Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
Національний лісотехнічний університет України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Кополовець Ярослав Михайлович

УДК [630*416.5:630*443.3:630*811.2:630*812.3]

ДИСЕРТАЦІЯ

Природна стійкість деревини *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах

205 – Лісове господарство
20 – Аграрні науки та продовольство

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Я. М. Кополовець

Науковий керівник – Сопушинський Іван Миколайович,
доктор сільськогосподарських наук, професор

Львів – 2023

АНОТАЦІЯ

Кополовець Я. М. Природна стійкість деревини *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 205 – Лісове господарство (20 – Аграрні науки та продовольство). – Національний лісотехнічний університет України, Львів, 2023.

Аналіз вітчизняної та іноземної наукової літератури сфокусовано на біотичному та абіотичному впливі на біологічну стійкість лісової екосистеми та її важливої складової – деревного виду. Проаналізовано структурні відмінності деревини у різних типах лісу як природного полімеру, який складається з целюлози, геміцелюлози та лігніну. Біологічне руйнування деревини у ростучому дереві пов'язано із живими організмами – грибами, бактеріями та комахами, для яких вона є потенційним джерелом живлення. Проаналізовано комплексну дію різних видів патогенів із різних екологічних груп комах фітофагів, вплив яких істотно змінює захисні функції лісової екосистеми.

Біодеградацію стовбурної деревини ялиці білої розглянуто в контексті ураження ялицевих деревостанів шкідниками (короїд, вусач тощо) та грибами (коренева губка, опеньок та інші збудники стовбурної гнилизни), що відчутно впливають на кваліметричні ознаки стовбурної деревини. Літературний огляд результатів дослідження властивостей деревини ялиці білої проведено в розрізі її структурних та фізичних відмінностей від біотичних чинників з врахуванням впливу висотно-екологічних умов та типів лісу. Встановлено, що питання вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої проти поверхневої плісняви, деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів у розрізі зміни її фізичної якості деревини та кваліметричних ознак круглих лісоматеріалів залишається малодослідженим.

Для вивчення природної стійкості деревини *Abies alba* Mill. в лісорослинних умовах Українських Карпат відібрано 14 ялицевих деревостанів у ДП "Перечинське лісове господарство", ДП "Великоберезнянське лісове

господарство" та ДП "Берегометське лісомисливське господарство". Район дослідження характерний чіткою вертикальною поясністю лісової рослинності та мішаних насаджень за участю ялиці білої від 350 до 1045 *м н.р.м.* Вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої та зміни її фізичних властивостей під дією біологічних пошкоджень (поверхневої плісняви; деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів, комахами) проведено у вологій буковій суяличині та яличині, вологій грабово-буковій суяличині та яличині, вологій смереково-буковій суяличині та яличині.

Дослідженнями охоплено наступні лісівничо-таксаційні показники: тип лісу, склад насадження, абсолютну висоту, вік, середній діаметр, середню висоту, клас бонітету та відносну повноту. Для вивчення природної стійкості стовбурної деревини та її фізичних властивостей нами відібрано 36 модельних дерев, з яких випиляно 108 кряжів деревини. Водночас кваліметричними дослідженнями охоплено 180 дерев ялиці білої. Природну стійкість деревини ялиці білої досліджено на взірцях у кількості 2160 *шт*. Кваліметричними ознаками стовбурної деревини визнано вади деревини рогівку, несправжнє ядро та біологічне пошкодження комахами і пошкодження деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами. Для оброблення результатів дослідження використано програмне забезпечення SPSS 17.0, Excel та Statistica 10.0, а для порівняння середніх значень кількості річних кілець в 1 *см*, показників об'ємної маси та анізотропії всихання деревини застосовано однофакторний дисперсійний аналіз.

За результатами вивчення макроскопічних особливостей стовбурної деревини виділено три класи стійкості деревини за кількістю річних кілець в 1 *см*: 1-й клас характерний у вологій грабово-буковій суяличині та яличині на абсолютній висоті нижче 600 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$; 2-й клас – у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині на абсолютній висоті від 601 до 800 *м н.р.м.* із 3 *шт.·см*$^{-1}$ $\leq N_{р.к.} \leq 5$ *шт.·см*$^{-1}$ та 3-й клас – у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині на абсолютній висоті понад 800 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} > 5$ *шт.·см*$^{-1}$. Варіація кількості річних кілець в 1 *см* ялиці білої для

досліджуваних ялицевих деревостанів перебуває у межах від 1,0 до 9,5 *шт.·см*$^{-1}$ із середнім значенням 4,2 *шт.·см*$^{-1}$, яке рівне річному приросту 2,4 *мм*, що відповідає класу якості деревини “А” для круглих лісоматеріалів.

За об’ємною масою деревини виділено аналогічно три класи стійкості: 1-й клас має стандартну щільність деревини менше 440 *кг·м*$^{-3}$, 2-й клас – від 441 до 499 *кг·м*$^{-3}$ та 3-й клас – більше 500 *кг·м*$^{-3}$. Середнє значення об’ємної маси деревини 3-го класу є на 27,2% більшим від аналогічного показника 1-го класу стійкості деревини і на 12,4% – від 2-го класу. Найбільші значення анізотропії всихання деревини ялиці білої характерні для 3-го класу стійкості деревини із кількістю річних кілець більше 5 *шт.·см*$^{-1}$ та стандартною щільністю більше 500 *кг·м*$^{-3}$. Показник усихання деревини за об’ємом змінюється від 11,4% до 13,5% із середнім значенням 12,7%, яке є на 11,5% більшим від аналогічного показника для 1-го класу стійкості. Коефіцієнт анізотропії стиглої деревини 1-го класу стійкості ялиці білої змінюється від 2,27 до 2,00 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,15, 2-го класу – від 1,91 до 2,23 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,05 та 3-го класу від 2,17 до 1,89 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,03.

За розмірно-якісними характеристиками ялиці білої визначено, що у відземковій частині стовбура довжина вади деревини - окоренкуватість є меншою на 54,5% у дерев ялиці білої віком до 75 років порівняно з деревами віком понад 75 років. Безсучкова зона ялиці білої є приблизно на 35% більшою у дерев віком до 75 років порівняно з деревами старшими за 75 років, що частково обумовлено збільшенням абсолютної повноти у досліджуваних деревостанах. Визначено, що вада деревини - рогівка істотно впливає на клас якості деревини ялиці білої, що має більше 75 років. Ширина річного кільця у відземковій частині круглого лісоматеріалу у віковій групі понад 75 років є на 8,1% більшою порівняно з аналогічним показником для круглих лісоматеріалів у віковій групі від 59 до 75 років. Діаметр несправжнього ядра в ялиці білої віком понад 75 років є в середньому на 60,4% більшим від аналогічного показника для дерев віком менше 75 років. Встановлено, що деревина несправжнього ядра характеризується наявністю вади деревини “м’яка

гнилизна” і знижує якість деревини круглих лісоматеріалів до класу “D”.

Між довжиною серединної окружності ділового лісоматеріалу та довжиною ділової деревини в стовбурі і між діаметром лісоматеріалів без кори у нижньому торці та довжиною вади деревини окоренкуватість встановлено прямолінійну залежність. Аналогічну залежність визначено між діаметром несправжнього ядра та серединним діаметром круглого лісоматеріалу ($d_{н.я.} = 1{,}13d_{н.т.} - 29{,}45$; $R^2 = 0{,}71$), а також між діаметром несправжнього ядра та діаметром круглого лісоматеріалу у верхньому торці без кори ($d_{н.я.} = 0{,}83\ d_{½Lстов.} - 19{,}35$; $R^2 = 0{,}69$). В уражених шкідниками ялицевих деревостанах встановлено, що зі збільшенням віку дерева збільшується кількість дерев ялиці білої із несправжнім ядром та площа пошкодження заболонної деревини, а залежність між діаметром несправжнього ядра стовбура та віком дерева описується рівнянням першого порядку ($d_{н.я.} = 1{,}20A - 75{,}29$, $R^2 = 0{,}72$).

Встановлено особливості поширення хаменерія вузьколистого у різних висотно-екологічних умовах Українських Карпат. Найбільші значення рясності хаменерія вузьколистого властиві для абсолютної висоти 1042 *м н.р.м.*, що змінюється від 20,0 *шт.·100 м*$^{-2}$ до 32,0 *шт.·100 м*$^{-2}$ із середнім значенням 25,8 *шт.·100 м*$^{-2}$. Найменші значення поширення виду характерні для абсолютної висоти 365 *м н.р.м.* і знаходяться в межах від 0,05 *шт.·100 м*$^{-2}$ до 0,10 *шт.·100 м*$^{-2}$ із середнім значенням 0,07 *шт.·100 м*$^{-2}$. Встановлено, що біологічні пошкодження ялиці білої та рясність хаменерія вузьколистого збільшується експоненціально щодо абсолютної висоти і описується рівняннями $N_{біол.п.} = 13{,}178e^{0{,}001AB}$ ($R^2 = 0.96$) та $P_{зн.вуз.} = 0{,}0042e^{0{,}0083AB}$ ($R^2 = 0.99$) відповідно. Ураження іржею хвої та некрозом кори ялиці білої відбувається у лісових насадженнях по схилу від вершини до підніжжя гір.

Встанволено, що ураження деревинозафарбувальними грибами *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. впродовж 6 місяців не надто впливають на щільність стовбурної деревини. Базисна щільність деревини на початковій стадії ураження змінюється від 331 *кг·м*$^{-3}$ до 419 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 361 *кг·м*$^{-3}$. Біологічні

пошкодження деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців уже суттєво впливають на об'ємну масу деревини. Базисна щільність деревини, ураженої грибами впродовж періоду від 6 місяців до 2 років, зменшується на 27,8% порівняно зі щільністю біологічно непошкодженої деревини ялиці білої.

Різниця між щільністю здорової деревини в абсолютно сухому стані та щільністю деревини у середній стадії біологічного пошкодження сягає 28,5…31,8%, а зі значними грибними ураженнями – 35,2…43,7%. Аналогічна тенденція характерна для базисної щільності деревини зі значним грибним ураженням. Грибні ураження *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців істотно впливають на тангентальне та радіальне всихання деревини ялиці білої, що зумовлює їх зменшення на 19,2% та 29,7% від аналогічних показників анізотропії всихання здорової деревини.

Досліджено, що зміна фізичних властивостей стовбурної деревини ялиці білої внаслідок грибних уражень *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst упродовж більше 6 місяців зменшує якісні характеристики деревини, що потрібно враховувати у веденні лісового господарства для своєчасної заготівлі якісних круглих лісоматеріалів. За природною стійкістю стовбурної деревини ялиці білої виділено чотири класи: I) здорова деревина – без зовнішніх ознак біологічного пошкодження грибами; II) деревина з наявністю поверхневої (плівчастої) плісняви до шести місяців; III) деревина із середнім ураженням деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами від півроку до двох років; IV) деревина зі значним ураженням деревиноруйнівними грибами більше двох років.

Ключові слова: ялиця біла, пошкодження деревини шкідниками, річне кільце, об'ємна маса деревини, всихання деревини, тип лісу, абсолютна висота, оцінка якості деревини.

SUMMARY

Kopolovets Ya. M. Natural resistance of *Abies alba* Mill. in the Ukrainian Carpathians. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on the acquisition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 205 – Forestry (20 – Agrarian sciences and food). Ukrainian National Forestry University, Lviv, 2023.

The analysis of domestic and foreign scientific literatures was focused on the biotic and abiotic impact on the biological resilience of the forest ecosystem and its important component such as tree species. The structural features of wood in the different forest types as a natural polymer consisting of cellulose, hemicellulose and lignin was analyzed. The biological destruction of wood in a growing tree was associated with living organisms – fungi, bacteria, insects and other pests, for which it is a potential source of nutriment. The complex action of different types of pathogens from different ecological groups of phytophagous insects, the influence of which significantly changes the protective functions of the forest ecosystem, was analyzed.

The issue of biodegradation of Silver fir stem wood was considered in the context of damage of fir stands by pests (bark beetle, woodwasp, etc.) and fungus (root sponge, honeysuckle and other pathogens of stem rot), which significantly affect the qualimetric characteristics of the stem. Literature review of the results of the study of the wood properties of Silver fir states that the structural and physical wood features influencing by biotic factors in the various altitude and forest types were studied. It has been established that the issue of studying the natural resistance of white fir stem wood against surface mould, wood-staining and wood-destroying fungi in terms of changes in its physical quality and qualimetric characteristics of round timber remains unexplored.

To study the natural wood resistance of *Abies alba* Mill. in the forest conditions of the Ukrainian Carpathians, 14 fir stands were selected in the State Enterprises “Perechynske Forestry”, “Velykobereznyanske Forestry” and “Berehomet

Forestry". The research area was characterized by a clear vertical zonation of forest vegetation and mixed plantations with the participation of Silver fir from 350 to 1045 *m* above sea level. The study of the natural resistance of Silver fir stemwood and changes in its physical properties under the impact of biological damages (surface mold; wood-staining and wood-destroying fungi, insects) was carried out in wet beech-fir and wet beech-hornbeam-fir forest types.

The main silvicultural and taxonomic indicators of stands with the participation of Silver fir included forest types, stand composition, altitude, age, average diameter and height of trees, quality class and relative stocking indexes. To study the natural resistance of stem wood and its physical properties, 36 model trees were selected by us, of which 108 wood logs were cut. At the same time, 180 Silver fir round timbers were covered by wood quality assessment studies. The total number of wood samples taken for studies of the natural resistance of Silver fir wood was 2160 pieces (*pcs*). The qalitative features of stem wood were represented through comprassion wood, false heartwood and biological demages of the insects, and damages by wood-staining and wood-destroying fungi. The results of the study were processed using the software SPSS 17.0, Excel and Statistica 10.0, and to compare the average values of the number of annual rings in 1 *cm*, wood density and wood shrinkage, the one-way analysis of variance was used.

Based on the research results of qualimetric features of stem wood density, there were identified three classes of the wood resistance according to the number of annual rings per 1 *cm*: Class 1 is characterised in the wet hornbeam-beech subfir and fir at altitude below 600 *m a.s.l.* with $N_{treerings} < 3$ $pcs.\cdot cm^{-1}$; Class 2 – in the wet spruce-beech fir and beech subfir at altitude from 601 to 800 *m a.s.l.* with 3 $pcs.\cdot cm^{-1} \leq N_{treerings} \leq 5$ $pcs.\cdot cm^{-1}$, and Class 3 – in the wet spruce-beech fir and beech fir at altitude of above 800 *m a.s.l.* with $N_{treerings} > 5$ $pcs.\cdot cm^{-1}$. The variation of the number of annual rings per 1 *cm* of Silver fir in the studied fir stands ranges from 1.0 to 9.5 $pcs.\cdot cm^{-1}$ with a mean value of 4.2 $pcs.\cdot cm^{-1}$, which is equal to an annual growth of 2.4 *mm*, which corresponds to the wood quality class "A" of round timbers.

Similarly, three classes of wood resistance are distinguished through wood

density: Class 1 is characterized by wood density of less than 440 $kg\text{-}m^{-3}$, Class 2 – from 441 to 499 $kg\text{-}m^{-3}$, and Class 3 – more than 500 $kg\text{-}m^{-3}$. The mean value of stem wood density of 3rd Class is 27.2% higher than the siilar veriable of 1st Class of wood resistance and 12.4% higher than 2nd Class. The highest values of the srinkage anisotropy of Silver fir wood are characterised by 3rd Class of wood resistance with the number of annual rings more than 5 $pcs.\cdot cm^{-1}$ and the standard density of more than 500 $kg\text{-}m^{-3}$. The volumetric shrinkage of wood varies from 11.4% to 13.5% with an mean value of 12.7%, which is 11.5% higher than the same variable for 1st Class of wood resistance. The coefficient of shrinkage anisotropy of maturewood of 1st Class of wood resistance of Silver fir varies from 2.27 to 2.00 with mean value of $k_{\beta t/\beta r}$ = 2.15, 2nd Class – from 1.91 to 2.23 with mean value of $k_{\beta t/\beta r}$ = 2.05 and 3rd Class – from 2.17 to 1.89 with mean value of $k_{\beta t/\beta r}$ = 2.03.

According to the size and quality characteristics of Silver fir, it was determined that there were wood rotundity in the lower stem length less by 54.5% in Silver fir trees under 75 years of age compared to trees older than 75 years. The knotless zone of Silver fir was approximately 35% larger in trees under 75 years of age compared to trees older than 75 years, which is partly due to increasing the absolute stocking in the researched stands. It is determined that the compression wood in the tree rings affected significantly the quality class of Silver fir in the age group older than 75 years. The width of the annual rings in the lower stem length in the age group over 75 years was 8.1% greater compared to the same indicator for round timber in the age group from 59 to 75 years. The diameter of the false heartwood in Silver fir of the age group over 75 years was on average 60.4% larger than the similar value for trees under 75 years of age. It was established that the wood of the false heartwood was characterized by wood defects "soft rot" and reduced the wood quality class of round timbers to class "D".

There was a rectilinear dependence between the length of the middle circumference of commercial timbers and the length of commercial timbers in the stem as well as between the diameter of timber without bark in the lower stem length and the length of the wood defect. A similar relationship was found between the

diameter of the false heartwood and the middle diameter of the round timbers ($d_{н.я.}$ = 1,13$d_{н.т.}$ - 29,45; R^2 = 0,71), as well as between the diameter of the false hearwood and the diameter of the round timbers at the upper stem length without bark ($d_{н.я.}$ = 0,83 $d_{½Lстов.}$ - 19,35; R^2 = 0,69). In pest-infested fir stands it was found that with increasing the age of the trees increased the number of Silver fir trees with the false heartwood and the area of damaged sapwood, and the relationship between the diameter of the false heartwood and tree age was described by the first order equation ($d_{н.я.}$ = 1,20A - 75,29, R^2 = 0,72).

There was found peculiarities of the distribution of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. in the different altitudinal and ecological conditions of Ukrainian Carpathians. The highest values of the abundance of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. are characterized at altitude of 1042 *m* a.s.l., they ranges from 20.0 to 32.0 *units·100 m*$^{-2}$with mean value of 25.8 *units·100 m*$^{-2}$. The lowest values of the species distribution are characterized at altitude of 365 *m* a.s.l. and they veries from 0.05 to 0.10 *units·100 m*$^{-2}$ with mean value of 0.07 *units·100 m*$^{-2}$. It was found that the biological damage of Silver fir and the abundance of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop. increases exponentially with respect to altitude and is described by the equations $N_{biol.dam.}$ = 13,178e^{0,001AB} (R^2 = 0.96) and $P_{cham.ang..}$ = 0,0042e^{0,0083AB} (R^2 = 0.99), respectively. The needle rust and bark necrosis of Silver fir occur in forest stands along the slope from the top to the foot of the mountains.

It was found that the lesions of wood-staining fungi *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & *Cernz and Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. for 6 months did not significantly affect the stemwood density. The basic wood density at the initial stage of the lesion varied from 331 *kg·m*$^{-3}$ to 419 *kg·m*$^{-3}$ with an average value of 361 *kg·m*$^{-3}$. Biological damages by wood-destroying fungi *Phellinus hartigii* and *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. for 6-24 months significantly affected the stemwood density. The basic density of wood affected by fungi in the period from 6 months to 2 years decreased by 27.8% compared to the wood density of not damaged Silver fir.

The difference between the dry wood density of healthy trees and trees with the medium biological wood damages reached 28.5… 31.8%, and substantial biological wood damages – 35.2… 43.7%. A similar trend was characterized by the basic wood density with significant fungal damages. Fungal lesions of *Phellinus hartigii* and *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. for 6-24 months significantly affected the tangential and radial wood shrinkage of Silver fir, which caused their reduction by 19.2% and 29.7% compared with similar indicators of shrinkage anisotropy of healthy wood.

It is investigated that the change in the physical properties of the stemwood of Silver fir as a result of fungal lesions *Phellinus hartigii* and *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. for more than 6 months caused the decrease in the quality characteristics of stemwood, which must be taken into account in the forest management in order to timely harvest high-quality round timbers. According to the natural resistance of the stemwood of SIlver fir, there were four classes established: I) healthy wood without any signs of fungal infection in the trunk; II) initial wood damages caused by wood-staining fungi within up to six months; III) medium wood damages caused by wood-destroying fungi within the timeframe from 0,5 to 2 years; and IV) substantial wood damages caused by wood-destroying fungi for more than 2 years.

Key words: silver fir, wood damage by pests, annual ring, wood density, wood shrinkage, forest type, altitude, wood quality assessment.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у закордонних наукових виданнях

1. Sopushynskyy I., Maksymchuk R., **Kopolovets Ya.,** Ayan S. Intraspecific structural signs of curly silver fir (*Abies alba* Mill.) growing in the Ukrainian Carpathians. *Journal of Forest Science*. 2020. 66 (7): 299-308. https://doi.org/10.17221/79/2020-JFS. Index Scopus. (*Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

2. Сопушинский И., **Кополовец Я.,** Тымочко И., Максымчук Р. Влияние типов леса на объёмную массу древесины сосны обыкновенной в лесорастительных условиях Прикарпатья. *Ştiinţa agricolă.* 2019. 2. С. 79–84. https://doi.org/10.5281/zenodo.3596664. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

3. Сопушинский И., **Кополовец Я.,** Тымочко И., Максымчук Р. Влияние структурных изменений ксилемы пихты белой на объёмную массу древесины. *Ştiinţa agricolă.* 2019. 1. С. 94–99. (*Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

4. Сопушинский И.М., Максымчук Р.Т., **Кополовец Я. М.** Структурное изменение стволовой древесины пихты белой в Украинских Карпатах. *Ştiinţa agricolă.* 2018. 47. С. 470–475. (*Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

Статті у фахових наукових виданнях України

5. **Кополовець Я. М.** Біологічна стійкість стовбурної деревини ялиці білої в умовах Українських Карпат. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість.* 2020. Вип. 46. С. 65–73.

6. Сопушинський І. М., **Кополовець Я. М.** Кваліметрія лісоматеріалів ялиці білої в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Вип.

29.7. С. 142–145. https://doi.org/10.15421/40290728 (*Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

7. Максимчук Р.Т., Сопушинський І. М., **Кополовець Я. М.,** Заячук В. Я. Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип. 28.7. С. 44–48. https://doi.org/10.15421/40280709. (*Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

8. Погрібний О. О., Юсипович Ю. М., Заїка В. К., Заячук В. Я., Осташук Р. В., **Кополовець Я. М.**, Шаловило Ю. І. Дослідження причин всихання деревостанів ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в Українських Карпатах. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2018. Вип. 28.8. С. 9–13. https://doi.org/10.15421/40280801 (*Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, участь у написанні статті*).

Тези і матеріали наукових конференцій

1. Сопушинський І. М., **Кополовець Я. М.,** Касадо-Санч М. М., Торес Р. А. Висотно-екологічні особливості зниження стійкості дерев ялиці білої до хвороб і шкідників. *Вісник Малинського фахового коледжу*. 2022. Вип. 1. С. 208-218.

2. Sopushynskyy I., Fleck S., **Kopolovets Ya.** Influence of fungal lesions on wood density of *Abies alba* Mill. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. студ., маг., асп., мол. вчен. і викл., 19 трав. 2022 р. Малин: МЛТК, 2022. С. 14–15.

3. Sopushynskyy I., Sanz M. C., Torres R.A., **Kopolovets Ya.** Altitude-ecological features of biological damage of *Abies alba* Mill.growing in the Ukrainian Carpathians. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. студ., маг., асп., мол. вчен. і викл., 19 трав. 2022 р. Малин : МЛТК, 2022. С. 15–17.

4. Сопушинський І. М., **Кополовець Я. М.,** Поляк В. В. Особливості біологічного ураження стовбурної деревини ялиці білої трутовиком Гартіга в Українських Карпат. Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 16-17 вер. 2021. Біла Церква : БНАУ, 2021. С. 100–102.

5. **Кополовець Я. М.,** Сопушинський І. М. Структурні аспекти біологічної стійкості стовбурної деревини ялиці білої та ялини звичайної. Матеріали 71-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2020-2021 рр. Секція «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем», 7 груд. 2021. Львів : РВВ НЛТУ України, 2021. С. 41–44.

6. Сопушинський І.М., **Кополовець Я.М.** Вплив структурних змін стовбурної деревини ялиці білої на її об'ємну масу. Матеріали 70-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2019-2020 роках. Секція «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем», 10 груд. 2020. Львів : РВВ НЛТУ України, 2020. С. 59–61.

7. Sopushynskyy I. M., Casado Sanz M., **Kopolovets Ya. M.** Dimensional features of false heartwood of Silver fir growing in the Ukrainian Carpathians. Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку : матеріали п’ятої міжнар. наук.-практ. конф., 26 бер. 2020. Малин: МЛТК, 2020. С. 78–81.

8. Sopushynskyy I.M., **Kopolovets Ya.M.,** Casado Sanz M.M. Dimensional characteristics of the false heartwood of silver fir in the forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians. Роль природно-заповідних територій у збереженні природних і етнокультурних цінностей та у впровадженні цілей сталого розвитку: Матеріали міжнар. наук. конф. 3-4 жовтня 2019 Великий Березний, 2022. С. 129-130.

9. **Кополовець Я. М.,** Максимчук Я. М., Сопушинський І. М. Вплив структурних змін стовбурної деревини на об’ємну масу ялиці білої. Матеріали 71-ої науково-практичної конференції студентів, аспірантів та слухачів Малої лісової академії НЛТУ України. Львів: РВВ НЛТУ України, 2019. С. 244–245.

10. Сопушинський І. М., Максимчук Я. М., **Кополовець Я. М.** Збереження та використання ялиці білої “хвилясто-завилькуватої”. Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів України : матерали міжнар. наук.-практ. конф., 22–25 жовт. 2018. Івано-Франківськ, 2018. С. 394–397.

ЗМІСТ

Анотація 2
Summary 7
Перелік публікацій здобувача за темою дисертації 12
Зміст 16
Перелік умовних позначень 18
Вступ 20
1. Огляд літератури 27
1.1. Теоретичні передумови біологічної стійкості лісів 27
1.2. Структурні аспекти ураження хвойної деревини 29
1.3. Пошкодження стовбурної деревини комахами 35
1.4. Кваліметричні особливості біологічно пошкодженої деревини 41
2. Об'єкти, програма та методи досліджень 54
2.1. Об'єкти та програма досліджень 54
2.2. Методи досліджень 60
2.2.1. Методичні особливості відбору взірців деревини 60
2.2.2. Кваліметричні особливості визначення вад деревини 62
2.2.3. Статистичне опрацювання результатів дослідження 68
3. Деревинознавчі особливості стійкості стовбурної деревини 70
3.1. Вплив абсолютної висоти та типів лісу на макроструктурні особливості стійкості деревини ялиці білої 70
3.2. Умовна стійкість деревини за її об'ємною масою 74
3.3. Взаємозв'язок анізотропії всихання деревини та її стійкості 79
4. Вплив вад біологічного пошкодження на природну стійкість деревини ялиці білої 86
4.1. Вплив біологічних пошкоджень на стійкість стовбурної деревини ... 86
4.2. Регресійний аналіз впливу вад деревини на стійкість та розмірно-якісні характеристики круглих лісоматеріалів 92
4.3. Висотно-екологічні особливості впливу біологічного пошкодження на

стійкість деревини..... 98
4.4. Особливості пошкодження стовбурної деревини ялиці білої личинками чорного ялицевого вусача (*Monochamus urussovi*)..... 105
5. Кваліметрія природної стійкості деревини..... 110
5.1. Вплив грибних уражень на об'ємну масу деревини..... 110
5.2. Природна стійкість стовбурної деревини, пошкодженої деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами..... 117
5.3. Кваліметрія природної стійкості деревини..... 121
Висновки..... 127
Рекомендації виробництву..... 130
Перелік використаних джерел..... 131
Додатки..... 149
Додаток А..... 150
Додаток Б..... 155
Додаток В..... 168
Додаток Г..... 172
Додаток Д..... 173

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

A	Вік дерева, *років*
$ПП$	Пробна площа
$D_{З–г–бкЯц}$	Волога грабово-букова яличина
$C_{З–г–бкЯц}$	Волога грабово-букова суяличина
$C_{З–бкЯц}$	Волога букова суяличина
$D_{З–бкЯц}$	Волога букова яличина
$D_{З–см–бкЯц}$	Волога смереково-букова яличині
$C_{З–см–бкЯц}$	Волога смереково-букова суяличина
h	Висота дерева, *м*
$d_{1,3}$	Діаметр на висоті грудей, *см*
$d_{отв.}$	Серединний діаметр круглого лісоматеріалу, *см*
$d_{н.т.}$	Діаметр лісоматеріалу в нижньому торці без кори, *см*
$d_{½Lкруг.\,ліс}$	Серединний діаметр лісоматеріалу без кори, *см*
$d_{н.я.}$	Діаметр несправжнього ядра, *см*
$d_{отв.}$	Діаметр отворів, *мм*
$r_{круг.л.}$	Радіус круглого лісоматеріалу без кори, *см*
$h_{жив.гіл.}$	Висота до першої живої гілки, *м*
$h_{відм.суч.}$	Висота до першого відмерлого сучка, *м*
$h_{діл.дер.}$	Висота ділової деревини в стовбурі, *м*
$C_{н.т.}$	Довжина окружності лісоматеріала в корі у нижньому торці, *см*
$C_{в.т.}$	Довжина окружності лісоматеріала в корі у верхньому торці, *см*
$C_{½Lстовб.}$	Довжина окружності стовбура в корі посередині, *см*
$l_{ок.}$	Довжина вади деревини окоренкуватість, *см*
$l_{діл.дер.}$	Довжина ділової деревини стовбура, *м*

AB	Абсолютна висота, *м н.р.м.*
min	Мінімальне значення
M	Середнє значення
max	Максимальне значення
$P_{х.вуз.}$	Рясність хаменерія вузьколистого, $шт.\cdot 100\ м^{-2}$
$N_{р.к.}$	Кількість річних кілець в 1 *см*, $шт.\cdot см^{-1}$
$N_{отв.}$	Густота отворів (червоточини), $шт.\cdot 0{,}1 м^{-2}$
$N_{зд.д.}$	Кількість дерев без біологічних пошкоджень, *шт.*
$N_{біол.п.}$	Кількість дерев із біологічними пошкодженнями, *шт.*
ρ_{12}	Стандартна щільність деревини, $кг\cdot м^{-3}$
ρ_0	Щільність абсолютно сухої деревини, $кг\cdot м^{-3}$
$\rho_б$	Базисна щільність деревини, $кг\cdot м^{-3}$
$\rho_{с.з.с.}$	Щільність деревини в свіжозрубаному стані, $кг\cdot м^{-3}$
$W_{абс.}$	Абсолютна вологість деревини, *%*
β_l	Всихання деревини повздовж волокон, *%*
β_r	Всихання деревини в радіальному напрямку, *%*
β_t	Всихання деревини в тангентальному напрямку, *%*
β_V	Об’ємне всихання деревини, *%*
$k_{\beta t/\beta r}$	Коефіцієнт анізотропії всихання деревини
$П_0$	Абсолютна пористість деревини, %
$П_б$	Базисна пористість деревини, *%*
P	Відсоток вади - рогівки в річному кільці, *%*

ВСТУП

Актуальність теми. Глобальні зміни клімату відчутно впливають на біологічну стійкість лісових екосистем, важливим елементом яких є сукупність домінантних деревних порід. Прикладного значення у веденні лісового господарства набуває кваліметрія властивостей деревини як природного полімеру та його природної стійкості до біологічних пошкоджень живими організмами – грибами, бактеріями та комахами, для яких деревина є потенційним джерелом живлення [26, 103, 145, 148, 153, 183].

