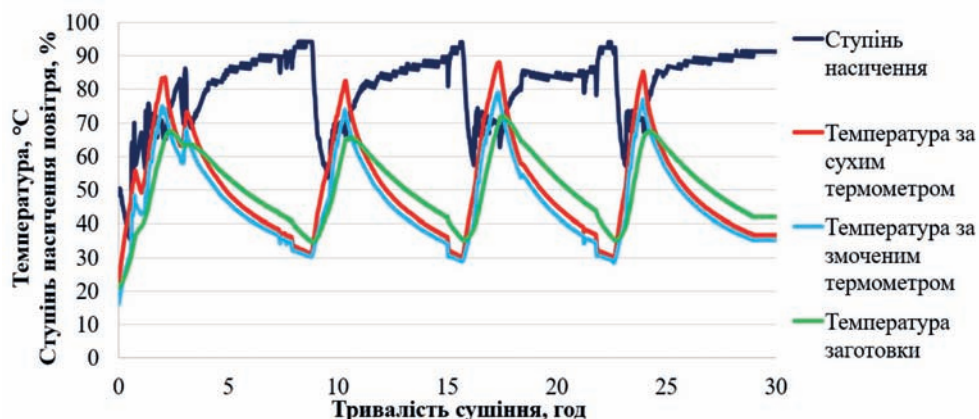


Рис. 1. Фактичні значення параметрів режиму сушіння дуба червоного завтовшки 50 мм на початковій стадії

ними (Zakharzhevsky, 1948; Minhazov & Kachalin, 1976) результатами.

Встановлено невідповідність гіпотези зміни температури за синусоїдальним законом експериментальним даним, при цьому тривалість нагрівання матеріалу є меншою майже у 3 рази за час охолодження (рис. 1).

Отримані експериментальні дані кінетики зміни температури (рис. 2) показали, що період нагрівання відбувається за поліноміальною залежністю, а період охолодження – за експоненціальною. Згідно з відмінностями кінетики зміни температури поверхні зразків, що відповідає температурі мокро-го тіла, у періоді нагрівання $t_{пов. нагр}$ год, та охолодження $t_{пов. охол}$ год, скориговано висунуто гіпотезу щодо синусоїдального закону її зміни. Запропоновано розглядати окремо періоди нагрівання та охолодження:

$$\begin{cases} t_{пов. нагр} = t_{ц. нагр} + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ц. охол}) \cdot Ki_m \varepsilon Ko Lu, \\ t_{пов. охол} = t_{ц. охол} + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ц. нагр}) \cdot Ki_m \varepsilon Ko Lu, \end{cases} \quad (2)$$

де $t_{ц. нагр}$, $t_{ц. охол}$ – температура центральної частини заготовок у період нагрівання та охолодження відповідно, °C.

Загальну тривалість сушіння $\tau_{суш}$ год, за запропонованим режимом доцільно визначити за загальною кількістю циклів, що складається з суми періодів нагрівання $\tau_{нагр}$ год, охолодження $\tau_{охол}$ год, та періоду безперервного нагрівання $\tau_{безп}$ год (від вологості $W = 20\%$ до кінцевої вологості $W_k = 6-10\%$):

$$\tau_{суш} = n \cdot (\tau_{нагр} + \tau_{охол}) + \tau_{безп}, \quad (3)$$

де n – кількість циклів процесу осцилювального сушіння, шт.;

$\tau_{нагр}$ – тривалість нагрівання, год;

$\tau_{охол}$ – тривалість процесу охолодження, год;

$\tau_{безп}$ – тривалість сушіння за безперервного нагрівання до експлуатаційної вологості матеріалу від вологості $W_{пот} = 20\%$, год.

Для визначення останнього періоду сушіння за сталої температури використано рівняння (Serhovsky & Rasev, 1987):

$$\tau_{безп} = \frac{3600 \cdot S^2}{\pi^2 \cdot a'} \ln\left(\frac{W_{поч} - W_{ріє}}{W_k - W_{ріє}}\right) \quad (4)$$

де a' – коефіцієнт вологопровідності, $см^2/с$;

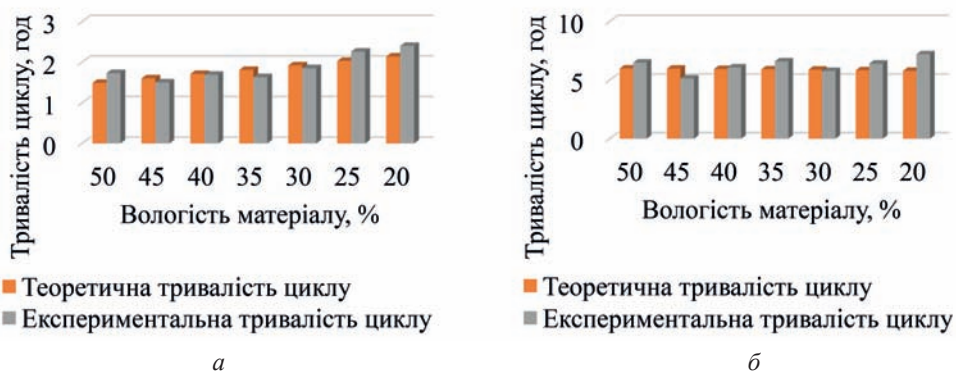


Рис. 2. Зіставлення експериментальної та розрахункової тривалості циклів сушіння заготовок товщиною 50 мм дуба червоного: а – нагрівання; б – охолодження

1. Результати перевірки адекватності моделей для значень тривалості за різних періодів сушіння

Порода	Період сушіння	<i>t</i> -критерій Стьюдента		<i>F</i> -критерій Фішера	
		<i>t</i> _{розр}	<i>t</i> _{крит}	<i>F</i> _{розр}	<i>F</i> _{табл}
Дуб червоний	нагрівання	0,20	2,09	2,13	2,82
	охолодження	0,41	2,07	1,31	2,82

$W_{поч}$, W_k , $W_{рів}$ – відповідно вологість початкова, кінцева та рівноважна, %;
 S – товщина матеріалу, см.

Для визначення кількості циклів «нагрівання – охолодження» залежно від товщини матеріалу та початкової вологості запропоновано емпіричне рівняння:

$$n = (14 \cdot W_{поч} - 85) \cdot S - 0,333 \cdot W_{поч} - 5,623. \quad (5)$$

Перевірка одержаного рівняння для рівня значущості 5 % підтвердила адекватність моделі (за критерієм Стьюдента $t_{розр} = 0,01 < t_{табл} = 2,05$; за критерієм Фішера $F_{розр} = 1,10 < F_{табл} = 2,98$).

З урахуванням особливостей кінетики циклів нагрівання і охолодження регресійне рівняння тривалості сушіння

матеріалу у період імпульсного нагріву представлено у вигляді:

$$\begin{cases} t_{нагр} = ((0,005 \cdot S - 0,0012) \cdot W_k + 0,65 \cdot S + 0,05) \cdot t_{нагр} + \\ + (0,14 - 2,00 \cdot S) \cdot W_k + 75,05 \cdot S - 6,54; \\ t_{охол} = ((1,65 \cdot S - 0,069) \cdot \ln(W_k) - 10,17 \cdot S + 0,264) \cdot t_{охол} + \\ + (4,08 - 86,48 \cdot S) \cdot \ln(W_k) + 474,92 \cdot S - 10,09, \end{cases} \quad (6)$$

де W_k – кінцева вологість матеріалу, %;
 $t_{нагр}$, $t_{охол}$ – температури нагрівання і охолодження відповідно (за табл. 1), °С.

Перевірка теоретичних рівнянь тривалості циклів нагрівання та охолодження (рис. 2) підтвердила адекватність моделей (табл. 1).

Для визначення ступеня насичення φ агента оброблення у різні періоди імпульсного сушіння запропоновано рівняння:

$$\begin{cases} \varphi_{нагр} = 100^{1 - (0,006 + 10^{-5} (120 - t_c)^{1,46}) (t_c - n \cdot t_{нагр,пот} + \frac{1}{2} (t_c - t_0) \cdot K_{im} \cdot \varepsilon_{KoLu})^{1,074 + 10^{-17} (146 - t_c)^{7,77}} \\ \varphi_{охол} = 100^{1 - (0,006 + 10^{-5} (120 - t_c)^{1,46}) (t_c - n \cdot t_{охол,пот} + \frac{1}{2} (t_c - t_0) \cdot K_{im} \cdot \varepsilon_{KoLu})^{1,074 + 10^{-17} (146 - t_c)^{7,77}} \end{cases}, \quad (7)$$

де t_c – температура середовища сушильної камери, °С.

Для розрахунку відповідних критеріїв у рівняннях (2) і (7) використано отримані експериментальним шляхом значення середньої базової щільності деревини дуба червоного – $\rho_0 = 570 \text{ кг/м}^3$, а також залежності коефіцієнтів вологостійкості від температури у тангенціальному та радіальному напрямках:

– для радіального напрямку:

$$a' = (0,1491 \cdot t - 3,4210) \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

– для тангентального напрямку:

$$a' = (0,1203 \cdot t - 2,9170) \cdot 10^{-6}. \quad (9)$$

Відповідно до отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано імпульсні режими сушіння заготовок з деревини дуба червоного (табл. 2).

За результатами проведених сушінь за запропонованими режимами виявля-

но, що у заготовок обидвох товщин недопустимих дефектів не спостерігалося, колір деревини став темнішим, більш чітко проявилася текстура. Після розкрою пиломатеріалів на ламелі білих плям не було виявлено (рис. 3).

Порівняння отриманих результатів тривалості сушіння за запропонованими імпульсними режимами із розрахунковими значеннями тривалості сушіння за традиційними безперервними режимами (Serhovskiy & Rasev, 1987) показало скорочення тривалості процесу у 1,5–2,4 рази залежно від товщини заготовок.

За відносною деформацією силових секцій визначено, що відповідно до оцінки внутрішніх напружень за ДСТУ 4921: 2008 висушені заготовки відповідають I категорії якості сушіння. Для кількісної оцінки напруженого стану зразків дуба червоного товщиною 50 мм були побудовані епюри напружень (рис. 4) і визначені величини перепаду напружень після сушіння режимом, на-

2. Рекомендовані імпульсні режими сушіння деревини дуба червоного

Середня вологість, %	Режимні параметри	Товщина пиломатеріалу, мм	
		30	50
>30	Температура середовища t_c , °С	100	80
	Температура заготовок $t_{нар}$, °С	85	65
	Температура охолодження $t_{охол}$, °С	55	35
	Ступінь насичення повітря φ , %	95	95
30–25	Температура середовища t_c , °С	100	80
	Температура заготовок $t_{нар}$, °С	85	65
	Температура охолодження $t_{охол}$, °С	55	35
	Ступінь насичення повітря φ , %	50	79
25–20	Температура середовища t_c , °С	100	80
	Температура заготовок $t_{нар}$, °С	85	65
	Температура охолодження $t_{охол}$, °С	55	35
	Ступінь насичення повітря φ , %	38	55
20–15	Температура середовища t_c , °С	100	80
	Ступінь насичення повітря φ , %	35	40
<15	Температура середовища t_c , °С	100	80
	Ступінь насичення повітря φ , %	35	38

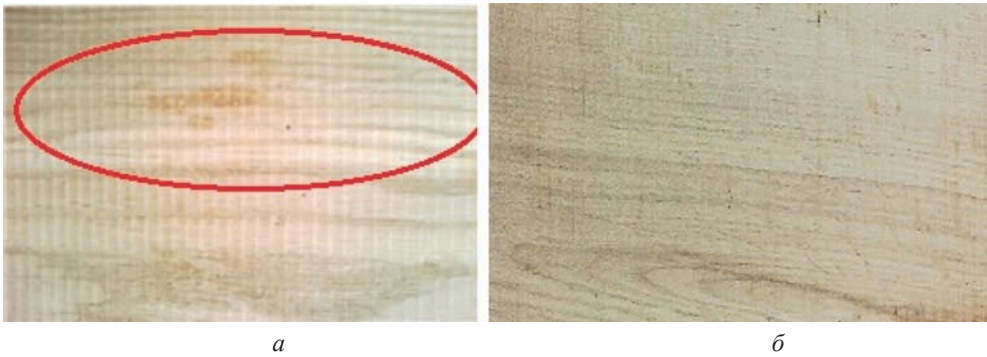


Рис. 3. Поверхня ламелей із деревини дуба, висушеного різними режимами: *a* – низькотемпературним із наявністю білих плям; *б* – циклічним – з однорідним забарвленням

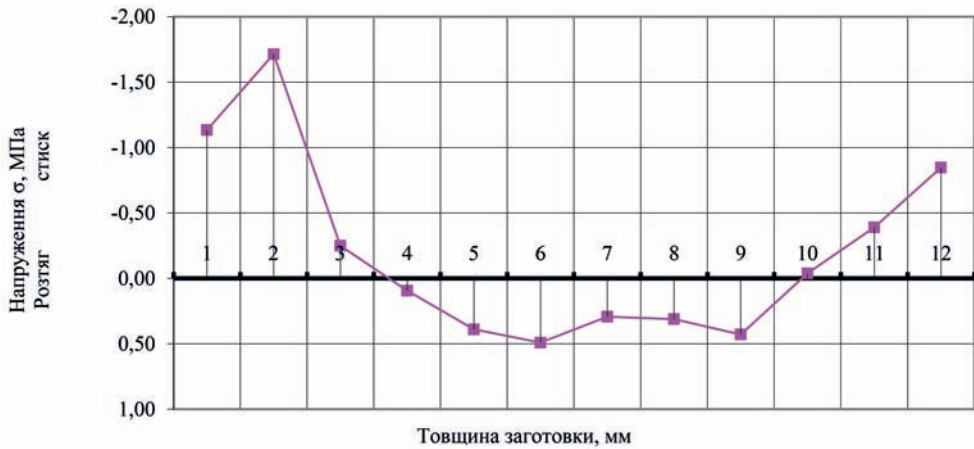


Рис. 4. Епюра залишкових напружень зразка № 2

веденим у табл. 2. Порівняння отриманих значень із максимально допустимими значеннями межі міцності на розтяг поперек волокон у тангенціальному напрямку $\sigma_m = 6,5$ МПа показало запас міцності 25 %, тобто висушені заготовки не повинні за подальшого оброблення деформуватися.

Під час випробування висушених заготовок на статичний згин виявлено, що після досягнення максимального навантаження зразки ще певний час зберігали форму перед остаточним руйнуванням. Максимальне навантаження під час руйнування за фактичної вологості зразка, висушеного кла-

сичним безперервним режимом та розробленим імпульсним, становило відповідно 3,1 кН та 3,8 кН. Отже, короточасний вплив підвищених температур сушильного агента не вплинув на механічні властивості зразків товщиною 50 мм з дуба червоного.

Висновки і перспективи. На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень імпульсного сушіння заготовок із деревини дуба червоного запропоновано раціональні режими, що дають змогу уникнути виникнення білих плям усередині заготовок. Визначено, що значення межі міцності на статичний згин висушених

заготовок із деревини дуба червоного є більшими на 15,0 % від значень межі міцності для деревини, яку висушували за класичним низькотемпературним режимом.

Реалізувати розроблені осцилювальні режими доцільно в безкалориферних сушильних установках, перевагою яких є малоінерційність за тем-

пературою, тобто сушарка швидко нагрівається та охолоджується. Використання на підприємствах розроблених режимів осцилювального сушіння в безкалориферних камерах, перевірених у промислових умовах, забезпечує економічну ефективність за рахунок скорочення тривалості сушіння та зменшення енергетичних витрат до 40 %.

Список літератури

- Alpatkina, R. P. (1970). *Investigation of the moisture conductivity of wood of the main native species*. Moscow [in Russian].
- Bond, B. H., & Espinoza, O. (2016). A Decade of Improved Lumber Drying Technology. *Current Forestry Reports*, 2 (2), 106–118. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0034-z>
- EN 408:2010 – Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties. iTeh Standards Store. (n.d.). <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/5adc63d2-e164-4b6e-9c2d-64dd8a9d6f19/en-408-2010>.
- Folvik, K., & Magnar, S. K. (2004). *Various wood properties influencing the development of checks in knots during drying*. Advances in drying of wood. NTL-papers from COST-E15 seminars 2000-2004. 99 p.
- Hasan, M., & Langrish, T. A. (2016). Development of a sustainable methodology for life-cycle performance evaluation of solar dryers. *Solar Energy*, 135, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.036>
- Hasan, M., & Langrish, T. A. (2016). Time-valued net energy analysis of solar kilns for wood drying: A solar thermal application. *Energy*, 96, 415–426. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.081>
- Horokhovskiy, A. H. (2008). *Lumber drying technology based on modeling and optimization of heat and mass transfer processes in wood*. Ekaterinburh [in Russian].
- Kosarin, A. A. (2012). *Impulse drying technology for sawn timber*. Moscow [in Russian].
- Lubovitsky, P. V. (1986). *Drying of wood with cyclic heating (experience of enterprises)*. Moscow [in Russian].
- Lykov, A. V. (1956). *Heat and mass transfer during drying*. Moscow: Hosenerhoizdat [in Russian].
- Miliü, G., & Kolin, B. (2008). Oscillation drying of beech timber – initial experiments. End user's needs for wood material and products. *The Netherlands*, 115–124.
- Minhazov, M. H., & Kachalin, N. V. (1976). *Oscillating schedules of sawn timber drying*. Moscow [in Russian].
- Ozarkiv, I. M., Kopynets, Z. P., & Atsberher, Y. L. (2006). Methods of research of Kirpichov's criterion as the main criterion of formation of cracks during the process of wood convective drying. *Nauovy Visnyk NLTU Ukraine*, 16.2, 81–85 p. [in Ukrainian].
- Pinchevska, O., Spirochkin, A., Sedliačik, J., & Oliynyk, R. (2016). Quality assessment of lumber after low temperature drying from the view of stochastic process characteristics. *Wood Research*, 61 (6), 871–883.
- Pleschberger, H., Hansmann, C., Müller, U., & Teischinger, A. (2013). Fracture energy approach for the identification of changes in the wood caused by the drying processes. *Wood Science and Technology*, 47 (6), 1323–1334. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0578-z>
- Poliakova, O. H. (1999). *Biotechnological features of red oak (Quercus rubra L) in artificial plantations of Kyiv Polissya*. Kyiv [in Ukrainian].
- Remond, R., & Perre, P. (2008). Drying strategies capable of reducing the stress level of a stack of boards as defined by a comprehensive dual scale model. *Maderas Ciencia y Tecnología*, 10, 3–18.
- Salin, J.-G. (2003). A Theoretical Analysis of Timber Drying in Oscillating Climates. *Holzforchung*, 57 (4), 427–432. <https://doi.org/10.1515/hf.2003.063>
- Serhovskiy, P. S., & Rasev, A. I. (1987). *Hydrothermal treatment and wood preservation*. Moscow: Lesnaya promyshlennost [in Russian].
- Shubin, G. S. (1990). *Drying and heat treatment of wood*. Moscow: Lesnaya promyshlennost [in Russian].
- Shyshkina, E. E. (2006). *Drying of lumber in low capacity chambers with natural air circulation*. Ekaterinburh [in Russian].
- Tepnadze, M. U. (1986). *Schedules and technology of lumber drying in solar dryers*. Moscow [in Russian].
- Ugolev, B. N. (2007). *Wood science and forestry commodity science: Textbook*. Moscow: HOU VPO MHUL [in Russian].

- Vintoniv, I. S., Sopushynsky, I. M., & Teishinger, A. (2007). *Wood science*. Lviv: Apriori [in Ukrainian].
- Wegener, G., & Fengel, D. (1987). Investigation on colour changes resulting from drying of European oakwood. *Fourth International Symposium on Wood and Pulp Chemistry*, 27 (30), 121–123.
- Welling, J., Reihel, T., & Zerhau, W. (2004). *Oscillating Drying Conditions*. Technical report.
- Zakharzhevsky, V. H. (1948). *High-speed wood drying*. Moscow: Timber industry [in Russian].
-

Pinchevska O. O., Spirochkin A. K.
OSCILLATING DRYING OF RED OAK WOOD BLANKS

The reasons for the reduction in the price of the lamella made of oak wood have been determined. It is established that during the drying of oak wood at low temperatures there is an accumulation of moisture in the near-surface zone, the so-called “conditional source of moisture”. This leads to the formation of light spots in the middle of the lumber, which have long been in conditions of high air humidity and had a low rate of moisture removal. To avoid this defect, it is proposed to intensify the drying process by using oscillating schedules, which consist of periods of heating and cooling of wood. During the heating period, the temperature of the material gradually rises, the wood receives heat stroke and accumulates heat, drying occurs only due to the moisture gradient. During cooling, the air temperature decreases, the degree of saturation increases and, accordingly, the equilibrium moisture content increases. As a result, the surface layers of the material are moistened, the moisture is leveled along the thickness of the wood, there is a relaxation of drying stresses. In the laboratory, experimental studies of oscillating drying of red oak wood blanks with a thickness of 30 and 50 mm were performed. The amplitude of temperature fluctuations is determined – 30 ° C and the expediency of cyclic heating only until the average moisture content of the material reaches 20%, after which the wood should be dried to the required final moisture content at a constant heating temperature. A method for calculating the duration of oscillating drying is proposed, which takes into account the peculiarities of the kinetics of the periods of heating and cooling of sawtimbers made of red oak wood with a thickness of 30 mm and 50 mm. It is recommended to consider the process of temperature change kinetics as the sum of the processes of cyclic heating, which occurs in polynomial dependence, and cyclic cooling, which occurs in exponential dependence. It is determined that the ratio of the duration of cyclic heating to the duration of cyclic cooling is 1/3. Using heat and mass transfer criteria and the experimentally determined coefficient of moisture conductivity of red oak wood, an adequate model for calculating wood temperature and relative humidity during wood heating and cooling cycles has been developed. Based on the obtained results of theoretical and experimental studies, oscillating drying schedules of red oak blanks of different thickness are proposed, which exclude the formation of white spots in the middle of the material. The process was reduced by 1.5–2.4 times and energy consumption was reduced by 1.53 times. Experimentally determined indicators of residual stresses, the magnitude of the stress difference in the workpieces after drying and the values of the tensile strength showed that the quality of drying corresponds to the I quality category according to DSTU 4921: 2008. Comparison of the obtained values with the maximum allowable values of tensile strength across the fibers in the tangential direction $\sigma_m = 6.5$ MPa showed a margin of safety – 25%, which indicates the possibility of using oscillating drying schedules for high-quality drying of red oak wood blanks.