Дослідження зміни властивостей стовбурної деревини ялиці білої в уражених шкідниками деревостанах Українських Карпат розкриває кваліметричні особливості формування деревинної сировини та її економічне значення для лісогосподарського виробництва. Визначення природної стійкості стовбурної деревини дає змогу теоретично зрозуміти і практично відчути часові та структурні аспекти її біологічного руйнування [83, 133, 137, 152, 217].

Ефективне візуальне діагностування якості круглих лісоматеріалів вимагає розкриття деревинознавчих особливостей процесу біодеградації стовбурної деревини. Питання природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої до поверхневої плісняви, деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів щодо зміни об’ємної маси та анізотропії всихання деревини, а також особливостей формування властивостей біологічно пошкодженої деревини є малодослідженим. У зв’язку із цим розкриття питання природної стійкості деревини ялиці білої та впливу різноманітних біолого-екологічних й антропогенних чинників на якісні ознаки її стовбурної деревини має лісогосподарське значення в розрізі ефективного використання деревинної сировини [61, 124, 136, 157, 171, 186, 191, 202].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукову працю виконано в рамках вітчизняних науково-дослідних проєктів упродовж 2017–2022 рр., а саме: "Дослідження впливу лісівничо-екологічних умов на

властивості стовбурної деревини ялиці білої в деревостанах Українських Карпат" (Державний реєстраційний номер: 0118U100170, 2018–2020 рр., науковий співробітник) та “Кваліметрія стовбурної деревини сосни звичайної, ялини європейської та ялиці білої в уражених хворобами деревостанах Українських Карпат” (шифр ГД №08.10-07-18, 2020–2023 рр., науковий співробітник), а також в українсько-польському проєкті "Україна: турбота про навколишнє середовище та екологічну освіту – сталий розвиток сучасної держави" (2021–2022 рр. за фінансової підтримки Польсько-Американського фонду Свободи).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – встановити вплив висотно-екологічних умов та біологічних пошкоджень на природну стійкість стовбурної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Українських Карпат через визначення фізичних властивостей деревини і розробити діагностичні критерії кваліметрії ураженої грибом деревини.

Відповідно до окресленої мети передбачено виконання таких завдань:

− вивчити особливості формування природної стійкості деревини та її стовбурної фітомаси в різних висотно-екологічних умовах Українських Карпат;

− дослідити особливості анізотропії всихання деревини ялиці білої в різних класах природної стійкості;

− встановити вплив вад деревини на клас якості деревини круглих лісоматеріалів ялиці білої;

− визначити висотно-екологічні особливості впливу біологічного пошкодження на природну стійкість деревини ялиці білої;

− дослідити тривалість ураження деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами на природну стійкість деревини ялиці білої

− вивчити вплив деревинозабарвлювальних та деревиноруйнівних грибів на об’ємну масу та анізотропії всихання деревини.

Об'єкт дослідження – особливості формування природної стійкості деревини ялиці білої у висотно-екологічних умовах Українських Карпат.

Предмет дослідження – макроструктурні відмінності, об'ємна маса та анізотропія всихання стовбурної деревини ураженої біологічними пошкодженнями (деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами й шкідниками).

Методи дослідження. Для виконання наукової роботи використано такі теоретичні методи досліджень: вивчення, вимірювання, порівняння та аналіз. Лісівничо-таксаційними дослідженнями ялицевих деревостанів передбачено використання методів описової характеристики пробних ділянок, перелікової та вибіркової таксації. Візуальні, макроструктурні та фізичні відмінності здорової та біологічно пошкодженої стовбурної деревини досліджено за міжнародними стандартними методиками. Результати вимірювань опрацьовано за допомогою статистичних програм Excel, SPSS 17.0 та Statistica 10.0.

Наукова новизна отриманих результатів. Унаслідок проведення лісівничо-таксаційних та деревинознавчих досліджень ялицевих деревостанів Українських Карпат

вперше:

−виділено висотно-екологічні пояси за природною стійкістю деревини ялиці білої у лісорослинних умовах Українських Карпат – нижче 600 *м н.р.м.*; від 601 до 800 *м н.р.м.* та більше 800 *м н.р.м.*;

−встановлено три класи природної стійкості деревини за кількістю річних кілець в 1 *см*: 1-й клас характерний у вологій грабово-буковій суяличині та яличині із $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$; 2-й клас − у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині із 3 *шт.·см*$^{-1}$ $\leq N_{р.к.} \leq 5$ *шт.·см*$^{-1}$ та 3-й клас − у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині із $N_{р.к.} > 5$ *шт.·см*$^{-1}$.

−виокремлено три класи природної стійкості за стандартною щільністю деревини ялиці білої: 1-й клас має стандартну щільність деревини менше 440 *кг·м*$^{-3}$, 2-й клас – від 441 до 499 *кг·м*$^{-3}$ та 3-й клас – більше 500 *кг·м*$^{-3}$.

−встановлено зменшення базисної щільності деревини в середній стадії (від 6 місяців до 2 років) ураження деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii*

та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. до 28% та зі значними біологічними пошкодженнями більше двох років до 46% порівняно з об'ємною масою здорової деревини;

− встановлено зменшення показників анізотропії всихання деревини в середній стадії ураження деревиноруйнівними грибами до 19% у тангентальному та до 30% у радіальному напрямках і відповідно зі значним грибним пошкодженням до 48% та 55% порівняно з аналогічними показниками здорової деревини;

− виділено чотири класи ялиці білої за природною стійкістю стовбурної деревини до біологічних пошкоджень: I) здорову деревину – без зовнішніх ознак біологічного пошкодження грибами; II) деревину з наявністю поверхневої (плівчастої) плісняви до шести місяців; III) деревину із середнім ураженням деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами від півроку до двох років; та IV) деревину зі значним ураженням деревиноруйнівними грибами більше двох років;

набули подальшого розвитку:

−діагностування розмірно-якісних характеристик круглих лісоматеріалів ялиці білої за вадами будови та форми стовбура;

−деревинознавча класифікація природної стійкості стовбурної деревини, яка пошкоджена деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами;

−кваліметрія стійкості стовбурної деревини ялиці білої в біологічно пошкоджених ялицевих деревостанах Українських Карпат.

Практичне значення отриманих результатів. Для діагностування високоякісної стовбурної деревини ялиці білої виділено три класи стійкості за кількістю річних кілець в 1 *см*, об'ємною масою та анізотропії всихання. Встановлено часові періоди впливу грибних уражень на фізичну якість деревини ялиці білої. Визначено кваліметричні ознаки ялиці білої, що істотно впливають на клас якості деревини круглих лісоматеріалів. Охарактеризовано висотно-екологічні особливості біологічного пошкодження ялиці білої, які негативно

впливають на розмірно-якісні характеристики стовбурної деревини і як результат знижують клас якості круглих лісоматеріалів. Встановлено вплив грибних уражень на об'ємну фітомасу стовбурної деревини. Для лісогосподарських підприємств рекомендовані класи природної стійкості деревини ялиці білої за фізичними властивостями. Кваліметричні особливості визначення природної стійкості деревини використовують у лісогосподарській практиці для визначення класів природної стійкості та якості деревини ялиці білої і у навчальній дисципліні "Деревинознавство" для підготовки фахівців освітнього рівня бакалавр за спеціальністю "205 Лісове господарство" та "187 Деревообробні та меблеві технології" (див. додаток Д).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом системних та комплексних лісівничо-таксаційних та деревинознавчих польових та камеральних досліджень, які виконано особисто автором на кафедрі ботаніки, деревинознавства та недеревних ресурсів лісу Національного лісотехнічного університету України. Аспірантом сформульовано мету, завдання та проведено експериментальні вимірювання. Досліджено кількість річних кілець в 1 *см*, об'ємну масу стовбурної та анізотропію всихання здорової і біологічно пошкодженої деревини, вади будови та форми стовбура, ураження грибами та комахами ялиці білої в лісорослинних умовах Українських Карпат. Обґрунтовано кваліметричні особливості природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої у біологічно пошкоджених деревостанах. Отримано моделі визначення довжини ділового лісоматеріалу від довжини окружності посередині, у нижньому та верхньому торцях круглого лісоматеріалу ялиці білої. Низку польових досліджень в Українських Карпатах та лабораторних вимірювань у лабораторії Деревинознавства НЛТУ України проведено за участю наукового керівника, доктора сільськогосподарських наук, професора І. М. Сопушинського. Важливі результати досліджень природної стійкості деревини ялиці білої здобувачем опубліковано у вітчизняних та зарубіжних наукових фахових виданнях.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій ґрунтуються на статистично достовірному аналізі макроструктурних, фізичних та кваліметричних характеристиках здорової та біологічно пошкодженої стовбурної деревини ялиці білої. Отримані результати наукових досліджень порівняно з даними вітчизняних та зарубіжних дослідників. Дослідження значної кількості дерев, круглих лісоматеріалів та взірців стовбурної деревини проведено з використанням міжнародно-визнаних наукових підходів та сучасного програмного забезпечення.

Апробація результатів дисертації. Основні положення результатів дисертаційної роботи заслухано та обговорено на 10-ти наукових конференціях, зокрема, *міжнародних*: Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів України (Івано-Франківськ, 2018); Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку (Малин, 2020, 2021, 2022); Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства, урбоекології та фітомеліорації (Біла Церква, 2021); *вузівській* 71-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2020-2021 роках (Львів, 2021); 70-ій науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2019-2020 роках (Львів, 2020); 71-ій науково-практичній конференції студентів, аспірантів та слухачів Малої лісової академії НЛТУ України " (Львів, 2019).

Публікації. Результати досліджень висвітлено у 18 наукових працях, з яких 8 – у провідних наукових фахових виданнях, 4 – у зарубіжних наукових періодичних виданнях, із них одна у виданні, що індексується у Scopus, 10 – у матеріалах вітчизняних та міжнародних конференцій.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота містить вступ, п'ять розділів, висновки та рекомендації виробництву, перелік використаних

літературних джерел, який охоплює 219 найменувань, з них 96 англійською, німецькою, польською й словацькою мовами та п’ять додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 175 сторінках комп'ютерного тексту, з яких 130 сторінок основного тексту, 18 таблиць та 39 рисунків. Обсяг додатків – 29 сторінок.

РОЗДІЛ 1
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Теоретичні передумови біологічної стійкості лісів

Лісам властиві численні унікальні властивості, які доцільно пов'язувати не тільки з їх високими показниками продуктивності, але й з екологічною роллю у суспільстві та збереженням біорізноманіття. Однією із важливих властивостей лісів є їх біологічна структура, яка розвивається у горизонтальному та вертикальному напрямках із усіма життєвими процесами від ґрунтових шарів до крони. У зв'язку із цим важливим є вивчення впливу змінних едафічних та біологічних чинників на стійкість лісової екосистеми [145].

Натепер антропогенний вплив на лісові екосистеми та глобальні зміни клімату істотно визначають швидкість фотосинтезу та дихання асиміляційних органів рослин й інші біологічні процеси в лісі, що обумовлює температурний, радіаційний і вологістний режими упродовж тривалого часу. Через глобальні зміни клімату лісові екосистеми зазнають змін, оскільки фізіологічна толерантність видів є перевищена, а швидкість біофізичних процесів у лісі змінена [203]. Отже біологічну стійкість лісової екосистеми потрібно розглядати із врахуванням її таксономічного складу, структури, функції екосистеми та швидкості фізіологічних процесів росту та розвитку її основних елементів. З іншого боку, біологічна стійкість лісової екосистеми – це її здатність поглинати різні біолого-екологічні порушення і зберігати свою головну функцію та структуру, а також ідентичність [209].

Найчастіше стан лісової екосистеми оцінюють через сукупність домінантних деревних порід, які є її основою в конкретних лісорослинних умовах. У науковій літературі виділяють два види стійкості екосистем – інженерну та екологічну [183]. Інженерну стійкість екосистеми пов'язують з її здатністю повернутися до свого більш-менш початкового (стійкого) стану, тобто до ураження. Екологічна стійкість визначається як здатність системи

поглинати вплив до досягнення тієї межі, коли система переходить у інший стан [65, 107, 148].

Отже, під біологічною стійкістю лісів доцільно розуміти міру здатності лісової екосистеми протистояти тривалому ураженню перед перетворенням в іншу рослинну екосистему, як приклад, нелісову. Водночас, ліси – це інженерно-біологічно-стійкі екологічні системи, які через якийсь час мають здатність відновлюватися до свого початкового стану та зберігати оригінальний видовий склад після катастрофічних уражень.

Відновлення стійкості лісів зазвичай називають рятівною адаптацією лісової екосистеми до кліматичних змін, антропогенного та біотичного впливу [173]. Водночас доцільно зазначити про фізіологічні допуски окремих видів, які можуть бути перевищені природними змінами навколишнього середовища чи антропогенними подіями, що може змінювати не лише видовий склад лісу, але інші характеристики екосистеми зберігаються [171]. Отже лісові екосистеми найчастіше стійкі до некатастрофічних змін, тобто таких як незначні ураження шкідниками, що спричиняють загибель окремих чи невеликих груп дерев. Однак варто враховувати високу стійкість природних (пралісів) лісів до змін [132]. У зв’язку із цим завжди потрібно пов’язувати біологічну стійкість лісової екосистеми зі здатністю підтримувати динамічну рівновагу з плином часу та протистояти зміні в інший стан.

Стабільна лісова екосистема зберігається доти, доки вона здатна поглинати порушення і залишається майже незмінною впродовж тривалого часу. Втім доцільно зазначити, що біологічна стійкість лісової екосистеми залежить від стійкості її компонентів, або домінантних лісових видів. Зміна складу насадження внаслідок нових умов навколишнього середовища, або втручання людини впливає на біологічну стійкість лісової екосистеми [145]. Змінений склад деревостану буде мати вплив на інші елементи лісової екосистеми та її біорізноманіття внаслідок зміни локальних мікрокліматичних умов, середовища існування, проживання та збереження залежних видів тварин. Також якщо різноманіття біологічних видів позитивно пов’язане зі

стабільністю та стійкістю лісових систем, то втрата цих видів матиме наслідки для довгострокового виробництва деяких лісових товарів і послуг. Отже, здатність розуміти та прогнозувати біологічні процеси розвитку лісових екосистем тісно пов'язано з їх стійкістю до уражень шкідниками, деградації, втрати деревних видів та зміни клімату.

1.2. Структурні аспекти ураження хвойної деревини

Головною складовою дерева є деревина (ксилема), яка є природним полімером хімічних компонентів целюлози, геміцелюлози та лігніну. Біологічне руйнування деревини у ростучому дереві доцільно пов'язувати із живими організмами – грибами, бактеріями та комахами, для яких вона є потенційним джерелом живлення [15, 107, 111, 128, 199]. У вуглеводних полімерах, а саме у клітинній стінці мікроорганізми за допомогою своєї ферментної системи здатні гідролізувати ці полімери до засвоюваних уже окремих хімічних компонентів (рис. 1.1).

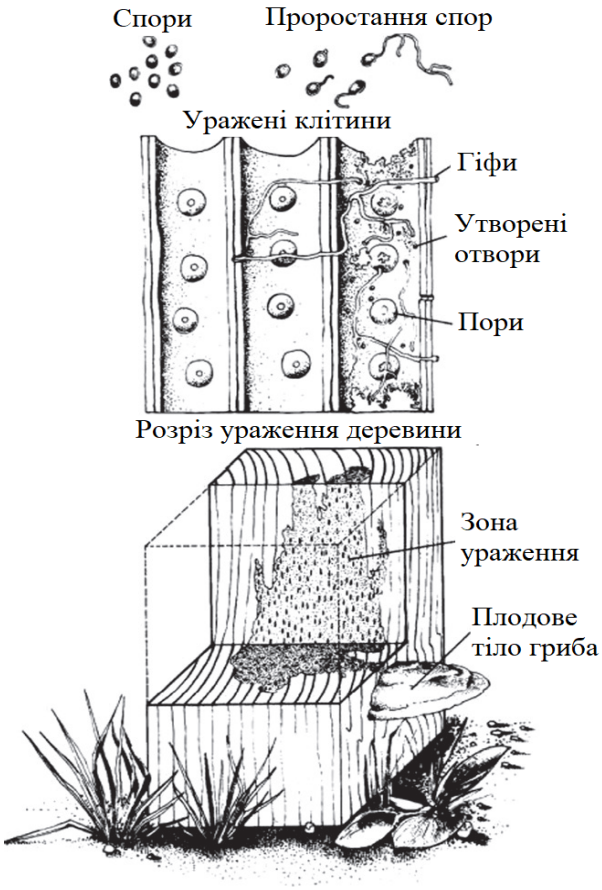


Рис. 1.1 – Анатомічні аспекти гниття деревини [153]

За даними багатьох авторів [15, 124, 160, 163, 177, 188, 201, 216] грибні ураження стовбурної деревини доцільно розділити на три групи за біологічними пошкодженнями деревини:

- *гриби поверхневої плісняви (цвіль);*
- *гриби деревинозафарбувальні;*
- *гриби деревиноруйнівні.*

Плісняві гриби пошкоджують поверхневу частину заболонної деревини, проникаючи приблизно на 1 *мм*. Сприятливими умовами розвитку цвілі є абсолютна вологість деревини від 60*%* до 100*%* та температура +20…30 *°C* [6]. Пліснява зазвичай є борошнистим наростом на поверхні деревини і має здебільшого білий відтінок. Пліснява зумовлює окислювальне бродіння і зазвичай руйнування паренхімних клітин заболонної деревини. Утвореними проміжними продуктами біохімічного процесу руйнування деревини є органічні кислоти – глюконова, фурмарова, винна тощо. Водночас плісняві гриби родів *Trichoderma, Verticillium, Penicillium, Trichotecium* та *Mucor* спричиняють зміну гами кольорових відтінків деревини на зелені, рожеві, сірі та оливкові, а *Aspergillus* та *Alternaria* зумовлюють появу чорних плям, як приклад: *Verticillium glaucum* Bon. сприяє лимонно-жовтому кольоровому відтінку деревини; *Aspegillus glaucus* Link. – світло-зеленому забарвленню деревини; *Penicillium roseum* Link. та *Penicillium purpurogenum* Flor. et Stoll. змінює колір деревини в червоний колір [80, 116].

Механічна якість ураженої цвіллю деревини зазвичай не змінюється (за винятком показників твердості деревини). Водночас вологопоглинальна здатність деревини посилюється і деревина втрачає стійкість до гниття. У вологих і теплих умовах на заболонній деревині хвойних дерев після їх звалювання здебільшого утворюється пліснява і плями. Для боротьби з цвіллю і плямами деревину слід висушити до вологості менше 20*%,* або обробити фунгіцидом. Круглі лісоматеріали обприскують водою для збільшення їх вологості, що захищає деревину від від грибних уражень і як наслідок – від її гниття [107, 111, 128, 130,153].

Гриби поверхневої плісняви мають багато спільного з деревинозафарбувальними грибами, які є також первинними сапрофітними організмами, що пошкоджують деревину, використовуючи здебільшого запаси поживних речовин деревини і меншою мірою її структурні елементи, від яких залежать механічна якість деревини. У хвойній деревині гіфи деревинозафарбувальних грибів проникають глибоко, що змінює зовнішній вигляд деревини та зменшує її клас якості [7, 15, 107, 130, 214, 215].

Найчастіше діагностичною ознакою ураження деревини деревинозабарвлювальними грибами є синява, яка вирізняється глибоким забарвленням хвойної деревини в сіро-синій та сірий кольори. Синяву спричиняють приблизно 50 видів сумчастих і мітоспорових грибів, але найпоширенішими збудниками синяви хвойних круглих лісоматеріалів є види із класів [80, 116]:

✓ сумчастих грибів – *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd., *Ceratocystis comatum* Mill, et Cernz., *Ceratocystis piceae* (Munch.) H. et Syd., *Ceratocystis pini* (Munch.) H. et Syd.;

✓ мітоспорових грибів – *Trichosporum tingens* Lag. et Mel., *Leptographium lundbergii* Lag. et Mell., *Cladosporium herbarum* Link., *Disculapinicola* (Naum.) Petrak.

Гриби родів *Ceratocystis* та *Ceratostomella,* що живляться целюлозою, спочатку змінюють забарвлення деревини на червонуватий відтінок. Міцелій може розвиватися на поверхні субстрату, тоді його називають поверхневим (епіфітним), наприклад у борошнисторосяних грибів, або всередині деревини – внутрішнім (ендофітним) міцелієм, наприклад у деревиноруйнівних грибів [15, 116, 163]

Спільною біологічною ознакою для деревинозабарвлювальних грибів є поширення спорами, які переносяться вітром, комахами та водою. У разі ураження деревини грибниця проникає через серцевинні промені та трахеїди. Ураження деревини синявою неможливо видалити струганням чи іншими способами оброблення деревини [104, 107, 111, 153, 162, 169, 201].

Оптимальними умовами для розвитку та поширення грибниці збудників синяви є температура приблизно +20-25 °*C* та абсолютна вологість деревини від 23% до 170%. Зафарбування ксилеми відбувається завдяки пігменту, що міститься в гіфах грибів, а також метаболітів, що виділяються міцелієм. Важливо зазначити, що деревинозафарбувальні гриби не змінюють механічних властивостей деревини, але апріорі вони сприяють ураженню деревиноруйнівних грибів, які завдають найбільшої шкоди стовбурній деревині [15, 111, 130, 160, 163].

На наступних етапах грибного ураження деревина стає крихкою, ламкою, втрачає об'ємну масу. Целюлозоруйнівні гриби зумовлюють деструкцію стовбурної деревини, до яких належить бура тріщинувата гнилизна, яка руйнує хвойну стовбурну деревину через розкладення вуглеводних полімерів у клітинній стінці [7, 15, 133].

Руйнування деревини як природного полімера є складним хімічним процесом і до кінця не зрозуміло, як живі мікроорганізми розпізнають вуглеводи та їх розщеплюють [214, 215]. Деякі автори [134, 155, 163] зазначають, що процес деградації починається з того, що грибні ферменти атакують найперше геміцелюлозні полімери. На цій початковій стадії спостерігається незначна втрата ваги, але механічні властивості деревини залишаються без змін. Друга стадія – хімічний процес окислення (H_2O_2, $Fe+++$) та утворення вільних радикалів, які руйнують геміцелюлозу та полімерну матрицю целюлози, що зумовлює втрату міцності деревини і зниження *pH*. Цей процес окислення забезпечує джерело енергії для генерації *ß*-глюкозидаз (індо- та екзоцелюлози), що продовжує розщеплювати вуглеводні полімери і призводить до втрати об'ємної маси деревини [199]. Зменшення щільності стовбурної деревини свідчить про прискорення процесу розкладання вуглеводних полімерів, що зумовлює втрату механічної якості деревини.

Ялицю білу пошкоджують багато видів грибів. Серед збудників хвороб ялиці найбільш поширені сіра цвіль (*Botrytis cinerea*), види опеньків (*Armillaria* sp.), коренева губка (*Heterobasidion abietinum*) та різноманітні іржасті гриби, з

яких найвідомішим є збудник ялицевого раку (*Melampsorella caryophyllacerarum*). Він зумовлює утворення відьминної мітли в кронах та кільцеподібних наростів на стовбурах. Варто згадати ще специфічні хвороби хвої ялиці: опіки хвої зумовлює гриб *Nematostoma parasiticum* (R. Hartig) M.E. Barr, шютте хвої зумовлює гриб *Lirula nervisequia*, а гриб *Kabatina abietis* викликає побуріння хвої ялиці. Опікові пошкодження ялицевої хвої грибом *Nematostoma parasiticum* (R. Hartig) M.E. Barr можна діагностувати за коричневою міцелярною сіткою, яка вкриває гілки та хвоїнки. Ознакою шютте ялиці білої є подовгасті чорні плодові тіла, котрі поширюються по всій довжині хвоїнки. Особливістю пошкодження *Kabatina abietis* (хвороба – побуріння хвої) є те, що спочатку буріє середня частина хвоїнки, а основа і верхівка ураженої хвоїнки довше залишаються зеленими. Відмирання дерев ялиці білої найчастіше спричиняє трутовик Гартига, який поширюється по стовбуру до висоти 20 *м*. Плодове тіло залишається живим до фази біологічного розкладання деревини. Важливо зазначити, що грибні ураження відбуваються на різних етапах розкладання клітинної стінки. Водночас найчастіше біологічне ураження стовбурів ялиці білої зумовлює гриб *Hymenochaete cruenta*, який проникає через зламані гілки і поширюється аж до верхівки крони. Його легко діагностувати через червонуватий відтінок пошкодженої деревини [126].

Біодеградація стовбурної деревини відбувається через руйнування високомолекулярної целюлозної матриці клітинної стінки деревного волокна, що спричинено деревиноруйнівними грибами з відділу *Basidiomycota*. Вони об’єднують домові гриби та ґрунтові гриби з родів *Serpula*, *Coniophora* та *Corilus*, а також атмосферні гриби з родів *Gloeophyllum, Fomitopsis* та *аероводяні гриби Cheaetomium, Coniothecium* та *Ceratocystys* [116].

Відомо [15, 80, 116, 133, 134], що гниття деревини викликають базидіальні (деревиноруйнівні) гриби, які живляться частинами рослин, абсорбуючи розчинні органічні сполуки. Вони починають розвиватися на живих деревах і зумовлюють розкладання окремих компонентів клітинних оболонок – целюлози, геміцелюлози і лігніну (рис. 1.2). Ураження

деревиноруйнівними грибами спричиняє зменшення величини річного приросту деревини, ослаблення й усихання дерев і як наслідок – біодеградацію деревини.

Рис. 1.2 – Біодеградація стовбурної деревини ялиці білої грибами

Деякі дослідники [7, 15, 60, 80, 89] зазначають, що збудники грибних уражень стовбурів проникають через механічні пошкодження ростучих дерев. Мікроскопічні дослідження деревини свідчать, що гіфи грибів проникають у деревину через пори та зумовлюють дію різних ферментів і токсинів. На початковому етапі вони викликають зміну кольорових відтінків, а надалі руйнування клітинної стінки, що спричиняє втрату міцності деревини, яка

набуває волокнистої чи пилоподібної структурної форми. Деревиноруйнівні гриби розділяють на дві групи: одні розкладають переважно целюлозу, а другі – лігнін та целюлозу. У зв'язку із цим виділяють деструктивне гниття, при якому руйнується целюлоза та геміцелюлоза і корозійне гниття, при якому руйнується переважно лігнін та частково целюлоза. До першої групи грибів належать північний трутовик, облямований трутовик, сірчано-жовтий трутовик, модринова губка, березова губка. До другої групи грибів, котрі зумовлюють корозійну гниль, відносяться ялинова губка, трутовик Гартига, ялиновий окоренкуватий трутовик і трутовик справжній.

За даними E. B. Cowling [133], міцність клітинної стінки втрачається через реакції окислення, гідролізу та зневоднення полімерів основних хімічних компонентів деревини, тобто її деградацію. Тривала біодеградація деревинної речовини зумовлює видалення вмісту клітинної стінки, що призводить до втрати об'ємної маси та зміни механічних властивостей деревини. Всі ці біологічні процеси розпаду (реакції) відбуваються в умовах високої абсолютної вологості, яка є більша за межу насичення клітинних стінок деревини.

Отже, дослідження часових особливостей біологічного розкладу деревини деревиноруйнівними грибами має практичне господарське значення в контексті ступеня заподіяних економічних збитків через зменшення якості круглих лісоматеріалів. Саме якість кругляка стала предметом проведення наших досліджень, спрямованих на ефективне використання деревинної сировини хвойних деревних видів у лісорослинних умовах Українських Карпат.

1.3. Пошкодження стовбурної деревини комахами

Шкідники деревних рослин комахи-ксилофаги знижують якісні властивості стовбурної деревини, котра у хвойних деревних видів складає від 65% до 90% загального об'єму стовбурів. Передує ураженню стовбурної деревини вплив фітопатогена та несприятливих екологічних умов довкілля, що зумовлює порушення нормального обміну речовин клітин, органів і цілої деревної рослини [15, 93, 107, 111, 155, 196].

Комахи – шкідники регулярно уражають деревні рослини і відіграють важливу роль у динаміці лісових екосистем. Водночас масове збільшення популяції комах до руйнівних розмірів сприяє спалаху хвороб, що має катастрофічний вплив на життєво важливі функції лісової екосистеми та призводить до значних економічних втрат [26, 29, 132, 171]. У таких екологічних умовах важливе значення відграє фахова обізнаність про проблеми зі здоров'ям дерев, зокрема знання біотичних чи абіотичних чинників, а також прогнозування наслідків забруднення довкілля. Фахові знання лісівничих проблем є необхідними, щоб уникнути значних фінансових затрат для локалізації негативних впливів на лісові екосистеми. Важливою складовою є також діагностування комах-шкідників на ранній стадії та масштаб пошкодження у лісових насадженнях. З огляду на це лісівничого значення набувають візуальні навички первинної оцінки санітарного стану дерев [127].

За даними Крамарця В. О. та Мацях І. П. [62] сучасні лісівничі підходи збереження деревних рослин передбачають біологічні методи зниження чисельності потенційно шкідливих лісових комах – фітофагів. Характер пошкодження рослинних тканин залежить від будови ротового апарату комахи з ротовими органами, які гризуть, відгризають або виїдають ділянки листової пластинки та стебла і прокладають у них ходи. Фітофаги та деревні рослини в навколишньому середовищі перебувають у складних трофічних зв'язках, що обумовлено рухом енергії в межах лісової екосистеми. У нашому дослідженні природну стійкість стовбурної деревини *Abies alba* Mill. в лісорослинних умовах Українських Карпат розглядаємо як вплив біологічних пошкоджень та грибних уражень на її фізичні властивості, що зумовлює зниження класу якості деревини.

Результати дослідження Manion P. D. [172] свідчать, що масове відмирання лісових деревних порід доцільно розглядати як ураження трьома взаємопов'язаними факторами – це генетичні особливості деревного виду та умови місцезростання, на формування яких надто впливає антропогенний чинник. Водночас до основних належать різновиди патогенів та шкідливих

організмів. До біотичних чинників, які зумовлюють відмирання деревної рослини, дослідник зарахував гриби-збудники, хвороби, комахи, бактерії, нематоди, вищі рослини паразити та напівпаразити. Підсумовуючи вищенаведене важливо зазначити, що проявлення хвороби можливе тільки внаслідок взаємодії всіх перерахованих вище чинників.

Варто відмітити, що у природних хвойних насадженнях періодично діють стресові впливи абіотичного та біотичного характеру, а також відбуваються природні катастрофи на великих площах, як приклад можна навести вітровали, буревії, пожежі тощо. Такі зміни в лісових екосистемах зумовлюють відмирання не тільки окремих дерев, але й біогруп і навіть деревостанів на значних площах. Перебіг грибного ураження стовбурної деревини та ступінь пошкодження комахами і розвиток хвороби здебільшого залежить від екологічних умов та тривалості захворювання, яке відображає часовий вплив від початку інфікування та перших фізіологічних змін у хворій деревній рослині і аж до проявів ознак захворювання [61].

За результатами дослідження Крамарця В. О. [60], ефективну боротьбу із комахами камбіофагами (короїди та златки), які живляться зразу під корою (в камбії), та ксилофагами (рогохвостики, вусачі та деревинники), що живляться глибоко в деревині доцільно спрямувати на вирубування свіжозаселених дерев у травні та червні, що буде протидіяти масовому розвитку короїдів. Наступними заходами боротьби з масовим розмноженням короїдів та інших видів комах камбіо- та ксилофагів дослідник вважає своєчасне вивезення круглих лісоматеріалів хвойних видів зимової заготівлі. Як приклад, у низинах і передгірських районах автором встановлено дату першого березня, а в гірських умовах ним рекомендовано до першого квітня. Водночас календарний період, на наш погляд, не завжди відповідає кліматичним умовам і тут краще було б рекомендувати граничні відхилення середньодобової температури та наявності снігового покрову.

У лісівничому контексті щодо захисту хвойних насаджень від біологічних пошкоджень заслуговують на увагу практичні рекомендації щодо збереження

локальних місцевих стійких екотипів ялини європейської у контексті впливу різних патологічних чинників на відмирання ялинників у різних лісорослинних умовах. Так, в уражених ялинових деревостанах варто створювати піднаметові лісові культури та проводити попереджувальні заходи щодо подальшого поширення комах – фітофагів та збудників хвороби у хвойних молодняках [26, 60, 67, 69, 80, 116].

Важливим лісівничим заходом є сприяння природному поновленню листяних деревних видів, тобто створення мішаних насаджень за участю бука європейського, клена-явора, берези повислої тощо (рис. 1.3).

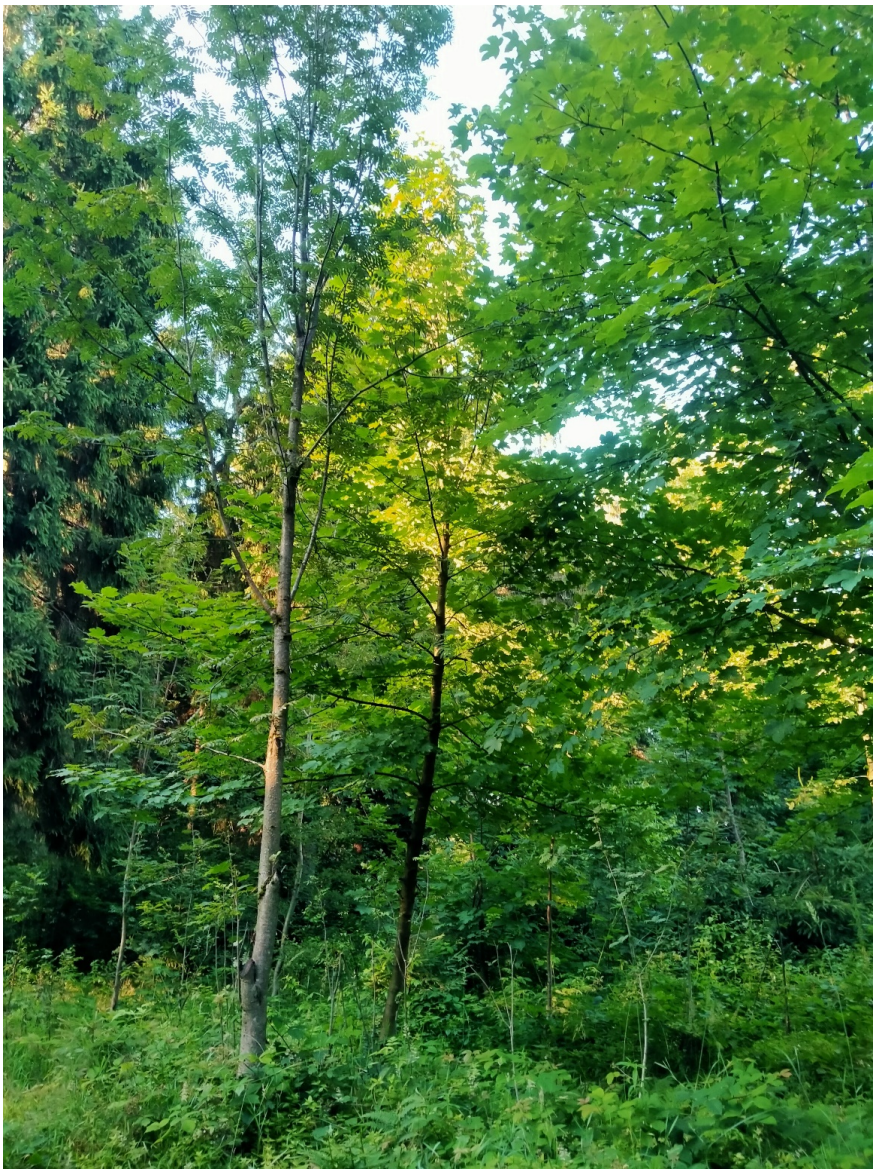


Рис. 1.3 – Створення змішаних деревостанів за участю ялиці білої, бука лісового та клена-явора в гірських лісорослинних умовах

Діагностичною ознакою похідних деревостанів є наявність незмінного флористичного складу ярусів та морфологічні характеристики ґрунтового профілю первинних біологічних угруповань [23, 25, 26, 29, 56, 61]. Водночас частково змінюється склад пануючих видів, а після тривалого часу в ялинових культурах на бучинах світлішає верхній шар гумусового горизонту. Відмирання хвойних деревостанів чи біогруп докорінно впливає на надґрунтовий покрив і спричинює погіршення фізичної та механічної якості стовбурної деревини [60].

Зниження або порушення стійкості лісових екосистем доцільно пов’язувати з розвитком рослиноїдних комах та збудників інфекційних хвороб. Їх поширення свідчить про ефект кумулятивного впливу біотичних чинників на ліси, тобто розвиток одних шкідників може сприяти поширенню інших шкідників [25, 26]. Пошкодження деревини різними видами комах-ксилофагів доцільно поділяти на дві групи залежно від способу заселення деревного виду. Перша група згаданих комах відкладає яйця на стовбурах у корі та під корою. Утім потрібно зазначити, що вони не загрожують окореним круглим лісоматеріалам. Личинки цих комах для свого розвитку потребують здебільшого вуглеводів клітинної стінки. Найпоширеніші серед них це рогохвости, короїди, златки, більшість вусачів тощо. До другої групи належать ті комахи-ксилофаги, котрі відкладають яйця у тріщинах та щілинах стовбурів, тобто на самій деревині. Вони перетравлюють клітковину клітинної стінки, розчиняючи її за допомогою ферментів, які є в їхньому кишечнику. Основними їх представниками є шашелі, домові вусачі, довгоносики трухляки, терміти тощо [80, 116, 130, 148, 172].

Отже, маємо комплексну дію різних видів патогенів із різних екологічних груп комах фітофагів, вплив яких помітно може змінити захисні функції лісової екосистеми, тому потрібно вказати на значну біодеградацію стовбурної деревини ялиці білої у похідних деревостанах Українських Карпат. Як приклад, у пошкоджених шкідником (короїд, вусач тощо) та уражених грибом (коренева губка, опеньок та інші збудники стовбурної гнилизни) ялицевих деревостанах найчастіше трапляються вітровали, буреломи,

сніголами тощо (рис. 1.4).

А) Б)

Рис. 1.4 – Вітровал (А) та бурелом (Б) ялиці білої в Українських Карпатах

Підвищення стійкості лісових екосистем проти рослиноїдних комах та збудників інфекційних захворювань є проблематичним та вимагає проведення комплексних досліджень природної стійкості стовбурної деревини промислових порід України, а зокрема ялиці білої [61, 60, 147, 148, 153]. Фахові знання щодо кваліметрії стовбурної деревини мають вагоме значення для прийняття управлінських рішень щодо проведення своєчасної заготівлі біологічно пошкодженої деревинної сировини, що зумовлює збільшення екологічної стійкості лісів.

1.4. Кваліметричні особливості біологічно пошкодженої деревини

Кваліметрія стовбурної деревини передбачає оцінювання впливу живих організмів – грибів, бактерій та комах на якісні ознаки стовбурів дерев та відповідно круглих лісоматеріалів. Важливо виділяти дві групи біологічних пошкоджень деревини [15, 128, 160, 186, 217]:

– до першої належать гриби та комахи, які живляться целюлозою, лігніном та іншими хімічними компонентами деревини;

– до другої – бактерії та гриби, які змінюють кольорові відтінки деревного волокна і водночас не впливають на механічну якість упродовж деякого часу.

Різні біологічні пошкодження живих дерев у лісових насадженнях зумовлюють здебільшого зниження якості деревини до початку її заготівлі. У зв'язку із цим практичного значення набуває своєчасне діагностування санітарного стану ростучого дерева, а саме різновидності пошкодження та стадії розвитку біологічного ураження [164].

У лісогосподарському виробництві доцільно виділяти чотири екологічні групи за біологічними пошкодженнями деревини грибами, в основу яких закладено вид збудника та місце його поширення, а також швидкість та вид деградації деревини. Щорічні втрати від ураження деревини біологічними шкідниками в лісах Європейського Союзу оцінюються в $7{,}9 \cdot 10^{-8}$ *євро* [164]. Зараження і руйнування деревини починається здебільшого у дерев із механічними пошкодженнями, або після їх зрубування, коли середньодобові температури перевищують +5 °*C*. Важливою передумовою швидкого поширення грибних уражень є відсутність у деревині кисню та збільшення температури повітря до +20-30 °*C*, а також висока вологість деревини, тобто більша за межу насичення клітинних стінок (>30%) [80].

До кваліметричних особливостей стовбурної деревини доцільно віднести результати дослідження впливу висотно-екологічних умов Українських Карпат на фізичну якість деревини бука лісового, як приклад її абсолютну вологість.

Абсолютна вологість свіжозрубаної деревини змінюються від 50% до 100% (рис. 1.5) [81, 82, 91, 104, 111].

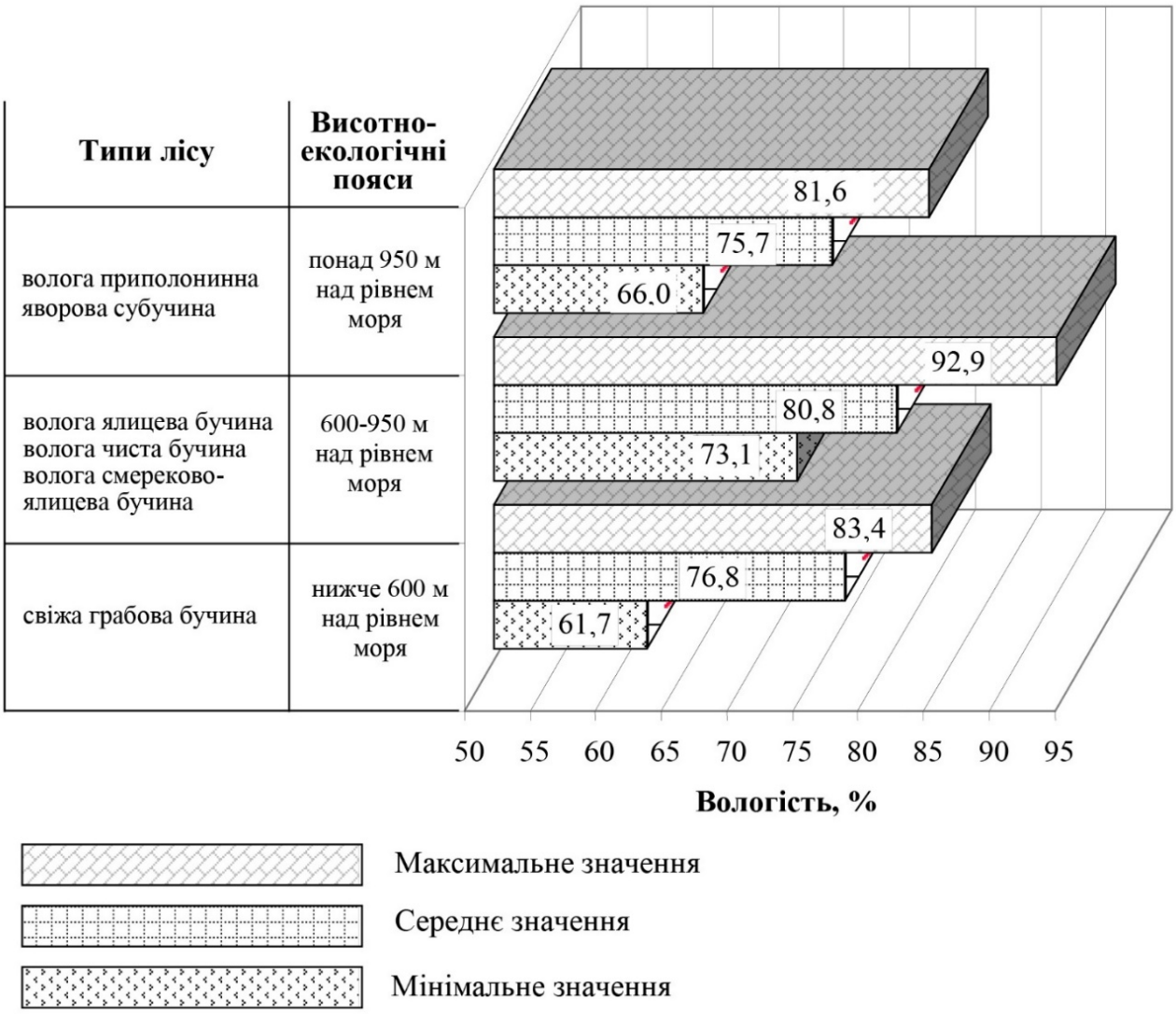


Рис. 1.5 – Діаграма впливу висотно-екологічних умов на вологість свіжозрубаної деревини бука лісового [100]

Найбільші значення абсолютної вологості деревини бука лісового у свіжозрубаному стані (в середньому 80,8%) характерні для висотно-екологічного поясу 600–950 *м* над рівнем моря (типи лісу волога ялицева бучина, чиста бучина і та смерекково-ялицева бучина), а найменші (в середньому 75,7%) спостерігаються у висотно-екологічному поясі лісів понад 950 *м* над рівнем моря у типі лісу вологій приполонинній яворовій субучині [100].

Однією з важливих проблем щодо використання деревинної сировини є стійкість деревини та її довговічність. Стійкість деревини як основної частини

живої деревної рослина традиційно пов’язують із здатністю деревини чинити опір руйнуванню під дією біотичних та абіотичних факторів [15, 111, 163]. Водночас, природною особливістю деревини є відмінність її стійкості в одних і тих же лісорослинних умовах до впливу біологічних факторів, які доцільно пов’язувати з *природною стійкістю стовбурної деревини* проти грибів поверхневої плісняви, деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів, а також пошкодженнями комахами [80, 116, 153, 164]. Стійкість деревини проти дії абіотичних чинників розкриває технологічні аспекти оброблення деревини хімічними речовинами, тобто її модифікування (покращення фізичних та механічних властивостей) . Мова йде про технічну стійкість деревини проти дії факторів навколишнього середовища (вологості та температури) [15, 160, 176, 186, 217]. Наша наукова робота спрямована на вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Українських Карпат, а також біологічних причин пошкодження деревини в ростучих деревах, часових аспектів біодеградації деревини та впливу біологічних пошкоджень на якісні властивості деревини.

У межах одного деревного виду природна стійкість деревини буде залежати від інтегрального показника якості деревини – її об’ємної маси. Зі збільшенням щільності деревини природна стійкість деревини чи опір процесу загнивання деревини буде збільшуватися. У цьому контексті прикладного значення набувають знання про відмінності природної біологічної стійкості ядрової та заболонної деревини у різних частина стовбура, а також анізотропні властивості біологічно пошкодженої деревини [15, 80, 91, 93, 116, 153, 164].

Вивчення природної стійкості деревини в розрізі зміни її фізичної та механічної якості відіграє лісівничу роль під час вирощування лісових деревних видів із заданими властивостями деревини. Особливості формування якості стовбурної деревини у ростучих деревах доцільно використовувати для візуального визначення кваліметричних ознак під час сортування круглих лісоматеріалів за класами якості. У зв’язку із цим виявлення біологічних пошкоджень у стовбурах є важливим завданням, що передує заготівлі деревини,

властивості якої ще не зазнали значних змін, а стовбурна деревина може бути ефективно використана. Водночас варто зазначити про значну варіабельність фізико-механічних властивостей деревини в межах стовбура, що зумовлено генотипом та фенотипом деревного виду, а також впливом лісорослинних умов на якісні властивості деревини [11 – 14, 64, 66, 88, 90, 99, 103].

Відмінності якісних властивостей деревини в межах стовбура дерева пов’язують з природною системою взаємопов'язаних біотичних та абіотичних чинників, які впливають на фізіологічні процеси утворення ксилеми. Чимало авторів [2, 3, 190, 196, 197, 199, 201] відзначають значну розбіжність абсолютних значень показників фізичної та механічної якості деревини окремо взятого стовбура, що дає змогу говорити про деревину як неоднорідний матеріал. Важливо зазначити, що стовбурна деревина як основний структурний елемент ростучого дерева витримує динамічні та статичні навантаження, які істотно впливають на фізико-механічні показники деревини різних частин дерева [154, 161, 179, 193, 197, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 215].

Деякі дослідники зазначають [7, 90, 91, 92, 93, 111], що властивості деревини є інтегральним віддзеркаленням як спадковості деревного виду, так і впливу довкілля впродовж усього життя на його ріст та розвиток. До загальних закономірностей формування інтегрального показника якості деревини є збільшення щільності деревини від ювенільної трубки до 2/3 радіуса стовбура, після чого річний приріст деревини стабілізується, а властивості деревини залишаються незмінними. Як приклад, об’ємна маса ялиці білої в абсолютно сухому стані дорівнює 400 $кг \cdot м^{-3}$, а за нормалізованої вологості 12% – 425 $кг \cdot м^{-3}$. Важливо зазначити, що щільність стовбурної деревини тісно пов’язана з відсотком вмісту пізньої деревини в річному кільці, на який значно впливають абсолютна повнота та склад деревостану, а також лісорослинні умови.

За даними Харитона І. І. (2016) [113], значний вплив на формування структури і фізичних властивостей деревини ялини європейської мають кліматичні чинники та типи лісорослинних умов у розрізі абсолютних висот над

рівнем моря. Результати дослідження щільності деревини ялини європейської свідчать про її тісну залежність від абсолютної висоти (рис. 1.6).

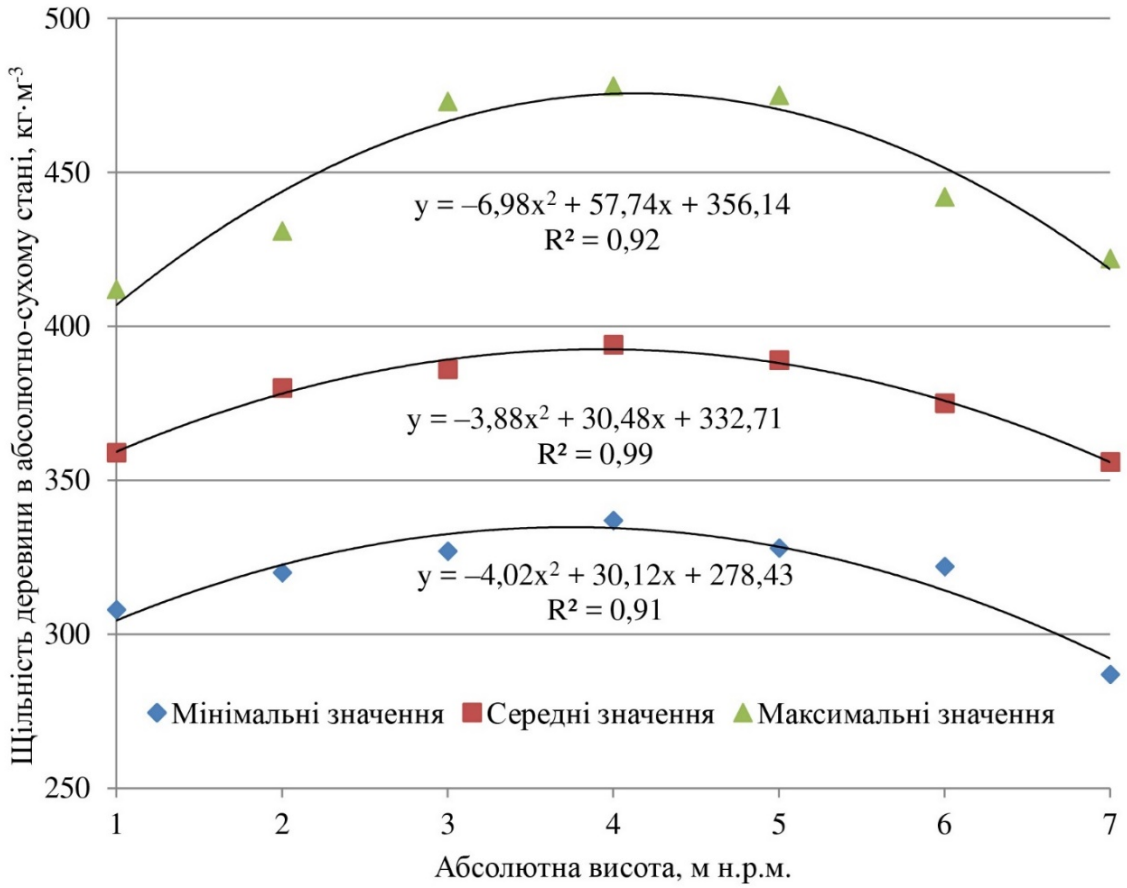
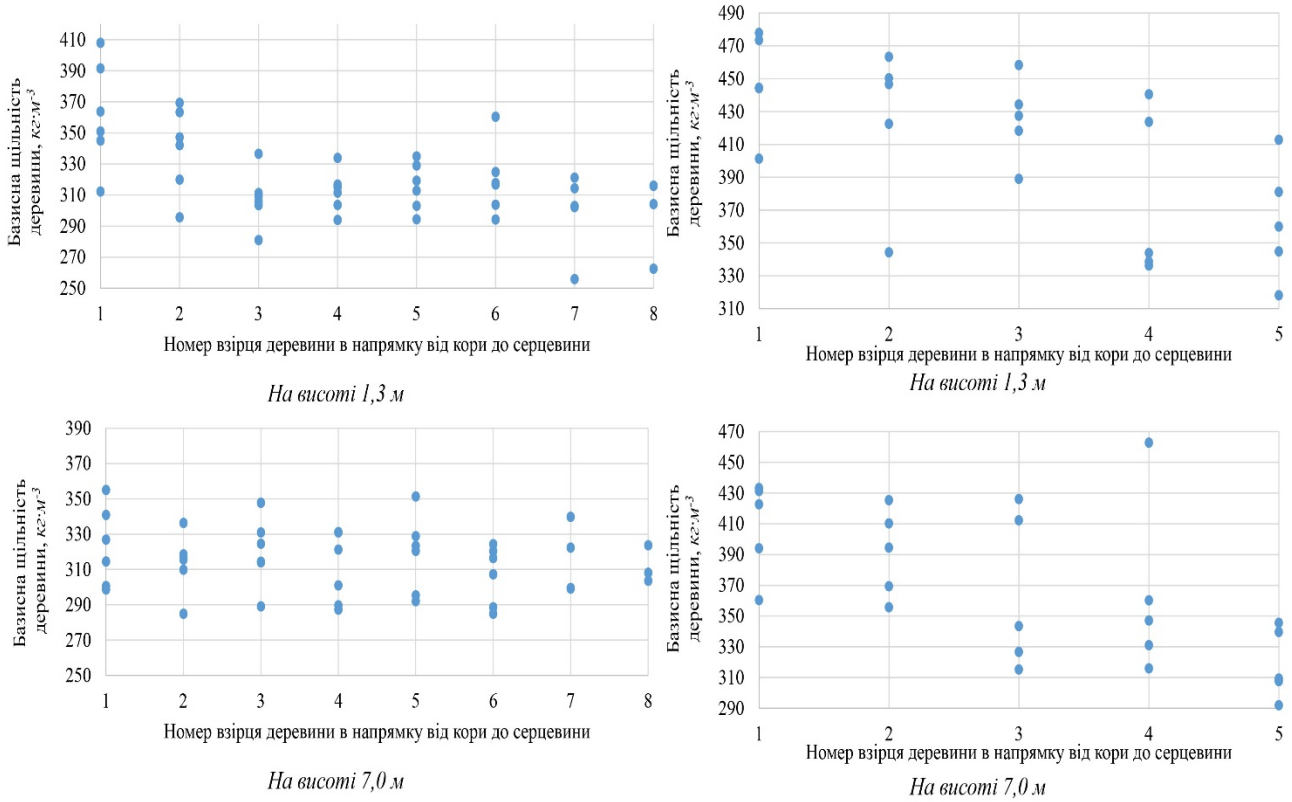


Рис. 1.6 – Залежність щільності деревини від абсолютної висоти (1 – 630 *м н.р.м.*; 2 – 820 *м н.р.м.*; 3 – 975 *м н.р.м.*; 4 – 1190 *м н.р.м.*; 5 – 1000 *м н.р.м.*; 6 – 800 *м н.р.м.*; 7 – 650 *м н.р.м.*) [113]

Найбільші середні значення об'ємної маси деревини властиві для вологої високогірної сусмеречини, а залежність щільності стовбурної деревини від абсолютної висоти описується рівняннями другого порядку. Відмінність між показниками об'ємної маси деревини ялини європейської досягає 12%. Автор вказує також на істотну залежність щільності деревини від кількості річних кілець в 1 *см* та вмісту пізньої деревини в річному кільці [40, 113].

У контексті оцінювання структурних відмінностей якості деревини заслуговують уваги результати дослідження Р. Т. Максимчука, що свідчать про значні відмінності формування об'ємної фітомаси стовбурної деревини ялиці білої залежно від структурного розміщення деревного волокна відносно осі

ростучого дерева. Для лісогосподарської практики автор виділяє ялицю білу з прямоволокнистою та хвилясто-завилькуватою деревиною, базисна щільність яких суттєво різниться (рис. 1.7) [75 – 77, 84].



А) Б)

Рис. 1.7 – Відмінності базисної щільність ялиці білої із прямоволокнистою (А) та хвилясто-завилькуватою деревиною (Б) за радіусом [75]

У прямоволокнистої деревини ялиці білої базисна щільність поступово збільшується від ювенільної трубки до периферії стовбура і варіює в межах від 256 до 408 *кг·м*$^{-3}$. Водночас хвилясто-завилькуватій деревині властиві більші значення базисної щільності, середнє значення якої є на 23% більшим, ніж у дерев із прямоволокнистою структурою деревини. Щільність хвилясто-завилькуватої деревини у кімнатно-сухому стані ($W_{абс.}$=8%) перебуває у межах від 336 до 580 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 470 *кг·м*$^{-3}$, а прямоволокнистої деревини варіює від 313 до 478 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 391 *кг·м*$^{-3}$. Найбільші значення щільності деревини в межах стовбура характерні для окоренкової частини стовбура [75, 16, 99, 154].

Дослідження деревини хвойних порід свідчать, що щільність стовбурної деревини залежить від показників її мікроскопічної та макроскопічної будови. Зокрема, щільність клітинної оболонки ранньої та пізньої деревини істотно відрізняється, що належить пов'язувати з розмірами анатомічних елементів. За однакових розмірів ранніх та пізніх трахеїд у межах річного приросту якісні властивості стовбурної деревини визначає відсоток вмісту пізньої деревини в річному кільці. За результатами дослідження деревини хвойних порід виділено чотири анатомічні відмінності у річному прирості, які формують фізичну якість стовбурної деревини, а саме: кількість рядів пізніх трахеїд; товщина стінки пізніх трахеїд; довжина пізніх трахеїд та кількість рядів ранніх трахеїд [89, 91 – 93, 117].

Зміну фізико-механічних показників деревини ялиці білої досліджували в умовах Іспанських Піренеїв група іспанських науковців [206]. Вони вважають, що відмінності властивостей деревини в межах стовбура за допомогою математичних моделей описати дуже складно (рис. 1.8).