Keywords: Red oak (*Quercus rubra*), moisture conductivity coefficient, oscillating schedules, drying quality, drying duration.

Отримано: 2021-03-22

ВПЛИВ УМОВ МІСЦЕЗРОСТАННЯ НА ЗМІНУ ВИДОВОГО СКЛАДУ МІКОБІОТИ НАСІННЯ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ

Г. О. БОЙКО, кандидат сільськогосподарських наук
e-mail: annaboiko31051990@ukr.net

Н. В. ПУЗРІНА, кандидат сільськогосподарських наук, доцент
e-mail: pruzrina@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Досліджено видовий склад мікроміцетів насіння сосни звичайної, зібраного з насаджень, що зростають у різних лісорослинних умовах, та відібраного з дерев різних вікових груп. Встановлено, що на насінні найчастіше траплялися види мікроміцетів – *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Mycelia sterilia*. Визначено домінуючі види мікроміцетів, зокрема *Penicillium cyclosporum*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium sambucinum*, які найбільш небезпечні для розвитку здорового садивного матеріалу. Ідентифіковано найбільшу кількість мікроміцетів із насіння насаджень, що зростають в умовах вологого (A_3) – 189 видів та свіжого бору (A_2) – 103 мікроміцети, а найменшу – свіжого (B_2) та сирого субору (B_3), відповідно 92 і 93 ізоляти. Найбільшу частоту трапляння на дослідних зразках насіння сосни звичайної, відібраного з насаджень свіжого бору, мали мікроміцети *Penicillium cyclosporum*, *Alternaria alternata*, *Trithothecium roseum*, а найменшу – *Mortierella alpina*, *P. canescens*, *P. lanosum*, *P. variabile*, *Fusarium sporotrichioides*. Зазначено, що найчастіше на насінні, яке відібране з дерев різних вікових груп, траплялися *Mycelia sterilia* (9,2 %), *Fusarium sporotrichioides* (9,6 %), тоді як найменшу частоту трапляння мали – *Alternaria alternata*, *A. tenuissima*, *Fusarium verticillioides*, *Trithothecium roseum* – 1,9 %. Досліджено подібність видового складу мікобіоти насіння, відібраного з молодих та середньовікових насаджень (показник подібності – 84,2 %) та середньовікових і стиглих (показник подібності – 89,4 %). Меншу подібність спостерігали між видовим складом грибів, ідентифікованих на насінні, відібраному з молодих та стиглих насаджень (показник подібності становить 73,6 %). Найбільш подібним було насіння середньовікових і стиглих насаджень, найменш подібним – молодняків і стиглих. При цьому насіння, відібране із різних вікових груп, є різним за видовим складом мікроміцетів (подібність варіювала у межах 73,6–89,4 %).

Ключові слова: вікові групи дерев, мікобіота, тип лісорослинних умов, мікроміцети, сосна звичайна.

Актуальність. Сосна звичайна, як і багато інших хвойних деревних видів, у природних умовах відновлюється тільки насінневим шляхом. Фітопатогенним грибам, що спричиняють

хвороби насіння, приділяють особливу увагу в лісогосподарському виробництві, оскільки їх присутність на насінні навіть у сотих долях відсотка від загальної чисельності мікроорганізмів

становить реальну загрозу під час його проростання. Тому дослідження мікобіоти насіння є актуальним, а його клас якості – запорукою формування стійких і продуктивних соснових насаджень (Vojko & Bashta, 2015). Клас якості насіння може знижуватись, якщо насіння заражене патогенними мікроорганізмами (Bilaj, 1984; Bilaj, 1998). На ростучих деревах насіння захищене лусками шишки та, за своєчасного збирання, майже не зазнає впливу патогенів ззовні. Насіння нерозкритих шишок на 100 % здорове, але має свою мікрофлору, зокрема патогенну (Rozenfeld, 2005).

Широка екологічна пластичність грибів за способом живлення і значне біорізноманіття дають їм змогу займати практично всі ніші лісового фітоценозу, забезпечувати кругообіг речовин у біоценозі. Відомо, що найдавнішою формою існування грибів є сапротрофний спосіб життя, і перехід до паразитизму у них відбувався у процесі тривалого еволюційного розвитку (Ратука, 2007). За ступенем паразитичної активності і способу життя виділяють групи грибів, які розташовуються на різних щаблях еволюційної драбини (Vilokín, 1995).

Очевидно, і в природних умовах видове і формове різноманіття мікологічного та мікробіологічного угруповань сосни звичайної безпосередньо пов'язане з режимом живлення (за інших рівних умов). Відомо, що рослина селекціонує свій міко- та мікрокомплекс і, цілком вірогідно, що це пов'язано з живленням рослини. Міко- та мікроорганізмам притаманна вибірковість до тих чи тих органічних і мінеральних сполук, а їхнє співвідношення значущо впливає на мікобіоту (Pidoplichko, 1977; Pidoplichko, 1991).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За дослідженнями Сандул (2010), культури, створені з темного

насіння в борових умовах, характеризуються інтенсивнішим ростом, краще пристосовані до зростання в них, є значно перспективнішими для лісовідновлення і лісорозведення. За даними Vojko & Puzrina (2015), лісорослинні умови суттєво впливають на якісні показники класу якості насіння. Найбільшою схожістю (91,0±2,1 %) вирізнялося насіння, зібране в насадженнях свіжого субору (B_2). Вищою була і його енергія проростання (81,3±1,5 %). Насіння, зібране з насаджень свіжого та вологого бору, мало показники енергії проростання та схожості в середньому на 4–15 % нижчі, ніж насіння, що у дослідженнях презентує умови свіжого та вологого субору. Насіння, відібране з насаджень в умовах вологого субору (B_3), характеризувалося високою енергією проростання (83,1±1,1 %) та схожістю (89,2±1,5 %). Насіння, одержане з дерев, що зростали в умовах вологого бору A_3 , досягало схожості 85,0±1,8 % та мало енергію проростання 78,4±1,7 %. При цьому не було виявлено суттєвої різниці за пророщування насіння з дерев різних вікових груп. Зокрема, енергія проростання насіння, відібраного з молодих насаджень, становила 76,5±2,1 %, середньовікових – 76,0±1,3 %, стиглих – 79,3±2,1 %, його схожість – 85,0±1,8 %, 85,0±1,5 %, 87,5±1,8 % відповідно.

Деякі автори, зокрема Antonova (1990), зазначають, що насіння з молодих дерев не поступається насінню зі старших за віком насаджень. Це підтверджується дослідженнями Reshetnik (2010), в яких зауважено, що принаймні в молодому віці (до 25 років) є така спадкова властивість. За одержаними науковцем результатами, схожість, енергія проростання і маса насіння з молодих дерев сосни звичайної виявилися вищими порівняно з такими самими показниками насіння 100–120-річних дерев.

Природно, що умови, з яких відібрано насіння, суттєво впливають на якісні та кількісні показники (Војко & Puzrina, 2015). З огляду на це ми провели наукові дослідження щодо визначення мікроміцетів різних лісорослинних умов та вікових груп, які, за нашими даними, мають різний видовий склад.

Мета дослідження – аналіз видового складу мікобіоти насіння, зібраного з насаджень, що зростають у різних лісорослинних умовах, та з дерев різних вікових груп.

Об'єкт дослідження – мікобіота насіння сосни звичайної, відібрана з насіння різних лісорослинних умов та вікових груп дерев.

Предмет дослідження – видовий склад мікобіоти насіння сосни звичайної.

Завдання дослідження – визначити видовий склад аутомікобіоти партій насіння сосни звичайної з різних лісорослинних умов (свіжий бір – A_2 , вологий бір – A_3 , свіжий суббір – B_2 , вологий суббір – B_3) та з дерев різних вікових груп (молодняки, середньовікові, стиглі).

Матеріали і методи дослідження. Під час проведення дослідження було використано спеціальні наукові методи: мікологічні і фітопатологічні – для ізолювання міко- та мікроорганізмів з насіння та подальшим вивченням патогенних, культуральних, антагоністичних властивостей.

Матеріалом досліджень було насіння сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), зібране в насадженнях різних вікових груп (молодняки, середньовікові, стиглі) та різних типах лісорослинних умов (ТЛУ) (вологий бір (A_3), свіжий бір (A_2), свіжий суббір (B_2), вологий суббір (B_3)).

Дослідження проводили у проблемній лабораторії «Фітопатології та мікології» кафедри фітопатології ім. акад. В. Ф. Пересипкіна Національного уні-

верситету біоресурсів і природокористування України.

Для дослідження використовували агаризовані диференційно-діагностичні поживні середовища, оптимальні для росту і розвитку окремих фізіологічних груп мікроорганізмів: м'ясопептонний агар (МПА) – для бактерій; середовище Чапека – для міцеліальних грибів; картопляно-глюкозний агар (КГА) – для міцеліальних грибів та дріжджів.

Для виділення мікобіоти насіння сосни звичайної дезінфікували 0,5-відсотковим розчином марганцево-кислого калію протягом 20 хвилин, відмивали стерильною водогінною водою, після чого в стерильних умовах висівали досліджуваній матеріал на агаризовані поживні середовища або розкладали на фільтрувальний папір. Посіви інкубували у трикратній повторності за температури 26–28°C упродовж 5–7 діб. Підрахунок колоній починали на 3–4 добу після висіву досліджуваного зразка і проводили 2–3 обліки з інтервалом 1–2 доби.

Результати дослідження та їх обговорення. Найбільшу кількість мікроміцетів було ідентифіковано на насінні, зібраному в насадженнях вологого (A_3) – 189 видів та свіжого бору (A_2) – 103 мікроміцети, тоді як найменшу зі свіжого (B_2) – 92 види та вологого суббору (B_3) – 93 ізолятів (табл. 1).

Дещо менший цей показник встановлено на насінні свіжого бору (A_2) – 103 ізоляти, майже однакова кількість видів була притаманна насінню, відібраному в насадженні свіжого (B_2) та вологого (B_3) суббору.

Цей чинник можна пояснити наявністю вологи, оскільки мікроміцети обирають найсприятливіші умови для свого розвитку, з достатньою кількістю вологи, необхідної для їхньої життєдіяльності. Тип лісорослинних умов (A_3)

1. Мікробіота насіння сосни звичайної, заготовленого з дерев у різних типах лісорослинних умов, %

Види мікроміцетів		ТЛЮ				коефіцієнт заселення, %
		свіжий б'ір – А ₂	вологий б'ір – А ₃	свіжий суб'ір – В ₂	вологий суб'ір – В ₃	
1	<i>Mortierella alpina</i>	3,45	–	–	–	25,0
2	<i>Mucor globosus</i>	–	5,56	3,70	–	50,0
3	<i>M. hiemalis</i>	–	5,56	–	–	25,0
4	<i>Rhizopus nigricans</i>	–	–	–	6,25	25,0
5	<i>Chaetomium botrychodes</i>	–	–	–	6,25	25,0
6	<i>Aspergillus niger</i>	–	–	7,41	–	25,0
7	<i>A. versicolor</i>	10,3	–	–	–	25,0
8	<i>Paecilomyces varioti</i>	–	11,1	–	6,25	50,0
9	<i>Penicillium canescens</i>	3,45	–	–	6,25	25,0
10	<i>P. cyclopium</i>	27,6	11,1	7,41	–	75,0
11	<i>P. expansum</i>	3,45	–	–	12,5	50,0
12	<i>P. funiculosum</i>	6,89	5,56	–	–	50,0
13	<i>P. lanosum</i>	3,45	–	–	–	25,0
14	<i>P. variable</i>	3,45	–	3,70	–	50,0
15	<i>P. wortmannii</i>	–	–	–	6,25	25,0
16	<i>Alternaria alternata</i>	10,3	–	22,2	18,7	75,0
17	<i>A. tenuissima</i>	3,45	–	–	6,25	50,0
18	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	3,45	–	3,70	12,5	75,0
19	<i>C. herbarum</i>	–	–	3,70	–	25,0
20	<i>Fusarium graminearum</i>	–	–	3,70	–	25,0
21	<i>F. moniliforme</i>	–	5,56	3,70	–	50,0
22	<i>F. oxysporum</i>	–	–	14,8	–	25,0
23	<i>F. sambucinum</i>	3,45	5,56	7,41	–	75,0
24	<i>F. sporotrichioides</i>	3,45	–	–	–	25,0
25	<i>Trithothecium roseum</i>	10,3	27,8	–	–	50,0
26	<i>Gliocladium roseum</i>	–	16,7	7,41	–	50,0
27	<i>Acremonium strictum</i>	–	5,56	–	–	25,0
28	<i>Epicoccum nigrum</i>	–	–	11,1	–	25,0
29	<i>Mycelia sterilia</i>	6,89	–	–	12,5	50
Загальна кількість ізолятів, шт.		103	189	92	93	–

значно відрізняється своїм кількісним та видовим складом мікроміцетів.

Найчастіше траплялися види мікроміцетів на насінні, зібраному з різних лісорослинних умов. Це види *Alternaria*

alternata (частота трапляння (ЧТ) – 7,4–10,0 %, коефіцієнт заселення (КЗ) – 10,0–83,3 %); *Cladosporium cladosporioides* (ЧТ – 1,7–12,5 %, КЗ – 53,3–79,2 %); *Fusarium oxysporum*

(ЧТ – 2,5–6,7 %, КЗ – 46,7–66,7 %); *Mycelia sterilia* (ЧТ – 3,0–40,0 %, КЗ – 33,3–83,3 %).

Найбільшу частоту трапляння на дослідних зразках насіння сосни звичайної, відібраного з насаджень свіжого бору, мали мікроміцети *Penicillium cyclopium* – 26,7 %, *Alternaria alternata*, *Trithothecium roseum* – 10,3 %, а найменшу *Mortierella alpina*, *P. canescens*, *P. lanosum*, *P. variable*, *Fusarium sporotrichioides* – 3,45 %.

Для вологого бору (А₃) найбільша частота трапляння була у *Trithothecium roseum* – 27,8 %, *Gliocladium roseum* – 16,7 %, найменша – *Mucor globosus*, *M. hiemalis*, *Acremonium strictum*, *Penicillium funiculosum*, *Fusarium moniliforme* – 5,56 %.

В умовах свіжого субору найчастіше траплялися *Alternaria alternata* (22,2 %), *Fusarium oxysporum* (14,8 %), *Aspergillus niger*, *P. cyclopium*, *F. sambucinum*, *Gliocladium roseum* (7,41 %), найменше *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum*, *Fusarium graminearum*, *F. moniliforme* (3,70 %).

Найбільшу частоту трапляння на дослідних зразках насіння сосни звичайної, відібраного з насаджень свіжого бору, мали мікроміцети *Penicillium cyclopium* – 26,7 %, *Alternaria alternata*, *Trithothecium roseum* – 10,3 %, а найменшу *Mortierella alpina*, *P. canescens*, *P. lanosum*, *P. variable*, *Fusarium sporotrichioides* – 3,45 %.

В умовах сирого субору (В₃) максимальною частотою трапляння характеризувалися види *Alternaria alternata* (18,7 %), *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium expansum* (12,5 %). Мінімальними показниками частоти вирізнялися види *Rhizopus nigricans*, *Chaetomium botrychodes*, *Paecilomyces varioti*, *Penicillium canescens* (6,25 %).

Щодо коефіцієнта заселення мікроміцетами, то доміантними видами були *Penicillium cyclopium*, *Alternaria*

alternata, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium sambucinum* (коефіцієнт заселення 75 %), які найбільш небезпечні для розвитку здорового садивного матеріалу.

Також дуже небезпечними є види: *Trithothecium roseum*, *Gliocladium roseum*, *Fusarium moniliforme*, *Penicillium expansum*, *P. funiculosum*, *Paecilomyces varioti*, *Mucor globosus* (КЗ – 50 %).

Отже, лісорослинні умови певною мірою впливають на видове різноманіття складників мікобіоти.

У всіх дослідних варіантах були ізольовані *Mortierella alpina* (ЧТ варіювала у межах 1,5–13,3 %, КЗ – 6,6–10 %); *Mucor globosus* (ЧТ – 1,5–16,7 %, КЗ – 13,3–50,0 %); *M. hiemalis* (ЧТ дорівнювала 1,3–12,5 %, КЗ – 12,5–25 %); *Rhizopus nigricans* (ЧТ – 1,7–6,25 %, КЗ – 6,7–25 %); *Paecilomyces varioti* (ЧТ – у межах 0,8–11,1 %, КЗ – 10,0–25,0 %); *P. lanosum* (ЧТ – 1,6–3,45 %, КЗ 13,3–25,0 %); *P. variable* (ЧТ – 2,1–3,45 %, КЗ – 12,5–50,0 %); *P. wortmannii* (ЧТ – 0,8–6,25 %, КЗ – 13,3–25 %); *Alternaria alternata* (ЧТ – 7,4–10,0 %, КЗ – 10,0–83,3 %); *A. tenuissima* (ЧТ – 1,9–16,7 %, КЗ – 33,3–50,0 %); *Cladosporium cladosporioides* (ЧТ – 1,7–12,5 %, КЗ – 53,3–79,2 %); *F. oxysporum* (ЧТ – 2,5–6,7 %, КЗ – 46,7–66,7 %); *F. sambucinum* (ЧТ – 4,0–6,7 %, КЗ – 30,0–50,0 %); *F. sporotrichioides* (ЧТ – 6,2–16,7 %, КЗ – 16,7–60,0 %); *Mycelia sterilia* (ЧТ – 3,0–40,0 %, КЗ – 33,3–83,3 %).

У процесі дослідження вивчали такий важливий фактор, як вплив віку насаджень на видове різноманіття мікобіоти насіння сосни звичайної. Насіння заготовляли в господарстві у деревостанах різного віку I–II класів бонітетів, які зростали в умовах свіжих суборів (табл. 2). Насіння відібране із різних вікових груп, є різним за видовим складом мікроміцетів (подібність варіювала у межах 73,6–89,4 %).