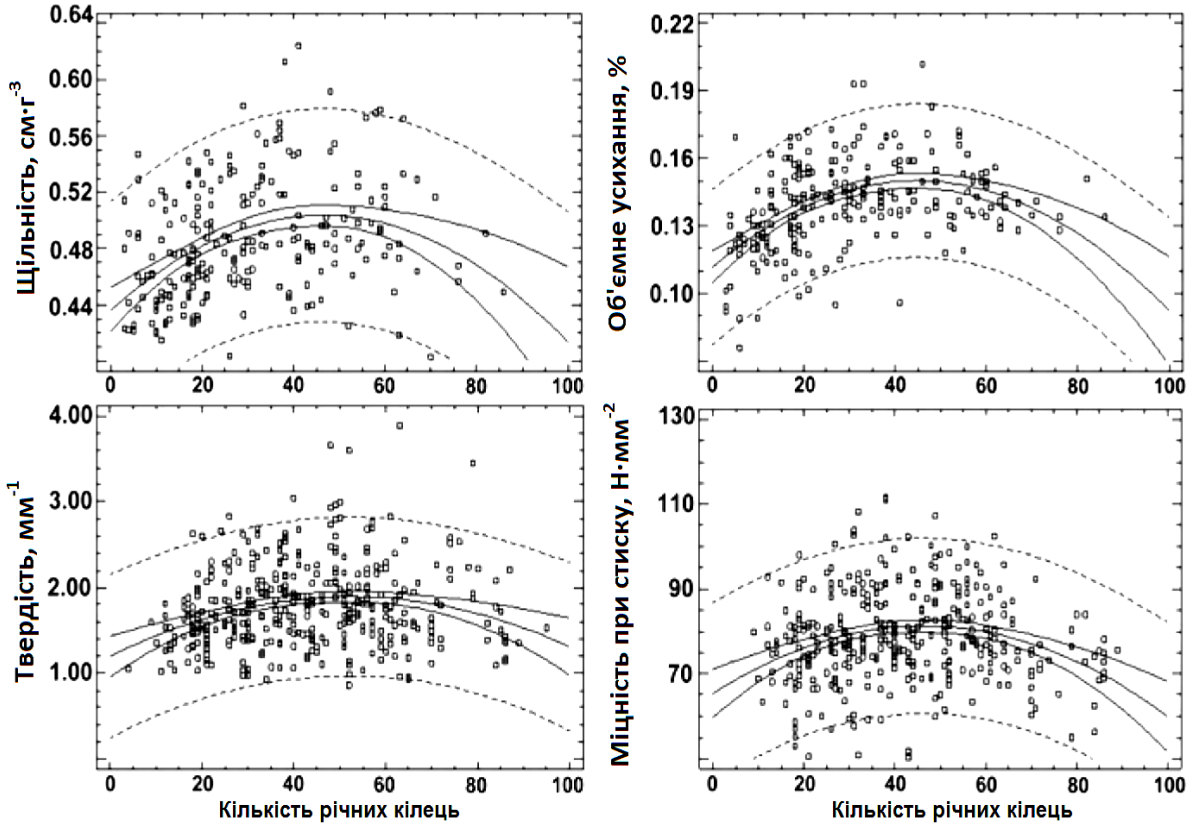


Рис. 1.8 – Залежність властивостей деревини ялиці білої від кількості річних кілець в 1 *см* [206]

Залежності між фізико-механічними показниками (щільність, об'ємна усихання, твердість і міцність під час стискання вздовж волокна) та кількістю річних кілець в 1 *см* деревини мають тенденційний характер. Зміну якісних властивостей деревини описують поліноміальною кривою другого порядку, що характеризується висхідною фазою від серцевини до 50-го річного приросту та низхідною – до 75-го річного приросту з різким зменшенням показників. У межах ростучого дерева властивості деревини зменшуються від окоренкової частини до початку крони. Таку тенденцію відмінності якісних властивостей стовбурної деревини доцільно пов’язувати зі зміною кута нахилу мікрофібрил та відсотком ювенільної деревини [166, 211, 169, 200, 184, 189].

За даними низки вітчизняних авторів [34, 37, 39, 48, 49, 66, 73, 108] розмірно – якісні ознаки стовбурної деревини та структурні відмінності відображають родючість ґрунтів, або тип лісорослинних умов. Водночас автори наголошують, що в Українських Карпатах потрібно враховувати не тільки зміну родючості ґрунтів, але й висотно-екологічні умови та мікрокліматичні відмінності. Загальновідомою тенденцією є збільшення об’ємної маси деревини хвойних порід у бідніших ґрунтах порівняно з багатими лісорослинними умовами. Прикладом є відчутний вплив локального мікроклімату (низька температура повітря та високий рівень ґрунтових вод) південно-західної Німеччини на щільність деревини *Picea abies* (L.) Karst. [205]. Збільшення об’ємної маси деревини хвойних та листяних порід необхідно також пов’язувати з ефективним проведенням лісогосподарських заходів, а зокрема доглядових рубок та відповідно контролювати площу живлення окремо взятих дерев, що тісно пов’язано з підтриманням газообмінних процесів у лісових екосистемах [165].

Практичні рекомендації щодо кваліметрії стовбурної деревини детально розкрито проф. Сопушинським І. М. [103] у дослідженнях внутрішньовидової диференціації листяних деревних видів, що свідчать про необхідність виділення п’яти структурних відмінностей деревини за розміщенням деревного волокна відносно осі ростучого дерева, а саме з нахилом деревного волокна

0–9°; 10–25°; 26–45° та із завилькуватим розміщенням і з точковою паренхімитизацією деревного волокна. Автором встановлено вплив кута нахилу деревного волокна на об'ємну масу деревини клена-явора (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Об'ємна маса стовбурної деревини клена-явора [103]

Структурні відмінності деревини		Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення
"пташине око"		544	$580^{\pm 1,24}$	599
хвилясто-завилькувата		549	$575^{\pm 2,26}$	614
кут нахилу	0-9°	545	$595^{\pm 1,62}$	648
	10-25°	490	$571^{\pm 3,36}$	635
	26-45°	501	$561^{\pm 3,35}$	623

Найбільша щільність деревини клена-явора в абсолютно сухому стані властива для прямоволокнистої структури і змінюється від 545 *кг·м*$^{-3}$ до 648 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 595 *кг·м*$^{-3}$, а найменші значення характерні для деревини клена-явора форми "пташине око". Збільшення кута нахилу деревного волокна зумовлює зменшення об'ємної маси деревини в абсолютно сухому стані від 595 *кг·м*$^{-3}$ до 561 *кг·м*$^{-3}$. Подібну тенденцію зміни щільності деревини встановлено також для базисної щільності деревини.

В лісорослинних умовах Прикарпаття встановлено, що типи лісу впливають на об'ємну масу сосни звичайної та показники макроструктури. За результатами досліджень щільності деревини ($W_{абс.}$=8%) та кількості річних кілець в 1 *см* встановлено чотири класи якості:

I – ≤5 річних кілець в 1 см із середнім значенням щільності 385 кг·м$^{-3}$*;*

II – 6-10 річних кілець в 1 см із середнім значенням щільності 448 кг·м$^{-3}$ *;*

III – 11-15 річних кілець в 1 см із середнім значенням щільності 510 кг·м$^{-3}$*;*

IV – ≥16 річних кілець в 1 см із середнім значенням щільності 601 кг·м$^{-3}$*.*

У четвертому класі якості деревини сосни звичайної щільність деревини характеризувалась найбільшою варіацією абсолютних значень від 445 до

735 *кг·м*$^{-3}$. Якісні відмінності стовбурної деревини сосни звичайної використовують для діагностування сортиментів цільового призначення [17].

За даними F. Krzysik (1978), щільність стовбурної деревини ялиці білої перебуває у межах від 350 *кг·м*$^{-3}$ до 750 *кг·м*$^{-3}$ при $W_{абс.}$=15% і залежить від якості круглих лісоматеріалів. Об'ємна маса деревини свіжозрубаного дерева досягає 1000 *кг·м*$^{-3}$, а показник анізотропії усихання деревини в тангентальному та радіальному розрізах становить відповідно 11,7% і 3,8%. Автор зазначає, що щільність деревини зазвичай вважають інтегральним маркером механічної якості деревини, а мінливість показника пов'язують з деревним видом, його походженням та умовами місцезростання. Для більшості хвойної деревини властиве зменшення щільності деревини зі збільшенням висоти стовбура [163].

Проф. Дебринюк Ю. М. зазначає, що в типі лісу *С*$_3$*-см-бкЯц* щільність деревини в абсолютно сухому стані ялиці білої варіює від 345 до 365 *кг·м*$^{-3}$. Найбільші значення об'ємної маси деревини характерні для окоренкової частини стовбура висотою максимально до 5 м. Фізико-механічна якість деревини ялини європейської є кращою ніж у ялиці білої у типах лісу волога яличина і суяличина [37 – 39]. Водночас результати дослідження Терелі І. П. свідчать, що властивості деревини ялиці білої різняться зі зміною абсолютної висоти. В лісорослинних умовах Прикарпаття на висоті 300 *м н.р.м.* щільність деревини ялиці білої досягає 444 *кг·м*$^{-3}$, а у гірських умовах на абсолютній висоті 1000 *м н.р.м*. є меншою – 401 *кг·м*$^{-3}$. Аналогічна тенденція властива для базисної щільності деревини. Автор підсумовує, що у передгірських деревостанах деревина ялиці білої характеризується більшими показниками фізичної якості [108].

Польські дослідники [180 – 182] стверджують про значні відмінності фізико-механічних властивостей деревини ялиці білої в різних лісорослинних умовах. Об'ємна маса деревини за стандартної вологості ($W_{абс.}$=12%) в умовах Бескид-Низьких була більшою ніж в лісорослинних умовах Бескид-Сондецьких та Свентокшиських гір. Аналогічна тенденція була характерна

для модуля пружності деревини, що зумовило проведення механічного сортування деревини ялиці білої за класами міцності (*C14, C24* і *C27*).

Результати дослідження німецьких учених [129, 160, 208] свідчать, що об'ємна маса деревини ялиці білої в абсолютно сухому стані варіює від 320 до 710 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 410 *кг·м*$^{-3}$, а за абсолютної вологості 12…15% змінюється від 350 до 750 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 450 *кг·м*$^{-3}$. Показники анізотропії всихання деревини перебувають у тангентальному напрямку – 7,2-7,6%, а радіальному – 2,9-3,8% та за об'ємом – 10,2-11,5%. Водночас аналогічні показники щільність деревини ялини європейської варіюють від 300 до 640 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 430 *кг·м*$^{-3}$, а при $W_{абс.}$ = 12-15% – від 330 до 680 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 470 кг·м$^{-3}$. Всихання деревини в тангентальному напрямку сягає 7,8-8,0%, а в радіальному – 3,5-3,7% та за об'ємом – 11,6-12,0%.

Лісівничо-таксаційні особливості деревостанів за участю ялини європейської в лісорослинних умовах Українських Карпат з врахуванням особливостей рельєфу місцевості вивчав проф. Гриник Г. Г. [34, 35]. За даними автора, площа ялинових деревостанів досягає 397,8 *тис. га*, де зосереджено запас 142,6 *млн. м*^{3} деревини. Вікова структура ялинових лісів нерівномірна, де середньовікові насадження мають найбільшу частку у 52,4%, а пристиглі та стиглі відповідно 12,5% та 10,4%. Найпоширенішим типом лісорослинних умов, де трапляються ялинові насадження, є вологий сугруд – 75,66%. Деревостанам Іа та І класу бонітету належить разом 58,3% від загальної площі ялинових лісів в Українських Карпатах. Результати дослідження властивостей деревини ялини європейської за радіусом стовбура в середньовікових деревостанах свідчать, що середні значення об'ємної маси стовбурної деревини зменшуються із збільшенням діаметра до середнього ступеня товщини та збільшуються із зростанням до максимальних ступенів.

Особливості структури надземної фітомаси деревостанів за участю ялини європейської в Українських Карпатах досліджував Задорожний А. І. [45] для визначення потенційних об'ємів фітомаси та можливого її використання.

Автором детально проаналізовано локальну щільність стовбурної деревини на пні та на таких відносних висотах 0,25, 0,50 та 0,75. У вологому сугруді середні значення щільності деревини в абсолютно сухому стані були більшими від аналогічного показника ніж у вологому груді. Зміну об'ємної маси деревини встановлено на підставі моделювання вікової динаміки щодо висоти та діаметра стовбура (рис. 1.9).

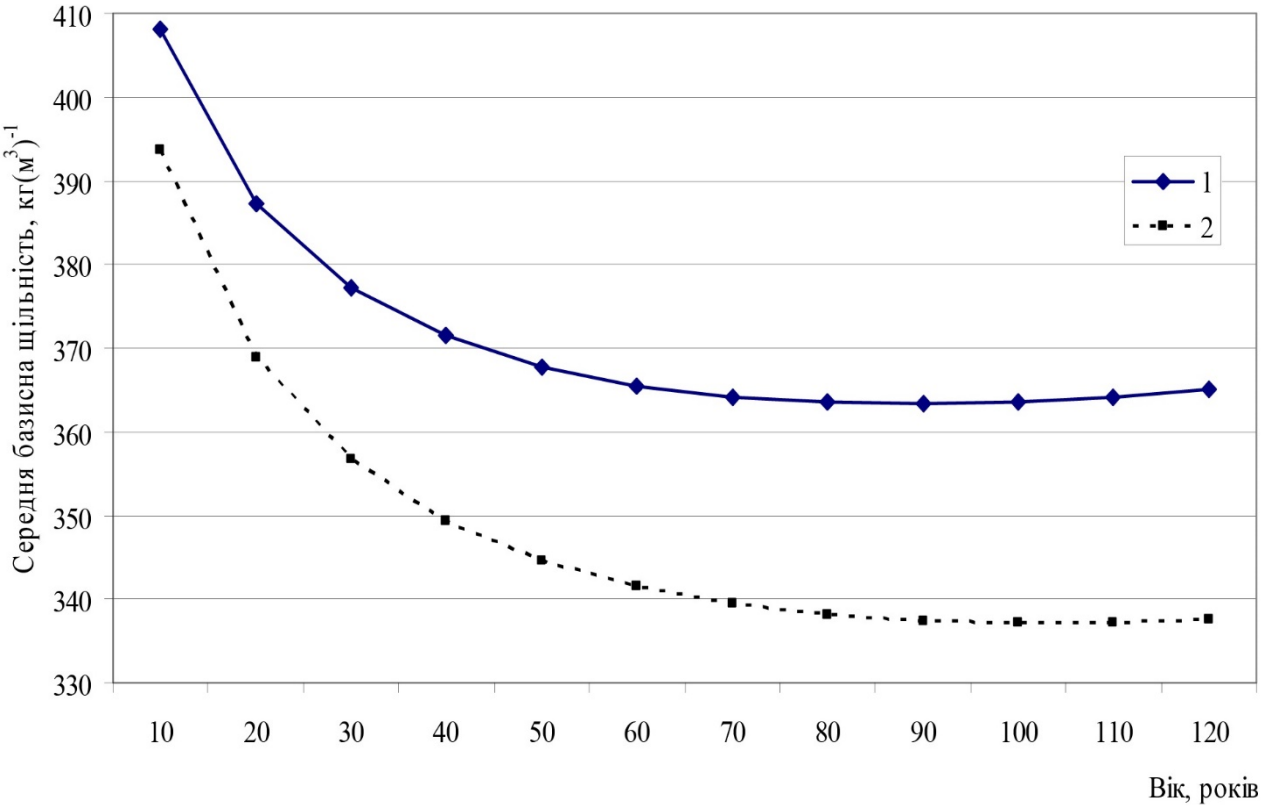


Рис. 1.9 – Зміна базисної щільності деревини ялини європейської з віком у типах лісорослинних умов: 1 – *C₃*, 2 – *D₃* [45]

Динамічні закономірності формування об'ємної маси деревини ялини європейської характеризуються подібними тенденціями в типах лісорослинних умов *C₃* та *D₃*. Менші показники базисної щільності деревини характерні для молодняків, а більші значення властиві у стиглому віці, що зумовлює відповідно формування вищої якості стовбурної деревини [45].

Відмінності фізико-механічної якості стовбурної деревини хвойних порід досліджувало чимало вітчизняних та іноземних науковців. [21, 23, 31, 35, 50, 54, 67, 88, 147, 169, 173, 200, 196, 196]. Дослідники дійшли висновків, що мінливість фізико-механічних показників деревини ялиці білої є більшою

порівняно з аналогічними властивостями ялини європейської. Об’ємна маса деревини зменшується із збільшенням кількості річних кілець в 1 *см* та відсотка пізньої деревини в річному кільці. Базисна щільність деревини є деревинознавчим маркером сприятливих лісорослинних умов для промислових деревних порід. Правильне упорядкування деревного волокна та рівномірність річних приростів є апріорі визначальним для селективного відбору високоякісних сортиментів цільового призначення.

Підсумовуючи літературний огляд результатів дослідження якісних властивостей деревини ялиці білої належить зазначити, що структурні та фізико-механічні властивості стовбурної деревини вивчено в різних лісівничо-таксаційних аспектах, але водночас питання визначення природної стійкості стовбурної деревини проти поверхневої плісняви, деревинозафарбувальних та деревиноруйнівних грибів в контексті зміни фізичної якості деревини, а саме об’ємної маси деревини та її показників анізотропії всихання залишається малодослідженим.

РОЗДІЛ 2
ОБ'ЄКТИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Гірські лісові екосистеми Українських Карпат в умовах глобальної зміни клімату є унікальною природною лабораторією для вивчення не тільки продуктивності лісових насаджень, але й природної стійкості її складових компонентів – деревних видів, одним з яких є ялиця біла. В останні десятиріччя відображенням екологічних проблем є масове відмирання деревостанів за участю ялини європейської, ялиці білої, сосни звичайної та інших деревних порід як в Україні, так і інших країнах ЄС. Проблему всихання хвойних лісів розкривають через взаємодію трьох взаємопов'язаних чинників, а саме: (а) екологічних змін зовнішнього середовища; (б) збільшення кількості патогенів та (в) вразливості лісових екосистем [61, 60, 42, 116, 153, 164]. Водночас залишається поза увагою природна стійкість стовбурної деревини як одного з найважливіших компонентів лісових деревостанів та ефективне використання деревинної сировини як джерела енергії та природного матеріалу для деревооброблювальної та будівельної галузей.

2.1. Об'єкти та програма досліджень

Для вивчення природної стійкості стовбурної деревини *Abies alba* Mill. в лісорослинних умовах Українських Карпат нами відібрано буково-ялицеві ліси Прикарпаття (*Va*) та Закарпаття (*V*) і буково-ялицеві-смерекові гірські ліси (*VI* та *VII*) відповідно до схеми геоботанічно-лісівничого районування Українських Карпат (рис. 2.1). Модельні дерева ялиці білої відібрано у ДП "Перечинське лісове господарство", ДП "Великоберезнянське лісове господарство" та ДП "Берегометське лісомисливське господарство". Науковою роботою охоплено дослідження стовбурної деревини ялиці білої, що було випиляно зі здорових та біологічно пошкоджених дерев. Район дослідження характеризувався гірською вертикальною поясністю лісової рослинності, де чітко виділяється пояс мішаних насаджень за участю ялиці білої від 350 до 1045 *м н.р.м.*

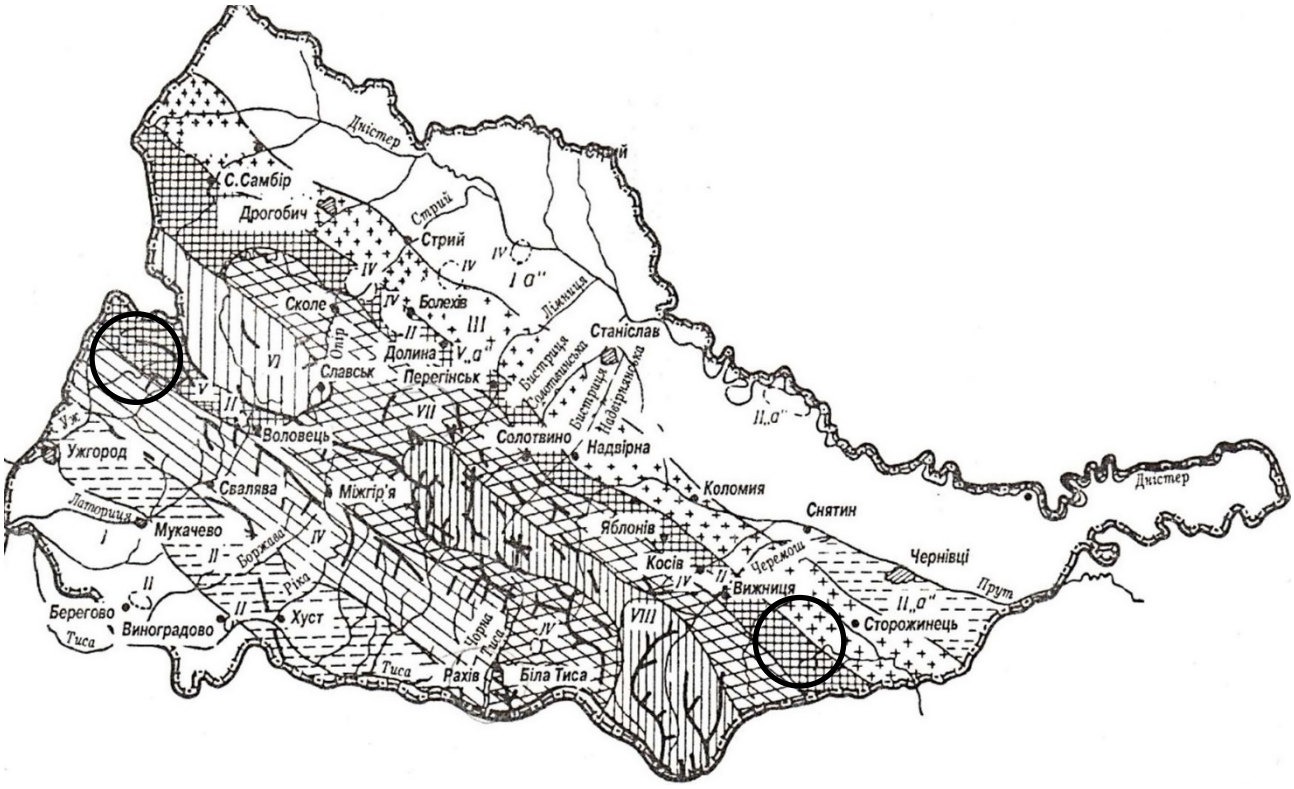


Рис. 2.1 – Розміщення досліджуваних ялицевих деревостанів на схемі геоботанічно-лісівничого районування Українських Карпат [20]

Основними едифікаторами досліджуваних ялицевих деревостанів був клен-явір, граб звичайний, липа дрібнолиста і поширені *Sorbus torminalis* L., *Vaccinium myrtillus* L. та *Vaccinium vitis-idaea* L. Щодо екологічних особливостей поширення ялиці білої, то для дослідження було взято основні типи лісу в сугрудах та грудах Українських Карпат. До найпоширеніших та господарсько-цінних типів лісу відносять вологі смереково-букові суяличини та яличини (80%) і вологі буково-ялицеві сусмеречини (53%), де ялиця біла є типоутворювальним деревним видом [20].

Екологічна фігура досліджуваної лісової деревної породи охоплює вологі гігротопи сугрудів і грудів (типи лісу – вологі суяличини та яличини), у складі насадження яких їй належить щонайменше 50% (рис. 2.2). Однією з відмінностей формації ялиці білої в Українських Карпатах доцільно вважати практичну відсутність чистих природних ялицевих деревостанів, що обумовлює її більшу біологічну стійкість до впливів біотичних та антропогенних чинників. Чисті ялицеві деревостани мають антропогенне походження і трапляються в

Бескидах та на Прикарпатті.

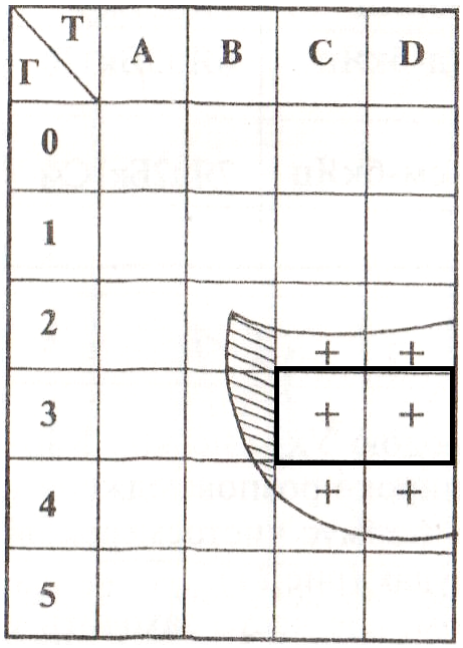


Рис. 2.2 – Екологічна фігура ялиці білої [20]

Район дослідження ялицевих деревостанів охопив помірну та прохолодну кліматичні зони Українських Карпат (рис. 2.3).

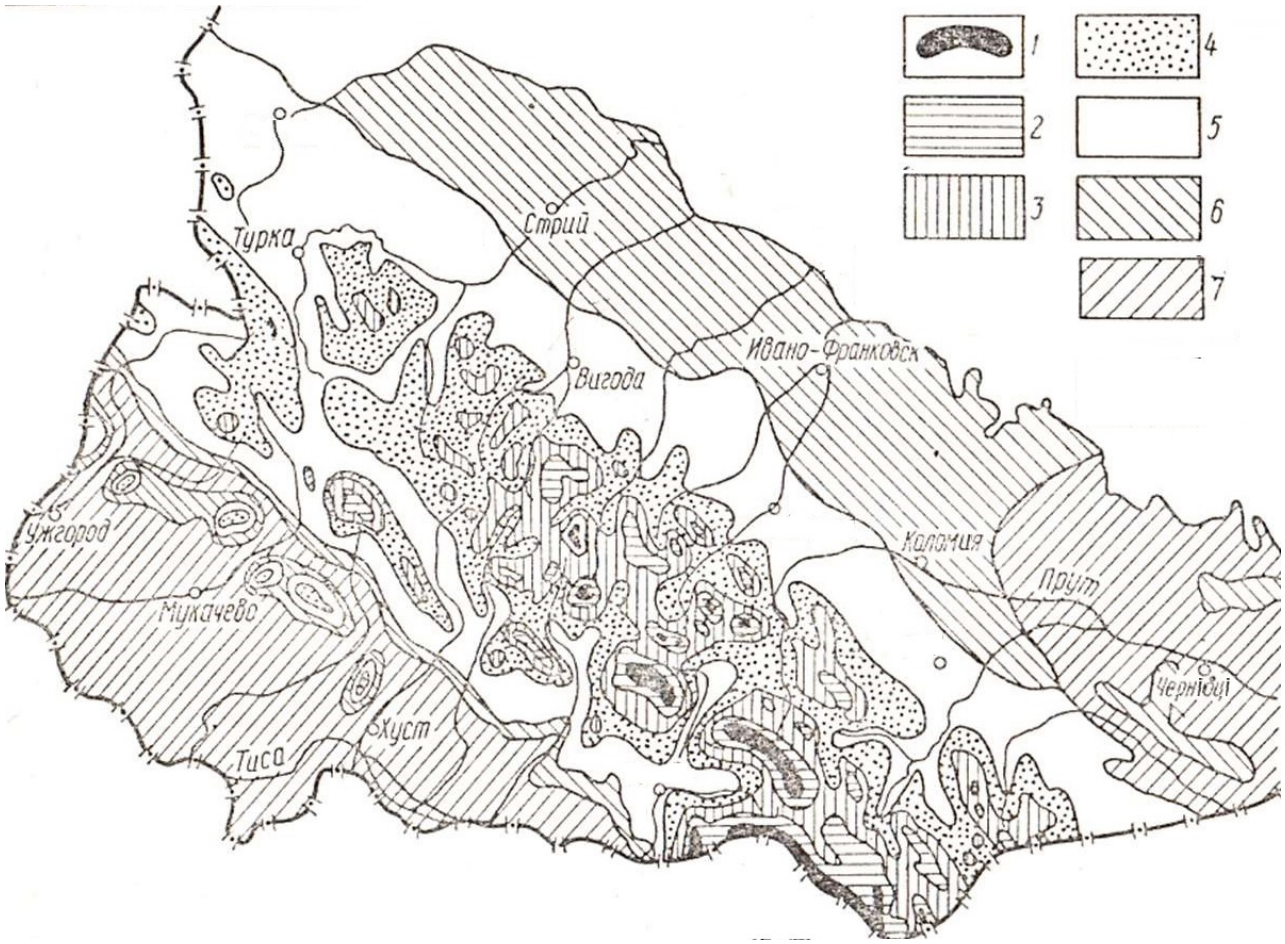


Рис. 2.3 – Кліматичні зони №4 та №5 районів дослідження [23]

Помірна кліматична зона охоплює північно-східні схили Українських Карпат на абсолютній висоті від 450 до 850 *м н.р.м*., а прохолодна – від 850 до 1250 *м н.р.м*. Середня температура найтеплішого місяця у помірній кліматичній зоні сягає 15-17 ^0C, а найхолоднішого місяця – від -5 до -6 ^0C. У прохолодній кліматичній зоні максимальна середньомісячна плюсова температура є приблизно 13 ^0C, а найбільша середньомісячна мінусова температура не перевищує -8,5 ^0C. Вегетаційний період за температури більше +5 ^0C у помірній кліматичній зоні триває більше 165 днів, а у прохолодній – 136 днів [1, 24, 26, 27, 29].

Вивчення природної стійкості стовбурової деревини ялиці білої та зміни її фізичних властивостей під дією біологічних чинників (грибів, комах) здійснено на 14 пробних ділянках розміром 100×100 $м^2$ у типах лісу: вологих букових суяличині (*С₃-бкЯц*) та яличині (*D₃-бкЯц*), вологих грабово-букових суяличині (*С₃-г-бкЯц*) та яличині (*D₃-г-бкЯц*), вологих смереково-букових суяличині (*С₃-см-бкЯц*) та яличині (*D₃-см-бкЯц*). Таксаційні показники досліджуваних в Українських Карпатах ялицевих деревостанів наведено у табл. 2.1 (див. додаток А).

Таблиця 2.1 - Таксаційні показники досліджуваних ялицевих деревостанів

ПП / Кв./вид.	Індекс типу лісу	Склад деревостану / Висота н. р. м.	Вік, роки / Запас, $м^3 \cdot га^{-1}$	Висота, м / Діаметр, см	Клас бонітет / Відносна повнота
1	2	3	4	5	6
ДП “Перечинське лісове гсоподарство”					
Турицьке лісництво					
1 / 5/13	*D₃-бкЯц*	5Яцб5Бкл / 850	170 / 350	33 / 52	I / 0,45
2 / 9/1	*D₃-бкЯц*	5Яцб5Бкл / 750	190 / 530	35 / 52	I / 0,60
3 / 8/3	*С₃-бкЯц*	6Яцб4Бкл / 700	190 / 490	36 / 52	I / 0,50

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4	5	6
$\frac{4}{9/5}$	*D₃-бкЯц*	$\frac{6Яцб4Бкл + Яв}{950}$	$\frac{190}{600}$	$\frac{34}{52}$	$\frac{I}{0,60}$
Порошківське лісництво					
$\frac{5}{22/11}$	*D₃-г-бкЯц*	$\frac{9Яцб1Бкл + Грз}{420}$	$\frac{95}{630}$	$\frac{35}{48}$	$\frac{I}{0,60}$
$\frac{6}{22/12}$	*D₃-г-бкЯц*	$\frac{6Яцб4Бкл + Грз}{350}$	$\frac{92}{450}$	$\frac{33}{36}$	$\frac{I}{0,55}$
Тур'я Реметівське лісництво					
$\frac{7}{9/37}$	*C₃- г-бкЯц*	$\frac{6Яцб4Бкл}{450}$	$\frac{75}{530}$	$\frac{29}{36}$	$\frac{IA}{0,70}$
$\frac{8}{9/28}$	*C₃- г-бкЯц*	$\frac{8Яцб2Бкл + Грз}{420}$	$\frac{89}{460}$	$\frac{34}{42}$	$\frac{IA}{0,60}$
$\frac{9}{9/26}$	*C₃- г-бкЯц*	$\frac{10Яцб + Бкл}{400}$	$\frac{115}{520}$	$\frac{34}{44}$	$\frac{IA}{0,55}$
ДП "Великоберезнянське лісове господарство", Лютянське лісництво					
$\frac{10}{12/8}$	*D₃-см-бкЯц*	$\frac{6Яцб4Бкл}{575}$	$\frac{75}{410}$	$\frac{27}{34}$	$\frac{IA}{0,55}$
$\frac{11}{4/18}$	*D₃-см-бкЯц*	$\frac{7Яцб3Ялє + Бкл}{610}$	$\frac{63}{385}$	$\frac{25}{30}$	$\frac{IA}{0,75}$
ДП "Берегометсьве лісомисливське господарство", Лопушнянське лісництво					
$\frac{12}{27/20}$	*C₃-см-бкЯц*	$\frac{6Яцб2Ялє2Бкл + Яв}{866}$	$\frac{112}{345}$	$\frac{30}{42}$	$\frac{I}{0,40}$
$\frac{13}{37/16}$	*C₃-см-бкЯц*	$\frac{4Яцб3Ялє3Бкл + Яв}{1045}$	$\frac{108}{349}$	$\frac{29}{40}$	$\frac{I}{0,45}$
$\frac{14}{27/3}$	*C₃-см-бкЯц*	$\frac{7Яцб2Бкл1Ялє + Яв}{1000}$	$\frac{118}{387}$	$\frac{29}{44}$	$\frac{I}{0,40}$

Таксаційні показники ялицевих деревостанів визначено відповідно до загальноприйнятих методик таксації деревостанів та дерев [20, 36, 55]. До основних таксаційних показників деревостанів за участю ялиці білої зараховано тип лісу, склад насадження, абсолютну висоту, вік, відносну повноту, середній

діаметр, середню висоту та клас бонітету. Для вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої у контексті зміни фізичних властивостей відібрано 36 модельних дерев, з яких випиляно 108 кряжів деревини. Водночас кваліметричними дослідженнями охоплено 180 дерев ялиці білої.

Програма дисертаційної роботи передбачала вивчення природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої в розрізі впливу грибних уражень та пошкоджень комах-шкідників на фізичну якість деревини і кваліметричні ознаки круглих лісоматеріалів у деревостанах Українських Карпат, що охопило:

– аналіз теоретичних аспектів пошкодження хворобами та комахами стовбурної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Українських Карпат та підбір пробних ділянок для вивчення фізичної якості деревини;

– визначення впливу грибних уражень на об’ємну масу стовбурної деревини та часових особливостей розкладання деревини;

– вивчення анізотропних властивостей здорової та ураженої грибами деревини внаслідок відмирання дерев;

– дослідження кваліметричних особливостей визначення класів якості круглих лісоматеріалів;

– кореляційно-регресійний аналіз залежності між показниками об’ємної маси, анізотропії всихання та кваліметричними ознаками здорової та ураженої грибами стовбурної деревини;

– обґрунтування розмірно-якісних характеристик цільової заготівлі деревини із заданими властивостями деревини ялиці білої.

Предметом дослідження була природна стійкість стовбурної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Українських Карпат в контексті вивчення впливу біологічних уражень грибів та пошкоджень личинок комах на фізичну якість стовбурної деревини за показниками її об’ємної маси та анізотропії всихання, а також кваліметричних відмінностей круглих лісоматеріалів, що визначають розмірно-параметричні ознаки класів якості деревини.

2.2. Методи досліджень

2.2.1. Методичні особливості відбору взірців деревини

Для дослідження природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої відібрано пристиглі, стиглі та перестійні деревостани. На досліджуваних ділянках охоплено не менше 100 дерев із різним ступенем біологічного пошкодження деревини. Вивчення фізичних властивостей деревини та кваліметричних ознак класів якості проведено відповідно до визнаних вітчизняних та міжнародних методик і чинних стандартів [15, 41, 47, 91, 93, 97, 104, 111, 159, 178, 186]. Відбір моделей ялиці білої проведено із врахуванням основних вимог до розмірно-якісних характеристик стовбурів та із ступеней товщини, де кількість дерев була найбільша. Алгоритм виконання дослідження природної стійкості деревини ялиці білої наведено на рис. 2.6.

Рис. 2.4 – Алгоритм виконання дослідження природної стійкості деревини

Визначення фізичних властивостей деревини проведено на здоровій,

півріччній, річній та дворічній біологічно ураженій стовбурній (діловій) деревині. Ділова деревина - це круглі лісоматеріали, окрім деревини дров'яної промислового та непромислового використання [47]. Випилювання досліджуваних взірців із ділової деревини модельних дерев ялиці білої проведено відповідно до загальноприйнятої деревинознавчої методики (рис. 2.5).

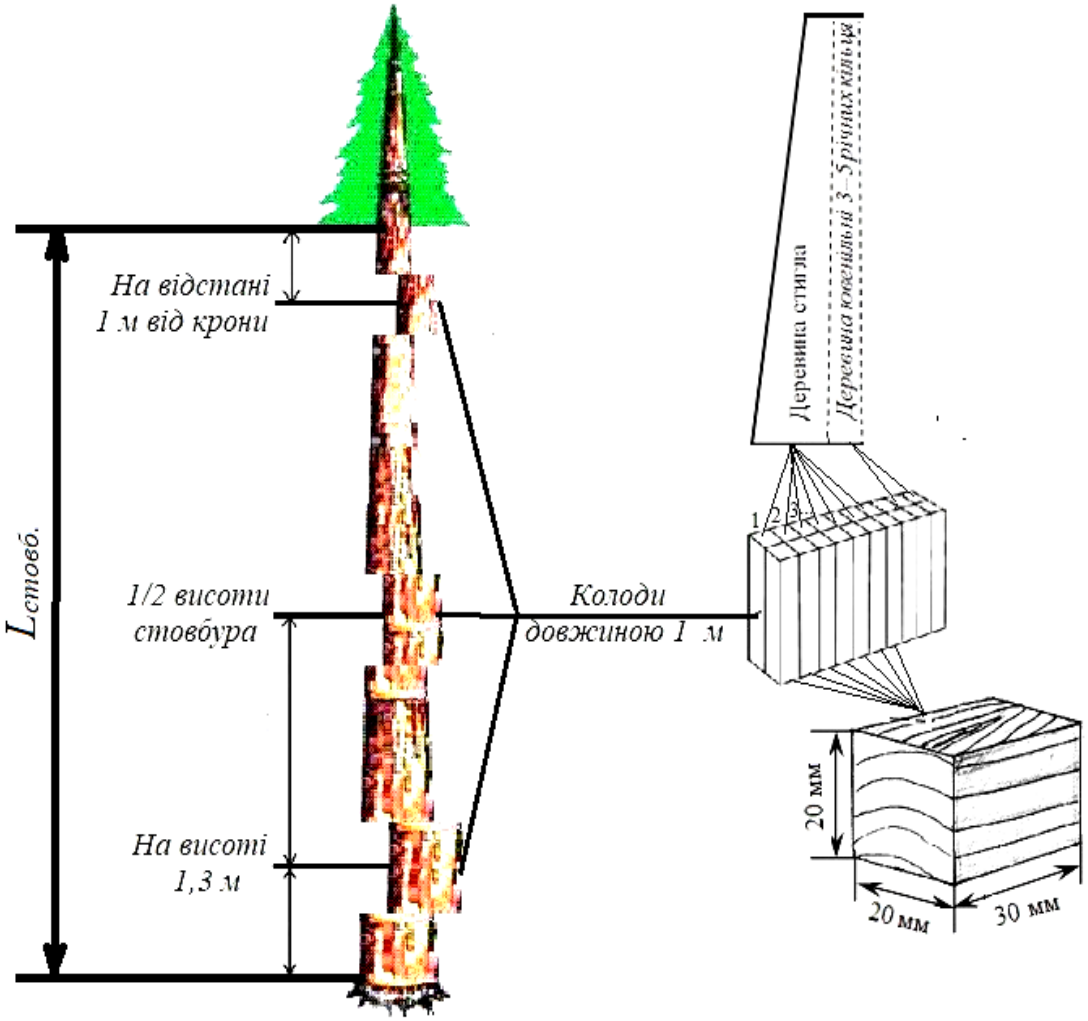


Рис. 2.5 – Схема випилювання взірців деревини з модельного дерева

З кожного модельного дерева ялиці білої відібрано три кряжі довжиною 1,0 *м*, з яких було виготовлено взірці стандартних розмірів 20×20×30 *мм*^{3} з точністю ±1 *мм*. (рис. 2.5). Відбір взірців деревини проведено за висотою та радіусом стовбура (ділового лісоматеріалу), що дало змогу вивчити особливості формування властивостей деревини для окремо взятого модельного дерева. Довжину ділового лісоматеріалу визначено як відстань між нижнім та верхнім торцем, закінченням верхнього торця вважали початок крони дерева. Ювенільну деревину визначено як серцевинну трубку діаметром 10 *см*.

Кількість досліджуваних взірців деревини для кряжа становила 20 *шт*., а для стовбура дерева – 60 *шт*. Загальна кількість взірців, взятих для досліджень природної стійкості деревини ялиці білої, сягнула 2160 *шт*. Для визначення анізотропії всихання деревини ялиці білої сформовано групи по 100 взірців деревини.

2.2.2. Кваліметричні особливості визначення вад деревини

Вивчення якісних характеристик деревини ялиці білої доцільно пов’язувати з наявністю вад деревини, які визначають клас якості круглого лісоматеріалу та цільове призначення сортименту. Основними сортовизначальними вадами деревини біологічного походження вважають пошкодження комахами *Monochamus urussovi, Trypodendron lineatum* та *Cerambycidae* і пошкодження деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами, які спричиняють зміну забарвлення, м’яку та тверду гнилизну.

Лігніноруйнівні (деревинозабарвлювальні) гриби на перших стадіях змінюють кольорові відтінки деревини, що надалі спричинює ураження целюлозоруйнівними грибами і деструкцію деревини. У деревинознавчому контексті деревина під дією грибів втрачає твердість і стає м'якою, а пошкодження грибами на поперечному зрізі круглих лісоматеріалах ялиці білої вимірюють за найменшим діаметром (*a* та *b*) кола, що охоплює несправжнє ядро (рис. 2.6).

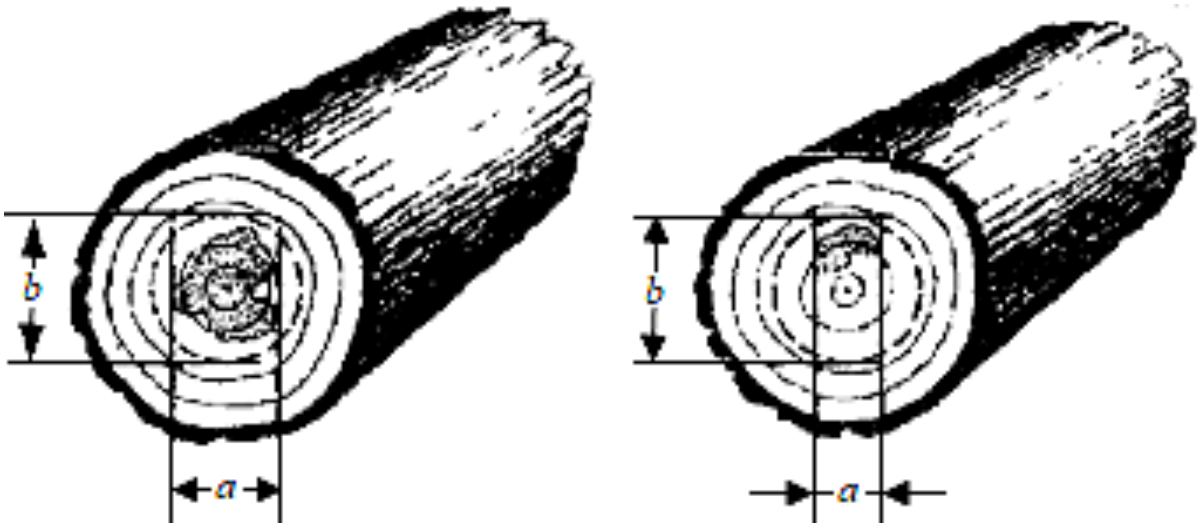


Рис. 2.6 – Вимірювання грибних уражень деревини [104, 109, 178]

Початком ураження стовбурної деревини ялиці білої нами визначено як зупинка камбіальної діяльності (фізіологічного обміну поживними речовинами між анатомічними елементами ксилеми) та усихання крони стовбура дерева. Відбір взірців деревини у біологічно пошкоджених дерев нами проведено на початку ураження та через 3, 6, 9, 12, 15, 18 та 24 місяців, що дозволило встановити вплив грибних уражень на фізичні властивості деревини яоиці білої. Початкове ураження деревини деревинозабарвлювальними грибами (*Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz, *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd.) до 6 місяців діагностовано через наявність борошнистого нарості на поверхні деревини, який мав здебільшого білий відтінок (рис. 2.7).

Рис. 2.7 – Ураження деревини пліснявою

Для діагностування уражень грибами родів *Ceratocystis* та *Ceratostomella* із середнім ступенем ураження від 0,5 до 2 років (рис. 2.8) та зі значним ураженням стовбурної деревини деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.) більше 2 років використано візуальні

кваліметричні ознаки біологічного ураження деревини грибами - зміну кольорових відтінків деревини (рис. 2.10).

А)

(Б)

Рис. 2.8 – Кольоровий відтінок заболонної деревини, ураженої деревинозафарбувальним грибом (А) та синявою (Б)

Гриби вищезгаданих родів живляться целюлозою і спочатку змінюють забарвлення деревини на червонуватий відтінок. Надалі деревиноруйнівні (целюлозоруйнівні) гриби спричиняють розкладання вуглеводних полімерів клітинної стінки. В результаті цього процесу утворюється бура тріщинувата гнилизна (рис. 2.10).

Рис. 2.9 – Бура тріщинувата гнилизна деревини

Теоретичні аспекти ураження ялиці білої на різних стадіях її розкладання розкрито в ряді наукових праць [116, 133, 137], але водночас не достатньо приділено увагу зміні фізичних властивостей деревини. Вивчення впливу грибних уражень на щільність деревини розкриває біологічні аспекти не тільки руйнування деревини в часі, але й значне зменшення її якості. В цьому контексті важливим є своєчасне діагностування уражених дерев ялиці білої лісівниками. Визначені часові рамки етапів біологічного руйнуванні ялицевої деревини є важливим критеріям у плануванні та проведенні лісогосподарських заходів з метою своєчасної заготівлі деревини цільового призначення.

Пошкодження деревини комахами та їх личинками має вигляд дірок (рис. 2.10). Їх класифікують на поверхневі до 3 *мм*, неглибокі до 15 *мм* і глибокі більше 15 *мм* в круглих лісоматеріалах. Ці ураження порушують структуру та щільність деревини і сприяють поширенню спор грибів.

Рис. 2.10 – Пошкодження деревини личинками чорного ялицевого вусача (*Monochamus urussovi*) та їх вимірювання

Діагностування різновидності грибів, пошкодження деревини личинками та їх поширення на різних стадіях ураження ялиці білої має прикладне лісогосподарське значення в контексті раціонального використання високоякісної стовбурної деревини. Водночас, візуальні якісні відмінності деревини у різних стадіях біологічного пошкодження стовбурної деревини ялиці білої є важливим деревинознавчим інструментарієм під час обстеження санітарного стану деревостанів.

Ваду деревини рогівку ($r_{рог.}$) визначають у відсотках як відношення ширини твердошаруватості ($\sum a = a_1 + a_2 + a_i$) (різкого збільшення пізньої деревини в річному кільці) у радіальному напрямку до ділянки вимірювання (*в*), яку визначають як ¾ радіуса круглого лісоматеріалу без кори (рис. 2.11) [104, 109, 178].

Рис. 2.11 – Спосіб вимірювання вади деревини рогівки [15, 47, 109]

Вада деревини – рогівка (реактивна деревина) для класу якості деревини “А” ялиці білої не дозволяється, а в класі якості деревини “В” не повинна перевищувати 10% та в “С” – 33%. Ряд авторів зазначає, що на утворення вади деревини “рогівка” мають суттєвий вплив висотно-екологічні чинники та генетичні особливості деревного виду [15, 75, 90, 113, 117, 211].

2.2.3. Статистичне опрацювання результатів дослідження

Результати дослідження макроструктури та фізичних властивостей деревини ялиці білої визначено на однорідному статистичному матеріалі. Триетапний відбір взірців деревини за радіусом, у межах стовбура та на пробній ділянці забезпечив потрібну статистично достовірну кількість вимірювань. Неоднорідність сукупності результатів дослідження зумовила формування окремих груп взірців деревини, різниця між середніми значеннями яких не перевищувала трикратної величини кореня квадратного суми квадратів з квадратичних відхилень середніх арифметичних значень. До описового статистичного аналізу отриманих результатів внесено кількість вимірювань, середнє арифметичне значення та його помилка, мінімальне та максимальне значення, коефіцієнт варіації та показник точності дослідження. Експеримент вважали проведеним правильно, якщо показник точності дослідження не перевищував 5% [15, 32, 36, 104].

Оброблення результатів дослідження виконано з використання програмного забезпечення SPSS 17.0, Excel та Statistica 10.0. Для порівняння середніх значень кількості річних кілець в 1 *см*, показників об'ємної маси та анізотропії всихання здорової та біологічно пошкодженої деревини застосовано однофакторний дисперсійний аналіз (One-way ANOVA). Незалежні змінні протестовано через критерій Шеффе (Scheffe). Різницю в середині групи за досліджуваними кваліметричними ознаками чи властивостями деревини вважали достовірною за умови $p < 0,05$, де p є величиною значущості [112, 155].

Для вивчення залежності між досліджуваними якісними характеристиками стовбурної деревини ялиці білої використано парний лінійний кореляційно-регресійний аналіз. Зв'язок між змінними в регресійному рівнянні залежності вважали достовірним за умови $R^2>0,5$. Тіснота зв'язку між показниками макроструктури та фізичних властивостей деревини дала змогу визначити кваліметричну ознаку, яка мала найбільший вплив на результативні показники. Останні визначено через кореляційний аналіз та розрахунок коефіцієнта кореляції, який характеризує напрям і

тісноту зв'язку між кваліметричними ознаками стовбурної деревини. Відповідно до абсолютного значення коефіцієнта кореляції нами використано шкалу тісноти зв’язку: слабкий зв’язок, якщо значення знаходилось у межах 0,11-0,30, помірний − 0,31-0,50, значний – 0,51-0,70, високий – 0,71-0,90 та дуже високий – 0,91-1,0. Взаємозв’язок між кваліметричними ознаками стовбурної деревини встановлено також через парну кореляційну матрицю [32, 114].

РОЗДІЛ 3
ДЕРЕВИНОЗНАВЧІ ОСОБЛИВОСТІ СТІЙКОСТІ СТОВБУРНОЇ ДЕРЕВИНИ

3.1. Вплив абсолютної висоти та типів лісу на макроструктурні особливості стійкості деревини ялиці білої

До візуальних характеристик лісоматеріалів належать макроструктурні ознаки стовбурної деревини, за допомогою яких визначають її клас якості та відповідно цільове призначення [109, 142, 178]. Сучасні деревинознавчі підходи до діагностування кваліметричних ознак круглих лісоматеріалів розкривають не тільки технічні вимоги до розмірно-якісних характеристик деревини, але й природу їх походження. Це дозволяє встановити природну стійкість деревини через визначення показників її фізичної якості та розробити рекомендації для раціонального використання деревини в умовах глобальної зміни клімату. До базових макроструктурних ознак під час цільового відбору високоякісної деревини хвойних порід належить кількість річних кілець в 1 *см* [15, 91, 92, 186, 188, 206]. У хвойних деревних видів спостерігаються закономірності формування річного приросту в межах діаметра та висоти стовбура, що уможливлює візуально визначити якісні відмінності деревини й прогнозувати її природну стійкість до біологічних пошкоджень [75, 113, 206]. Водночас варіацію ширини річного кільця в окремо взятому дереві доцільно пов’язувати перш за все з екологічними факторами, які впливають на фізіологічні процеси утворення ксилеми [103]. Таким чином, лісівничим викликом залишається надалі розроблення моделі діагностування високоякісної деревини за допомогою макроструктурних показників в умовах різкої зміни клімату.

Дослідження кількості річних кілець в 1 *см* у стовбурах ялиці білої розкриває вплив комплексу екологічних факторів упродовж тривалого часу, в різні періоди якого формуються кваліметричні ознаки стійкості деревини, які взаємопов’язані між собою та визначають клас якості деревини круглого лісоматеріалу. Щодо хвойної деревини важливим завданням залишається перш

за все визначення макроструктурних кваліметричних ознак деревини, які прогнозують фізичну стійкість деревини до біологічних пошкоджень. Результати дослідження мінливості кількості річних кілець в 1 *см* ялиці білої у різних типах лісу подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіація кількості річних кілець в 1 см, *шт.·см*$^{-1}$

ПП	Індекс типу лісу	Абсолютна висота, *м н.р.м.*	Кількість вимірювань, *шт.*	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
6	*D₃-г-бкЯц*	350	145	1,0	$2,8^{\pm 0,11}$	6,3	47,0	3,9
9	*C₃-г-бкЯц*	520	155	1,0	$3,5^{\pm 0,12}$	6,5	42,4	3,4
11	*D₃-см-бкЯц*	610	127	1,0	$3,7^{\pm 0,16}$	7,0	48,0	4,3
3	*C₃-бкЯц*	700	160	1,0	$4,6^{\pm 0,16}$	8,0	43,4	3,4
1	*D₃-бкЯц*	850	125	1,3	$5,1^{\pm 0,19}$	8,3	40,9	3,7
14	*C₃-см-бкЯц*	1000	180	1,5	$5,5^{\pm 0,16}$	9,5	38,9	2,9
Узагальнено для *ПП*			892	1,0	$4,2^{\pm 0,07}$	9,5	48,7	1,6

Найбільші значення кількості річних кілець в 1 *см* характерні для деревини ялиці білої у вологій смереково-буковій суяличині на абсолютній висоті 1000 *м н.р.м.* (*ПП-14*). Ця кваліметрична ознака свідчить про більшу стійкість деревини ялиці білої проти біологічних пошкоджень і її доцільно пов'язувати зі зміною екологічних умов у висотних лісових поясах. Кількість річних кілець змінюється від 1,5 до 9,5 *шт.·см*$^{-1}$ із середнім значенням 5,5 *шт.·см*$^{-1}$. Найменші значення кількості річних кілець характерні для вологої грабово-букової яличини на абсолютній висоті 350 *м н.р.м.* (*ПП-6*) і перебувають у діапазоні від 1,0 до 6,3 *шт.·см*$^{-1}$ із середнім значенням 2,8 *шт.·см*$^{-1}$, що свідчить про меншу стійкість деревини проти біологічних уражень. Результати дослідження кількості річних кілець в 1 *см* ялиці білої свідчать про вплив типів лісу та висотно-екологічних чинників на макроструктуру деревини, яка суттєво визначає природну стійкість деревини

проти біологічних пошкоджень. Водночас необхідно зазначити, що середня кількість річних кілець в 1 *см* ялиці білої для всіх досліджуваних деревостанів становить 4,2 *шт.·см*$^{-1}$, що відповідає річному приросту 2,4 *мм* і критерію класу якості деревини "А" для круглих лісоматеріалів. Графічний аналіз впливу типів лісу та абсолютної висоти на кількість річних кілець в 1 *см* свідчить про значну мінливість показника макроструктури на висоті 1000 *м н.р.м.* (рис. 3.1).

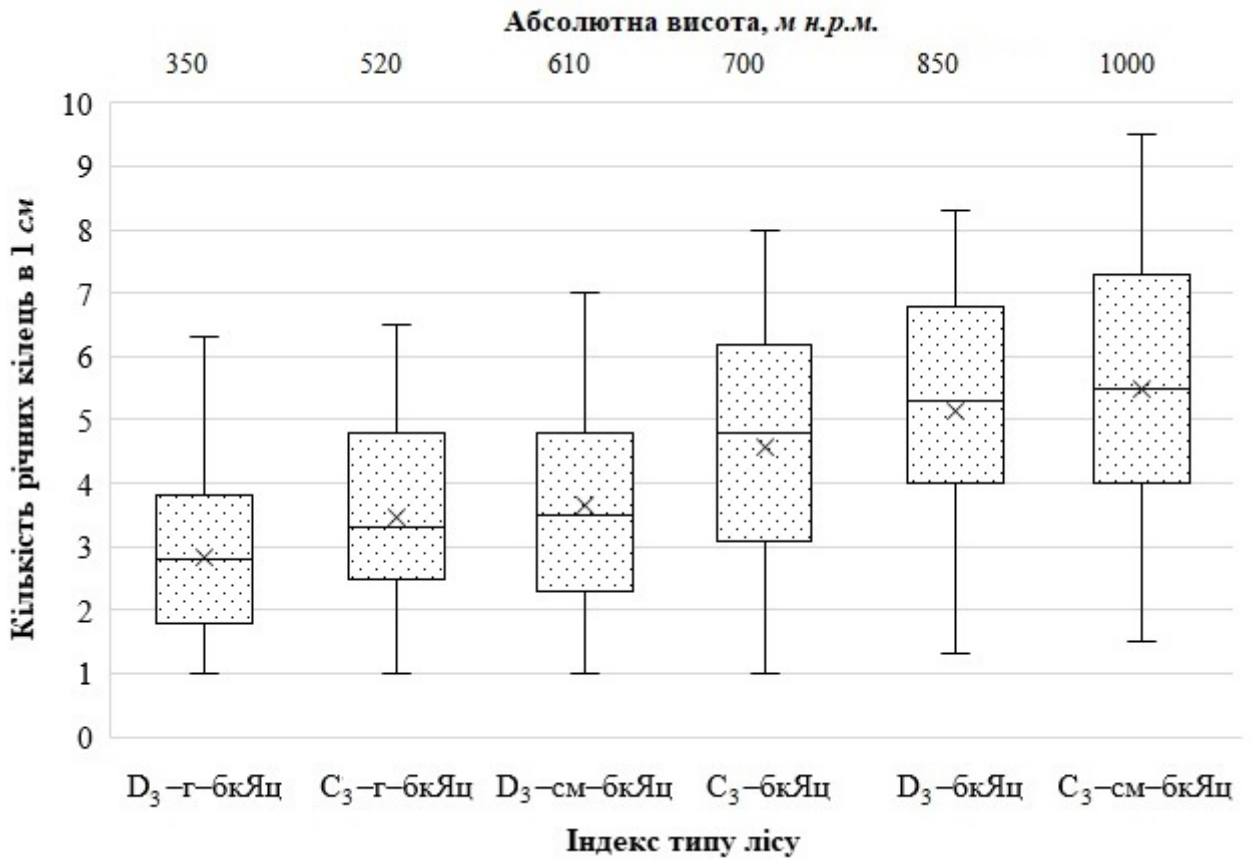


Рис. 3.1 - Кількість річних кілець в 1 *см* залежно від типу лісу та абсолютної висоти

Як видно з рис. 3.1, абсолютна висота має більший вплив на кількість річних кілець в 1 *см* ніж тип лісу. У вологій смереково-буковій суяличині на абсолютній висоті 1000 *м н.р.м.* середня кількість річних кілець в 1 *см* є на 37,2% більша ніж у вологій смереково-буковій яличині на 610 *м н.р.м.* Водночас у вологій буковій суяличині на абсолютній висоті 700 *м н.р.м.* середня кількість річних кілець в 1 *см* є на 9,8% меншим ніж у вологій буковій яличині на абсолютній висоті 850 *м н.р.м.* Найбільша варіація кількості річних

кілець в 1 *см* властива для абсолютних висот 700, 850 та 1000 *м н.р.м.*, що доцільно пов'язувати зі зміною висотно-екологічних умов. Отже, кількість річних кілець в 1 *см* істотно залежить від зміни комплексу висотно-екологічних умов і є кваліметричною ознакою діагностування природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої.