**2. Частота трапляння (ЧТ) та коефіцієнт заселення (КЗ)
мікобіоти насіння сосни звичайної з дерев різних вікових груп, %**

Види грибів		Насіння сосни звичайної з дерев різних вікових груп					
		молодняки		середньовікові		стиглі	
		ЧТ, %	КЗ, %	ЧТ, %	КЗ, %	ЧТ, %	КЗ, %
1	<i>Mortierella alpina</i>	3,7	13,3	1,6	6,7	2,5	10,0
2	<i>Absidia glauca</i>	1,9	6,7	0,8	3,3	1,7	6,7
3	<i>Mucor globosus</i>	4,6	16,7	4,0	16,7	3,4	13,3
4	<i>M. hiemalis</i>	1,9	6,7	0,8	3,3	1,7	6,7
5	<i>Rhizopus nigricans</i>	1,9	6,7	2,4	10,0	1,7	6,7
6	<i>Chaetomium globosum</i>	–	–	1,6	6,7	–	–
7	<i>Aspergillus. flavus</i>	7,4	26,7	4,0	16,7	5,2	20,0
8	<i>A. fumigatus</i>	3,7	13,3	3,2	13,3	4,3	20,8
9	<i>A. nidulans</i>	1,6	13,3	4,0	16,7	4,3	20,8
10	<i>A. niger</i>	3,7	30,0	6,4	16,7	7,7	37,5
11	<i>A. oryzae</i>	8,3	20,0	3,2	13,3	4,3	20,8
12	<i>A. terreus</i>	5,6	13,3	2,4	10,0	5,2	25,0
13	<i>Paecilomyces varioti</i>	3,7	6,7	3,2	13,3	–	12,5
14	<i>Penicillium canescens</i>	1,9	6,7	4,0	16,7	2,5	10,0
15	<i>P. chrysogenum</i>	1,9	6,7	1,6	6,7	0,8	3,3
16	<i>P. cyclopium</i>	4,6	13,3	1,6	6,7	2,5	3,3
17	<i>P. expansum</i>	1,9	6,7	2,4	10,0	2,5	10,0
18	<i>P. funiculosum</i>	2,7	10,0	4,8	20,0	5,2	20,0
19	<i>P. lanosum</i>	3,7	13,3	4,8	20,0	5,2	20,0
20	<i>P. variabile</i>	1,9	6,7	–	–	–	–
21	<i>P. wortmannii</i>	1,9	6,7	10,0	12,5	5,2	13,3
22	<i>Trichoderma viride</i>	–	–	16,7	95,8	2,5	20,0
23	<i>Alternaria alternata</i>	1,9	6,7	10,0	83,3	3,4	10,0
24	<i>A. tenuissima</i>	1,9	6,7	16,7	50,0	3,4	13,3
25	<i>Cladosporium cladosporioides</i>	–	–	10,0	79,2	1,7	6,7
26	<i>C. herbarum</i>	–	–	–	–	1,7	6,7
27	<i>Fusarium verticillioides</i>	1,9	6,7	–	–	1,7	37,5
28	<i>F. oxysporum</i>	3,7	13,3	13,3	66,7	2,5	6,7
29	<i>F. sambucinum</i>	2,7	10,0	6,7	50,0	1,7	10,0
30	<i>F. sporotrichioides</i>	9,6	16,7	16,7	66,7	2,5	10,0
31	<i>Mycelia sterilia</i>	9,2	33,3	40,0	83,3	5,0	23,3
32	<i>Trichothecium roseum</i>	1,9	6,7	20,0	–	3,4	13,3
33	<i>Epicocum nigrum</i>	3,7	13,3	16,7	–	2,5	10,0
Загальна кількість ізолятів, шт.		108	–	124	–	116	–

Найчастіше на насінні траплялися *Mycelia sterilia* (9,2 %), *Fusarium sporotrichioides* (9,6 %), тоді як найменшу частоту трапляння мали *Alternaria alternata*, *A. tenuissima*, *Fusarium verticillioides*, *Trichothecium roseum* – 1,9 %.

Насіння, відібране у середньовікових насадженнях, було найбільше заселене спорами *Trichoderma viride* – 95,8 %, *Alternaria alternata*, *Mycelia sterilia* – 83,3 %, *Cladosporium cladosporioides* – 79,2 %, *Fusarium oxysporum*, *F. sporotrichioides* – 66,7 %. Най-

менший показник заселення спостерігали для мікроміцетів *Absidia glauca* – 3,3 %, *Mortierella alpine*, *Penicillium chrysogenum*, *P. cyclopium* – 6,7 %. Найбільша частота трапляння (насіння, відібране з середньовікових насаджень) – *Mycelia sterilia* – 40,0 %, *Trichothecium roseum* – 20,0 %, найнижча – *Mucor globosus*, *M. hiemalis* – 0,8 %, *Penicillium chrysogenum*, *P. cyclopium* – 1,6 %, *Absidia glauca* – 4,0 %.

Насіння, відібране зі стиглого насадження, було найбільше заспорене *Aspergillus niger*, *Fusarium verticillioides* (37,5 %), *Aspergillus terreus* (25,0 %), *Mycelia sterilia* (23,3 %). Найнижчий коефіцієнт заселення зауважено серед видів *Penicillium chrysogenum*, *P. cyclopium* (3,3 %), *Mucor hiemalis*, *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum* – 6,7 %.

Максимальна частота трапляння притаманна *Aspergillus niger* (7,7 %), *Penicillium funiculosum*, *P. lanosum* (5,2 %), *Mycelia sterilia* (5,0 %), мінімальна частота трапляння – *P. chrysogenum* (0,8 %), *Absidia glauca*, *M. hiemalis*, *Rhizopus nigricans*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum*, *Fusarium verticillioides*, *F. sambucinum* – 1,7 %.

Домінантними серед всіх вікових груп були види *Trichoderma viride* (20,0–95,8 %), *Mycelia sterilia* (33,0–83,3 %), *Alternaria alternata* (6,7–83,3 %), *Cladosporium cladosporioides* (6,7–69,2 %).

Встановлено подібність видового складу мікобіоти насіння, відібраного з молодих та середньовікових насаджень (показник подібності – 84,2 %) та середньовікових і стиглих (показник подібності – 89,4 %). Меншу подібність спостерігали між видовим складом грибів, ідентифікованих на насінні, відібраному з молодих та стиглих насаджень (показник подібності становить 3,6 %). Найбільш подібним було насіння середньовікових та стиглих

насаджень, найменш подібним – молодняків і стиглих.

Висновки і перспективи. Як показав аналіз подібності мікроміцетів насіння сосни звичайної, відібраного в насадженнях, найбільшу кількість мікроміцетів було ідентифіковано з насіння у насадженнях вологого (A_3) – 189 видів та свіжого бору (A_2) – 103 мікроміцети, тоді як найменшу зі свіжого (B_2) – 92 види та сирого субору (B_3) – 93 ізолятів; найбільша кількість видів мікроміцетів спостерігається на насінні сосни звичайної, відібраному з середньовікового насадження (124 штами). Найбільший коефіцієнт заселення у насіння, відібраного з молодих насаджень сосни звичайної.

Домінантними видами у всіх типах лісорослинних умов були мікроміцети *Penicillium cyclopium*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium sambucinum* (коефіцієнт заселення 75 %), які найбільш небезпечні для розвитку здорового садивного матеріалу.

Мікобіота насіння сосни звичайної, зібраного в умовах свіжого субору (B_2) та сирого субору (B_3), є найбільш подібною (1,6 %). Мікобіота насіння зі свіжого бору (A_2) та вологого бору (A_3) за видовим складом подібна.

Найбільшою частотою трапляння і коефіцієнтом заселення на насінні, відібраному з різних умов, виокремлювались види *Alternaria alternata* (ЧТ – 7,4–10,0 %, КЗ – 10,0–83,3 %); *Cladosporium cladosporioides* (ЧТ – 1,7–12,5 %, КЗ – 53,3–79,2 %); *Fusarium oxysporum* (ЧТ – 2,5–6,7 %, КЗ – 46,7–66,7 %); *Mycelia sterilia* (ЧТ – 3,0–40,0 %, КЗ – 33,3–83,3 %).

Встановлено, що найбільша кількість видів мікроміцетів спостерігається на насінні сосни звичайної, відібраному з середньовікового насадження (124 штами). Найбільший коефіцієнт заселення насіння, відібраного з моло-

дих насаджень сосни звичайної, при-
таманний *Mycelia sterilia* (13,3 %),
Epicosum nigrum (16,7 %), *Aspergillus*
niger (30,0 %), найменший – *Paecilo-*
myces varioti, *Penicillium chrysoge-*
num – 6,7 %.

Список літератури

- Antonov, N. M. (1990). *Influence of the age of the parent stand on the quality of seeds*. Moskva: Lesnaja prom-st [in Russian].
- Bilaj, V. I. (1998). *Biologically active substances of microscopic fungi and their application*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
- Bilaj, V. I. (1984). *Soil micromycetes*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
- Bilokin, I. P. (1995). *Plant growth and development*. Kyiv: High school [in Ukrainian].
- Bojko, G. O., & Bashta, O. V. (2015). Mycobiota seeds of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Scientific Bulletin of the NULES of Ukraine*, 10, 34–40 [in Ukrainian].
- Bojko, G. O., & Puzrina, N. V. (2015). Germination and germination energy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds of different colors. *Scientific Bulletin of the NULES of Ukraine*, 198 (2), 209–114 [in Ukrainian].
- Patyka, V. P. (2007). *Ecology of microorganisms*. Kyiv: Basis [in Ukrainian].
- Pidoplichko, N. M. (1977). *Atlas of mushroom mushrooms*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
- Pidoplichko, N. M. (1991). *Mushroom flora of roughage Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
- Pidoplichko, N. M. (1978). *Phytotoxicity of fungi of the genus Fusarium - the causative agent of root rot of winter wheat*. *Microbiology*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
- Reshetnik, L. L. (2010). *Seed productivity of Scots pine*. Zhytomir: Polissya [in Ukrainian].
- Rozenfeld, V. V. (2005). *Phytopathogenic properties of strains isolated from pine seeds*. Zhytomir: Polissya [in Ukrainian].
- Sandul, T. R. (2010). *Influence of the color of Scots pine seeds on the growth of its plantations in the conditions of fresh pine in the southern part*. Kyiv: Polissya [in Ukrainian].

Boyko G. O., Puzrina N. V. INFLUENCE OF LOCAL GROWTH CONDITIONS ON THE CHANGE OF SPECIES COMPOSITION OF MYCOBIOTS OF PINE SEEDS

The species composition of micromycetes of Scots pine seeds, collected from plantations growing in different forest vegetation conditions and selected from trees of different age groups, was studied. It was found that the most common species of micromycetes – *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium oxysporum*, *Mycelia sterilia*. Dominant species of micromycetes, in particular *Penicillium cyclopium*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium sambucinum*, which are the most dangerous for the development of healthy planting material, have been identified. The largest number of micromycetes from seeds of plantations growing wet birch (A_2) – 189 and fresh birch (A_2) – 103 micromycetes, and the smallest – fresh (B_2) and raw subir (B_3), respectively: 92 and 93 isolates. The highest frequency of occurrence on experimental samples of seeds of Scots pine, selected from fresh pine stands, had micromycetes: *Penicillium cyclopium*, *Alternaria alternata*, *Trichothecium roseum* micromycetes had the highest frequency of occurrence of Scots pine seeds taken from fresh pine stands, and *Mortierella alpina*, *P. canescens*, *P. lanosum*, *P. variabile*, *Fusarium sporotrich* had the lowest frequency. It was noted that *Mycelia sterilia* (9.2 %), *Fusarium sporotrichioides* (9.6 %) were the most common on seeds selected from trees of different age groups, while *Alternaria alternata*, *A. tenuissima*, *Fusarium verticillioides* were the least common. *Trichothecium roseum* – 1.9 %. The similarity of the species composition of mycobiota seeds selected from young and medieval plantations (similarity index – 84.2 %) and medieval and mature (similarity index – 89.4 %) was studied. Less similarity was observed between the species composition of fungi identified on seeds selected from young and mature plantations (similarity index is – 73.6 %). The most similar were the seeds of medieval and mature plantations, the least similar – the young and mature. The seeds were selected from different age groups, are different in species composition of micromycetes (similarity varied between 73.6–89.4 %).

Keywords: age groups of trees, mycobiota, type of forest vegetation conditions, micromycetes, Scots pine.

Отримано: 2021-03-03

CONTENT OF THE MAIN COMPONENTS OF ESSENTIAL OIL IN THE NEEDLES OF SCOTS PINE GROWING IN GEOGRAPHIC CULTURES

- S. U. RABKO**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0002-6892-2859>, e-mail: rebko@belstu.by
- L. F. POPLAVSKAYA**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
e-mail: poplavskaya@belstu.by
- S. A. LAMOTKIN**, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor
e-mail: lamoikin@belstu.by
Belarusian State Technological University
- I. V. KIMEICHUK**, postgraduate student
<https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>, e-mail: i_kimeichuk@nubip.edu.ua
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
- V. M. KHRYK**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor
e-mail: hvm2020@ukr.net
Bila Tserkva National Agrarian University
- V. YU. YUKHNOVSKIY**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
<https://orcid.org/0000-0003-3182-4347>, e-mail: yukhnov@ukr.net
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

The aim of the research is to analyze the content of terpenes in the needles of trees of climatic ecotypes of Scots pine growing in geographic forest crops and to reveal the differences in the level of essential oils. The object of the research is 17 Scots pine climatypes growing in geographical plantations on the territory of the Negorelsk Educational and Experimental Forestry Enterprise of the Minsk region in Belarus. Qualitative and quantitative analysis of Scots pine needles essential oil was carried out by gas-liquid chromatography without preliminary fractionation on chromatograph "Kristall 5000.1".

In the studied climatypes of Scots pine, different levels of essential oil content among monoterpenes, sesquiterpenes and oxygen-containing groups were determined, as well as significant differences in the content of a number of components within the studied groups were revealed. The highest yield of essential oil is observed in the subspecies of the European Western Scots pine – 1.9%, slightly lower than this indicator in the forest-steppe subspecies (1.7%). This indicator was significantly lower in the European Eastern pine variety – 1.1% and the Siberian subspecies – 1.0%.

The obtained data on the composition of essential oil and the ratio of a number of components among subspecies and varieties of Scots pine (subspecies: Lapland, Siberian, forest-steppe, European; varieties: European western and eastern) will further select the most promising climatic ecotypes and subspecies for selection resistance to biotic and abiotic environmental factors, taking into account the growth and productivity of stands.

Information on the content of essential oil components in the needles of climatypes and subspecies of Scots pine makes it possible to expand knowledge in the field of plant resistance, their safety and growth, especially in the context of the outlined climate change.

Key words: component composition, extractives, monoterpenes, sesquiterpenes, diterpenes, geographical plantations, climatic ecotype.

* Supervisor – Doctor of Agricultural Sciences, Professor V. Yu. Yukhnovskiy.

Introduction and analysis of recent publications. The integrated and rational use of plant resources involves the inclusion of the entire biomass of the plant in the production process. In particular, one of the main directions of the chemical processing of plant raw materials is the production of extractive substances. Among the extractives, it is customary to distinguish compounds that are directly involved in plant growth and compounds that are not involved in growth and development (Krasilnikova, 2004). The primary metabolites are carbohydrates, amino acids, fatty acids, chlorophylls, cytochromes, nucleotides, as well as compounds that act as intermediates in various metabolic reactions. In addition, plants contain a huge amount of substances that are not involved in the main metabolism. Such substances are usually called secondary metabolites or substances of secondary origin. Unlike primary metabolites present in all plant cells, secondary metabolites can be specific for one or several plant species (Kretovich, 1986; Crozier, 2006). Secondary metabolites include mainly low-molecular substances that are not part of the plant cell, contained in the intercellular space. This group of substances is extremely diverse in chemical composition. By their chemical nature, these substances are represented by terpenes and their derivatives, resin acids, lipids, fatty acids, phytosterols, polyphenols and tannins. Despite the assignment of these compounds to secondary metabolites, this is rather arbitrary, since many of these substances are the most important physiologically active compounds that play a primary role in the processes of respiration and photosynthesis. To date, about 20–30 thousand plant species have been studied for the presence of secondary metabolites, which make up only a little more than 10% of the entire flora of the Earth (Cheldt, 2011).

The variety of secondary metabolites also determines the variety of functions they perform (Kivanç & Akgül, 1986; Teissedre & Waterhouse, 2000; Mardarowicz, Wianowska, Dawidowicz & Sawicki, 2004). But in general, we can say that secondary metabolites in plants perform primarily ecological functions. They protect plants from various pests and pathogens, participate in plant reproduction (determining the color and smell of flowers, fruits), and ensure the interaction of plants with each other and with other organisms in the ecosystem. In addition, this class of substances contributes to the formation of plant resistance to unfavorable factors (Babkin, 2017; Schmidt, 2005). Almost all of these substances also have biological activity, which makes them indispensable sources of raw materials in the production of pharmaceuticals, food, and perfumery products (Babkin, 2011; Plemenkov & Tevs, 2014; Ponomoreva, Molochova & Chochlov, 2015). Plant secondary compounds can be divided into three groups based on different biosynthetic pathways of their origin: alkaloids, phenolic compounds, and terpenoids (Plemenkov, 2001; Lovkova, 1981; Britton, 1986).

Terpenes are hydrocarbons formed from varying amounts of isoprene (C₅H₈). Without the participation of isoprenoids, processes such as the growth and development of plants and animals are impossible, since many plant hormones (gibberellins, abscisic acid, brassinosteroids) belong to this class of compounds. However, most of the isoprenoids known to date are substances of specialized (secondary) plant metabolism, which are involved in signaling processes and protection against phytopathogens. Obviously, the main role of isoprenoids specific for certain families, genera and species of plants (these are mainly mono-, sesqui-, di-, sester- and triterpenoids) is reduced to protecting plants from various

adverse environmental influences, including macro – and micro-pests. For example, resinous substances, rubber and gutta, heal wounds in the bark and wood of plants, protecting them from pests. Resins prevent animals from eating plants. Essential oils also help to attract pollinators. Many components of essential oils and other isoprenoids act as allelopathic agents. It should be noted that the reason for the formation of a huge number of various isoprenoids in plants still remains a mystery, the functions of many of them remain unclear. The process is carried out by absorbing the energy of sunlight, which is converted into the energy of chemical bonds, and is accompanied by the release of free oxygen. The resulting monosaccharides are converted in plants into cellulose, hemicelluloses, starch, lignin, fatty alcohols, acids, their esters, fats, amino acids, waxes, vitamins, essential oils, alkaloids.

In the literary sources the information is also given, which will be indicated in detail below that depending on the content of the components of the essential oil, the resistance of plants to abiotic and biotic environmental factors is determined.

In this regard, it is relevant to determine the content of essential oils in the needles of various climatic ecotypes of Scots pine growing in geographic forest cultures.

Numerous articles are devoted to the determination of the content of the components of Scots pine essential oil. In some of the works (Maksimov, 2004), the composition of the monoterpene fraction of the essential oil isolated from the needles of various subspecies of Scots pine in their habitat was studied.

According to Russian scientists from Forest Institute named after V.N. Sukachev (Kuzmin, 2019), more resistant climatypes of Scots pine are those with a higher ratio of α -pinene to 3-carene.

Finland researchers found out that northern climatypes have a higher content of α -pinene in comparison with 3-carene, and these climatypes are more stable in Finland (Manninen, Tarhanen, Vuorinen & Kainulainen, 2002). Various specialized terpenoidogenic structures were found not only in needles, but also in the primary bark, secondary phloem and wood of the stem, roots and reproductive organs (Vasiliev, 1977).

Determination of the content of the share of essential oil in different parts of the tree indicates unequal concentration in the covered by needles shoots and trunk (Stepen, 1999).

A study of the seasonal dynamics of the release of essential oil in spruce (Esyakova & Stepen, 2008), pine (Stepen, 1995; Petrenko, 1967) and fir (Lobanov & Stepen, 2004) shows that there are two peaks in the oil content in needles: spring – in May and autumn – in September.

During the transition to the dormant state of trees in the plantation, the essential oil is enriched with oxygen-containing compounds and sesquiterpenes and reaches a maximum in the month of December. The specificity was also noted in the study of pine forests in Ukraine (Poltavchenko & Rudakov, 1973).

The aim of the research is to analyze the content of terpenes in the needles of trees of climatic ecotypes of Scots pine growing in geographic forest cultures and to reveal the differences in the level of essential oils.

Materials and methods of research. The object of the research is 17 Scots pine climatypes growing in geographical plantations on the territory of the Negorelsk Educational and Experimental Forestry Enterprise of the Minsk region in Belarus. Scots pine geographic plantations were created in 1959 by V. Mishnev and E. Mantsevich in collaboration with

the Central Control Station of Forest Seeds and the Belarusian Control Station of Forest Seeds on an area of 8.7 hectares. The seeds were obtained from 200 locations in the former Soviet Union. However, most of them were excluded due to typological heterogeneity. As a result, 65 seed samples were selected from the plantations of the group of forest types of the green moss forest, which were sown in April 1958 in the nursery of the Negorelsk Experimental Forestry. The soil on the nursery is coherent sand in terms of texture. To obtain the same seedling density in one row, the same number of viable seeds per 1 long m was sown. After sowing, the ridges were covered with moss. Until mid-July, seedlings were shaded with sieve shields. The seedlings were taken care of, which consisted of weeding and loosening the soil three times.

The area for geographic plantations was set aside in the quarter 15 the forest cultivation area was a clearcut of 1958, with the correct configuration, stretched from north to south. In the fall, the cutting area was grubbed and leveled with a bulldozer, then plowed to a depth of 25 cm. In April 1959, the area was re-leveled with a bulldozer and harrowed with disc harrows in two tracks.

The final leveling of the area was carried out manually with gathering and burning of the roots before planting. The spatial distribution of plantations was made according to the principle of allocation of large climatic regions. These areas are located on the site in the direction from north to south, and they are grouped according to the greatest geographic difference from west to east. Each administrative region is represented by a plot of planting with an area of 0.1 hectares. These sections are bounded on all sides by a 2-meter road and poles are set. On the western side, a 4-meter road adjoins

the site. The work Kruk et al. (2019) provides information that this object as geographic forest plantations was the source material for obtaining the Scots pine Negorelskaya variety for the first time in Belarus, which is characterized by intensive growth in height and resistance to fusarium.

For a more convenient analysis of the content of essential oil components in needles, all studied climatotypes of Scots pine in geographical plantations are divided into subspecies (races, varieties) in accordance with the classification by Pravdin (1964) (subspecies Lapland, European, Siberian, steppe, hooked) with some modification. The hooked subspecies that grows in the Crimea and the Caucasus is not represented in our experience. Since the steppe subspecies in geographical plantations completely disappeared at the age of 5 (Kustanai, Kokchetav, Akmola, Pavlodar climatotypes of Kazakhstan), we additionally introduced the forest-steppe group of climatotypes: Belgorod, Kursk, Volgograd, Khmel'nitsky, Poltava, Rostov. We also subdivided the European subspecies into two varieties – European western (Vologda, Estonian, Latvian, Vitebsk, Minsk and Grodno) and European eastern (Ulyanovsk and Bashkir).