Результати однофакторного дисперсійного аналізу середніх значень кількості річних кілець в 1 *см* за 5 %-го рівня значимості дозволили виділити три класи стійкості стиглої деревини за показником макроструктури (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати однофакторного дисперсійного аналізу кількості річних кілець в 1 *см* ялиці білої з виділенням класів стійкості деревини

Класи стікості деревини за макроструктурою		Різниця середніх	Стандартна помилка	Значущість, p	95% довірчий інтервал	
					нижня межа	верхня межа
1	2	-0,9966*	0,1533	0,000	-1,372	-0,621
	3	-2,1829*	0,1509	0,000	-2,553	-1,813
2	1	0,9966*	0,1533	0,000	0,621	1,372
	3	-1,1863*	0,1527	0,000	-1,561	-0,812
3	1	2,1829*	0,1509	0,000	1,813	2,553
	2	1,1863*	0,1527	0,000	0,812	1,561

Примітка. Клас стійкості деревини за макроструктурою: 1-й – менше трьох річних кілець в 1 *см* ($N_{р.к.} < 3$); 2-й – більше-рівне трьох та менше-рівне п'яти річних кілець в 1 *см* ($3 \leq N_{р.к.} \leq 5$); 3-й – більше п'яти річних кілець в 1 *см* ($N_{р.к.} > 5$). При різниці середніх значень $p < 0,05$ – групи значень можна вважати самостійними.

Статистичний аналіз кількості річних кілець в 1 *см* ялиці білої свідчить, що за макроструктурною ознакою стовбурної деревини доцільно виділити три класи стійкості. Перший клас стійкості деревини має менше трьох річних кілець в 1 *см* та властивий для ялиці білої, яка росте на абсолютній висоті нижче 600 *м н.р.м.* у вологій грабово-буковій суяличині та яличині. Кількість річних кілець в 1 *см* у другому класі стійкості деревини змінюється від 3 до 5 *шт.·см*$^{-1}$ і властивий

ялиці білій на абсолютній висоті від 601 до 800 *м н.р.м.* у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині. Третій клас стійкості деревини має більше 5 *шт.·см*$^{-1}$ і характерний для ялиці білої на абсолютній висоті більше 800 *м н.р.м.* у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині.

3.2. Умовна стійкість деревини за її об'ємною масою

Вплив глобальних змін клімату на інтенсифікацію патологічних захворювань ялиці білої в Українських Карпатах зумовлює її відмирання і як наслідок зменшення якісних характеристик та стійкості деревини. Тому прикладного значення набуває вивчення залежності між стійкістю деревини та її об'ємною масою як інтегрального показника фізичної та механічної якості деревини [100]. Водночас кліматичні зміни зумовлюють зменшення здатності хвойних лісів поглинати вуглекислий газ та відповідно зберігати депонований вуглець і як наслідок обумовлюють зменшення щільності деревини [131, 182]. Таким чином, довгострокова зміна клімату в різних висотно-екологічних поясах в Українських Карпатах матиме віддзеркалення у величині річного приросту й об'ємної маси деревини і відповідно стійкості деревини до біологічних шкідників.

Лісівничі особливості оцінювання якості деревини охоплюють різні підходи щодо вивчення впливу лісорослинних умов на фізико-механічні властивості стовбурної деревини та розкривають природні аспекти формування її кваліметричних ознак, що визначають стійкість та продуктивність деревостанів. Об'ємна маса деревини у межах деревного виду змінюється за висотою та радіусом стовбура, що доцільно пов'язувати з візуальними відмінностями показників макроструктури деревини. У зв'язку з цим розмірно-якісні характеристики стовбурної деревини ялиці білої важливо вивчати в розрізі визначення залежності між інтегральним показник якості деревини, тобто її щільністю, та величиною річного приросту. Відомо [16, 37, 48, 75, 103, 113], що деревина як природний матеріал характеризується високою мінливістю анатомічних та фізико-механічних властивостей. Водночас, для

лісогосподарського виробництва важливим залишається визначення кваліметричних ознак стійкості деревини через показники макроструктури, як приклад, кількість річних кілець в 1 *см* як діагностичної характеристики класу якості деревини круглих лісоматеріалів [47, 109, 178]. Результати однофакторного дисперсійного аналізу середніх значень стандартної щільності деревини ялиці білої з поділом на класи стійкості деревини за 5 %-го рівня значимості наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати однофакторного дисперсійного аналізу стандартної щільності деревини ялиці білої з виділенням класів стійкості деревини

Класи стікості деревини за її стандартною щільністю		Різниця середніх	Стандартна помилка	Значущість, p	95% довірчий інтервал	
					нижня межа	верхня межа
1	2	-79,550*	2,979	0,000	-87,91	-71,19
	3	-145,150*	2,979	0,000	-153,51	-136,79
2	1	79,550*	2,979	0,000	71,19	87,91
	3	-65,600*	2,979	0,000	-73,96	-57,24
3	1	145,150*	2,979	0,000	136,79	153,51
	2	65,600*	2,979	0,000	57,24	73,96

Примітка. Класи стійкості деревини при нормалізованій вологості ($W_{абс.} = 12\%$): 1-й – об'ємна маса менше 440 $кг \cdot м^{-3}$ та $N_{р.к.} < 3$ $шт. \cdot см^{-1}$; 2-й – об'ємна маса змінюється від 441 до 499 $кг \cdot м^{-3}$ та $3 \leq N_{р.к.} \leq 5$ $шт. \cdot см^{-1}$; 3-й – об'ємна маса більше 500 $кг \cdot м^{-3}$ та $N_{р.к.} > 5$ $шт. \cdot см^{-1}$.

Результати однофакторного дисперсійного аналізу, наведені в табл. 3.3, свідчать, що за щільністю деревини ялиці білої при нормалізованій вологості ($W_{абс.} = 12\%$) рівень значимості є істотним ($p < 0,05$) для трьох груп взірців деревини. За стандартною щільністю виділено три класи стійкості деревини: перший (1-й) – об'ємна маса менше 440 $кг \cdot м^{-3}$ із кількістю річних кілець в 1 *см* менше 3 $шт. \cdot см^{-1}$; другий (2-й) – об'ємна маса змінюється від 441 до 499 $кг \cdot м^{-3}$ із кількістю річних кілець в 1 *см* від більше-рівне 3 $шт. \cdot см^{-1}$ та менше-рівне

5 *шт.·см*$^{-1}$ і третій (3-й) – об'ємна маса більше 500 *кг·м*$^{-3}$ із кількістю річних кілець в 1 *см* більше 5 *шт.·см*$^{-1}$. Аналогічну відмінність за об'ємною масою стовбурної деревини ялиці білої встановлено за результатами аналізу середніх значень щільності деревини в абсолютно сухому стані. Статистична характеристика об'ємної маси деревини відповідно до класів стійкості та із врахуванням кількості річних кілець в 1 *см* наведено в табл. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Таблиця 3.4 – Класи стійкості деревини за її об'ємною масою із врахуванням кількості річних кілець в 1 *см*

Кількість річних кілець в 1 *см*, *шт.·см*$^{-1}$	Вид щільності	Мінімальне значення, *кг·м*$^{-3}$	Середнє арифметичне значення та його помилка, *кг·м*$^{-3}$	Максимальне значення, *кг·м*$^{-3}$	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
1-й клас стійкості						
$N_{р.к.} < 3$	ρ_{12}	349	$388^{\pm 2,57}$	436	6,6	0,7
	ρ_0	333	$372^{\pm 2,74}$	423	7,4	0,7
	$\rho_{с.з.с.}$	664	$824^{\pm 8,55}$	969	10,4	1,0
2-й клас стійкості						
$3 \leq N_{р.к.} \leq 5$	ρ_{12}	441	$467^{\pm 1,80}$	499	3,9	0,4
	ρ_0	417	$448^{\pm 1,57}$	474	3,5	0,4
	$\rho_{с.з.с.}$	778	$852^{\pm 5,05}$	994	5,9	0,6
3-й клас стійкості						
$N_{р.к.} > 5$	ρ_{12}	500	$533^{\pm 2,21}$	582	4,1	0,4
	ρ_0	468	$507^{\pm 2,20}$	554	4,4	0,4
	$\rho_{с.з.с.}$	807	$894^{\pm 6,08}$	995	6,8	0,7

Стандартна щільність деревини в 1-му класі стійкості $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$ перебуває у межах від 349 *кг·м*$^{-3}$ до 436 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 388 *кг·м*$^{-3}$ і властива ялиці білій, яка росте на абсолютній висоті нижче 600 *м н.р.м.* у вологій грабово-буковій суяличині та яличині. Найбільші значення стандартної щільності деревини характерні для 3-го класу стійкості деревини із кількістю

річних кілець більше 5 *шт.·см*$^{-1}$, середнє значення якої є на 27,2% більшим від 1-го класу стійкості деревини із кількістю річних кілець менше 3 *шт.·см*$^{-1}$, і на 12,4% більшим від 2-го класу стійкості деревини із кількістю річних кілець менше 3 *шт.·см*$^{-1}$ ≤ $N_{р.к.}$ ≤ 5 *шт.·см*$^{-1}$.

Щільність деревини в абсолютно сухому стані для трьох класів стійкості змінюється в межах від 333 *кг·м*$^{-3}$ до 554 *кг·м*$^{-3}$ і властива для круглих лісоматеріалів класів якості деревини "А" та "В". Утім доцільно зазначити, що кількість річних кілець в 1 *см* для класу якості деревини "А" повинна перевищувати 2,5 *шт.·см*$^{-1}$. Отже, середні значення щільності стиглої деревини в абсолютно сухому стані ялиці білої класу якості "А" змінюються від 448 *кг·м*$^{-3}$ до 507 *кг·м*$^{-3}$. Відомо [75, 93, 107, 113, 188], що у хвойних деревних порід із збільшенням щільності деревини зростають показники механічної якості деревини.

Водночас збільшення щільності деревини ялиці білої в абсолютно сухому стані зумовлює збільшення об'ємної маси в свіжозрубаному стані, що важливо враховувати під час лісозаготівельних робіт, а особливо під час трелювання та вивезення круглих лісоматеріалів. Щільність стиглої деревини у свіжозрубаному стані 1-го класу стійкості ($N_{р.к.}$ < 3 *шт.·см*$^{-1}$) змінюється від 664 *кг·м*$^{-3}$ до 969 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 824 *кг·м*$^{-3}$, яке є меншим на 7,8% або на 70 *кг·м*$^{-3}$ порівняно із 3-ім класом стійкості ($N_{р.к.}$ > 5 *шт.·см*$^{-1}$). У круглих лісоматеріалів ялиці білої класу якості "А" середні значення щільності свіжозрубаної деревини перебувають у межах від 852 *кг·м*$^{-3}$ до 894 *кг·м*$^{-3}$. За результатами дослідження Харитона І.І. [113], абсолютна висота має істотний вплив не тільки на макроструктурні ознаки, але й на об'ємну масу деревини ялини європейської, що треба пов'язувати з особливостями формування вертикальної поясності, яка об'єднує кліматичні та ґрунтові умови. Автором встановлено збільшення кількості річних кілець в 1 *см* в ялини європейської зі збільшенням висоти над рівнем моря, що доцільно враховувати при встановленні класів стійкості хвойної деревини.

Найменша стійкість стовбурної деревини ялиці білої властива для

висотно-екологічного поясу нижче 600 *м н.р.м.* у вологій грабово-буковій суяличині та яличини і характеризується кількістю річних кілець менше 3 *шт.·см*$^{-1}$ і середнім значенням щільності в абсолютно сухому стані 372 *кг·м*$^{-3}$, яке є на 26,6% менше від аналогічного показника з найбільшою стійкістю деревини. Остання характерна для ялиці білої, яка росте у висотно-екологічному поясі понад 800 *м н.р.м.* у вологій буковій яличині та смереково-буковій суяличині. Висотно-екологічні особливості стійкості деревини ялиці білої у лісорослинних умовах Українських Карпат наведено на рис. 3.2.

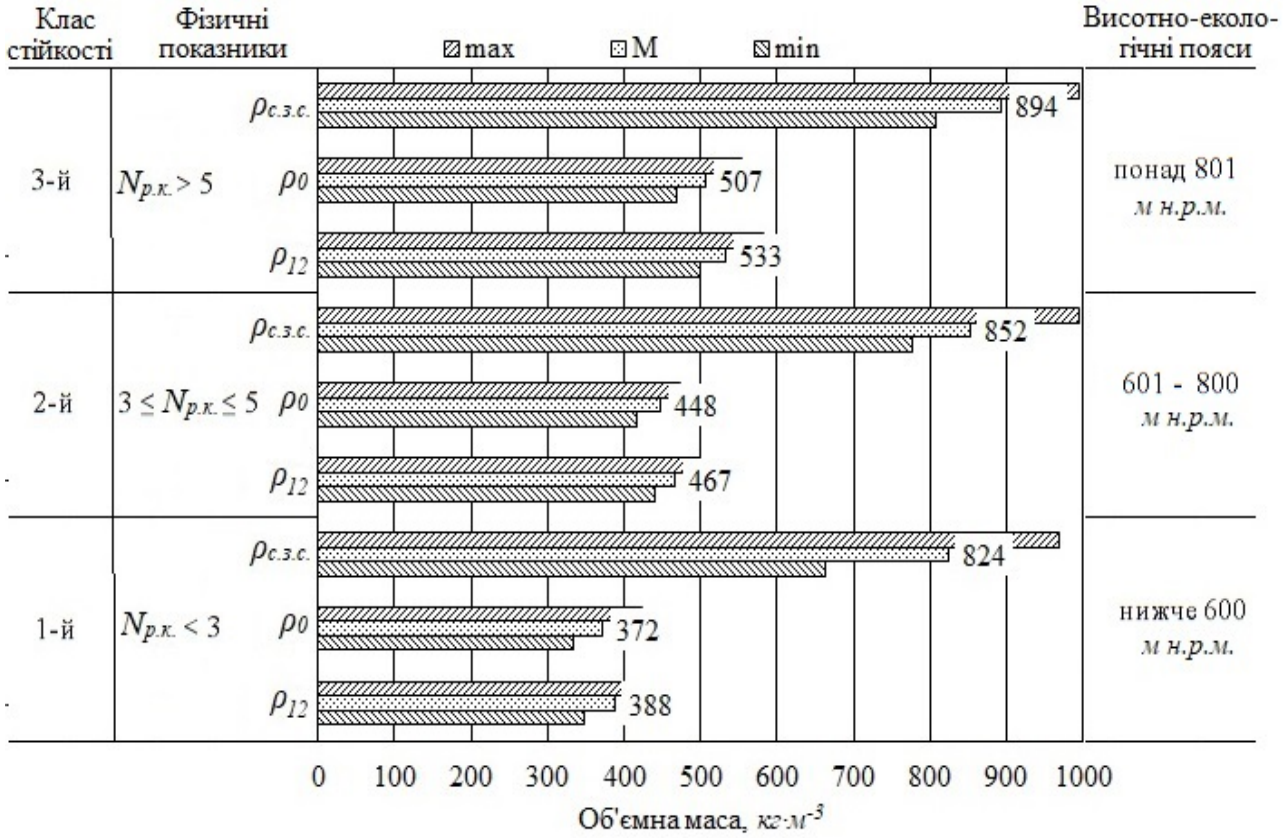


Рис. 3.2 – Висотно-екологічні особливості формування класа стійкості за об’ємною масою деревини ялиці білої

Як видно з рис. 3.2 висотно-екологічні чинники, кількість річних кілець в 1 *см* та об’ємна маса деревини суттєво визначають клас стійкості стовбурної деревини ялиці білої. Істотні відмінності за об’ємною масою характерні для стовбурної деревини 1-го класу стійкості у висотно-екологічному поясі нижче 600 *м н.р.м.* Різниця між середніми значеннями стандартної щільності деревини у висотно-екологічних поясах нижче 600 *м н.р.м.* та 601-800 *м н.р.м.* становить

16,9% і у висотно-екологічних поясах нижче 600 *м н.р.м.* та понад 800 *м н.р.м.* – 27,2%. За результатами дослідження Максимчука Р. Т. [75], зменшення річного приросту ялиці білої із прямоволокнистою деревиною зумовлює прямопропорційне збільшення об'ємної маси деревини, але для дерев із хвилясто-завилькуватою деревиною така ознака є нетиповою.

Підсумовуючи доцільно вказати, що кількість річних кілець в 1 *см* суттєво визначає щільність стовбурної деревини ялиці білої як інтегрального показника її фізико-механічної якості. На фізичну стійкість стовбурної деревини ялиці білої, кваліметричними ознаками якої є річний приріст та об'ємна маса деревини суттєво впливають висотно-екологічні умови Українських Карпат, що зумовлють формування якісних характеристик класів якості круглих лісоматеріалів. Виділено три класи стійкості стовбурної деревини ялиці білої, які доцільно пов'язувати з висотно-екологічними поясами нижче 600 *м н.р.м.*, 601-800 *м н.р.м.* та понад 801 *м н.р.м.* і відповідно із кількістю річних кілець в 1 *см* – $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$, 3 *шт.·см*$^{-1}$ $\leq N_{р.к.} \leq 5$ *шт.·см*$^{-1}$ та $N_{р.к.} > 5$ *шт.·см*$^{-1}$.

3.3. Взаємозв'язок анізотропії всихання деревини та її стійкості

Вивчення анізотропії всихання деревини розкриває її структурні особливості та є визначальним критерієм оцінювання стійкості деревини у технологічних процесах оброблення деревини. При цьому важливим залишається питання вивчення залежності між макроструктурними ознаками деревини, її анізотропними властивостями та стійкістю, які віддзеркалюють природу змін кваліметричних ознак деревини, що є невід'ємною складовою не тільки діагностування високоякісної стовбурної деревини, але й вирощування дерев із заданими властивостями деревини [75, 103, 113, 124, 125].

Дослідження всихання деревини ялиці білої зі зміною її макроструктурних показників та об'ємної маси дає змогу оцінити кваліметричні ознаки стійкості деревини та з'ясувати причини внутрішніх напружень, виникнення останніх зумовлює утворення вад деревини тріщини і відповідно зменшення класу якості круглих лісоматеріалів. Водночас вивчення анізотропії деревини як оптимізації опорної конструкції деревного стовбура, на який діють різні динамічні та

статичні навантаження упродовж тривалого часу розкриває природу стійкості деревини проти біотичних та абіотичних чинників [3, 215]. Результати однофакторного дисперсійного аналізу середніх значень тангентального всихання деревини ялиці білої за її стійкістю та з врахуванням показників анізотропії із 5 %-м рівнем значимості подано в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати однофакторного дисперсійного аналізу тангентального всихання деревини ялиці білої за її стійкістю

Класи стікості деревини за тангентальним всиханням		Різниця середніх	Стандартна помилка	Значущість, p	95% довірчий інтервал	
					нижня межа	верхня межа
1	2	-0,3300*	0,0496	0,000	-0,469	-0,191
	3	-0,8700*	0,0496	0,000	-1,009	-0,731
2	1	0,3300*	0,0496	0,000	0,191	0,469
	3	-0,5400*	0,0496	0,000	-0,679	-0,401
3	1	0,8700*	0,0496	0,000	0,731	1,009
	2	0,5400*	0,0496	0,000	0,401	0,679

Примітка. Класи стійкості деревини визначені за тангентальним всиханням деревини із середнім значенням для 1-го класу 7,3%, 2-го класу 7,6% та 3-го класу 8,1% за різниці середніх значень $p < 0,05$ – групи значень можна вважати самостійними.

Дані табл. 3.5 свідчать, що за тангентальним усиханням деревини виділено три класи деревини за її стійкістю із середніми значеннями для 1-го класу 7,3%, 2-го класу 7,6% та 3-го класу 8,1%, які відповідають класам стійкості деревини за кількістю річних кілець в 1 *см*: $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$ – менше трьох річних кілець в 1 *см*; $3 \leq N_{р.к.} \leq 5$ – більше-рівне трьох та менше-рівне п’яти річних кілець в 1 *см*; та $N_{р.к.} > 5$ – більше п’яти річних кілець в 1 *см*. За результатами однофакторного дисперсійного аналізу показників анізотропії висихання деревини ялиці білої встановлено подібну відмінність в радіальному напрямку та за об’ємом і виділено відповідно три класи стійкості деревини. Статистична характеристика показників анізотропії всихання деревини ялиці

білої відповідно до виділених класів стійкості стовбурної деревини ялиці білої із врахуванням кількості річних кілець в 1 *см* та об'ємної маси деревини подано в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Показники анізотропії всихання деревини відповідно до класів стійкості деревини ялиці білої

Всихання деревини	Мінімальне значення, %	Середнє арифметичне значення та його помилка, %	Максимальне значення, %	Коефіцієнт варіації, %	Об'ємна маса, $кг \cdot м^{-3}$	Кількість річних кілець в 1 *см*, $шт. \cdot см^{-1}$
1-й клас стійкості						
β_t	6,8	$7,3^{\pm 0,02}$	7,6	3,3	$\rho_{12} < 440$	$N_{р.к.} < 3$
β_r	3,0	$3,4^{\pm 0,02}$	3,8	4,8		
β_l	0,1	$0,2^{\pm 0,01}$	0,3	42,9		
β_V	10,1	$11,2^{\pm 0,04}$	11,5	3,2		
2-й клас стійкості						
β_t	6,9	$7,6^{\pm 0,04}$	8,2	5,3	$441 \le \rho_{12} \le 499$	$3 \le N_{р.к.} \le 5$
β_r	3,1	$3,7^{\pm 0,03}$	4,3	7,7		
β_l	0,1	$0,2^{\pm 0,01}$	0,3	46,3		
β_V	10,6	$11,8^{\pm 0,06}$	12,3	4,7		
3-й клас стійкості						
β_t	7,6	$8,1^{\pm 0,03}$	8,7	3,5	$\rho_{12} > 500$	$N_{р.к.} > 5$
β_r	3,5	$4,0^{\pm 0,03}$	4,6	7,6		
β_l	0,1	$0,2^{\pm 0,01}$	0,4	46,5		
β_V	11,4	$12,7^{\pm 0,05}$	13,5	3,6		

Найбільші значення анізотропії всихання деревини ялиці білої характерні для 3-го класу стійкості із кількістю річних кілець більше 5 $шт. \cdot см^{-1}$ та стандартною щільністю більше 500 $кг \cdot м^{-3}$. Показник усихання деревини за об'ємом змінюється від 11,4% до 13,5% із середнім значенням 12,7%, яке є на

11,5% більшим від аналогічного показника для 1-го класу стійкості із стандартною щільністю менше 440 *кг·м*$^{-3}$ та кількістю річних кілець менше 3 *шт.·см*$^{-1}$. Максимальні значення тангентального та радіального всихання перебувають у межах від 7,6% до 8,7% із середнім значенням 8,1% та від 3,5% до 4,6% із середнім значенням 4,0% відповідно. Відмінності показників анізотропії всихання деревини відповідно до класів її стійкості ялиці білої зображено на рис. 3.3.

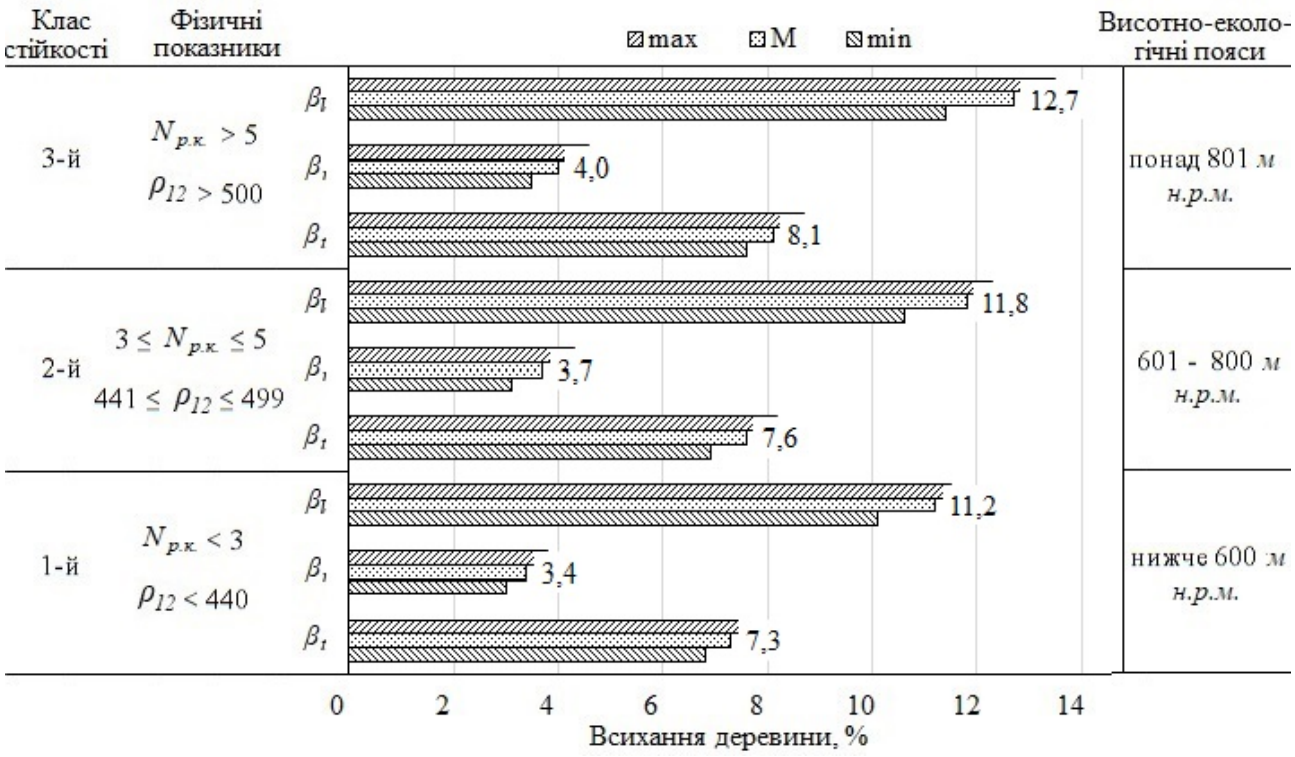


Рис. 3.3 – Анізотропічні особливості стійкості деревини ялиці білої

Як видно з рис. 3.3, найменша різниця середніх значень анізотропії всихання деревини характерна для 1-го класу стійкості деревини ялиці білої $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$ і сягає 7,6% для тангентального та 3,8% для радіального напрямків і 11,5% за об'ємом. Показник лінійного всихання деревини за довжиною є незначним та змінювався від 0,1% до 0,4% для всіх класів стійкості деревии із середнім значенням 0,2%. Відмінність показників анізотропії всихання деревини ялиці білої доцільно пов'язувати з візуальною характеристикою макроструктури деревини ялиці білої, що свідчить про значну відмінність лінійних показників всихання в тангентальному та радіальному

напрямках. За даними Максимчука Р. Т. [75], показники анізотропії деревини істотно залежать від структурного упорядкування деревного волокна вздовж осі стовбура, і тому важливо вивчати їх співвідношення у тангентальному та радіальному напрямках. Для технологічних процесів оброблення деревини практичного значення набуває визначення коефіцієнта анізотропії усихання, який відображає причини виникнення внутрішніх напружень в деревині через відношення показників тангентального до радіального висихання (рис. 3.4).

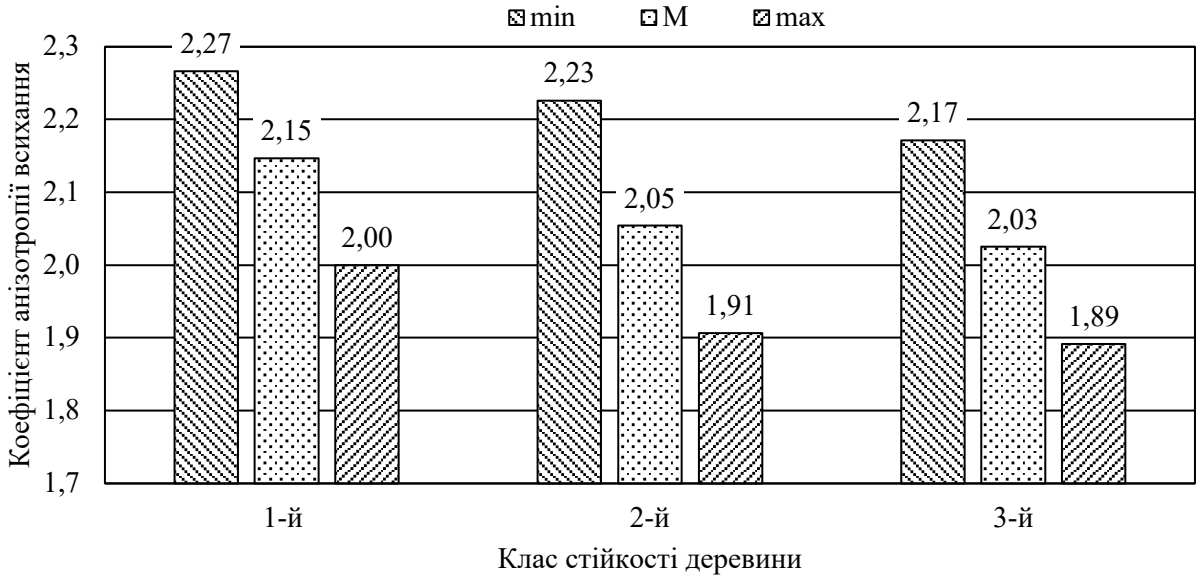


Рис. 3.4 – Відмінність коефіцієнтів анізотропії всихання деревини залежно від її стійкості

Як видно з рис. 3.4, найбільші значення коефіцієнтів анізотропії всихання деревини характерні для 1-го класу стійкості деревини і є на 5,7% більшими від аналогічного показника для стиглої деревини 3-го класу стійкості. Коефіцієнт анізотропії стиглої деревини 1-го класу стійкості ялиці білої змінюється від 2,27 до 2,00 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,15, а для 3-го класу стійкості ялиці білої змінюється від 2,17 до 1,89 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,03. Водночас доцільно зазначити про складність визначення окрайкового річного кільця між ювенільною та стиглою деревиною ялиці білої, що зумовлено відмінністю не тільки лісорослинних умов, але й висотно-екологічними чинниками. За результатами дослідження Харитона І. І. [113], ювенільну деревину ялини

європейської визначено через кількість річних кілець в 1 *см*, яка перебуває у межах від 1 до 2 *шт.·см*$^{-1}$ і сягає радіуса до 5 *см.* Вважаємо, що такий деревинознавчий підхід до визначення ювенільної деревини має вагомі переваги для відбору високоякісної деревини чи сортиментів цільового призначення.

Класифікація деревини ялиці білої за її стійкістю відповідно до фізичних показників є не тільки визначальною характеристикою для діагностування та прогнозування фізико-механічних показників деревини круглих лісоматеріалів, але й перспективною для проведення селекції в межах деревного виду, що віддзеркалює вплив лісівничо-екологічних факторів на формування стовбурної деревини. Аналіз макроструктурних ознак деревини у взаємозв'язку з фізичною якістю деревини в межах деревного виду дає змогу на практиці діагностувати круглі лісоматеріали із заданими властивостями деревини.