Method of selection of woody greenery. The woody greenery of Scots pine climatotypes in geographic plantations were selected from 17 plots with 20–25 trees in each of them, taken by the randomization method, in the crown of which branches were cut evenly from four sides. Woody greens were taken in the month of February. According to the literature, the release of essential oil reaches its maximum value and its composition stabilizes in the winter months (Stepen, 1995).

Method of selection of middle sample. The needles were separated from the cut

branches of woody greens trees without dividing them by age, and an initial sample of the material under study was obtained. The formation of the middle sample from the original was carried out by quartering. The original sample was poured onto a smooth surface and leveled in the form of a square, and then simultaneously from two opposite sides it was poured into the middle so that a roller was obtained. After that, we grabbed the needles from the ends of the roller and also poured them into the middle. The needles were again smoothed over the area of the square and again poured into the middle. Stirring was repeated in this manner three times. After mixing, the original sample was again smoothed with a thin layer and divided into four triangles. Two opposite triangles of the needles were removed, and the two remaining ones were connected, mixed and again divided in the indicated manner until the mass of one triangle was approximately five times the weight of the sample. From one triangle, a weighed portion was taken for chemical analysis (isolation of essential oil), and from the opposite triangle, a weighed portion was taken to determine the moisture content of the sample (Deruma, 1983).

Method for the extraction of essential oil from needles. Most of the components of essential oils have a boiling point of 150 to 300°C and higher, however, all the substances that make up their composition are distilled with water vapor. The hydro distillation method is based on the ability of oils to be distilled with water vapor and on the determination of the amount of oil that is released from a plant sample (Pleshkov, 1985). The 150–250 g of raw material crushed to a size of 4–7 mm with known moisture content was placed in a flask with a capacity of 500 cm³, and it was poured with distilled water so that the water surface covered

the plant material. The flask was placed in a heating mantle, and then a nozzle for collecting essential oils and a reflux condenser were attached. After the beginning of boiling, the resulting vapor, carrying with it the essential oil, entered the refrigerator, where it condensed into a liquid consisting of water and small drops of essential oil. The condensed mixture passed into the receiver to collect the essential oil. The intensity of boiling was selected in such a way that 2–3 drops per second flowed out of the refrigerator. Otherwise, the refrigerator could be “flooded” and ejection. Water, as a heavier liquid, settled to the bottom of the receiver and poured back into the flask, and the essential oil floated to the surface, where it slowly accumulated. The process of hydrodistillation in the boiling stage lasted at least 4 hours. During this time, about 80% of the essential oil contained in the plant was distilled off. After the end of the distillation process, the flask was cooled and the device was disassembled (Figure 1).

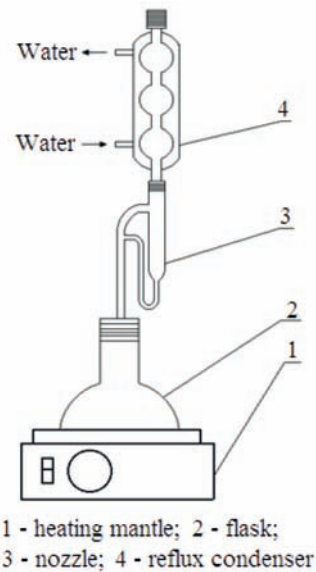


Fig. 1. Installation for the extraction of essential oil

The essential oil was located in the collector in the form of a thin layer (yellowish) above the water surface. The selection of essential oil was carried out using a syringe with a long needle. The essential oil was carefully poured using a syringe into a pre-weighed small tightly closing bottle, the name of the essential oil and the date of extraction were signed.

The calculation of the essential oil content in the needles was carried out on an absolutely dry weight of plant material. The calculation of the results in mass percent was carried out according to the formula 1:

$$C = \frac{m}{G} \cdot 100\%, \quad (1)$$

where C – essential oil content, % (mass); m – the mass of the essential oil after distillation, g; G – the mass of an absolutely dry sample of needles, g.

The resulting essential oil was dried with anhydrous sodium sulfate and then used to determine its physical, physicochemical parameters, as well as for chemical research.

Qualitative and quantitative analysis of Scots pine needles essential oil was carried out by gas-liquid chromatography without preliminary fractionation on chromatograph “Kristall 5000.1”. To separate the components, a capillary column 0.25 mm in diameter and 60 m long with a deposited phase of 100% dimethylsiloxane was used. Nitrogen was used as a carrier gas. The air: nitrogen: hydrogen flow rate ratio was 10: 1: 1. The nitrogen flow rate through the column was 20 ml/min.

The conditions for chromatographic analysis are as follows: isothermal mode at 70°C for 20 min, then a programmed temperature rise at a rate of 2°C / min to 150°C with holding at the final temperature for 40 min. Evaporator temperature – 250°C. The analyzed sample with

a volume of 0.2 μL was introduced with a microsyringe into the dispenser-evaporator.

The identification of individual components was carried out using reference compounds, as well as on the basis of the known literature data on the retention indices of individual compounds (Cheftman, 1986). The quantitative content of the components was calculated by the method of internal normalization according to the peak areas. Statistical analysis was performed in accordance with the methods described in Ostakin et al. (1989), Pen (1982) and Kolesnikov (2003). To determine the required sample size when performing the research, the admissible error value Δx was taken equal to 5% of the average value of the indicator at a confidence level of $\alpha = 95\%$. After the experiment, the variance S^2 and the standard deviation S were calculated. Next, the ratio $\Delta x/S$ was found, and the sample size was determined from the corresponding table (Pen & Mencher, 1973). The results of each series of parallel experiments were subjected to statistical processing in order to find gross errors (“blunders”) using the Student’s test (Ostakin et al., 1989). In this case, the dubious result was excluded from the sample, and the remaining data were used to calculate the arithmetic mean and the estimate of the reproducibility variance.

Results of the research and their discussion. The obtained data on the physicochemical parameters of Scots pine essential oil of various geographical origin indicate that among the studied climatotypes, grouped into subspecies, there are differences in the mass fraction of essential oil in terms of absolutely dry weight, relative density and refractive index at $t = 20^\circ\text{C}$ (Table 1).

The highest yield of essential oil is observed in the subspecies of the Euro-

1. Changes in the physicochemical parameters of Scots pine essential oil of various geographical origin

Name of the climatype (subspecies, varieties) of Scots pine	Physicochemical parameters of essential oil of Scots pine climatypes		
	mass fraction of essential oil, in terms of absolutely dry weight, %	relative density, g/cm ³	refractive index at t = 20°C
Scots pine subspecies Lapland			
Leningrad, Arkhangelsk	1,7±0,1	0,8639±0,005	1,4841±0,001
	1,9±0,1	0,8632±0,005	1,4836±0,001
By subspecies Lapland	1,8±0,1	0,8635±0,005	1,4838±0,001
Scots pine variety European western			
Vologda,	1,4±0,1	0,8639±0,005	1,4840±0,001
Estonian,	1,8±0,1	0,8638±0,005	1,4844±0,001
Latvian,	1,9±0,1	0,8639±0,005	1,4850±0,001
Vitebsk,	2,0±0,1	0,8632±0,005	1,4849±0,001
Minsk,	2,0±0,1	0,8633±0,005	1,4850±0,001
Grodno	2,1±0,1	0,8628±0,005	1,4849±0,001
By variety European Western	1,9±0,1	0,8635±0,005	1,4847±0,001
Scots pine variety European oriental			
Ulyanovsk, Bashkir	1,0±0,1	0,8638±0,005	1,4840±0,001
	1,1±0,1	0,8639±0,005	1,4842±0,001
By variety European oriental	1,1±0,1	0,8639±0,005	1,4841±0,001
By subspecies European	1,7±0,1	0,8636±0,005	1,4846±0,001
Scots pine subspecies forest-steppe			
Belgorodsky,	1,6±0,1	0,8634±0,005	1,4838±0,001
Kursk,	1,8±0,1	0,8633±0,005	1,4840±0,001
Volgograd,	1,6±0,1	0,8628±0,005	1,4846±0,001
Khmelnitsky,	1,7±0,1	0,8639±0,005	1,4846±0,001
Poltava,	1,8±0,1	0,8635±0,005	1,4840±0,001
Rostov	1,7±0,1	0,8633±0,005	1,4840±0,001
By subspecies forest-steppe	1,7±0,1	0,8634±0,005	1,4842±0,001
Scots pine Siberian subspecies			
Tomsk	1,0±0,1	0,8639±0,005	1,4838±0,001
By subspecies Siberian	1,0±0,1	0,8639±0,005	1,4838±0,001

pean Western Scots pine – 1.9%, slightly lower than this indicator in the forest-steppe subspecies (1.7%). This indicator was significantly lower in the European Eastern pine variety – 1.1% and the Siberian subspecies – 1.0%. It is noted that an essential oil content of 1% is typical for pines growing in extreme conditions of an urbanized environment (Lamotkin, Hil, Romanyuk & Skakovskiy, 2019).

The relative density of the essential oil of the studied subspecies of Scots

pine varies within insignificant limits – from 0.8634 to 0.8639 g/cm³ (minimum – in Grodno and Volgograd climatypes – 0.8628 g/cm³ each and maximum – in Leningrad, Vologda, Latvian, Khmel-nitsky, Bashkir and Tomsk climatypes – 0.8639 g/cm³ each). In terms of the refractive index, the variation ranges from 1.4838 (subspecies Lapland and Siberian) to 1.4847 (European Western Scots pine).

The results of determining the content of the main components of essential oil

2. The content of the main components in the essential oil of various climatetypes of Scots pine growing in 61-year-old geographical plantations

Name of the climatetype (subspecies, varieties) of Scots pine	The main components of the essential oil, %										
	α -pinene	camphene	3-carene	limonene	terpinolene	caryophyllene	α -muurelene	γ -cadinene	δ -cadinene	bornyl acetate	total
Scots pine subspecies Lapland											
Leningrad, Arkhangelsk	30,2 43,3	3,6 3,2	17,2 5,9	2,4 0,9	3,0 0,6	1,8 5,0	4,6 4,5	2,4 5,1	6,4 8,1	2,2 3,7	74,0 80,2
By subspecies Lapland	36,8	3,4	11,6	1,7	1,8	3,4	4,5	3,8	7,2	2,9	77,1
Scots pine variety European western											
Vologda,	39,0	5,1	13,7	2,0	1,5	6,0	3,0	1,3	3,1	0,8	75,6
Estonian,	31,2	2,8	13,5	1,5	1,6	3,0	4,1	4,6	7,9	1,5	71,6
Latvian,	17,1	2,8	24,2	1,1	2,6	6,2	6,5	3,2	7,3	1,9	72,8
Vitebsk,	18,0	2,6	23,2	2,1	2,1	6,7	5,5	4,7	8,2	1,8	75,0
Minsk,	20,6	3,2	24,0	2,1	2,6	7,3	4,3	4,2	6,9	1,2	76,4
Grodno	17,9	3,5	24,1	2,4	4,0	5,2	4,4	3,6	7,4	2,0	74,5
By variety European Western	24,0	3,3	20,5	1,9	2,4	5,7	4,6	3,6	6,8	1,5	74,3
Scots pine variety European oriental											
Ulyanovsk,	20,3	1,9	8,8	2,5	1,5	3,7	8,2	5,7	5,9	0,8	59,3
Bashkir	16,8	2,2	9,3	3,0	1,1	6,8	5,4	4,8	10,7	1,0	61,1
By variety European oriental	18,6	2,1	9,1	2,8	1,3	5,3	6,8	5,3	8,3	0,9	60,2
By subspecies European	22,6	3,0	17,6	2,1	2,1	5,6	5,2	4,0	7,2	1,4	70,8
Scots pine subspecies forest-steppe											
Belgorodsky,	21,9	1,8	8,2	1,1	1,3	5,3	5,1	7,0	12,6	1,3	65,7
Kursk,	21,2	1,9	9,3	1,4	1,3	4,5	3,1	7,1	13,1	0,8	63,8
Volgograd,	25,5	3,8	16,9	1,2	2,5	13,4	2,0	1,9	5,0	2,3	74,4
Khmelnitsky,	15,2	2,3	13,7	1,7	1,9	8,8	9,7	6,9	10,9	1,7	72,7
Poltava,	16,9	1,5	4,8	1,1	0,7	6,6	7,6	8,1	17,4	1,5	66,1
Rostov	27,0	2,4	14,5	2,4	2,1	5,7	3,7	4,9	9,1	1,6	73,2
By subspecies forest-steppe	21,3	2,3	11,2	1,5	1,6	7,4	5,2	6,0	11,4	1,5	69,3
Scots pine Siberian subspecies											
Tomsk	21,0	2,5	8,7	2,2	1,5	3,6	5,0	5,9	9,6	1,5	61,5
By subspecies Siberian	21,0	2,5	8,7	2,2	1,5	3,6	5,0	5,9	9,6	1,5	61,5

in the needles of various climatetypes of Scots pine are presented in Table 2, the group composition of monoterpenes – in Table 3, the group composition of sesquiterpenes – in Table 4.

It should be mentioned that the lowest content among the group of monoterpenes, sesquiterpenes and the oxygen-containing group was noted in the latter, while the proportion of bornyl acetate in

the essential oil does not exceed 3% – from 0.9% in the European oriental variety to 2.9% in the Lapland pine.

It was found that the largest share of the identified components of essential oil was in the variant of Scots pine of the Lapland subspecies - 77.1%. In the variety of Western European Scots pine, the share of recognized components was slightly lower and amounted to 74.3%,

3. Composition of essential oil monoterpenes in various subspecies of Scots pine in 61-year-old geographical forest plantations

Name of the climatype (subspecies, varieties) of Scots pine	Geographical coordinates		Essential oil group – monoterpenes					
	northern latitude	eastern longitude	α -pinene	camphene	3-carene	limonene	terpinolene	total
Scots pine subspecies Lapland								
Leningrad,	61	34	45,8	5,5	26,1	3,7	4,5	66,0
Arkhangelsk	62	43	74,0	5,4	10,1	1,5	1,0	58,5
By subspecies Lapland	61–62	34–43	59,9	5,5	18,1	2,6	2,8	62,3
Scots pine variety European western								
Vologda,	59	40	53,4	7,0	18,8	2,7	2,1	73,1
Estonian,	58	27	51,6	4,6	22,3	2,5	2,7	60,4
Latvian,	57	22	30,9	5,1	43,6	1,9	4,6	55,5
Vitebsk,	55	29	31,1	4,5	40,0	3,6	3,6	58,0
Minsk,	54	27	33,0	5,1	38,4	3,3	4,2	62,5
Grodno	53	24	29,5	5,7	39,7	4,0	6,5	60,8
By variety European Western	53–59	22–40	38,3	5,3	33,8	3,0	4,0	61,7
Scots pine variety European oriental								
Ulyanovsk,	54	48	46,3	4,4	20,1	5,6	3,4	43,8
Bashkir	54	58	37,7	5,0	21,0	6,7	2,4	44,5
By variety European oriental	54	48–58	42,0	4,7	20,6	6,2	2,9	44,2
By subspecies European	53–59	22–58	39,2	5,2	30,5	3,8	3,7	57,3
Scots pine subspecies forest-steppe								
Belgorodsky,	51	38	57,4	4,8	21,6	2,8	3,3	38,1
Kursk,	51	34	52,3	4,7	22,9	3,5	3,1	40,6
Volgograd,	51	42	42,5	6,3	28,1	2,0	4,2	60,0
Khmelnitsky,	50	27	36,1	5,4	32,4	4,0	4,4	42,2
Poltava,	49	33	60,4	5,2	17,1	3,9	2,5	27,9
Rostov	47	40	48,5	4,4	26,0	4,3	3,8	55,6
By subspecies forest-steppe	47–51	27–40	49,5	5,1	24,7	3,4	3,6	44,1
Scots pine Siberian subspecies								
Tomsk	57	85	47,6	5,7	19,7	4,9	3,3	44,1
By subspecies Siberian	57	85	47,6	5,7	19,7	4,9	3,3	44,1

in the forest-steppe subspecies – 69.3%. This indicator turned out to be significantly lower in the variants of the Siberian subspecies and the variety of the European Eastern – 61.5% and 60.2%, respectively.

In terms of the content of α -pinene, a component of monoterpenes, the subspecies of Lapland pine has the highest share – 36.8%. This indicator is at the level of 21.0–24.0% in other variants of subspecies and varieties.

In terms of the content of 3-carene, an inverse relationship is observed – the least of this component is in the Siberian, forest-steppe and Lapland pine – 8.7%, 11.2% and 11.6%, respectively. The maximum is observed in the European western variety – 20.5%. In the Lapland pine, the ratio of these components reaches more than 3:1. This ratio is achieved in the Siberian pine and the European eastern variety at the level of 2-3:1. A slightly lower ratio of 2:1 was noted in the

4. Composition of essential oil sesquiterpenes in various subspecies of Scots pine in 61-year-old geographical forest plantations

Name of the climatype (subspecies, varieties) of Scots pine	Geographical coordinates		Essential oil group – sesquiterpenes				
	northern latitude	eastern longitude	caryophyllene	α -muurelene	γ -cadinene	δ -cadinene	total
Scots pine subspecies Lapland							
Leningrad,	61	34	5,9	15,6	8,2	21,6	29,8
Arkhangelsk	62	43	13,6	12,3	13,9	22,1	36,6
By subspecies Lapland	61–62	34–43	9,8	13,9	11,1	21,9	33,2
Scots pine variety European western							
Vologda,	59	40	24,2	12,2	5,1	12,6	24,7
Estonian,	58	27	8,5	11,8	13,3	22,6	34,8
Latvian,	57	22	15,2	15,9	7,9	18,1	40,6
Vitebsk,	55	29	17,7	14,5	12,5	21,6	37,9
Minsk,	54	27	21,5	12,7	12,3	20,1	34,1
Grodno	53	24	14,6	12,4	10,1	20,8	35,4
By variety European Western	53–59	22–40	17,0	13,3	10,2	19,3	34,6
Scots pine variety European oriental							
Ulyanovsk,	54	48	6,9	15,2	10,6	10,8	54,2
Bashkir	54	58	12,8	10,2	9,0	20,2	53,1
By variety European oriental	54	48–58	9,9	12,7	9,8	15,5	53,7
By subspecies European	53–59	22–58	15,2	13,1	10,1	18,4	39,4
Scots pine subspecies forest-steppe							
Belgorodsky,	51	38	9,0	8,6	11,9	21,4	59,1
Kursk,	51	34	8,0	5,5	12,5	23,1	56,8
Volgograd,	51	42	37,4	5,6	5,3	13,9	35,8
Khmelnitsky,	50	27	16,1	17,7	12,5	19,9	54,8
Poltava,	49	33	9,5	10,9	11,7	25,1	69,4
Rostov	47	40	13,9	9,0	12,1	22,3	40,7
By subspecies forest-steppe	47–51	27–40	15,7	9,6	11,0	21,0	52,8
Scots pine Siberian subspecies							
Tomsk	57	85	8,4	11,6	13,7	22,1	43,4
By subspecies Siberian	57	85	8,4	11,6	13,7	22,1	43,4

forest-steppe subspecies and the European western variety.

A more detailed analysis of the component composition of monoterpenes is presented in table 3. The proportion of monoterpenes in the total amount of essential oils ranges from 44.1% (subspecies Siberian and forest-steppe) to 62.3% (subspecies Lapland). Moreover,

in the Lapland subspecies, more than half (59.9%) in this group is occupied by α -pinene, and 3-carene is 3 times less (18.1%). In the Siberian subspecies, this ratio is 2.4: 1 (47.6% versus 19.7%), in the forest-steppe subspecies – 2.0:1 (49.5% versus 24.7%).

Sesquiterpenes are also widely represented in Scots pine needles of various

geographic origins. It should be noted that in the pine needles of the European Eastern variety, their content exceeds the proportion of monoterpenes (53.7% versus 44.2%). An excess of sesquiterpenes (52.8% versus 44.1%) over monoterpenes was also noted in the forest-steppe subspecies. This ratio is practically at the same level (43.4% versus 44.1%) in the Siberian subspecies of Scots pine. In other variants, there is a noticeable excess of monoterpenes over sesquiterpenes – 62.3% versus 33.2% in the Lapland pine and 61.7% versus 34.6% in the European western variety. In general, for the European subspecies, the content of monoterpenes exceeds that of sesquiterpenes (57.3% versus 39.4%).

It is also important that the noted fact that in various subspecies and varieties of Scots pine in the group composition of sesquiterpenes, there is an excess of one component in the composition δ -cadinene – from 15.5% in the variety

of European Scots pine to 22.1% in the Siberian subspecies.

Conclusions and future perspectives.