Висновки до розділу

1. Кількість річних кілець в 1 *см* є візуальною кваліметричною ознакою деревини ялиці білої та залежить від абсолютної висоти. Найбільша варіація кількості річних кілець в 1 *см* характерна на висоті 700, 850 та 1000 *м н.р.м.*, середні значення якої змінюється від 4,6 *шт.·см*$^{-1}$ до 5,5 *шт.·см*$^{-1}$.

2. Варіація кількості річних кілець в 1 *см* ялиці білої для досліджуваних ялицевих деревостанів перебуває у межах від 1,0 до 9,5 *шт.·см*$^{-1}$ із середнім значенням 4,2 *шт.·см*$^{-1}$, яке рівне річному приросту 2,4 *мм*, що відповідає класу якості деревини "А" для круглих лісоматеріалів.

3. Виділені три класи стійкості деревини за кількістю річних кілець в 1 *см*: 1-й клас характерний у вологій грабово-буковій суяличині та яличині на абсолютній висоті нижче 600 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$; 2-й клас - у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині на абсолютній висоті від 601 до 800 *м н.р.м.* із 3 *шт.·см*$^{-1}$ $\leq N_{р.к.} \leq 5$ *шт.·см*$^{-1}$ та 3-й клас - у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині на абсолютній висоті понад 800 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} > 5$ *шт.·см*$^{-1}$.

4. За об’ємною масою деревини виділено три класи стійкості: 1-й клас має стандартну щільність деревини менше 440 *кг·м*$^{-3}$, 2-й клас – від 441 до 499 *кг·м*$^{-3}$ та 3-й клас – більше 500 *кг·м*$^{-3}$. Середнє значення об’ємної маси деревини 3-го класу є на 27,2% більшим від аналогічного показника 1-го класу стійкості деревини і на 12,4% – від 2-го класу.

5. Найбільші значення анізотропії всихання деревини ялиці білої характерні для 3-го класу стійкості із кількістю річних кілець більше 5 *шт.·см*$^{-1}$ та стандартною щільністю більше 500 *кг·м*$^{-3}$. Показник усихання деревини за об’ємом змінюється від 11,4 до 13,5% із середнім значенням 12,7%, яке є на 11,5% більшим від аналогічного показника для 1-го класу стійкості.

6. Коефіцієнт анізотропії стиглої деревини 1-го класу стійкості ялиці білої змінюється від 2,27 до 2,00 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,15, 2-го класу – від 1,91 до 2,23 із середнім значенням 2,05 та 3-го класу від 2,17 до 1,89 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,03.

РОЗДІЛ 4
ВПЛИВ ВАД БІОЛОГІЧНОГО ПОШКОДЖЕННЯ НА ПРИРОДНУ СТІЙКІСТЬ ДЕРЕВИНИ ЯЛИЦІ БІЛОЇ

4.1. Вплив біологічних пошкоджень на стійкість стовбурної деревини

Глобальні зміни клімату надто впливають на біологічну стійкість лісових екосистем, віддзеркаленням якої є стан видового розмаїття. Опрацювання майбутніх сценаріїв збереження біорозмаїття в лісових екосистемах зумовлює розроблення алгоритму прийняття невідкладних рішень з врахуванням лісівничих та економічних чинників, пов'язаних із масовим ураженням та висиханням хвойних лісових насаджень [136, 159, 145]. В умовах Українських Карпат лісівничо-таксаційні характеристики деревостанів є одними з вагомих маркерів їх росту та розвитку. Водночас морфологічні ознаки елементів деревостану відображають здебільшого їх лісівничо-таксаційні показники, такі як середню висоту та діаметр дерева, бонітет та абсолютну повноту деревостану тощо. Економічне занепокоєння викликає те, що лісогосподарську діяльність зазвичай пов'язують зі зміною екологічних індикаторів, а саме відсотком природних лісів [192].

Незначна увага приділяється кваліметричним ознакам елементів деревостану, а саме якості стовбурної деревини, що охоплює наявність вад деревини та їх вплив на класи якості круглих лісоматеріалів. Мова йде про розмірно-якісні характеристики дерева (або круглого лісоматеріалу, тобто зрубаного дерева). Зрозуміло, що для локалізації еколого-лісівничих викликів у лісових екосистемах необхідна достовірна інформація не тільки про кількісні показники деревостану, але й про розмірно-якісні показники його основних елементів, тобто кваліметричні ознаки дерев і їх відмінності як результат лісогосподарського виробництва в умовах глобальної зміни клімату. Таксаційні показники 180 звалених дерев ялиці білої на відведених для рубки ділянках в лісових гасадженнях Порошківського (*ПП*-5 та *ПП*-6) Тур'я-Реметівського (*ПП*-7) лісництв ДП «Перечинське лісове господарство» подано

в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Таксаційні показники досліджуваних дерев ялиці білої

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
Вік дерева, років	59	84	99	15,8	2,4
Висота дерева, *м*	27,7	33,3	38,5	7,3	1,1
Довжина ділової частини стовбура (круглого лісоматеріалу), *м*	11,5	20,0	26,4	19,0	2,8
Окружність лісоматеріалів в корі, *см*					
- у нижньому торці	88	159	251	27,6	4,1
- посередині лісоматеріалу	63	116	195	28,9	4,3
- у верхньому торці	44	85	141	29,6	4,4

Дані табл. 4.1 свідчать, що віковий діапазон досліджуваних дерев перебуває у межах від 59 до 99 років із середнім віком 84 роки. Довжина зрубаних дерев змінюється від 27,7 до 38,5 *м*, у яких довжина ділової частини стовбура (круглого лісоматеріалу) варіює від 31,4*%* до 58,5*%*. Абсолютні значення окружності круглих лісоматеріалів у корі нижнього торця змінювались від 88 до 251 *см* із середнім значенням 159 *см*. Значення коефіцієнта варіації та показників точності дослідження свідчать, що кількість дерев, узятих для товарознавчого дослідження круглих лісоматеріалів ялиці білої, є статистично достовірною тобто $P<5\ \%$ [15, 32, 36].

Для вивчення впливу морфологічних ознак дерева, вад деревини стовбура та вікового фактору нами виділено дві групи круглих лісоматеріалів (зрубаних дерев) віком менше 75 років досліджених на *ПП*-7 і понад 75 років на *ПП*-5 та *ПП*-6. Для вивчення впливу основних морфологічних ознак стовбура ялиці білої на кваліметричні ознаки круглих лісоматеріалів, що визначають класи якості деревини A, B, C та D, а також довжину ділової деревини визначено розмірно-якісні показники досліджуваних зрубаних дерев (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Розмірно-якісні ознаки зрубаних дерев ялиці білої

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
Дерева віком до 75 років					
Довжина ділової деревини, *м*	13,7	19,8	23,0	11,6	3,1
Довжина окоренкуватості, *м*	0,4	0,5	0,9	22,5	6,0
Діаметр лісоматеріалів без кори, *см*					
- *у нижньому торці*	26	33	42	13,7	3,6
- *посередині лісоматеріалу*	19	25	33	18,6	5,0
- *у верхньому торці*	13	18	26	23,8	6,3
Відстань до, *м*					
- *першого відмерлого сучка*	4,5	8,0	11,0	18,7	5,0
- *першої живої гілки*	6,0	8,9	12,0	16,3	4,4
Дерева віком більше 75 років					
Довжина ділової деревини, *м*	11,5	20,1	26,4	21,5	3,9
Довжина окоренкуватості, *м*	0,5	1,1	2,0	29,4	5,3
Діаметр лісоматеріалів без кори, *см*					
- *у нижньому торці*	32	56	78	18,6	3,3
- *посередині лісоматеріалу*	24	41	61	21,6	3,9
- *у верхньому торці*	17	30	44	22,7	4,1
Відстань до, *м*					
- *першого відмерлого сучка*	2,0	5,2	12,0	38,2	6,9
- *першої живої гілки*	2,0	5,8	12,0	33,2	6,0

Довжина ділової деревини у стовбурах ялиці білої змінюється від 13,7 *м* до 23,0 *м* у віковій групі дерев менше 75 років, а у віковій групі понад 75 років - від 11,5 *м* до 26,4 *м*, що свідчить про незначну відмінність відсотка ділової

деревини у ростучих дерев. Водночас середнє значення довжини окоренкуватості у відземковій частині стовбура у першій групі, тобто менше 75 років, є на 54,5% меншим від аналогічного показника для другої групи дерев старших 75 років. Така відмінність ознак форми стовбура відчутно впливає на вихід високоякісної деревини через різке збільшення діаметра у відземковій частині [109].

Середні значення діаметрів ялиці білої у групі дерев віком більше 75 років у вологій грабово-буковій яличині (*ПП*-5 та *ПП*-6) посередині лісоматеріалу, у нижньому та верхньому торці є на 39–41% більшими ніж у групі дерев віком менше 75 років у вологій грабово-буковій суяличині (*ПП*-7). Варто зазначити, що абсолютна повнота ялицевих деревостанів на *ПП*-5 та *ПП*-6 є на 14,3% та 21,4% меншою порівняно з деревостанами *ПП*-7.

Однією з важливих кваліметричних особливостей дерев є їх відмінності у формуванні морфологічних ознак, таких як відстань до першої живої та мертвої гілки. У деревинознавчому розумінні мова йде про довжину безсучкової зони стовбура, якість деревина якого під час візуальної кваліметрії характерна найкращими фізико-механічними властивостями [15, 91, 92, 111, 124, 130, 195]. Відстань до першого відмерлого сучка ялиці білої у вологій грабово-буковій суяличині (*ПП*-7) перебуває у межах від 4,5 до 11,0 *м* із середним значенням 8,0 *м*, яке є більшим на 35,0% від аналогічного показника для зрубаних дерев віком більше 75 років на *ПП*-5 та *ПП*-6. Перша жива гілка у групі дерев віком до 75 років (*ПП*-7) росте на висоті від 6,0 до 12,0 *м* із середнім значенням 8,9 *м* і є також на 34,8% більшим ніж у групі дерев віком понад 75 років (*ПП*-5 та *ПП*-6). Підсумовуючи наведене вище доцільно наголосити на істотному впливові морфологічних ознак дерева, вад форми стовбура та вікового фактору на формування кваліметричних ознак стовбура і як наслідок класу якості деревини круглих лісоматеріалів ялиці білої.

До важливих структурних ознак якості досліджуваних круглих лісоматеріалів ялиці білої належить зарахувати річний приріст, наявність несправжнього ядра та реактивної деревини (рогівки), що є кваліметричними

ознаками класів якості (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Відмінності розмірно - якісних характеристик деревини ялиці білої

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення
Дерева віком до 75 років			
Середній річний приріст, *мм*			
у нижньому торці	2,0	$3,4^{\pm 0,23}$	5,0
посередині лісоматеріалу	2,1	$3,1^{\pm 0,18}$	4,1
у верхньому торці	1,9	$2,8^{\pm 0,18}$	3,9
Діаметр несправжнього ядра, *см*			
у нижньому торці	0	$6^{\pm 1,91}$	30
посередині лісоматеріалу	0	$1^{\pm 0,93}$	13
у верхньому торці	0	$1^{\pm 0,64}$	9
Рогівка, *%*	0	$3^{\pm 1,77}$	21
Дерева віком більше 75 років			
Середній річний приріст, *мм*			
у нижньому торці	2,4	$3,7^{\pm 0,17}$	6,0
посередині лісоматеріалу	2,1	$3,3^{\pm 0,12}$	4,6
у верхньому торці	1,8	$2,9^{\pm 0,11}$	3,9
Діаметр несправжнього ядра, *см*			
у нижньому торці	3	$36^{\pm 2,61}$	64
посередині лісоматеріалу	3	$17^{\pm 1,65}$	42
у верхньому торці	1	$8^{\pm 0,97}$	22
Рогівка, *%*	4	$13^{\pm 0,90}$	23

Результати дослідження річного приросту ялиці білої свідчать про його

значні відмінності у вологій грабово-буковій суяличині (*ПП*-7) та яличині (*ПП*-5 та *ПП*-6), що доцільно пов'язувати не тільки з типом лісу, але й з абсолютною повнотою та віком деревостану. Річний приріст (ширина річного кільця) у нижньому торці круглого лісоматеріалу на *ПП*-7 варіює від 2,0 до 5,0 *мм* із середнім значенням 3,4 *мм* і є більшим порівняно з річним приростом посередині та у верхньому торці круглого лісоматеріалу. Подібна тенденція зміни величини річного приросту характерна для круглих лісоматеріалів на *ПП*-5 та *ПП*-6. Таку відмінність абсолютних значень ширини річного кільця варто пов'язувати з методичною особливістю визначення річного приросту в круглих лісоматеріалах, а саме на ділянці ¾ радіуса периферійної деревини стовбура [47, 109, 178]. Утім треба зазначити про незначну відмінність середніх значень ширини річних кілець дерев у віковому діапазоні менше та понад 75 років. Річний приріст ялиці білої у вологій грабово-буковій яличині (*ПП*-5 та *ПП*-6) перебуває у діапазоні від 1,8 *мм* до 6,0 *мм*, середнє значення якого є більшим від аналогічного показника у вологій грабово-буковій суяличині (*ПП*-7). Найбільший середньорічний приріст характерний для нижнього торця круглих лісоматеріалів у віковій групі понад 75 років, середнє значення якого є на 8,1% більшим ніж у дерев віком менше 75 років. Підсумком до наведеного аналізу відмінностей річного приросту є те, що величина річного приросту більше 4 *мм* зумовлює зменшення класу якості деревини ялиці білої на один порядок, тобто з класу якості деревини "А" до "В". Річний приріст у дерев ялиці білої на *ПП*-7 (віком менше 75 років) змінюється від 2,0 до 5,0 *мм* і є меншим порівняно з аналогічною кваліметричною ознакою у дерев віком понад 75 років.

Максимальне значення діаметру несправжнього ядра у дерев віком менше 75 років (*ПП*-7) досягло 30 см у нижньому торці. Варто сказати про наявність значної кількості дерев із заболонною деревиною у першій вибірці. Водночас у другій вибірці круглих лісоматеріалів, заготовлених на *ПП*-5 та *ПП*-6, діаметр несправжнього ядра у нижньому торці перебуває у межах від 1 *см* у верхньому торці до 64 *см* у нижньому торці. Для круглих лісоматеріалів із діаметром

несправжнього ядра більше 30 *см* встановлено ваду деревини “м’яка гнилизна”, яка є неприпустимою в класі якості деревини “А”, “В” та “С”. Важливо зазначити, що максимальні значення діаметрів несправжнього ядра ялиці білої віком понад 75 років є від 53,1% до 69,0% більшими від аналогічного показника для дерев віком менше 75 років посередині, у нижньому та верхньому торці круглого лісоматеріалу.

Аналіз наявності реактивної деревини в круглих лісоматеріалах свідчить, що вада деревини рогівка є менш характерна для першої групи круглих лісоматеріалів віком до 75 років на *ПП*-7. Середнє значення рогівки в річному прирості у вологій грабово-буковій яличині (*ПП*-5 та *ПП*-6) є на 3% більшим допустимого значення (10%) для класу якості деревини “В”. Підсумовуючи вищенаведене доцільно зазначити, що у групі дерев віком понад 75 років (*ПП*-5 та *ПП*-6) вада деревини рогівка істотно впливає на клас якості круглих лісоматеріалів порівняно з деревами ялиці білої віком менше 75 років (*ПП*-7).

4.2. Регресійний аналіз впливу вад деревини на стійкість та розмірно-якісні характеристики круглих лісоматеріалів

Збільшення запитів на достовірну інформацію про кількість та якість деревини, яку можна заготовити, залежить від методів оцінювання деревинної сировини, що враховують особливості утворення вад деревини та вимоги на ринку деревини. Об’єктивне вимірювання характеристик якості деревини забезпечує оптимальне кінцеве використання деревини за її характеристиками і розкриває особливості вирощування дерев із заданими властивостями деревини. Ефективне ведення лісового господарства спрямоване на використання високотехнологічних інструментів для діагностування якості деревини та аналітичних методів для своєчасного прийняття рішень щодо раціонального використання високоякісної деревинної сировини, що підтримує ланцюг створення вартості в лісогосподарському виробництві. Методи таксації лісу, які використовуються для визначення об’ємів та запасів деревини, базуються на вибірці виміряних розмірів дерев і прогнозованої збіжистості

стовбурів. Зазвичай вони не враховують деревинознавчі чинники (вади будови деревини), які впливають на клас якості деревини відповідно до технічних умов щодо круглих лісоматеріалів. Вихідними даними для оцінювання розмірно-якісних характеристик ділового лісоматеріалу в стовбурі є діаметр (довжина окружності стовбура) та висота. Знання залежності між згаданими показниками стовбура ялиці білої дають змогу прогнозувати вихід високоякісних круглих лісоматеріалів (рис. 4.1).

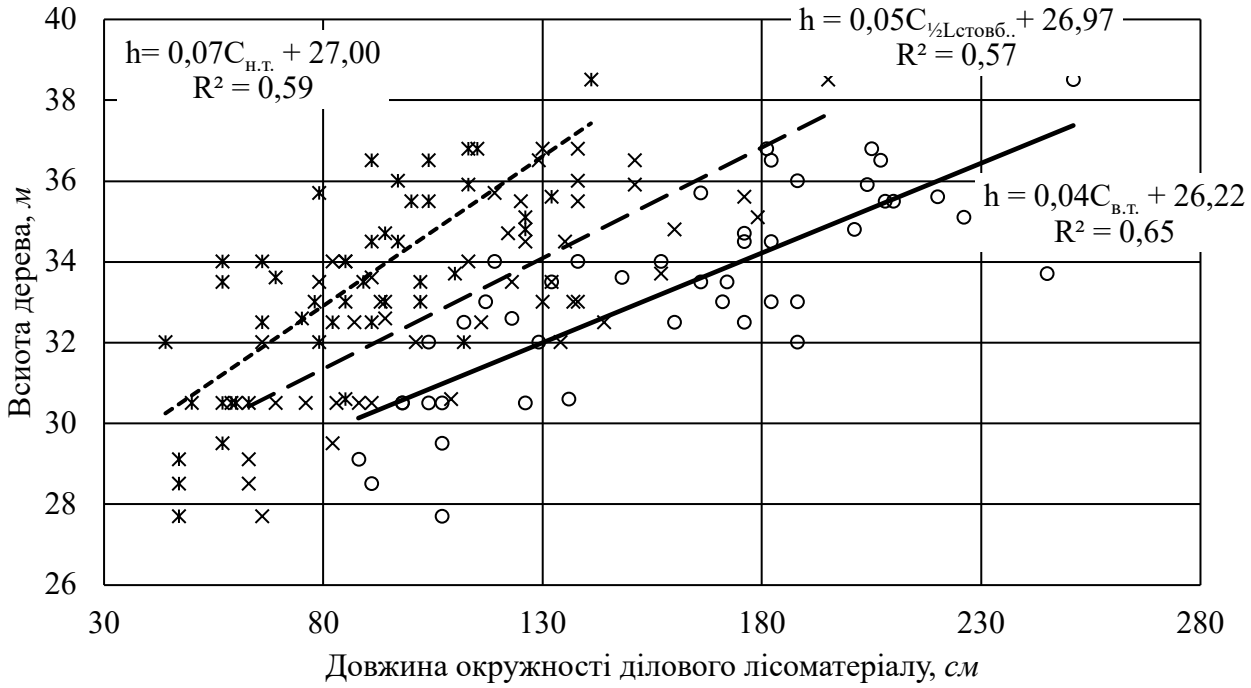


Рис. 4.1 – Залежність окружності (діаметру) стовбура від висоти ялиці білої від довжини окружності посередині, у нижньому та верхньому торцях

Як видно з рис. 4.1, між довжиною серединної окружності ділового лісоматеріалу та довжиною ділової деревини в стовбурі (висотою стовбура до початку крони) існує прямолінійна залежність, яка описується рівняннями першого порядку. Найбільший коефіцієнт детермінації (R^2=0,65) характерний для залежності між довжиною окружності ділового лісоматеріалу у верхньому торці та висотою ділової деревини в стовбурі і описується рівнянням прямої лінії ($h_{діл.дер.}$ = 0,04$C_{в.т.}$+26,22). Залежність між довжиною окружності ділового лісоматеріалу у нижньому торці та висотою ділової деревини в стовбурі описується рівнянням прямої лінії $h_{діл.дер.}$ = 0,07$C_{н.т.}$ + 27,00, але з меншим

значенням коефіцієнта детермінації R^2=0,59. Така різниця коефіцієнтів детермінації свідчить, що вади деревини окоренкуватості у нижній частині та посередині стовбура істотно впливає на залежність між довжиною окружності ділового лісоматеріалу та висотою ділової деревини в стовбурі ялиці білої.

Кваліметричні ознаки розмірно-якісних характеристик ділової деревини стовбура (круглого лісоматеріалу) ялиці білої доцільно визначати також через встановлення залежності між ключовими морфологічними показниками. До визначальних ознак якості ділової деревини в стовбурі варто додати діаметр лісоматеріалу в нижньому торці без кори ($d_{н.т.}$), довжину вади деревини окоренкуватість в стовбурі ($l_{ок.}$), висоту до першого живої гілки ($h_{жив.гіл.}$) та відмерлого сучка ($h_{відм.суч.}$) стовбура і довжину ділової деревини в стовбурі ($l_{діл.дер.}$), що впливають на вихід якісної деревини зі стовбура дерева (рис. 4.2 та рис. 4.3).

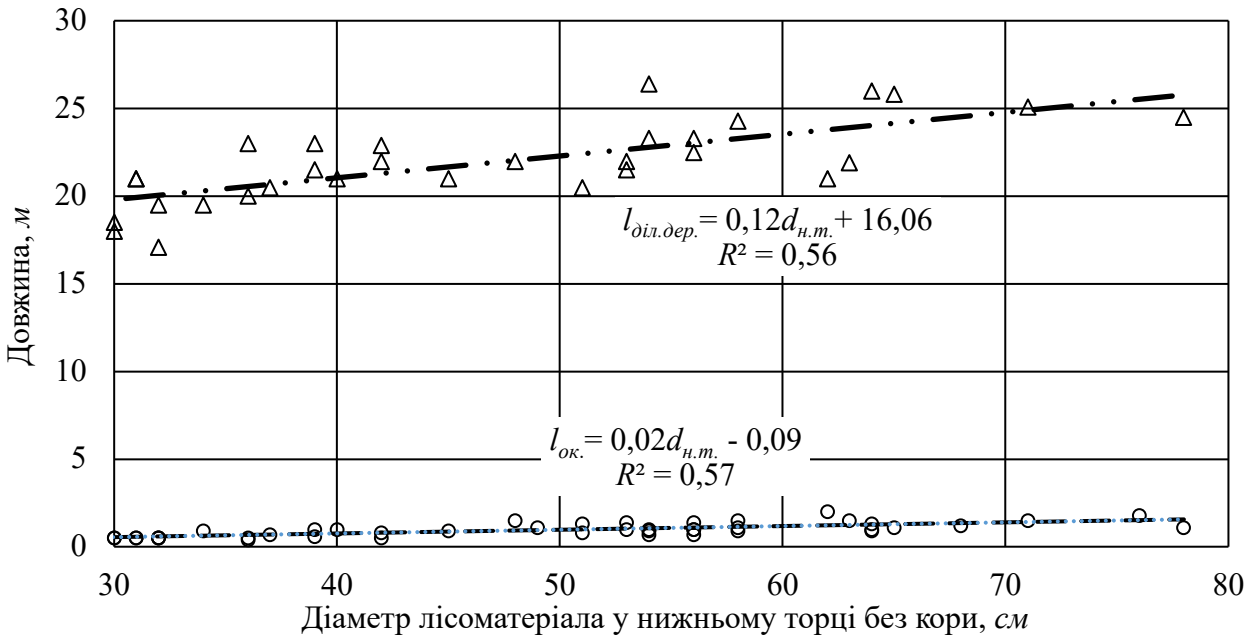


Рис. 4.2 – Залежність довжини ділової деревини та окоренкуватості стовбура від діаметра круглого лісоматеріалу в нижньому торці без кори

Аналіз якісних ознак стовбура вказує на значний вплив величини діаметру лісоматеріалів без кори у нижньому торці на довжину вади деревини окоренкуватість і описується рівнянням прямої першого порядку

($l_{ок.}$= 0,02$d_{н.т.}$ - 0,09; R^2 = 0,57). Аналогічна прямолінійна залежність характерна між діаметром лісоматеріалів без кори у нижньому торці та довжиною ділової деревини в стовбурі ялиці білої ($l_{діл.дер}$.= 0,12$d_{н.т.}$+ 16,06; R^2 =0,56). Важливо зазначити, що діаметр у нижньому торці лісоматеріалу визначено на відстані, де закінчувалась вада деревини окоренкуватість.

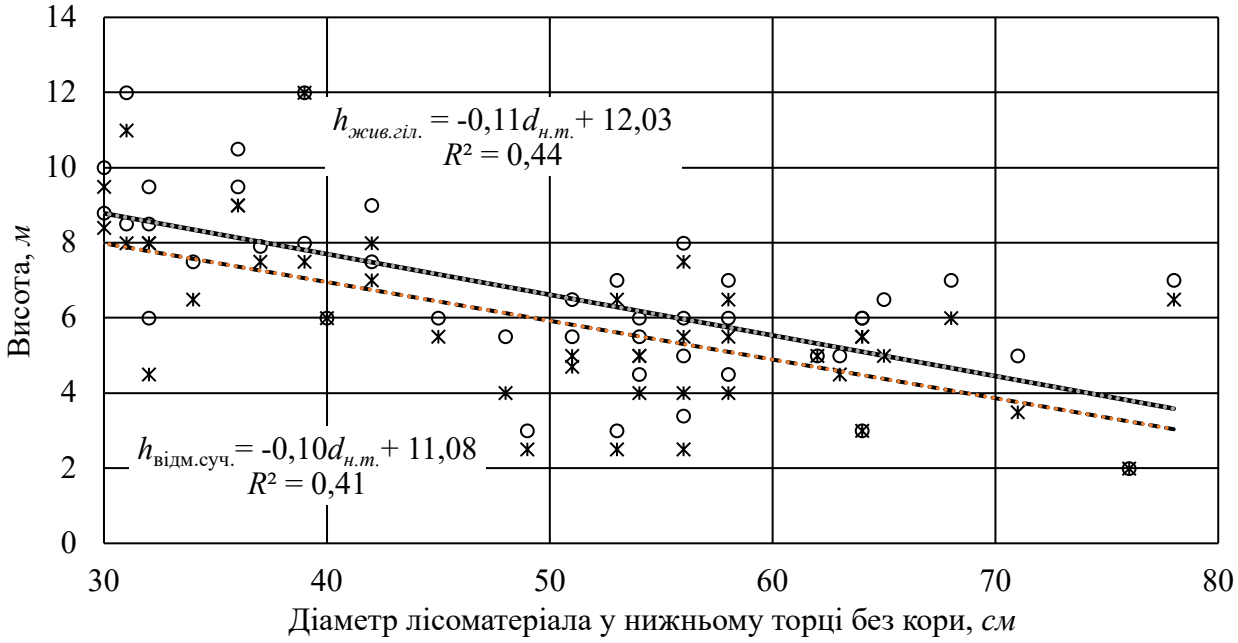


Рис. 4.3 – Залежність висоти до першої живої гілки та першого відмерлого сучка дерева від діаметра круглого лісоматеріалу в нижньому торці без кори

Як видно з рис. 4.3, між довжиною безсучкової зони дерева та діаметром в нижньому торці лісоматеріалу ялиці білої встановлено помірний кореляційний зв'язок (R^2 = 0,41-0,44). Низькі значення коефіцієнта детермінації щодо залежності між досліджуваними характеристиками доцільно пов’язати зі значним віковим діапазоном досліджуваних дерев, а саме від 59 до 99 років, та наявністю структурних відмінностей деревини. Таким чином, морфологічні відмінності дерева є візуальними кваліметричними ознаками для визначення довжини ділової деревини в стовбурі ялиці білої.

Вивчення залежності між кваліметричними ознаками структурних відмінностей деревини та серединним діаметром лісоматеріалів без кори та у нижньому торці дає змогу діагностувати класи якості деревини, важливою

якісною характеристикою яких є наявність вади деревини рогівка ($r_{рог.}$) не більше 10% для класу якості “В” та несправжнього ядра (твердої гнилизни) площею не більше 10% у круглих лісоматеріалів із серединним діаметром менше 35 *см* і 20% у круглих лісоматеріалів із серединним діаметром більше 35 *см* для класу якості “С” (рис. 4.4).