As a result of the work done, the composition of the main components of the essential oil from the group of monoterpenes, sesquiterpenes and the oxygen-containing group was revealed, inhomogeneous in content, among various subspecies and climatotypes of Scots pine growing in geographical forest cultures on the territory of the Negorelsk educational and experimental forestry enterprise (Minsk region, Republic of Belarus). The data obtained on the composition of the essential oil and the ratio of a number of components within or from different groups in it will make it possible in the future to select the most promising climatic ecotypes for breeding for resistance to biotic and abiotic environmental factors, taking into account the productivity indicators of climatic stands, quality of trunks, assessment of the vital state of trees in the plantation and their safety.

References

- Babkyn, V. A., et al. (2011). *Biomass larch: the chemical composition to innovative products*. Novosibirsk: SO RAN [in Russian].
- Babkyn, V. A. (2017). *Extractive substances of larch wood: chemical composition, biological activity, prospects for practical use*. Innovation and expertise, 2 (20), 210–223 [in Russian].
- Brytton, H. (1986). *Biochemistry of natural pigments*. Moscow: Myr, 42 [in Russian].
- Crozier, A., et al. (2006). *Plant secondary metabolites: occurrence, structure and role in the human diet*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Deruma, V. Ya. (1983). *Basic principles of selection and preparation of samples of greenery for the study of its chemical composition. Study of the chemical composition of woody greenery. Methodical bases*. Ryha: Zynatne [in Russian].
- Esiakova, O. A., & Stepen, R. A. (2008). *Indication of air pollution in Krasnoyarsk by morphometric and chemical parameters of Siberian spruce needles*. Chemistry of plant raw materials, 1, 143–148 [in Russian].
- Kheldt, H. V. (2011). *Biochemistry of plants*: Moscow: BINOM. Knowledge laboratory [in Russian].
- Kheftman, E. (1986). *Chromatography. Practical application of the method. Part 1*. Moscow: Myr [in Russian].
- Kivanç, A., & Akgül, A. (1986). Antibacterial activities essential oils from Turkish spices and citrus. *Flavour and fragrans Journal*, 1 (4–5), 175–179. <http://doi.org/10.1002/fj.2730010409>
- Kolesnykov, V. L. (2003). *Mathematical foundations of computer modeling of chemical-technological systems: textbook. manual for university students*. Minsk: BHTU [in Russian].
- Krasylnykova, L. A., et al. (2004). *Plant biochemistry*. Kharkov: Torsynh [in Russian].
- Kretovych, V. (1986). *Plant biochemistry*. Moscow: Vysh. shk. [in Russian].
- Kruk, N. K., Nosnykov, V. V., & Rabko, S. V. (2019). Current state, problems and prospects for reforestation in Belarus. In *Forest restoration and forest melioration in Ukraine: beginning, current state, challen-*

- ges of the present and prospects in the conditions of the Anthropocene (pp. 417–446). Kyiv: Kondor [in Russian].
- Kuzmyn, S. R. (2019). Scots pine needles and wood with varying degrees of resistance to fungal pathogens. In *Materials of the 6th International Conference-Meeting "Conservation of Forest Genetic Resources"*. Shchuchynsk, Respublyka Kazakhstan 16–20 September, 2019 (pp. 131–132). Kokshetau: Myr Pechaty [in Russian].
- Lamotkyn, S. A., Hyl, E. V., Romaniuk, L. Y., & Skakovskiy, E. D. (2019). Seasonal dynamics of *Picea glauca* essential oil terpenoids in urban settings. *Plantresources*, 55 (2), 259–267 [in Russian].
- Leshkov, B. P. (1985). *Workshop on plant biochemistry*. Moscow: Ahropromyzdat [in Russian].
- Lobanov, V. V., & Stepen, R. A. (2004). Influence of biocenotic factors on the content and composition of fir oil. *Coniferous boreal zones*, 2, 148–156 [in Russian].
- Lovkova, M. Ya. (1981). *Biosynthesis and metabolism of alkaloids in plants*. Moscow: Nauka, 169 [in Russian].
- Maksymov, V. M. (2004). *Population structure Pinus sylvestris (Pinaceae) by the composition of monoterpenes in the Central Russian forest-steppe*. Abstract of Dr. dissertation for Agricultural Science, 06.03.01 – Forest Inventory and Forest Measurement. Voronezh [in Russian].
- Mardarowicz, M., Wianowska, D., Dawidowicz, A. I., & Sawicki, R. (2004). Comparison of terpen composition in Engelmann spruce (*Picea engelmannii*) using hydrodistillation. *SPME and PLE. Zeitschrift für Naturforschung*, 59 (9–10), 641–648. <http://doi.org/10.1515/znc-2004-9-1006>
- Ostakyn, A. Y. (1989). *Application of methods in computers. Planning and processing of experiment results*. Minsk: Vysh. Shk. [in Russian].
- Pen, R. Z. (1982). *Statistical methods for modeling and optimization of pulp and paper production processes*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Univ. [in Russian].
- Pen, R. Z., & Mencher, E. M. (1973). *Statistical methods in the pulp and paper industry*. Moscow: Lesnai prom-st [in Russian].
- Petrenko, E. S. (1967). Variability of the number of resin channels in the needles of Scots pine. *Forestry*, 6, 76–83 [in Russian].
- Plemenkov, V. V. (2001). *Introduction to the chemistry of natural compounds*. Kazan: Kazan [in Russian].
- Plemenkov, V. V., & Tevs, O. A. (2014). Biomedical properties and prospects of terpenoids (isoprenoids). *Chemistry of plant raw materials*, 4, 5–20 [in Russian].
- Poltavchenko, Yu. A., & Rudakov, H. A. (1973). Evolution of biosynthesis of monoterpenes in the pine family. *Plant resources*, 9 (4), 481–493 [in Russian].
- Ponomareva, E. Y., Molokhova, E. Y., & Kholov, A. K. (2015). The use of essential oils in pharmacy. *Modern problems of science and education*, 4, 37–45 [in Russian].
- Pravdin, L. F. (1964). *Scots pine: Variability, intraspecific taxonomy and selection*. Moscow: Nauka [in Russian].
- Schmidt, A., et al. (2005). Induced chemical defenses in conifers: Biochemical and molecular approaches to studying their function. *Amsterdam. Elsevier*, 39, 1–28.
- Stepen, R. A. (1995). The composition of the essential oil and volatile terpenoids of the shoots *Pinus sylvestris* L. in Central Siberia. *Plant resources*, 4, 63–70 [in Russian].
- Stepen, R. A. (1999). Ecological and resource significance of volatile terpenoids from pine forests in Central Siberia. *Chemistry of plant raw materials*, 2, 125–129 [in Russian].
- Teissedre, P. L., & Waterhouse, A. L. (2000). Inhibition of oxidation of human low-density lipoproteins by phenolic substances in different essential oils varieties. *J. Agric. Food Chem*, 48 (9), 3801–3805. <http://doi.org/10.1021/jf.990921x>
- Vasylev, A. E. (1977). *Functional morphology of plant secretory cells*. Leningrad [in Russian].

**Ребко С. В., Поплавська Л. Ф., Ламоткін С. А.,
Кімейчук І. В., Хрик В. М., Юхновський В. Ю.
ВМІСТ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ЕФІРНОЇ ОЛІЇ У ХВОЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ,
ЯКА РОСТЕ У ГЕОГРАФІЧНИХ КУЛЬТУРАХ**

Метою досліджень стало проведення аналізу складу терпенів і встановлення відмінностей за рівнем вмісту ефірних масел у хвої сосни звичайної різних кліматичних екотипів, які ростуть у географічних лісових культурах. Об'єкт дослідження представлений 17 кліматипами сосни звичайної, які ростуть у географічних культурах на території Негорізького навчально-дослідного лісгоспу Мінської області Білорусі. Якісний і кількісний аналіз ефірного масла хвої

сосни звичайної здійснювали методом газорідинної хроматографії без попереднього фракціонування на хроматографі «Кристал 5000.1».

У досліджуваних кліматипів сосни звичайної встановлено різний рівень за складом ефірного масла серед монотерпенів, сесквітерпенів і кисеньвмістної групи, а також виявлено істотні відмінності за вмістом низки компонентів усередині досліджуваних груп. Найбільший вихід ефірної олії спостерігається у підвиді сосни звичайної різновиду європейська західна – 1,9 %, трохи нижче цей показник у підвиді лісостепова – 1,7 %. Істотно нижчий показник виходу ефірної олії виявився у сосни звичайної різновиду європейська східна та підвиду сибірська, який становить 1,1 % і 1,0 % відповідно.

Отримані дані щодо складу ефірної олії і співвідношення в ній низки компонентів серед підвидів і різновидів сосни звичайної (підвиди: лапландська, сибірська, лісостепова, європейська; різновиди: європейська західна і східна) дадуть змогу в подальшому проводити відбір найбільш перспективних кліматичних екотипів і підвидів для селекції на стійкість до біотичних і абіотичних факторів середовища з урахуванням показників росту і продуктивності деревостанів.

Відомості про склад компонентів ефірної олії у хвої кліматипів і підвидів сосни звичайної допоможуть розширити знання щодо стійкості рослин, їх збереження і росту, особливо в умовах зміни клімату в напрямі аридизації.

Ключові слова: компонентний склад, екстрактивні речовини, монотерпени, сесквітерпени, дітерпени, географічні культури, кліматичний екотип.

Отримано: 2021-03-16

ЗБЕРЕЖЕННЯ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *DROSERA* L. З ВИКОРИСТАННЯМ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ

С. Ю. БІЛОУС, кандидат біологічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1682-5352>, e-mail: forest_biotech@nubip.edu.ua

О. О. ОЛІЙНИК, кандидат сільськогосподарських наук

<https://orcid.org/0000-0002-3591-351>, e-mail: osa_solodar@ukr.net

О. О. ГУНЬКО, студентка ОС «Magicmp»*

e-mail: lena16_99@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У роботі проведено дослідження особливостей отримання садивного матеріалу рідкісних представників *Drosera spatulate* L. та *Drosera aliciae* L. з використанням мікроклонального розмноження з метою їх збереження й подальшого культивування в умовах *ex vitro*.

Відпрацьовано методику стерилізації експлантатів *D. spatulate* та *D. aliciae* з 80–90 % отриманням асептичного матеріалу. Вивчено вплив різних варіантів стерилізації на розвиток мікропагонів. Найкращими розчинами для стерилізації визначено два: 0,1-відсотковий розчин AgNO_3 та 12,5-відсотковий розчин H_2O_2 .

Досліджено особливості органогенезу та регенерації цілого організму з культивованих тканин та органів представників *Drosera* L. Підібрано оптимальне живильне середовище на етапі введення у культуру *in vitro* *D. spatulate* та *D. aliciae* (МС із додаванням PVP 2 мг·л⁻¹). Визначено оптимальні умови прямого морфогенезу тканин *Drosera spatulate* L. та *Drosera aliciae* L., що дало змогу масового отримання оздоровленого, генетично однорідного садивного матеріалу. Показано дію екзогенних регуляторів росту на різних етапах морфогенезу рослин в умовах *in vitro*. Удосконалено умови ризогенезу *in vitro*.

Зокрема за результатами досліджень найвищий коефіцієнт розмноження (1:8) та формування кореневої системи було отримано на безгормональному середовищі з удвічі зменшеним вмістом макроелементів і живильному середовищі з додаванням 0,5 мг·л⁻¹ ІМК. За таких умов у всіх розмножуваних рослин спостерігали активний морфогенез і формування розвиненої кореневої системи.

За результатами проведених досліджень було розроблено методику мікроклонального розмноження, яка дала можливість отримати генетично-стабільні, вільні від хвороб рослини-регенеранти *D. spatulate* та *D. aliciae* з оптимально сформованою кореневою системою та вегетативною масою. Отриманий однорідний садивний матеріал можна використовувати у квітникарстві, створенні тераріумів, для фармакологічних цілей та з метою інтродукції.

Ключові слова: *Drosera* L., мікроклональне розмноження, морфогенез.

* Науковий керівник – кандидат біологічних наук, доцент С. Ю. Білоус.

Актуальність та аналіз останніх досліджень. В Україні через проведені ще у минулому столітті меліоративні роботи з осушення території заболочених земель і боліт значно зменшилися. Крім того, зміни клімату також спричиняють висихання боліт, від чого потерпають болотні рослини. На території водно-болотних комплексів суттєво зменшилась площа локалітетів червонокнижних видів рослин (Andrienko & Protoporova, 2010; Umanets & Moisienko, 2012; Chornobrov et al., 2019).

Збереження біорізноманіття є основним завданням в умовах швидких змін навколишнього середовища. Особливо гостро стоїть проблема збереження надзвичайно вразливих стено-топних видів флори. Саме види роду *Drosera* є індикаторами змін клімату й чутливі до коливання рівня ґрунтових вод тощо. Усі представники роду *Drosera* є видами, що зникають, крім видів роду *Drosera rotundifolia*, однак, за даними вчених (Rak & Kachula, 2017), їх занесено до нового видання Червоної книги України в категорії «вразливий».

На території України є три види росичок: круглолиста (*Drosera rotundifolia* L.), англійська (*Drosera anglica* Huds.) та росичка середня (*Drosera intermedia* Hayne) (рис. 1).

D. rotundifolia поширена в арктичній та помірній зонах Євразії та Північної Америки (GBIF Secretariat, 2014). В Європі вона трапляється майже по всій території, але дуже нерівномірно. Досить рясно вона представлена в Північній та Атлантичній Європі, зрідка в Середній і дуже рідко в Південній (крім південного сходу) (Melzig & Krenn, 2011).

В Україні ще досить недавно *D. rotundifolia* доволі часто траплялась у лісовій зоні й на півночі лісостепової, зрідка на півдні лісостепу і в Карпатах та дуже рідко на півночі Лівобережного степу (Andrienko, 2009; Chorna, 2006; Kiraly, 2009). Однак, за останніми спостереженнями, на сьогодні велику кількість місцезнаходжень *D. rotundifolia* втрачено внаслідок антропогенного впливу й через осушення боліт (Andrienko, 2009; Umanets, 2012).

Використання біотехнологічних методів отримання рослинної сировини *Drosera* L. є надзвичайно актуальними напрямом як в озелененні, так і в фармакології (Egan & Man der Kooy, 2013), оскільки забезпечує отримання оздоровленого, стерильного рослинного матеріалу у великій кількості незалежно від сезону.

Оптимальним напрямом для розроблення стратегій збереження видів, які

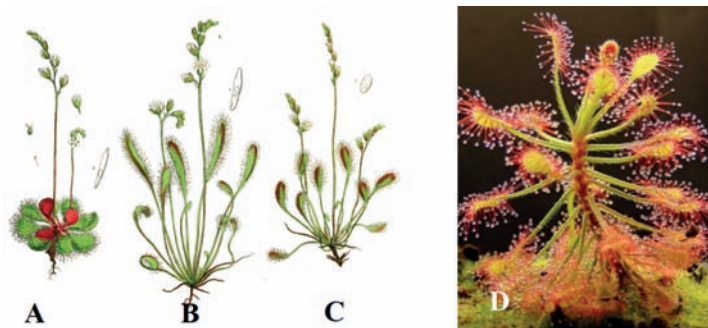


Рис. 1. Представники *Drosera* L.: А – *Drosera rotundifolia* L.; В – *Drosera anglica* Huds.; С – *Drosera intermedia* Hayne; D – вигляд росички

зникають, є інтегрований науковий підхід, що поєднує застосування біотехнологічних прийомів для культури *in vitro*, раціональне управління колекціями із метою ефективного відновлення популяцій і видів, що зникають (Chornobrov & Bilous, 2021), використання молекулярно-генетичних прийомів для документування та підтримки колекцій (Chung et al., 2013), оцінювання параметрів генетичного різноманіття природних і штучно створених популяцій, поповнення колекцій та їх обмін.

Використання методу культури *in vitro* є оптимальним сучасним рішенням, що надає можливість:

- відновлення та розмноження цінних, рідкісних і таких, що зникають, видів квіткових рослин, які важко розмножуються *in situ* й *ex situ*;
- створення колекції генетично-однорідних рослин у культурі *in vitro*;
- одержання оздоровленого садивного матеріалу;
- масове виробництво цінних генотипів рослин із колекцій ботанічних садів.

Новизною цього напряму є створення генетичного банку зразків рослинної сировини, що є незамінним ресурсом для характеристики збереження та сталого використання біорізноманіття рослинного світу, виявлення найбільш продуктивних генотипів господарських культур і культур із підвищеним адаптивним потенціалом до зовнішніх факторів середовища, кількісного оцінювання параметрів генетичної різноманітності природних і штучно створених *ex situ* популяцій, а також колекцій окремих таксонів (Matthews, 1994; Chorna, 2006).

Мета дослідження – визначення особливостей прямої регенерації рослин *Drosera spatulate* L. та *Drosera*

aliciae L. на різних етапах мікроклонального розмноження.

Дотепер такі представники видів роду *Drosera* успішно культивувались *in vitro*: *D. binata* La Billardier, *D. natalensis* Diels (Anthony, 1992; Caniato et al., 1989), *D. capensis* L. (Curkovic & Berljak, 1996), *Drosera-regia* Stephens (Janssens, 1986), *D. rotundifolia* L. (Anthony, 1992; Bonnet et al., 1984; Kukulczanka & Czastka, 1987; Simola, 1978) та *D. spatulata* Labill. (Blehova et al., 1990, 1992). Проте досі не розроблено протоколів мікроклонального розмноження й складу живильних середовищ (ЖС) для *D. spatulata* (росичка), зокрема в Україні. Через це найбільш поширеним способом розмноження наразі залишається насіннєвий (Fernández-Pascual, 2016), через легкість у стерилізації для створення первинних культур.

Враховуючи значний попит на хижі рослини (Baskin & Baskin, 2014) та відсутність розроблених методик мікроклонального розмноження, все більш актуальними стають збереження та розмноження рідкісних і таких, що зникають, видів цієї групи рослин *ex situ*, а також створення генетичного банку *in vitro*.

Матеріали та методи дослідження. Вихідними експлантами були частини генеративного комплексу, які формуються з бруньок, відновлених за один цикл видимого росту, які містять стебло, листя і бруньки, а також квітку або суцвіття.

Для знезараження вихідних експлантатів дотримувались загальноприйнятих у біотехнології методів та підходів, модифікуючи індивідуально для кожного генотипу (Chornobrov & Bilous, 2021).

Культивування меристемних ділянок здійснювали на модифікованих середовищах Мурасіге і Скуга (МС)

(Murashigey & Skoog, 1962) додаючи до їхнього складу фітогормони різної концентрації (Araújo et al., 2014; Baranyai & Joosten, 2016; Clara et al., 2010).

Додатково до середовища додавали активоване вугілля ($1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) (одноразово), як вуглеводневе живлення – сахарозу ($30 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$), мезоінозит ($100 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$), агар (0,7 %) і дві халатні форми заліза: етилендіамін-ді-2-гідрокси-фенілоцтову кислоту (Fe-EDDHA) і етилендіамінтетраоцтову кислоту (Fe-EDTA), рН середовища 5,6–5,7.

Експланти культивували за температури $25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, 16-годинним фотоперіодом, за освітлення інтенсивністю 2000–3000 лк.

Основним показником ефективності стерилізуючої речовини була кількість експлантів, що нормально розвивались.

У роботі як рослини-донори були використані представники *Drosera spatulate* L. та *Drosera aliciae* L., взяті з контейнерної культури.

Результати дослідження та їх обговорення. На початковому етапі введення в культуру *in vitro* та регенерації використовували живильні середовища Мурасіге і Скуга (МС) з повним або зменшеним уполовину вмістом мінеральних елементів.

Під час експериментальних робіт підбирали стерилізуючий розчин, який легко вимивався із тканин дистильованою водою, щоб менше шкодити тканинам експлантів. З цією метою для отримання стерильного вихідного матеріалу використовували загальноприйняті методи. Як стерилізуючі речовини використовували розчин 70-відсоткового етилового спирту ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 1,7-відсотковий та 1,25-відсотковий розчини гіпохлориту натрію NaClO , розчини пероксиду водню (H_2O_2) різної концентрації – 12,5-від-

сотковий та 25-відсотковий та 0,1-відсотковий розчин нітрату срібла (AgNO_3). Для досягнення поставленої мети реагенти використовували як окремо, так і в комбінації з різною експозицією та режимом відмивання.

Кожен із стерилізуючих розчинів та час експозиції проявляв різну дію на експланти *Drosera* L. Спосіб стерилізації з використанням 70-відсоткового розчину етанолу (30 сек), потім витримання у 1,25-відсотковому розчині NaClO з експозицією 20 хв і триразовим відмиванням у стерильній воді не пошкоджував тканин і не пригнічував розвитку рослин та забезпечував стерильність експлантів 60 %. Слід зауважити, що послідовність та експозицію використання різних стерилізуючих реагентів визначали у процесі роботи емпіричним методом залежно від типу експлантату та ступеня його інфікованості.

Режим стерилізації з використанням 70-відсоткового етанолу й витриманням 30 сек і у 0,1-відсотковому розчині AgNO_3 5-7-10 хв і триразовим відмиванням у стерильній воді тричі по 10 хв впливав на рослини по-різному. Стерилізація з експозицією 10 хв призвела до повної втрати рослинного матеріалу, в результаті всі рослини були стерильні, але не життєздатні.

Своєю чергою експозиція 7 хв у 0,1-відсотковому розчині AgNO_3 дала змогу отримати 50 % життєздатних експлантів, а експозиція 5 хв виявилась найбільш оптимальною. За таких умов кількість асептичних та здатних до регенерації рослин становила 80 %.

Для визначення найоптимальнішого способу стерилізації, паралельно із двома попередніми схемами, було використано 50-відсотковий розчин пероксиду водню (H_2O_2) у двох варіантах співвідношення, 1:1 та 1:2, із різним часом експозиції.

1. Склад компонентів живильного середовища для індукції органогенезу

№ пор.	Компоненти ЖС	Концентрація по варіантах середовища, мг·л ⁻¹				
		1	2	3	4	5
1	Макроелементи МС	100	100	30	100	100
2	Мікроелементи МС	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	Вітаміни МС	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
4	Fe хелат	10	5	5	10	5
5	БАП	1,0	-	-	1,0	-
6	ГК	0,1	-	-	-	-
7	Гліцин	-	-	-	1,0	-
8	Кінетин	-	0,25	-	-	0,25
9	ІОК	0,5	-	-	-	-
10	Мезоінозит, г·л ⁻¹	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
11	Цукроза, г·л ⁻¹	30	20	20	30	20
12	Агар, г·л ⁻¹	6,7	6,7	6,7	6,7	6,7
13	PVP, г·л ⁻¹	1	-	-	2	2
14	ІМК	-	-	0,1	0,2	-

pH 5,6–5,7

За умов використання розчину пероксиду водню 50 % у співвідношенні 1:2 вихід асептичних експлантів на третю добу після введення становив 80–90 %. При цьому відмивання експлантів від залишків стерилізуючого розчину можна проводити одноразово. Такий спосіб є найменш токсичним та ефективним для нездерев'янілих пагонів.

Індукцію органогенезу з культури меристем *Drosera L.* здійснювали шляхом культивування отриманих первинних мікропагонів з асептичних експлантів, отриманих після їх попередньої стерилізації.

На шостий день культивування спостерігали індукцію пазушних бруньок, які на 10–14 день мали розміри 0,2–0,3 см.

Вихід асептичних життєздатних експлантів становив 90–100 %. Через 2–3 доби спостерігали активне виділення фенольних сполук, що негативно впливало на ріст і розвиток експлантів. Для уникнення цього до живильного середовища МС додавали полівінілпірлідон (PVP) (1–2 г·л⁻¹), адсорбційні властивості якого сприяють

рівномірному розподілу поживних елементів у середовищі та зменшенню негативного впливу продуктів вторинного метаболізму.

Для індукції морфогенезу пагони розділяли на сегменти і переносили на живильні середовища, які містили різний склад і концентрацію фітогормонів (табл. 1).

Індукція морфогенезу значною мірою залежала від складу ЖС і на початкових етапах розмноження проходила в основному на базових середовищах МС.

Культивування проводили протягом 21 дня (рис. 2). Результати обліку наведено в табл. 2.

Аналізуючи дані, доходимо висновку, що морфогенез *D. spatulate* та *D. aliciae* найінтенсивніше проходив на середовищі з додаванням кінетину 0,25 мг·л⁻¹ та PVP 2 г·л⁻¹, експланти мали розміри 2,5–2,8 см і типово насичене зелене забарвлення, формували корені по 2–3 шт. на експланті, завдовжки 3,5–4,9 см (рис. 3). Своєю чергою на середовищі ½ МС без додавання PVP зауважували виділення



Рис. 2. Рослини-регенеранти *D. spatulate* на морфогенному середовищі на 21 день культивування



Рис. 3. Рослини-регенеранти *D. spatulate* та *D. aliciae* на морфогенному середовищі на 21 день культивування

фенолів у базальній частині та біля коренів.

При додаванні до середовища БАП $1,0 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ + ГК $0,5 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ визначали

ослаблення експлантів, $0,4\text{--}0,6 \text{ см}$, які характеризувались формуванням ослаблених, деформованих листків, що мали світле забарвлення. На середови-

2. Особливості розвитку експлантів на різних варіантах середовища (21 день культивування)

№ пор.	Склад ЖС (PPP)	Концентрація гормонів, $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$	Кількість експлантів, шт.	Утворення пагонів		Утворення коренів	
				шт.	см	шт.	см
1	БАП ГК ЮК	1,0 0,1 0,5	2	$2,7 \pm 0,9$	$0,5 \pm 1,3$	-	-
2	Кін	0,25	2	$3,3 \pm 0,56$	$2,3 \pm 1,1$	$2,5 \pm 4,3$	$1,6 \pm 3,2$
3	ІМК	0,1	2	$2,8 \pm 3,6$	$0,62 \pm 0,8$	$3,8 \pm 3,1$	$1,3 \pm 2,4$
4	ІМК БАП	0,2 1,0	2	$3,4 \pm 3,3$	$0,26 \pm 0,5$	-	-
5	Кін АК	0,25 5,0	2	$4,9 \pm 1,5$	$2,6 \pm 1,5$	$2,5 \pm 1,5$	$2,8 \pm 1,2$

Примітка: АК – аскорбінова кислота; PPP – регулятори росту рослин; ЖС – живильне середовище.

3. Вплив регуляторів росту рослин на морфогенез *D. spatulate* та *D. aliciae*

Середовище	Життєздатні мікропагони		Коефіцієнт розмноження	Наявність кореневої системи
	шт.	%		
Безгормональне МС	10	100	9	наявна
½ МС	10	100	8	наявна
МС + БАП 0,5 мг·л ⁻¹	2	20	8	немає
МС + БАП 1,0 мг·л ⁻¹	3	30	3	немає
МС + БАП 1,5 мг·л ⁻¹	1	10	4	немає
МС + кінетин 1 мг·л ⁻¹	3	25	4	немає
МС + кінетин 2 мг·л ⁻¹	3	30	3	немає
МС + кінетин 3 мг·л ⁻¹	8	80	4	немає
МС + ІМК + 0,5 мг·л ⁻¹	10	100 %	5	немає

щі з додаванням 0,1 мг·л⁻¹ ІМК експланти також були тонкі, слабкі – 0,4–0,7 см, але при цьому зберігали здатність формувати корені (на одному експлантаті – до 3–5 шт.).

На ЖС доповненого 0,2 мг·л⁻¹ ІМК + 1,0 мг·л⁻¹ БАП не спостерігали суттєвої різниці в розмірах експлантів, при цьому корені формувались значно менші за розмірами. Найоптимальнішим виявилось середовище з використанням 0,25 мг·л⁻¹ кінетину та додаванням РVP 2 г·л⁻¹, а також безгормональне ЖС МС з удвічі зменшеним складом макроелементів. На цьому середовищі спостерігали активний ріст та індукцію ризогенезу.

На 21–28 добу культивування було отримано сформовані рослини-регенеранти, загальний розмір яких сягав до 8 см із добре сформованою кореневою системою. Одержані рослини-регенеранти використовували для подальшої масової мультиплікації *in vitro*.

Після успішного отримання стерильних життєздатних рослин-регенерантів *D. spatulate* та *D. aliciae* проводили підбір компонентів живильного середовища для індукції ризогенезу *in vitro* *Drosera* L. Для цього стерильні рослини розділяли на окремі мікрочастинки й висаджували на ЖС, різні за складом: МС+ІОК (0,5 мг·л⁻¹);

МС+ІМК 0,5 мг·л⁻¹+ ІОК 0,5 мг·л⁻¹; МС+ІМК 4 мг·л⁻¹+0,5 мг·л⁻¹ БАП; б/г МС та ½ МС (табл. 3).

Як видно з таблиці, додавання до ЖС низьких концентрацій цитокинінів БАП та кінетину позитивно впливало на ріст рослин-регенерантів та сприяло формуванню кореневої системи у 50 % рослин. Додавання ауксину ІМК у концентрації 0,5 мг·л⁻¹ також позитивно впливало на індукцію ризогенезу тканин експлантів. Уже через два тижні експланти формували розвинену кореневу систему та вдвічі збільшували свій приріст.

У результаті досліджень, найвищий коефіцієнт розмноження (1:8) та формування кореневої системи було отримано на безгормональному середовищі з удвічі зменшеним вмістом макроелементів та на ЖС із додаванням 0,5 мг·л⁻¹ ІМК. Усі рослини проявляли активний морфогенез та формували корені (рис. 4).

Підсумовуючи отримані результати, найефективнішим можна вважати ЖС ½ МС, яке можна використовувати як для культивування рослин, так і для формування коренів, винятком є лише вимушена індукція. За необхідності швидкого коренеутворення з метою перенесення рослин у ґрунт найкраще використовувати ЖС із додаванням 0,5 мг·л⁻¹ ІМК.

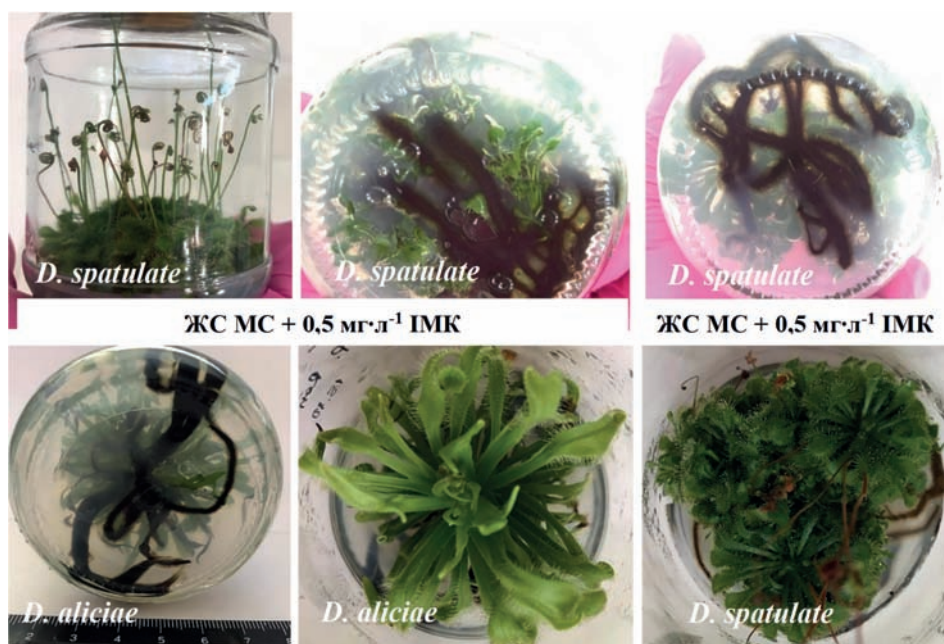


Рис. 4. Формування розвинутої кореневої системи та індукція росту мікропагонів на ЖС ½ МС

Висновки і перспективи. За результатами проведених досліджень було розроблено методику мікроклонального розмноження, яка дала можливість отримати генетично-стабільні, вільні від хвороб рослини-регенеранти *D. spatulate* та *D. aliciae* з оптимально сформованою кореневою системою та вегетативною масою. Отриманий однорідний садивний матеріал можна використовувати у квітникарстві, створенні тераріумів, для фармакологічних цілей та з метою інтродукції. Відпрацьовано методику стерилізації експлантів *D. spatulate* та *D. aliciae* з 80–90-відсотковим отриманням асептичної культури тканин рослин. Вивчено вплив різних варіантів стерилізації на розвиток мікропагонів. Встановлено, що найефективнішим є стерилізація з використанням 0,1-відсоткової розчину AgNO_3 (5 хв) та триразовим відмиванням (5 хв) у dH_2O , а також стерилізація з витриманням

експлантів 30 сек у розчині 70-відсоткового етанолу й 12,5-відсоткової розчину H_2O_2 з одноразовим відмиванням 10 хв у dH_2O . Експериментально з'ясовано, що ЖС МС з додаванням $2 \text{ г}\cdot\text{л}^{-1}$ PVP є оптимальним на етапі введення у культуру *in vitro* *D. spatulate* та *D. aliciae*. Досліджено регенерацію мікропагонів *D. spatulate* та *D. aliciae* залежно від типу експланту та складу ЖС. Найефективніше морфогенез проходив на ЖС із додаванням $0,25 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ кінетину та на б/г МС. Такі умови культивування забезпечили 100-відсоткову регенерацію рослин-регенерантів із коефіцієнтом розмноження 1:8. Після вивчення впливу цитокінінів на мікроклональне розмноження *D. spatulate* та *D. aliciae*, було встановлено, що розвиток та індукція множинного пагоноутворення *in vitro* найкраще проходить на б/г середовищі МС. Для індукції утворення кореневої системи необхідно додавати ЖС $0,5 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ ІМК.

Список літератури

- Andrienko, T., & Protopopova, V. (2010). *Insectivorous plants of Ukraine*. Kyiv: Alterpress [in Ukrainian].
- Anthony, J. L. (1992). In vitro propagation of *Drosera* spp. *HortScience*, 27, 850.
- Araújo, P. V., Porto, M., Silva, A., Almeida, J. D., Lourenço, J., Schwarzer, U., Silveira, P., & Peixoto, M. (2014). *Drosera rotundifolia* L. – mapa de distribuição (*Drosera rotundifolia* L. – distribution map). Flora-On: Flora de Portugal Interactiva, Sociedade Portuguesa de Botânica. Available at <http://www.flora-on.pt/wDrosera>.
- Baranyai, B., & Joosten, H. (2016). Biology, ecology, use, conservation and cultivation of round-leaved sundew (*Drosera rotundifolia* L.): a review. *Mires and Peat*, 18, 1–28. Available at <http://www.mires-and-peat.net/>.
- Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, London.
- Blehova, A., Erdelsky, K., & Bobak, M. Cultivation of organ and callus culture of *Drosera spatulata* Labill. in vitro conditions. Acta Facultatis Rerum Naturalium Universitas Comenianae *Physiol. Plant*, 28, 93–102.
- Chorna, H. (2006). *Flora of reservoirs and swamps of the Forest-Steppe of Ukraine. Vascular plants*. Kyiv: Phytosocial center [in Ukrainian].
- Chornobrov, O. Yu., & Bilous, S. Yu. (2021). In vitro plant regeneration of Christmas cactus (*Schlumbergera truncata* (Haw.) Moran) by indirect morphogenesis *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 63 (1), 68–73. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0007>
- Chornobrov, O., Bilous, S., Chornobrov, O., & Manko, M. (2019). Peculiarities of morphogenesis of the endangered species of willow (*Salix* spp.) in vitro. *BIOLOGIJA*, 65 (1), 48–55.
- Chung, M. Y., Lopez-Pujol, J. & Chung, M. G. (2013). Population history of the two carnivorous plants *Drosera peltata* var. *nipponica* and *Drosera rotundifolia* (Droseraceae) in Korea. *American Journal of Botany*, 100 (11), 2231–2239. <http://dx.doi.org/10.3732>
- Clapa, D., Alexandru, F. & Pacurar, I. (2010). In vitro multiplication, conservation and ex vitro acclimation of *Drosera rotundifolia*. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, UASVM Horticulture*, 66 (1)/2009, 34–39.
- Curkovic Perica, M., & Berljak, J. (1996). In Vitro Growth and Regeneration of *Drosera spatulata* Labill. on Various Media. *HortScience*, 31 (6). <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.6.1033>
- Egan, P. A., & Van der Kooy, F. (2013). Phytochemistry of the carnivorous sundew genus *Drosera* (Droseraceae) – Future perspectives and ethnopharmacological relevance. *Chemistry & Biodiversity*, 10 (10), 1774–1790. <http://dx.doi.org/10.1002>
- Fernández-Pascual, E. (2016). Comparative seed germination traits in bog and fen mire wetlands. *Aquatic Botany*, 130, 21–26. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.01.001>
- GBIF Secretariat. (2014). *Drosera rotundifolia* L. species in GBIF backbone taxonomy. Available at <http://www.gbif.org/species/3191030>.
- Janssens, J. (1986). In vitro propagation of Sundew *Drosera-regia* Stephens. Meded Fac Landbouwwet. *Rijksuniv. Gent*, 51, 61–66.
- Konvaliuk, I., Kravets, N., & Drobik, N. (2010). Direct organogenesis of in vitro yellow gentian (*Gentiana Lutea* L.). *Journal of Biotechnology*, 3 (5), 66–73.
- Kiraly, G. (Ed.). (2009). *Új magyar fűvészkönyv. Magyarország hájtásos növényei. Határozókulcsok*. – Jászvafi: ANP Igazgatóság.
- Kukulczanka, K. & Czastka, B. (1987). Propagation of *Drosera* L. in vitro. *Wiad Bot.*, 31, 61–64.
- Matthews, R. F. (1994). *Drosera rotundifolia*. Fire Effects Information System, US Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station, *Fort Collins*. Available at <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/forb/drortot/all.html>.
- Melzig, M. F., Pertz, H. H., & Krenn, L. (2011). Anti-inflammatory and spasmolytic activity of extracts from *Droserae Herba*. *Phyto-medicine*, 8, 225–229. <http://dx.doi.org/10.1078/0944-7113-00031>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiol. Plant*, 15, 473–497.
- Rak, O., & Kachula, I. (2017). Cancer OO NATURA 2000 network as an innovative system of protection of rare species and settlements in Ukraine. *Proceedings of the scientific-practical seminar (Kyiv, February 15, 2017) / Series: "Conservation Biology in Ukraine" 1*, 131–132.
- Simola, L. K. (1978). Dipeptides as nitrogen sources for *Drosera rotundifolia* in aseptic culture. *Physiol. Plant*, 44, 315–318.
- Umanets, O., & Moisienko, I. (2012). The most southern find of *Drosera rotundifolia* in Ukraine. *Black Sea Botanical Journal*, 8 (3), 342–346.

Bilous S. Yu., Oliinyk O.O., Hunko O.O.
PRESERVATION OF REPRESENTATIVES THE GENUS *DROSERA* L.
USING BIOTECHNOLOGICAL METHODS

*The peculiarities of obtaining planting material of rare representatives *Drosera spatulate* L. and *Drosera aliciae* L. using microclonal propagation in order to preserve and cultivate them in ex vitro conditions were studied.*

*The method of sterilization of *D. spatulate* and *D. aliciae* explants with 80-90% obtaining aseptic material has been developed. The influence of different sterilization options on the development of microshoots has been studied. The best mode of sterilization is 0,1% solution of $AgNO_3$ and 12.5% solution of H_2O_2 .*

*The features of organogenesis and regeneration of the whole organism from cultivated tissues and organs of *Drosera* L. was investigated. The effect of exogenous growth regulators at different stages of plant morphogenesis in vitro is shown. Improved conditions of rhizogenesis in vitro.*

*It was found experimentally that MS nutrient media with the addition of $2\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$ PVP is optimal at the stage of introduction into culture in vitro *D. spatulate* and *D. aliciae*. The regeneration of microshoots of *D. spatulate* and *D. aliciae* depending on the type of explant and the composition of nutrient media was studied. Morphogenesis was most effective on nutrient media with the addition of $0.25\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ kinetin and on the hormone free MS media. Such cultivation conditions provided 100% regeneration of plants with a reproduction rate of 1:8. Studying the effect of cytokinins on the microclonal reproduction of *D. spatulate* and *D. aliciae*, it was found that the development and induction of multiple shoot formation in vitro is best performed on hormone free MS media. To induce the formation of the root system, it is necessary to add into MS nutrient media $0.5\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ IBA.*

*According to the results of the research, a method of microclonal propagation was developed by cutting stem culture, which made it possible to obtain genetically stable, disease-free regenerating plants of *D. spatulate* and *D. aliciae* with an optimally formed root system and vegetative mass. The obtained homogeneous planting material can be used in floriculture, creation of terrariums, for pharmacological purposes and for the purpose of introduction.*

Keywords: *Drosera* L., microclonal reproduction, morphogenes.

Отримано: 2021-03-10

MYCO- AND MICROORGANISMS IN THE TUBERCULOSIS PATHOLOGY OF THE COMMON ASH IN UKRAINE AND INTERACTION BETWEEN THEM

I. M. KULBANSKA, PhD in Biological Science

<https://orcid.org/0000-0002-3424-8106>, e-mail: i_kulbanska@ukr.net

A. F. GOYCHUK, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7770-9451>, e-mail: ogoychuk@gmail.com

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

M. V. SHVETS, PhD in Biological Science

<https://orcid.org/0000-0002-1116-3986>, e-mail: marina_lis@ukr.net

Polissia National University

Attention is focused on the fact that in recent years there has been epiphytotic dieback out of many species of forest woody plants both in Ukraine and in other countries of the world, which has a dynamic character and a tendency to grow. In the deep pathology of this phenomenon, phytopathogenic bacteria, which have high reproduction energy and can penetrate the plant both from the outside and cause a pathological process as vital obligates, were left without attention.

It has been established that the most common and harmful disease of common ash in Ukraine is tuberculosis. The causative agent of the disease is the phytopathogenic bacterium *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* Gard. affects both trunks, branches and shoots, and inflorescences of common ash. Bacteria *Pseudomonas* sp., *Pseudomonas fluorescens* Mig., *Pseudomonas syringae* Van., *Erwinia herbicola* Eh., *Xanthomonas* sp. were isolated from tuberculous pathology as a concomitant myco- and microbiota and micromycetes *Cladosporium cladosporioides* Fres., *Ulocladium botrytis* Preus., *Mycelia sterilia* (dark), *Mycelia sterilia* (orange), *Fusarium heterosporum* Lin., *Fusarium* sp., *W.*, *Cylindrocarpon didymium* Har., etc.

The mechanism of systemic relationships of the components of myco- and microbiota of tuberculous pathology of common ash in the regulation (self-regulation) of pathogenicity and aggressiveness of vital obligates has been investigated. Attention is focused on the prospects and expediency of using the antagonistic properties of myco- and microorganisms and biological products based on them for the prevention and protection of tree plantations from bacterial pathogens.

It is shown that the pathology of common ash is a multifaceted phenomenon with interrelated processes of an infectious and non-infectious nature. The need to distinguish between the etiology and pathogenesis of this negative phenomenon is indicated, that is, not to mix the factors that lead to the weakening of ordinary ash (factors catalyzing the disease) and the factors that cause its epiphytotic dieback.

Keywords: bacteria, fungi, common ash, antagonism, *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*.

Introduction. Mico- and microorganisms are an integral part of the forest biocenosis, which determines its depth, which is directly involved in all stages of growth and development of woody plants and the utilization of mortmass and detritus. Among the systematic and

functional groups of myco- and microbiota, a special place is occupied by phytopathogenic endophytes of various trophic specializations, capable of causing significant ecological, economic and social damage under certain conditions, which is confirmed by deep pathology

with massive (epiphytotic) dieback out of many species of woody plants (Scots pine, spruce European, silver birch, common ash, in somewhat smaller volumes common oak, white fir, aspen, common hornbeam) both in Ukraine and abroad.

Analysis of recent researches and publications. In particular, the degradation and mass dieback out of tree plantations has reached a global level and has been noted practically throughout the entire range of many ash species, including common ash, both in European countries and in the USA and Asian countries (EPPO, 2020).

The pathology was first discovered in Northern and Central Europe in the 1990s (Kowalski & Holdenrieder, 2009), and then was discovered in Germany and Sweden (Langer, 2017), Norway (Talgø, 2009), the Czech Republic, Slovakia and Finland (Jankovský & Holdenrieder, 2009), Austria (Halmschlager & Kirisits, 2008) and Hungary (Kirisits et al., 2009). In 2008, the disease spread to France (Husson, 2011), in 2009 it was Italy and Greece (Ogris, 2010), which caused the trees to dieback. The latest reports of noted pathology of *Fraxinus excelsior* L. were received from Belgium (Chandelier, 2009), Netherlands, England and Ireland (COST, 2011). In Ukraine, pathological dieback of ash has been reported since 2014 (Davydenko et al., 2013; Goychuk & Kulbanska, 2014; Matsiakh & Kramarets, 2014). Ash is currently dieback in 30 European countries (COST, 2011).

From different parts of the planet, there are reports of similar and different etiology and symptoms of tuberculous pathology. Based on scientific research, many possible pathogens – fungi have been put forward (Kowalski & Holdenrieder, 2009; Lygis et al., 2005; Przybył, 2002; Langer, 2017) (in particular, *Hymenoscyphus fraxineus* Bar., which was identified in Ukraine (Davydenko et al.,

2013), bacteria (Cherpakov, 2012; Goychuk et al., 2019), nematodes (John, 1967; Ryss & Polyana, 2018), mycoplasmas (Bricker & Stutz, 2004), representatives of harmful entomofauna (Korda et al., 2019), as well as the influence of climatic and soil-hydrological indicators (Goberville et al., 2016), however, no consensus has been reached yet.

Materials and methods of research.

Material for the study of the peculiarities of tuberculous pathology of common ash was collected in fresh oak forests of Western Podillia of Ukraine, which, as you know, are optimal for the growth of highly productive deciduous forests with the participation of *Fraxinus excelsior*, in particular, in natural conditions on the territories of state forestry enterprises (Chortkivske forestry enterprise, Ternopil'ske forestry enterprise, Buchatske forestry enterprise). In the study area, *Fraxinus excelsior* usually grows in mixed stands with *Acer pseudoplatanus* L., *Acer platanoides* L., *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., *Prunus avium* L., *Carpinus avium* L. and *Ulmus campestris* L., *U. glabra* Mill. However, there are also monocultures of ash, which are also characterized by high productivity. The vast majority of stands with *Fraxinus excelsior* have a stand density of 0.7–0.8. The age groups are dominated by middle-age and pre-matured stands, which account for about 58 % of the area of stands.

Affected samples were taken according to pathology of varying intensity, from trees of different age groups (young, by middle-age and matured stands) and from different parts of the trunk in transverse and longitudinal sections – from the bark, from the affected bast part, on the border of healthy and affected wood and visually healthy tissue.

During the research, reconnaissance and detailed methods of forest patho-

logical examinations were used, as well as methods of phytopathological, microbiological and mycological studies according to generally accepted methods (Patyka, 2017), due to which studies of the pathogenic, anatomical-morphological, cultural and antagonistic properties of *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* and associated bacteria and micromycetes in the tuberculous pathology of ash (Goychuk, 2020a).

In the laboratory of the D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NASU homogenized and plated on potato agar (PA) pieces of affected tissues. Bacterial cultures were grown in a thermostat at a temperature of 26 °C. The number of microorganisms depending on functional and other traits was tested for their growth on special nutrient media (potato agar, meat-peptone agar, meat-peptone broth, malt extract of agar, a medium of Chapek, etc.). The pathogenic properties of the isolates were manifested in laboratory and field conditions by artificial infection of vegetative and generative organs of common ash and indicator plants (*Phaseolus vulgaris* L., *Nicotiana tabacum* L., *Kalanchoe laciniata* L.) with a bacterial suspension with a titer of 10⁸-10⁹ cells×ml⁻¹ (according to turbidity standard). Control – sterile tap water. The placement and size of bacterial cells, Gram staining, the morphology of colonies of microorganisms, their biological, biochemical and cultural properties were studied using special methods (Patyka, 2017).

To determine the ability of bacterial isolates to ferment various sources of hydrocarbons, the mineral medium of Omelyansky was used. The following organic compounds were used as sources of carbohydrates: lactose, xylose, rhamnose, trehalose, raffinose, L-arabinose, maltose, sorbitol, salicin, sucrose, galactose, fructose, glycerin, mannitol, citrate.

The enzymatic or oxidative pathway of glucose uptake was determined by the growth of microorganisms on Omelyansky's medium under anaerobic conditions under a 1 cm layer of vaseline oil. The indicator was an aqueous solution of bromothymol blue. Milk and gelatin were used to detect proteolytic enzymes in bacteria. Interactions between microorganisms were investigated by the method of delayed antagonism. The test cultures were a standard set of bacterial strains from the collection of the Department of Phytopathogenic Bacteria of the D. K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of the NASU, as well as isolated by us from vegetative and generative organs of common ash.

The antibacterial activity of biopesticides based on *Bacillus* sp. was investigated by titration and on ash in vivo.

To assess the typicality of the species of micromycetes and to determine their position in the structure of dominance in the biocenosis, we applied the criterion of a spacious frequency of occurrence. To study the typical diversity of fungi in the biogeocenosis, we used the concept of the seasonal frequency of occurrence of the species. To characterize the species composition of fungi in the wood samples under study, the Sorensen-Chek-anovsky similarity coefficient was used.

Results of the research and their discussion. Nowadays, practically all systematic groups of myco- and microorganisms (as causative agents of diseases) are known on ordinary ash – fungi, bacteria, mycoplasma-like organisms (MPO), viruses, viroids, as well as algae, lichens, higher flowering plants, etc. Our research is aimed directly at establishing the species composition and mechanism of systemic relationships of the components of the myco- and microbiota of tuberculous pathology of common ash to regulate (self-regulate) the pathogenicity



Fig. 1. Symptoms of tuberculous pathology of common ash: *a* – general view of the affected *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* tree; *b* – tuberculous formations on the trunk; *c* – the consequences of joint colonization of the ash trunk with the causative agent of tuberculosis, nectriosis and wood-coloring fungi

and aggressiveness of vital obligate as a permanent (inalienable, obligatory) presentation in a part of the plant organism.

The symptomatology of tuberculous pathology of common ash in the study region is typically infectious and manifests itself on the branches, trunks, and generative organs of ash. At the same time, instead of a smooth greenish-grey bark, small elliptical soft tumors are formed due to local swelling of the bark and filling the voids with an odorless gray sticky bacterial mass.

Over time, the affected areas of the trunk become flattered, crack, the cambium and bast in the middle part die off and collapse. In the center of tuberculous formations, a crack forms, which over time heals. However, complete overgrowth does not occur. From year to year, new tumors form, which spread both along the length and the perimeter of the trunk (branch). As a result, specific long-term lesions are formed, which outwardly resemble a “scab” (Fig. 1).

The number of wounds on a tree depends on the degree of injury and the

age of the tree, but generally, on one affected tree, dozens and even hundreds of foci of tuberculosis can be counted. The presence of lesions deep in the trunk, which is overgrown with wood, usually spread along with the annual rings. Rotten areas on the trunk of an ash tree are formed exclusively during mixed infection with the formation of open ulcers with the participation of wood-destroying and wood-coloring fungi, in particular from the *Ascomycota* and *Basidiomycota* divisions. In the formation of open wounds (ulcers), usually the causative agents of common or stepped cancer, mainly *Nectria galligena* Bres., are involved or *Endoxylina stellulata* Rom. (anamorph – *Libertella fraxini* Ogan.). And then the disease proceeds with symptoms characteristic of these pathogens (stepped open ulcers are formed).

To establish the etiology of this phenomenon, we conducted special myco- and microbiological analyzes, the result of which is the identification of the pathogen and the species composition of

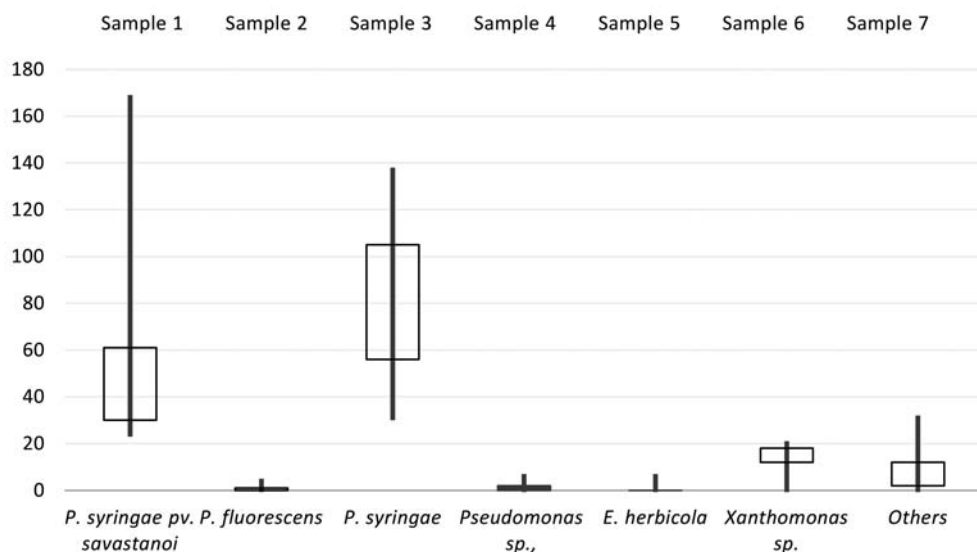


Fig. 2. Number of colony-forming units (CFU) bacteria isolated from vegetative and generative organs *Fraxinus excelsior*

concomitant myco- and microbiota of tuberculosis pathology.

As a result of determining the species composition of the pathogenic microflora of tuberculous pathology of common ash, 7 species of bacteria were identified. The analysis of the obtained results showed the similarity of the studied samples with the following species: *Pseudomonas syringae pv. savastanoi*, *P. fluorescens*, *P. syringae*, *Pseudomonas sp.*, *Erwinia herbicola*, *Xanthomonas sp.*, *Bacillus subtilis* Eh. and *Bacillus pumilus* Eh. According to the results of artificial infection, the isolates showed pathogenicity both on ash-key, young ash trunks (branches), and on indicator plants. At the same time, they were non-pathogenic to the leaves of common ash (only minor damage to the leaf blade remained at the sites of the introduction of the bacterial inoculum).

The average values of bacteria isolated from the vegetative and generative organs of *Fraxinus excelsior* ranged from 1 to 168 CFU (Fig. 2). The largest num-

ber (116, 168 CFU) of bacteria was obtained by isolating *Pseudomonas syringae pv. savastanoi*.

Also, thanks to the results of artificial infection of common ash by injection into the trunks of a suspension of a daily culture of microorganisms (8.6–9.97 CFU×ml⁻¹) and by introducing a pure bacterial culture under the bark (14.1–21.27 CFU×ml⁻¹) (both in vivo and in vitro), we confirmed the bacterial etiology of tuberculous pathology (Fig. 3) and isolated the pathogen – the phytopathogenic bacterium *Pseudomonas syringae pv. savastanoi*. When carrying out the above-mentioned works, circadian rhythms of plant resistance (Gvozdyak, 2005) to bacteriosis pathogens were taken into account.

The agent isolated by us has typical features for the genus *Pseudomonas*. These are non-spore-bearing mobile rods 0.4–0.8×1.3–3.0 microns in size, gram-negative, placed singly, in pairs or in short chains, sometimes in groups, lophotrichs, with 1-6 polar flagella. The



Fig 3. The result of artificial infection of the organs of common ash *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*

ends of the sticks are smoothly rounded. On the potato agar, colonies are grey-white, smooth, round, transparent, with a denser center, with an equal or slightly wavy, sometimes with a blue tint, edge. Colonies on meat-peptone agar are small, 2-3 mm in diameter, grow slowly, gray-white, round, flat, or convex, with a notch in the center, transparent, with an equal or wavy edge. On meat-peptone broth, the growth is moderate, bacteria form uniform cloudiness. No growth was found on the Czapek and Omelyansky medium.

The strains are not homogeneous according to physiological characteristics. The aerobic, not fermenting glucose under vaseline oil. Bacteria assimilate sucrose, galactose, fructose, glycerin, mannitol, citrate; do not assimilate lactose, xylose, rhamnose, trehalose, raffinose, L-arabinose, maltose, sorbitol, salicin. They do not reduce nitrates. They cause a hypersensitivity reaction on the leaves of *Nicotiana tabacum* and form a fluorescent pigment on the potato agar.

Growth was noted at 37 ° C. According to the given signs, the causative agent of tuberculous pathology is close to that described in the literature (Jacobellis & Caponero, 1998; Cherpakov; 2012; Ramos et al., 2012; Suresh & Rupert, 2016;

Caballo-Ponce et al., 2017; Goychuk et al., 2019).

In particular, growth (no growth) on most nutrient media, significant variability with food sources, relationship in the production of enzymes. The main differences are the absence of fluorescence in liquid nutrient media and the slow absorption of carbohydrates and alcohols. The heterogeneity and plasticity of this species are associated with the possibility of expanding the spectrum of nutritious plants.

In the course of our analysis of mycobiota, affected by tuberculous pathology of ash branches in the region, of the study in total (including identified only to the level of the genus *Fusarium* sp. and *Phoma* sp.). Were identified 7 genera and 10 species of micromycetes. Usually, the affected tissue samples had a mixed infection (Fig. 4).

The analysis of the obtained results showed the similarity of the studied samples with the following species: *Acremonium strictum*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. didymum*, *Fusarium sporotrichiella* Bilaivar. (Peck) Wol., *Fusarium heterosporum*, *Fusarium* sp., *Mycelia sterilia* (dark), *M. sterilia* (orange), *Phoma* sp., *Ulocladium botrytis*.

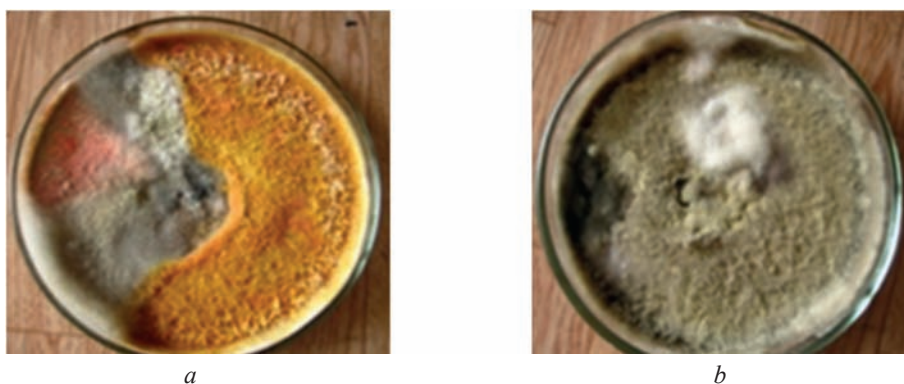


Fig. 4. Colonies of micromycetes isolated from vegetative and generative organs of affected trees *Fraxinus excelsior*: *a* – *Mycelia sterilia* (orange), *M. sterilia* (dark), *Cladosporium cladosporioides*, *Ulocladium botrytis*; *b* – *U. botrytis*, *Phoma* sp., *C. cladosporioides*

Based on the results obtained, it is possible to differentiate the identified species into separate categories, in particular, to assert that *Ulocladium botrytis* is a typical dominant species (spatial and seasonal frequency of occurrence exceeds 60 %). Typical numerous species include – *Phoma* sp., *Cladosporium cladosporioides*, *Mycelia sterilia* (orange). Following the types of rare species – *Acremonium strictum*, *Cladosporium didymum*, *Fusarium sporotrichiella*, *F. heterosporum*, *Fusarium* sp. and *M. sterilia* (dark). There are no random species. *Ulocladium botrytis* is characterized by a high occupancy rate (57.1 %), while *Acremonium strictum*, *C. didymum*, and *Fusarium sporotrichiella* are characterized by a low one (14.3 %). *F. heterosporum* (Fig. 5).

Based on the calculation of the Soresen-Chekanovsky similarity coefficient ($S > 0.5$), we see that there are significant differences between the species composition of the compared stages of the study. In general, the results of the study showed that the mycobiota of infected branches of common ash is characterized by the presence of a complex of pathogenic species, dispersedly local-

ized over the affected area. The results obtained confirm the assumption of the presence of a complex biological complex, dieback of tree stands. We also found a disease known as “ash dieback” (“deadly disease” of ash, “peripheral dying off”, “pathogenic dieback of ash”) in the studied stands). It should be noted that the symptoms have fundamental differences in comparison with tuberculosis. In affected plants, there is a rapid gradual (sometimes sudden) crown death due to the formation of local necrotic areas on the shoot (trunk). The leaves above the lesion site wither (starting from the top), and by the end of summer they turn black (like those burnt by fire) and do not fall off for a long time.

Studies have shown that the micromycete *Chalara fraxinea* Kow. is the causative agent of ash dieback (Kowalski, 2006; Davydenko et al., 2013; Matsiakh & Kramarets, 2014). At the same time, attention was focused on the fact that *C. fraxinea* is an anamorph of *Hymenosyphus pseudoalbidus* (Kowalski & Holdenrieder, 2009). We have isolated several species of anamorphic fungi from the pathology of the ash dieback type (we failed to isolate *C. fraxinea*) and bacteria,

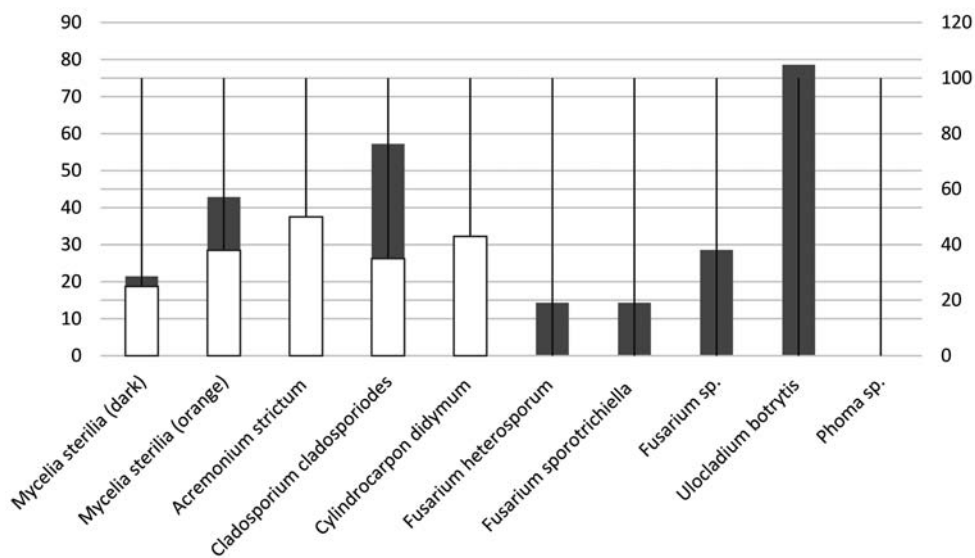


Fig. 5. Spatial and seasonal frequency of occurrence of micromycetes of tuberculous pathology of common ash

in particular *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*, *Erwinia horticola* and *Xanthomonas* sp. Artificial infection of ash organs with micromycetes did not lead to symptoms similar to “ash dieback”, and bacterial infections caused pathological processes similar to ash tuberculosis.

To initiate processes related to the activity of natural populations of hyperparasites, which are ecologically and trophically combined with bacterial phytopathogens, we investigated the relationship, in particular antagonistic, in the systems of “phytopathogenic bacteria-hyperparasites” of tuberculous pathology of common ash.

The study of systemic relationships, primarily antagonistic, between different types of myco- and microorganisms, including saprotrophs and pathogens, pathogens of infectious plant diseases, including bacteriosis, in the context of identifying active antagonists to pathogenic components of myco- and micro-

biota is extremely important and relevant. To study the antagonistic relationships in the system “bacterium-bacterium” and “bacterium-micromycete” in the laboratory, we used both isolated by us and collection strains of bacteria *Pseudomonas syringae* 8511, *Pseudomonas savastanoi* 9174, as well as micromycetes *Ulocladium botrytis*, *Phoma* sp., *Cladosporium cladosporioides*, *Acremonium strictum*, *Cladosporium didymum*, *Fusarium sporotrichiella*, *F. heterosporum*, *F. sp.*

All strains were used in cross-reactions “basic culture-test culture”. A total of 108 variants of reactions were delivered. During the research, we did not find antagonistic relationships between test cultures – pathogens of *Fraxinus excelsior* in the system “bacterium-bacterium”. In contrast to bacteria, micromycetes isolated from the vegetative and generative organs of *Fraxinus excelsior* showed some antagonistic activity against phytopathogenic bacteria. The most active

were *Ulocladium botrytis* and *Cladosporium cladosporioides* with mean sterile zones of 5.8 and 4.9 mm, respectively. They suppressed to varying degrees all test cultures of phytopathogenic bacteria. The activity of the other three micromycete species, *Acremonium strictum*, *Fusarium heterosporum*, and *F. sporotrichiella*, was selective. They did not inhibit the growth of *Pseudomonas* sp. ("Kr4") and *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* ("Kr4") and weakly inhibited *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* ("H1") and the collection *Pseudomonas savastanoi* 9174. Other species of micromycetes did not show antibacterial activity. Bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* (H1), *Pseudomonas syringae* 8511, *Pseudomonas savastanoi* 9174 were the most sensitive to all types of micromycetes.

Regarding the reverse effect, phytopathogenic bacteria on micromycetes, in most cases their antifungal activity was zero. Minor areas formed by the action of bacteria on micromycetes are also virtually zero. Such a result was obtained in the laboratory on an artificial nutrient medium, which differently affects the growth and activity of bacteria and micromycetes. In particular, bacteria grow intensively on the potato agar, and the

growth of micromycetes is inhibited. At the same time, bacteria do not grow on Czapek medium due to the presence in these media of different nutrients for micromycetes and bacteria. Under natural conditions, the interaction in the systems "bacterium-bacterium", "bacterium-micromycete", "micromycete-bacterium" can and obviously should be different, because the micro- and microorganisms are influenced by various factors (woody plant at certain stages growth and development, its physiological state, the presence of a pathology, meteorological (synoptic) factors, including as catalysts of pathology, compliance of forest woody plant with forest conditions, etc.). However, experiments with coniferous forest woody plants have shown that phytopathogenic bacteria (so-called vital obligates) in natural conditions outside the pathological process do not affect the growth of micromycetes (Gvozdyak, 2005; Goychuk, 2020b). Studies of biological products ("Victant" and "P27ant") based on aerobic spore-forming bacteria *Bacillus* sp. no high antimicrobial activity was revealed for all studied cultures of microorganisms, and their activity depended not only on the type of bacteria but also on which organs of the ash tree it was isolated from (Fig. 6).

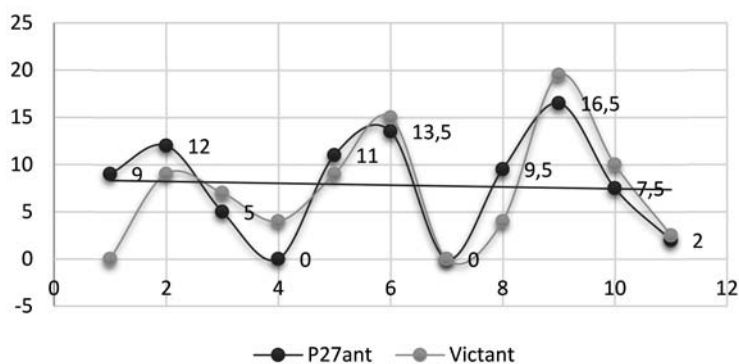


Fig. 6. Antimicrobial activity of "Victant" and the strain "P27ant"

It was found that bacteria of the genus *Bacillus* sp. can suppress the adhesion and survival of phytopathogenic *P. syringae* pv. *savastanoi* on the surfaces and tissues of test plants, eliminating the pathogen population or decreasing its density with a possible attenuation of properties, the mechanism of which requires further research. Thus, our studies in combination with the results of other scientists indicate the presence of diseased trees *Fraxinus excelsior* complex biocomplex of pathogenic species, which directly involved in the dieback of ash stands. And, we found elements of antagonistic relationships between components of different systematic and functional groups of myco- and microorganisms indicate the possibility and necessity of using this phenomenon in the context of positive and negative feedback mechanisms to develop methods of biological protection of forest woody plants, including *Fraxinus excelsior*, from pathogens of infectious diseases, including bacteriosis.

Conclusions and future perspectives. Currently, the deterioration of phytosanitary conditions of plantations with the participation of *Fraxinus excelsior* is associated with various biotic (harmful entomofauna), biotic parasitic (micromycetes, bacteria, nematodes, mycoplasma factors, as well as adverse climatic (synoptic, synoptic, and many), including “ash dieback” and tuberculosis, which indicates the need for comprehensive studies of pathologies of forest woody plants, including epiphytic, in particular, diseases of forest woody plants are currently associated with exogenous infection.

Isolated by us the causative agent of tuberculous pathology of common ash *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* on the following grounds is close to that described in the literature: growth (no growth) on most nutrient media, significant variability in relation to nutrient sources, and so on.

Erwinia horticola, *Pseudomonas* sp., *P. fluorescens*, *P. syringae*, *P. agglomerans*, *Xanthomonas* sp., spore-bearing bacteria *Bacillus* sp., as well as micromycetes *Acremonium strictum*, *Cladosporium didymum*, *Fusarium* sp., *Fusarium sporotrichiella*, *F. heterosporum*, *Phoma* sp., *Ulocladium botrytis* and the like isolated at different stages of tuberculous pathology of *Fraxinus excelsior*. Affected plants at any age have hidden faults in the wood (blackening, cracks, rotten areas with a significant spread along the trunk), which devalues it.

It was found that both isolated phytopathogenic bacteria and concerning test cultures of bacteria did not reveal antagonistic activity. In contrast to bacteria, micromycetes isolated from the vegetative and generative organs of common ash are characterized by a large antagonistic activity concerning phytopathogenic bacteria. Thus, we found, like other researchers, elements of antagonistic relationships between components of different systematic and functional groups of myco- and microorganisms indicate the possibility and necessity of using this phenomenon in the context of positive and negative feedback mechanisms for the development of means and methods of biological protection forest woody plants, including *Fraxinus excelsior*, from pathogens of infectious diseases, including bacteriosis.

References

- Bricker, J. S., & Stutz, J. C. (2004). Phytoplasmas associated with ash decline. *J. Arboric*, 30, 193–199.
- Caballo Ponce, E., Murillo Martínez, J., Martínez Gil, M., Moreno Pérez, A., Pintado, A., & Ramos, C. (2017). *Knots untie: Molecular*

- determinants involved in knot formation Induced by *Pseudomonas savastanoi* in woody hosts. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01089>
- Chandelier, A., Delhay, N., & Helson, M. (2009). First report of the ash dieback pathogen *Hymenoscyphus pseudoalbidus* (anamorph: *Chalara fraxinea*) on *Fraxinus excelsior* in Belgium. *Plant Disease*, 95, 220–226.
- Cherpakov, V. V. (2012). Bacterial diseases of forest species in pathology of forest. *Journal SPb GLTU*, 292–303 [in Russian].
- COST 2011: European cooperation in science and technology. Fraxinus dieback in Europe: elaborating guidelines and strategies for sustainable management (FRAXBACK). Available at http://www.cost.eu/COST_Actions/fps/FP1103.
- Davydenko, K., Vasaitis, R., Stenlid, J., & Menkis, A. (2013). Fungi in foliage and shoots of *Fraxinus excelsior* in eastern Ukraine: a first report on *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *Forest Pathology*, 43 (6), 462–467. <https://doi.org/10.1111/efp.12055>
- EPPO. 2020. EPPO Global database. In *EPPO Global database*. Paris, France: EPPO. Available at <https://gd.eppo.int/>.
- Goberville, E., Hautekèete, N.-C., Kirby, R., Piquot, Y., Luczak, C., & Beaugrand, G. (2016). Climate change and the ash dieback crisis. *Scientific Reports*, 6, 35303. <https://doi.org/10.1038/srep35303>
- Goychuk, A., & Kulbanska, I. (2014). Etiology of Common Ash Diseases in Podolia, Ukraine. *Scientific Journal of NUBiP of Ukraine*, 24. 11, 15–19 [in Ukrainian].
- Goychuk, A., Drozda, V., Kulbanska, I., & Shvets, M. (2019). Phytopathogenic bacteria in the pathology of forest trees of polyssya and forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea region agrarian science*, 2, 28–33. [https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-2\(102\)-4](https://doi.org/10.31521/2313-092X/2019-2(102)-4)
- Goychuk, A. F., Kulbanska, I. M., & Shvets, M. V. (2020a). Associated with bacteria in pathology *Fraxinus excelsior* L. *Microbiological Journal*, 82 (3), 22–34. <https://doi.org/10.15407/microbiolj82.03.022>
- Goychuk, A. F., Drozda, V. F., Shvets, M. V., & Kulbanska, I. M. (2020b). Bacterial wetwood of silver birch (*Betula pendula* roth): symptomology, etiology and pathogenesis. *Folia Forestalia Polonica*, 62 (3), 145–159. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0015>
- Gvozdyak, R. I. (2005). Perspective directions of research of phytopathogenic bacteria. In *Proceedings of the International Scientific Conference "Phytopathogenic bacteria. Phytocidology. Allelopathy"* (pp. 3–8). Zhytomyr [in Ukrainian].
- Halmschlager, E., & Kirisits, T. (2008). First report of the ash dieback pathogen *Chalara fraxinea* on *Fraxinus excelsior* in Austria. *Plant Pathology*, 57, 1177.
- Husson, C., Scala, B., Caël, O., Frey, P., Feau, N., Ioos, R., & Marcais, B. (2011). *Chalara fraxinea* is an invasive pathogen in France. *European Journal of Plant Pathology*, 130, 311–324. <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9755-9>
- Iacobellis, N. S., & Caponero, A. (1998). Evidente Characterization of *Pseudomonas syringae* ssp. *savastanoi* strains isolated from ash. *Plant Pathology*, 47, 73–83. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1998.00202.x>
- Jankovský, L., & Holdenrieder, O. (2009). Ash and ash dieback in the Czech Republic. *Plant Protection Science*, 45, 74–78. <https://doi.org/10.17221/45/2008-PPS>
- John, L. (1967). *Ruehle Distribution of Plant-parasitic Nematodes Associated with Forest Trees of the World*. Plant Nematologist Forestry Sciences Laboratory Athens, Georgia. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.149734>
- Kirisits, T., Matlakova, M., Mottinger-Kroupa, S., Halmschlager, E., & Lakatos, F. (2009). *Chalara fraxinea* associated with dieback of narrow-leafed ash (*Fraxinus angustifolia*). *New Disease Reports*, 1–2.
- Korda, M., Csóka, Gy., Szabó, Á., & Ripka, G. (2019). First occurrence and description of *Aceria fraxiniflora* (Felt, 1906) Acariformes: Eriophyoidea) from Europe, *Zootaxa*, 4568(2), zootaxa.4568.2.5. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4568.2.5>
- Kowalski, T., & Holdenrieder, O. (2009). The teleomorph of *Chalara fraxinea*, the causal agent of ash dieback. *Forest Pathology*, 39, 304–308. Available at <http://www.blackwell-synergy.com/loi/efp>. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2008.00589.x>
- Kowalski, T. (2006). *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland. *Forest Pathology*, 36, 264–270.
- Langer, G. (2017). Collar rots in forests of Northwest Germany affected by ash dieback. *Baltic Forestry*, 23, 4–19.
- Lygis, V., Rimvydas, V., Karl-Henrik, L., & Jan, S. (2005) Wood-inhabiting fungi in stems of *Fraxinus excelsior* in declining ash stands of northern Lithuania, with particular reference to *Armillaria cepistipes*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20 (4), 337–346. <https://doi.org/10.1080/02827580510036238>
- Matsiakh, I. P., & Kramarets, V. O. (2014). Declining of Common Ash (*Fraxinus excelsior* L.) in Western Ukraine. *Scientific Herald of National Forest Technical University of Ukraine*, 24. 7, 67–74 [in Ukrainian].
- Ogris, N., Hauptman, T., Jurc, D., Floreancig, V., Marsich, F., & Montecchio, L. (2010). First Report of *Chalara fraxinea* on Common Ash in Italy. *Plant Disease - PLANT DIS*, 94, 133–133. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-1-0133A>

- Patyka, V. P., Pasichnyk, L. A., Gvozdyak, R. I., Petrichenko, V. F., et al. (2017). *Phytopathogenic bacteria. Methods of research*. Vinnytsia: Windruck [in Ukrainian].
- Przybył, K. (2002). Fungi associated with necrotic apical parts of *Fraxinus excelsior* shoots *Forest Pathology*, 46 (4), 387–394. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00301.x>
- Ramos, C., Matas, I. M., Bardaji, L., Aragón, I. M., & Murillo, J. (2012). *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi*: Some like it knot. *Molecular Plant Pathology*, 13 (9), 998–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00816.x>
- Ryss, A., & Polyana, K. (2018). Characterization of Juvenile Stages of *Bursaphelenchus crenati* Rühm, 1956 (Nematoda: Aphelenchoidoidea). *Journal of nematology*, 50, 459–472. <https://doi.org/10.21307/jof-nem-2018-042>
- Suresh, G. B., & Rupert, A. Y. (2016). *Bacterial Diseases of Forest Trees, Bacterial Diseases of Crop Plants*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315367972>
- Talgø, V., Sletten, A., Brurberg, M. B., Solheim, H., & Stensvand, A. (2009). *Chalara fraxinea* Isolated from Diseased Ash in Norway. *Plant Disease*, 93 (5), 548. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-5-0548A>

**Кульбанська І. М., Гойчук А. Ф., Швець М. В.
МІКО- І МІКРООРГАНІЗМИ ТУБЕРКУЛЬОЗНОЇ ПАТОЛОГІЇ ЯСЕНА ЗВИЧАЙНОГО
В УКРАЇНІ ТА ВЗАЄМОВІДНОСИНИ МІЖ НИМИ**

Останніми роками спостерігається епіфітотійне всихання багатьох видів лісових деревних рослин як в Україні, так і в інших країнах світу, яке має динамічний характер і тенденцію до зростання. Особливу увагу нині необхідно приділити деградації ясеневих насаджень, етіологія патології якої пов'язана із фітопатогенною бактерією – *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*. Загальна схема досліджень туберкульозної патології *Fraxinus excelsior* передбачала такі етапи: рекогносцирувальні та детальні лісопатологічні обстеження за загальноприйнятими лісівничо-таксаційними та фітопатологічними методами; відбір уражених органів і тканин; ізоляція міко- і мікроорганізмів у чисту культуру; перевірка патогенних властивостей виділених ізолятів та їх ідентифікація; дослідження антагоністичних взаємовідносин у системі «бактерія–бактерія», «бактерія–мікроміцет» як можливих чинників індукції демутаційних процесів у лісовий біоценоз. Збудник туберкульозу веде до формування типових туберкульозних вразок на вегетативних та генеративних органах ясеня звичайного. Характер патогенезу захворювання – хронічний, вагомо впливає на онтогенез рослини, зокрема веде до формування поліморфних типів вад деревини та деформації насіння у дерев стиглого віку. Древа молодого віку гинуть унаслідок спільної інфекції з іншими інфекційними агентами. Древа порослевого походження відмирають у перші роки після зараження. Дослідження механізму системних взаємин (зокрема, антагоністичних) складових міко- і мікробіоти туберкульозної патології ясеня звичайного дає можливість втрутитися у процес регуляції патогенності й агресивності вітальних облігатив, шляхом застосування біопрепаратів для профілактики і захисту деревних насаджень від збудників бактеріозів. На різних стадіях туберкульозної патології *Fraxinus excelsior* L. ізолювані *Erwinia horticola*, *Pseudomonas* sp., *P. fluorescens*, *P. syringae*, *P. agglomerans*, *Xanthomonas* sp., спороносні бактерії *Bacillus* sp., а також мікроміцети *Acremonium strictum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Cylindrocarpon didytmum*, *Fusarium* sp., *F. sporotrichiella*, *F. heterosporum*, *Phoma* sp., *Ulocladium botrytis* тощо, які використані в дослідженнях як «антипод» збудника туберкульозу. Встановлено, що бактерії роду *Bacillus* sp. здатні пригнічувати адгезію і виживання фітопатогенних *P. syringae* pv. *savastanoi* на поверхнях і в тканинах тест-рослин, елімінуючи популяцію патогена або зменшуючи її щільність з імовірною атенуцією властивостей, механізм якої потребує подальших досліджень.

Ключові слова: бактерії, гриби, ясен звичайний, антагонізм, *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi*.

Отримано: 2021-03-19

ДО УВАГИ АВТОРІВ!

До розгляду приймаються наукові статті обсягом **10–20 сторінок тексту** без врахування бібліографічних посилань і анотації англійською або українською мовою (залежно від мови статті). Формат паперу – А4, орієнтація – книжкова, поля з усіх сторін – 20 мм, міжрядковий інтервал – 1,5, кегль шрифту – 14, гарнітура – Times New Roman, абзац – 1 см (лише для основного тексту статті і анотацій).

Структура наукової статті:

- **УДК** (вирівнювання по лівому краю, шрифт – звичайний);
 - **назва статті** (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний, великі літери);
 - **ініціали та прізвище авторів** (вирівнювання по центру, шрифт – напівжирний); **науковий ступінь і вчене звання, ідентифікатор ORCID, електронна адреса авторів, місце їхньої роботи** (вирівнювання по центру, шрифт – курсив), кожен співавтор з нового рядка; студенти і аспіранти додатково вказують наукового керівника в кінці першої сторінки статті у вигляді виводки;
 - **анотація** українською (англійською) мовою (кегль шрифту – 14, курсив, міжрядковий інтервал – 1). Обсяг анотацій українською і англійською мовами повинен бути **не менше 1800 знаків**;
 - **ключові слова** (кегль шрифту – 14, курсив, міжрядковий інтервал – 1) – словосполучення (слова), що використовуються для пошуку статті в електронних базах, жодне з них не дублює слова з назви статті;
 - **текст наукової статті** із зазначенням наступних елементів:
 - **Актуальність** – висвітлюється важливість дослідження, існуючі проблеми та напрями їх вирішення в контексті поставлених наукових завдань із зазначенням ще не вирішених аспектів питання.
 - **Аналіз останніх досліджень та публікацій**. Подається короткий аналіз результатів досліджень науковців з тематики наукової статті. В кінці цього розділу стисло формулюється основне завдання наукового дослідження у вигляді **Меті** або **гіпотези статті**.
 - **Матеріали і методи дослідження** – детально описується схема дослідження, умови і місце проведення досліду, основні методи і методики дослідження тощо.
 - **Результати дослідження та їх обговорення** – зазначаються отримані результати дослідження та їх аналіз із наведеним порівнянням щодо відомих фактів (бажано за останні 5 років).
 - **Висновки і перспективи** – необхідно представити конкретні результати аналізу та перспективи подальших досліджень.
 - **Подяки** (якщо необхідні!) подаються після висновків перед бібліографічними посиланнями.
 - **список літератури** подається у кінці наукової статті у порядку згадування або у алфавітному порядку, **без нумерації** (кегль шрифту – 14, міжрядковий інтервал – 1). Список літератури повинен містити **не менше 10 літературних джерел** і формується за вимогами **APA 7th Edition**. Посилання у тексті наводяться за зразком (Прізвище, рік), наприклад: один автор – (Vinson, 1997), два автори – (Vargo & Laurel, 1994), ..., шість і більше авторів – (Jones et al., 1978). Детально з правилами можна ознайомитись за посиланням <http://nbuv.gov.ua/node/929> або за прикладами на сайті журналу.
- Всі літературні джерела потрібно наводити **англійською мовою** і не менше трьох із них повинні мати **ідентифікатор DOI**. **Транслітерація** допускається лише прізвищ авторів, видавництва і географічних назв.
- **ініціали і прізвища авторів, тема, анотація та ключові слова**, які надаються **англійською** (українською) **мовою**.