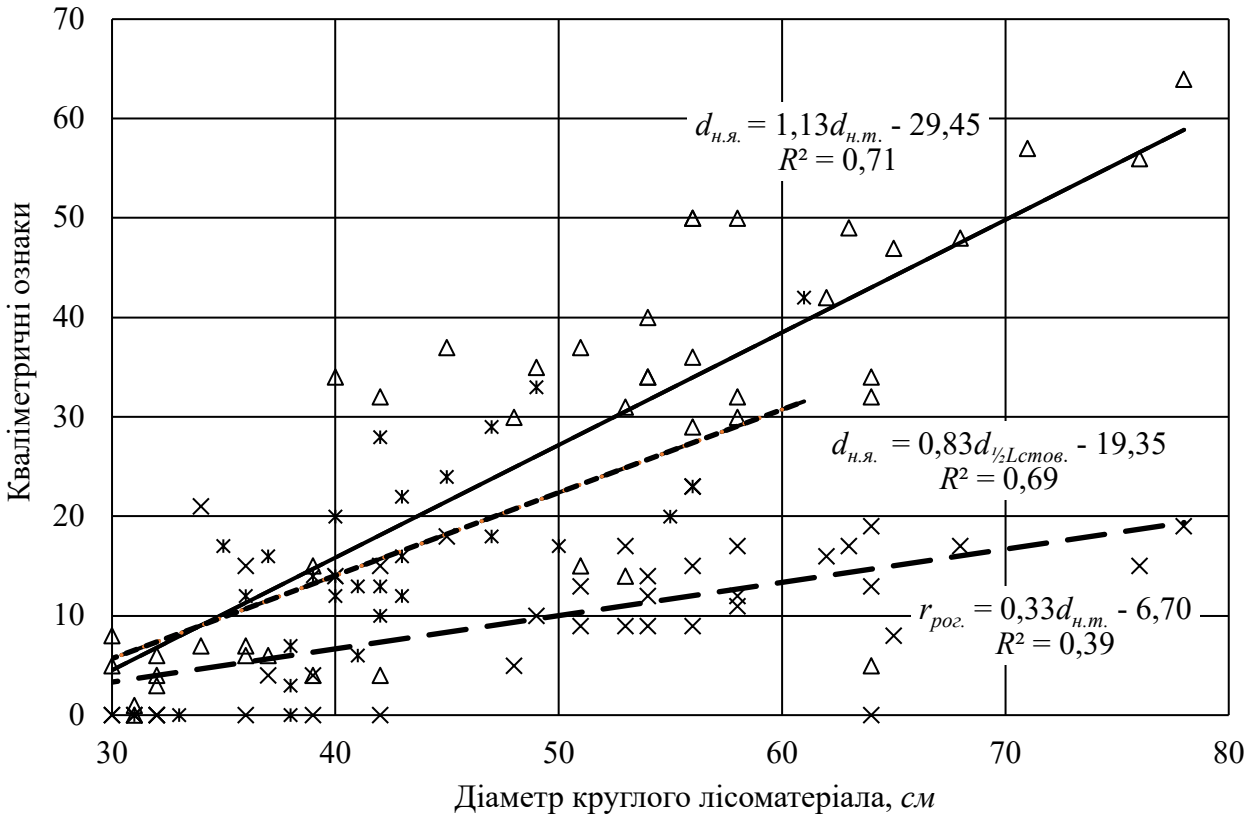


Рис. 4.4 – Залежність діаметра несправжнього ядра та відсотка рорівки від серединного діаметра лісоматеріалу та в нижньому торці без кори

Як видно з рис. 4.4, між діаметром несправжнього ядра та серединним діаметром круглого лісоматеріалу існує прямолінійна залежність, яка описується рівнянням прямої $d_{н.я.} = 1{,}13d_{н.т.} - 29{,}45$ ($R^2 = 0{,}71$). Аналогічна тенденція властива для залежності між діаметром несправжнього ядра та діаметром круглого лісоматеріалу у верхньому торці без кори ($d_{н.я.} = 0{,}83\ d_{½Lстов.} - 19{,}35$, $R^2 = 0{,}69$). Встановлено також помірну залежність між величиною вади деревини рогівка та діаметром круглого лісоматеріалу у нижньому торці без кори ($r_{рог.} = 0{,}33d_{н.т.} - 6{,}70$; $R^2 = 0{,}39$). Незначний коефіцієнт детермінації пояснюється тим, що вада деревини рогівка утворюється

здебільшого під впливом екологічних чинників та динамічних навантажень на стовбур [15, 124, 128, 130]. Водночас визначення вікового чинника утворення несправжнього ядра вказує не тільки на наявність грибного ураження деревини, але й дає змогу діагностувати якісну характеристику деревини, тобто наявність твердої чи м'якої гнилизни, що помітно впливають на визначення класу якості деревини круглих лісоматеріалів (рис. 4.5).

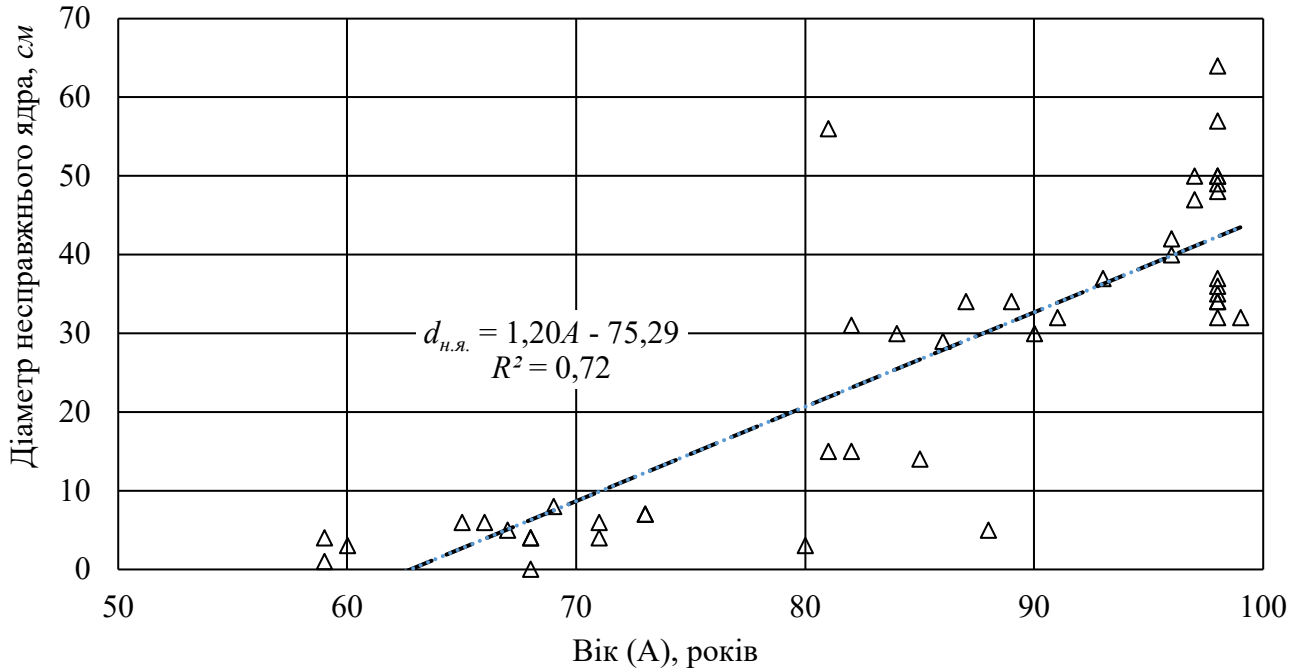


Рис. 4.5 – Залежність між діаметром несправжнього ядра та віком дерева

Залежність між діаметром несправжнього ядра стовбура та віком дерева ялиці білої описується рівнянням першого порядку ($d_{н.я.}$ = 1,20*A* - 75,29, R^2 = 0,72). В уражених шкідниками ялицевих деревостанах Українських Карпат вік дерева зумовлює не тільки збільшення кількості дерев із несправжнім ядром, але й площі пошкодження заболонної деревини деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами. Аналіз результатів дослідження особливостей кваліметрії розмірно-якісних ознак ялиці білої у віковому діапазоні від 59 до 99 років свідчить про значне зниження якості деревини у круглих лісоматеріалів віком більше 75 років, що зумовлене вадами деревини: окоренкуватість, рогівка та несправжнім ядром. Беручи до уваги відмінності формування якісних характеристик деревини ялиці білої на абсолютних висотах 350-450 *м н.р.м.* в

Українських Карпатах можна зробити припущення про значний вплив глобального потепління на кваліметричні ознаки деревини, неврахування якого у лісогосподарській практиці зумовлює формування ялицевих деревостанів з низькоякісною стовбурною деревиною.

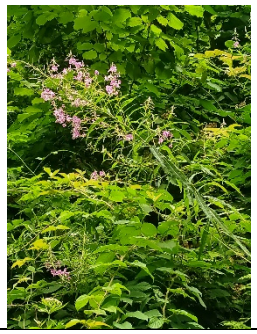
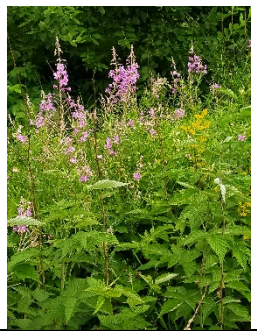
4.3. Висотно-екологічні особливості впливу біологічного пошкодження на стійкість деревини

Однією із найпоширеніших причин відмирання ялиці білої доцільно назвати іржу хвої та некроз кори. Останній уражає дерева віком від 30 до 60 років через вплив сильного сонячного проміння на кору молодих дерев, що зумовлює зниження їх життєвості. Некроз ялицевої живої кори (флоеми) є складним захворюванням, яке обумовлене кліматичними чинниками та пошкодженнями комах (зазвичай хермес ялицевий коровий (*Adelges piceae*), що зумовлює зараження деревної рослини грибом *Neonectria neomacrospora* Mantiri & Samuels [143, 157]. *Adelges piceae* поширений на ялиці білій і має незавершений життєвий цикл, оскільки розмножується лише безстатевим шляхом [149]. Водночас, грибок неонектрії проникає через механічні пошкодження кори стовбура і спричиняє відмирання камбіальних клітин і як наслідок зумовлює усихання деревної рослини.

Іржа хвої викликається грибом *Pucciniastrum goeppertianum* і *Pucciniastrum tiliae*, що проявляється на листовій пластинці (хвої) у вигляді помаранчевих ецидій, ракових виразок чи здуття на стовбурі, а також утворення омели (“відьмина мітла”). У ялицевих насадженнях розвиток іржастого раку (*Melampsorella cerastii* Wint.) ялиці білої пов’язують з високою відносною вологістю повітря у весняний період. Така кліматична умова сприяє поширенню спор іржастого раку через проміжного живителя хаменерія вузьколистого (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), на листках якого розвиваються уредо- та телейтостадії і утворюються базідоспори, які поширюються вітром та уражають ялицю білу через механічні пошкодження кори дерева. Проростання базідіоспор дає грибницю, яка уражає клітини

камбію та викликає їх подразнення і як наслідок розтріскування кори та оголення стовбурної деревини. Результати вивчення особливостей поширення хаменерія вузьколистого у районі дослідження подано у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Висотно-екологічні особливості поширення *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.

Горизонтальні координати	Абсолютна висота, *м н.р.м.*	Шкали рясності виду за		Фотографії досліджуваних ділянок
		Г.М. Висоцького	Н. Ф. Комаровим	
48°45′44″ пн.ш. 22°42′50″ сх.д.	365	п – поодинокі особини, одна-дві особини на ділянці	10-100 *шт.* на 1 *га*	
48°45′56″ пн.ш. 22°44′21″ сх.д.	518	1 – слабке поширення, вкриває менше 5% площі	10-100 *шт.* на 1 *га*	
48°46′31″ пн.ш. 22°46′5″ сх.д.	785	2 – помірне поширення виду, вкриває 5-20% площі	не більше 10 *шт.* на 100 $м^2$	
48°45′29″ пн.ш. 22°41′22″ сх.д.	1042	3 – рясне поширення виду, вкриває 20-50% площі	20-40 *шт.* на 100 $м^2$	

В лісорослинних умовах району дослідження встановлено, що хаменерій

вузьколистий (іван-чай) найчастіше поширений на лісових зрубах, просіках, галявинах та поблизу доріг. Його цвітіння в межах абсолютної висоти від 365 до 1042 *м н.р.м.* триває з червня по серпень. Вид є обов'язковою ланкою у завершальному життєвому циклі та поширенні іржастого гриба (*Pucciniastrum epilobii* (Pers.) G. H. Otth) [143, 153]. Результати дослідження особливостей висотно-екологічного поширення хаменерія вузьколистого свідчать, що зі збільшенням абсолютної висоти зростає рясність виду, яка визначена за шкалою Г. М. Висоцького та Н. Ф. Комаровим. Водночас найбільшу рясність хаменерія вузьколистого на абсолютній висоті 1042 *м н.р.м.* доцільно пов'язувати зі збільшенням площ галявин. На абсолютній висоті 365 *м н.р.м.* вид здебільшого трапляється поблизу доріг та на лісових зрубах, що обумовлено його світлолюбивістю (рис. 4.6).

Рис. 4.6 – Хаменерій вузьколистий на лісовому зрубі

Висотно-екологічна особливість місцезростання хаменерія вузьколистого сприяє поширенню базидіоспор вниз по схилу і, як наслідок, біологічному ураженню ялиці білої. Грибний міцелій проникає у стовбури через незначні механічні пошкодження кори та гілля Ослаблені дерева легко пошкоджуються шкідниками кори та деревини. Біологічним пошкодженням охоплюються

дерева віком від 30 до 120 років, на стовбурах яких навесні та наприкінці літа утворюється яскраво-білий восковий вовняний наліт іржастого гриба, що є їх важливою діагностичною ознакою [157]. Статистичні показники поширення хаменерія вузьколистого у різних висотно-екологічних умовах Українських Карпат наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Статистичні показники рясності хаменерії вузьколистого в лісорослинних умовах Українських Карпат, *шт.·100 м$^{-2}$*

Абсолютна висота, *м н.р.м.*	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
365	0,05	$0,07^{\pm 0,001}$	0,10	22,0	4,0
518	0,11	$0,47^{\pm 0,05}$	0,88	56,6	10,3
785	1,0	$2,2^{\pm 0,19}$	5,0	46,8	8,6
1042	20,0	$25,8^{\pm 0,65}$	32,0	13,9	2,5

Дані табл. 4.5 свідчать про суттєву варіацію рясності хаменерія вузьколистого у різних висотно-екологічних умовах Українських Карпат. Найбільші значення рясності хаменерія вузьколистого властиві для абсолютної висоти 1042 *м н.р.м.*, що змінюється від 20,0 *шт.·100 м$^{-2}$* до 32,0 *шт.·100 м$^{-2}$* із середнім значенням 25,8 *шт.·100 м$^{-2}$*. Найменші значення поширення виду характерні для абсолютної висоти 365 *м н.р.м.* і знаходяться в межах від 0,05 *шт.·100 м$^{-2}$* до 0,10 *шт.·100 м$^{-2}$* із середнім значенням 0,07 *шт.·100 м$^{-2}$*. Відмінність коефіцієнтів варіації щодо поширення хаменерія вузьколистого на абсолютних висотах від 365 *м н.р.м.* 1042 *м н.р.м.* доцільно пов'язувати зі світолюбивістю досліджуваного виду і відповідно його заселенням на лісових зрубах на абсолютних висотах 518 *м н.р.м.* та 785 *м н.р.м.*, а також наявністю великих площ галявин у приполонинній смузі на абсолютні висоті 1042 *м н.р.м.* Таким чином, найбільші значення коефіцієнтів варіації 56,6% та 46,8% характерні відповідно для абсолютної висоти 518 *м н.р.м.* та 785 *м н.р.м.* У зв'язку з цим рекомендуємо у межах висотно-екологічного поясу від 500 *м н.р.м.* до 800 *м н.р.м.* проводити обстеження щодо хаменерія

вузьколистого і відповідно його локалізації. Важливим є також проведення моніторинг лісових галявин щодо рясності хаменерія вузьколистого, основним завданням якого є своєчасне виявлення виду та проведення лісогосподарських заходів щодо зменшення його популяції. Залежність між рясністю хаменерія вузьколистого та абсолютною висотою в Українських Карпатах наведено на рис. 4.7.

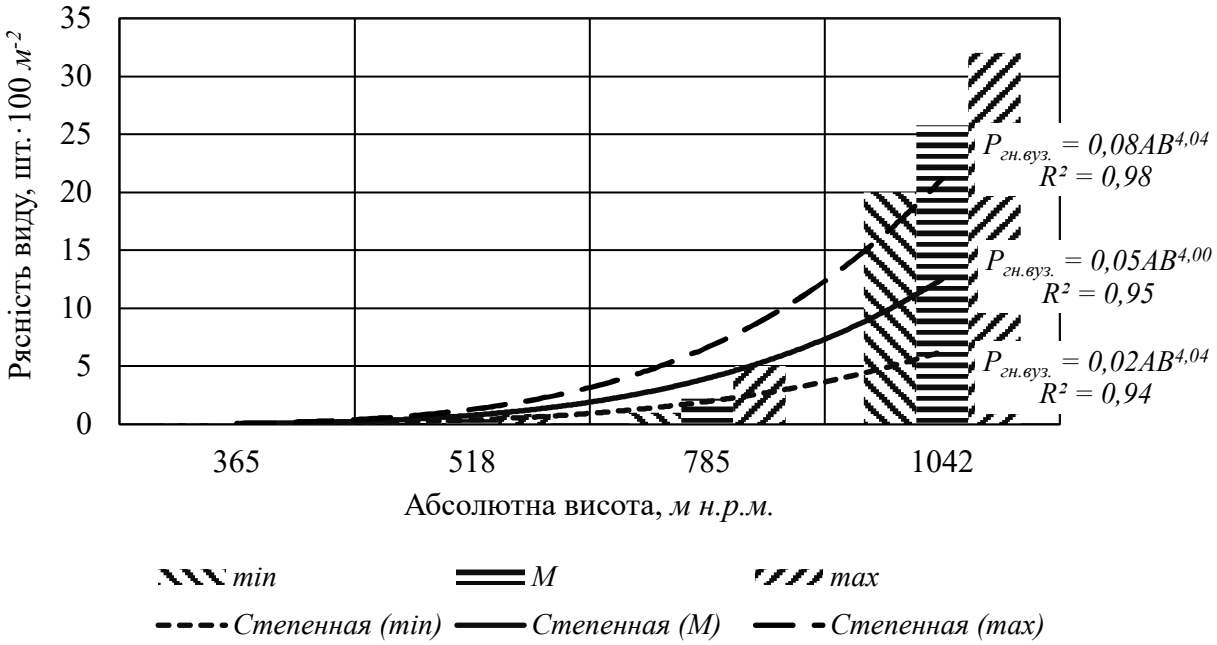


Рис. 4.7 – Залежність між рясністю хаменерія вузьколистого та абсолютною висотою

Як видно з рис. 4.7, рясність хаменерія вузьколистого суттєво залежить від висотно-екологічних умов і описується ступеневими рівняннями залежності. Залежність між середніми значеннями рясності хаменерія вузьколистого та абсолютною висотою описується наступним ступеневим рівнянням – $P_{гн.вуз.} = 0,05AB^{4,00}$ з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,95$, що свідчить про сильну тісноту зв'язку. Водночас доцільно зазначити, що збільшення рясності хаменерія вузьколистого доцільно також пов'язувати з проведенням лісозаготівельних робіт та інших лісогосподарських заходів, які сприяють освітленню лісових доріг, галявин, просік тощо.

Результати дослідження ялицевих деревостанів за участі біологічно пошкоджених дерев у різних типах лісу та висотно-екологічних умовах

свідчать про збільшення кількості уражених дерев ялиці білої зі збільшенням рясності хаменерія вузьколистого (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Особливості біологічного пошкодження ялиці білої та поширення хаменерія вузьколистого

ПП-6		*ПП*-10		*ПП*-12		*ПП*-13	
Індекс типу лісу							
D_3-г-бкЯц		*D_3-см-бкЯц*		*C_3-см-бкЯц*		*C_3-см-бкЯц*	
Абсолютна висота (*АВ*)							
350 *м н.р.м.*		575 *м н.р.м.*		866 *м н.р.м.*		1045 *м н.р.м.*	
Кількість здорових ($N_{зд.д.}$) та біологічного пошкоджених ($N_{біол.п.}$) дерев, *шт.*							
$N_{зд.д.}$	$N_{біол.п.}$	$N_{зд.д.}$	$N_{біол.п.}$	$N_{зд.д.}$	$N_{біол.п.}$	$N_{зд.д.}$	$N_{біол.п.}$
98	21	96	33	80	34	69	44
Відсоток $N_{зд.д.}$ та $N_{біол.п.}$, *%*							
82,4	17,6	74,4	25,6	70,2	29,8	61,1	38,9
Рясність хаменерія вузьколистого ($P_{зн.вуз.}$), *шт.·100 м$^{-2}$* / Абсолютна висота							
0,07 / 365 *м н.р.м.*		0,47 / 518 *м н.р.м.*		2,2 / 785 *м н.р.м.*		25,8 / 1042 *м н.р.м.*	

Дані табл. 4.6 свідчать, що найбільша кількість біологічно пошкоджених дерев ялиці білої властива для абсолютної висоти 1042 *м н.р.м.* у вологій смереково-буковій суяличині на *ПП*-13, де відсоток уражених дерев становить 38,9*%*. Для цих висотно-екологічних умов характерна також найбільша рясність хаменерія вузьколистого і становить 25,8 *шт.·100 м$^{-2}$*, що корелює зі збільшенням біологічних пошкоджень дерев ялиці білої. Водночас доцільно зазначити про незначні біологічні пошкодження ялиці білої у вологій грабово-буковій яличині на абсолютній висоті 350 *м н.р.м.*, де відсоток біологічно-уражених дерев становить 17,6*%*. При цьому необхідно зазначити, що біологічні пошкодження ялиці білої діагностовано візуально без врахування вади деревини несправжнє ядро. Експоненціальна залежність між відсотком

біологічно-пошкоджених дерев, рясністю хаменерія вузьколистого та абсолютною висотою в лісорослинних умовах Українських Карпат наведено на рис. 4.8.

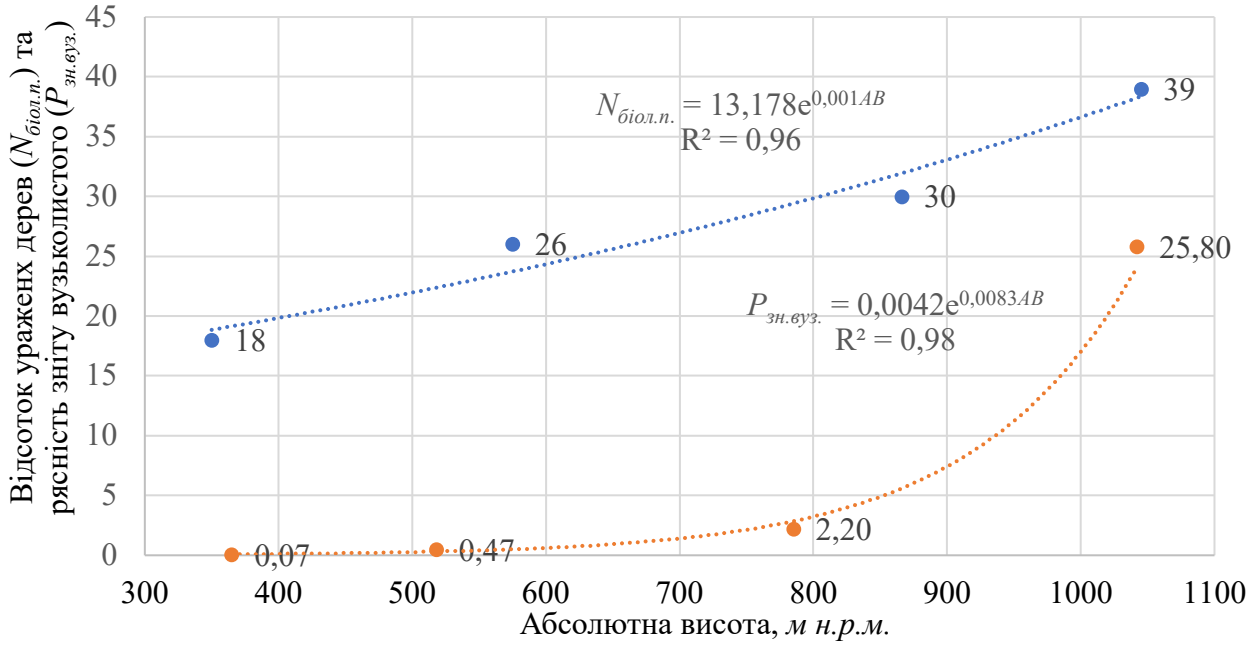
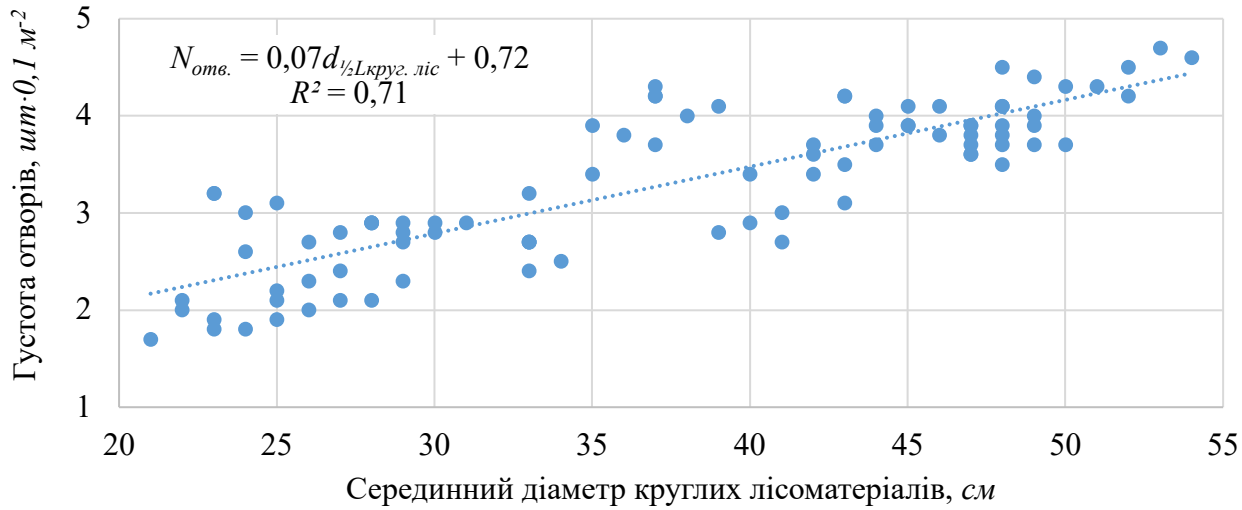


Рис. 4.8 – Експоненціальна залежність біологічно уражених дерев та рясності хаменерія вузьколистого від абсолютної висоти

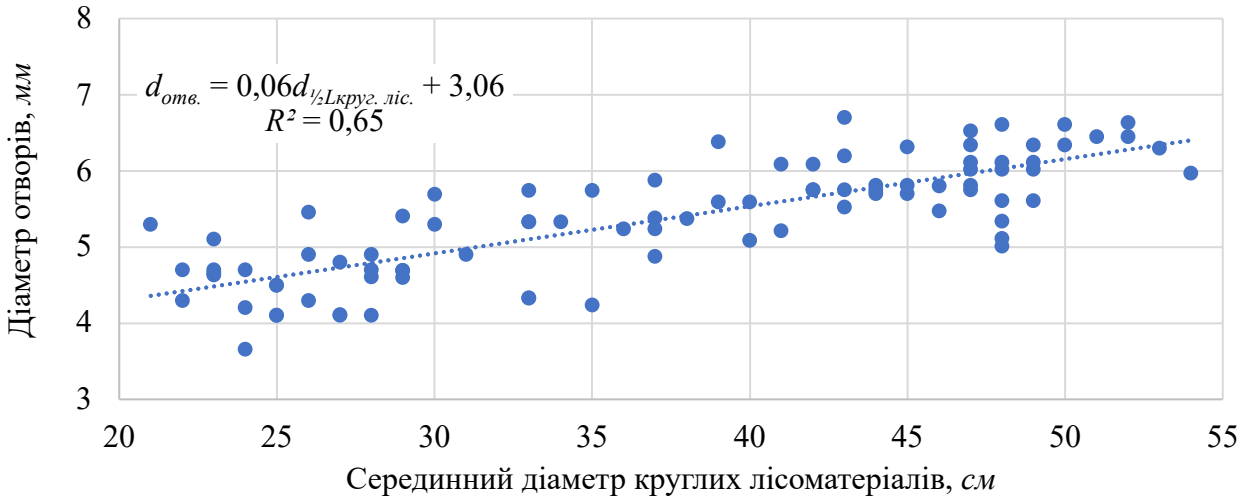
Як видно з рис. 4.8 біологічні пошкодження ялиці білої та рясність хаменерія вузьколистого збільшується експоненціально щодо абсолютної висоти і описується рівняннями $N_{біол.п.} = 13{,}178e^{0{,}001AB}$ ($R^2 = 0.96$) та $P_{зн.вуз.} = 0{,}0042e^{0{,}0083AB}$ ($R^2 = 0.99$) відповідно. При цьому доцільно зазначити про те, що кількість біологічно-пошкоджених дерев збільшується у лісових насадженнях по схилу від вершини до підніжжя Українських Карпат. Резюмуючи отримані результати дослідження висвітлені в підрозділі 3.1-3.3 та експоненціальну залежність біологічно уражених дерев і рясності хаменерія вузьколистого від абсолютної висоти доцільно зазначити, що найбільше біологічно уражається ялиця біла у висотно-екологічному поясі понад 801 *м н.р.м.* із деревиною 3-го класу стійкості. Таким чином, рекомендуємо проводити лісогосподарські заходи спрямовані на локалізацію хаменерія вузьколистого у висотно-екологічному поясі понад 801 *м н.р.м.*, а при діагностуванні високоякісних сортиментів ялиці білої використовувати показник макроструктури деревини – кількість річних кілець в 1 *см* та враховувати клас стійкості деревини.

4.4. Особливості пошкодження стовбурної деревини ялиці білої личинками чорного ялицевого вусача (*Monochamus urussovi*)

Пошкодження личинками комахи *Monochamus urussovi* зумовлюють утворення вади деревини червоточини – ходів та отворів у деревині [109]. Результати дослідження залежності червоточини від серединного діаметру круглого лісоматеріалу подано на рис. 4.9.



А)



Б)

Рис. 4.9 – Залежність між густотою (А), діаметром (Б) отворів та серединним діаметром круглих лісоматеріалів

Як видно з рис. 4.9, залежність між густотою червоточини ($N_{отв.}$) та серединним діаметром круглих лісоматеріалів описується рівнянням першого

порядку – $N_{отв.} = 0{,}07d_{½Lкруг.\ ліс} + 0{,}72$ ($R^2 = 0{,}71$). Між діаметрами отворів (ходів), які утворені личинками комахи *Monochamus urussovi,* та серединним діаметром круглих лісоматеріалів ялиці білої існує також прямолінійна залежність, яка описується рівнянням – $d_{отв.} = 0{,}06d_{½Lкруг.\ ліс.} + 3{,}06$, ($R^2 = 0{,}65$). Результати дослідження червоточини деревини ялиці білої свідчать про збільшення густоти та діаметру отворів із зростанням діаметру стовбура, що доцільно пов'язувати зі зменшенням природної стійкості деревини. Важливим фактором є своєчасне діагностування осередку пошкодження комахами камбіо- та ксилофагів та їх локалізація. Водночас варто наголосити на відмінності пошкодження личинками комах різних частин стовбура дерева (рис. 4.10).

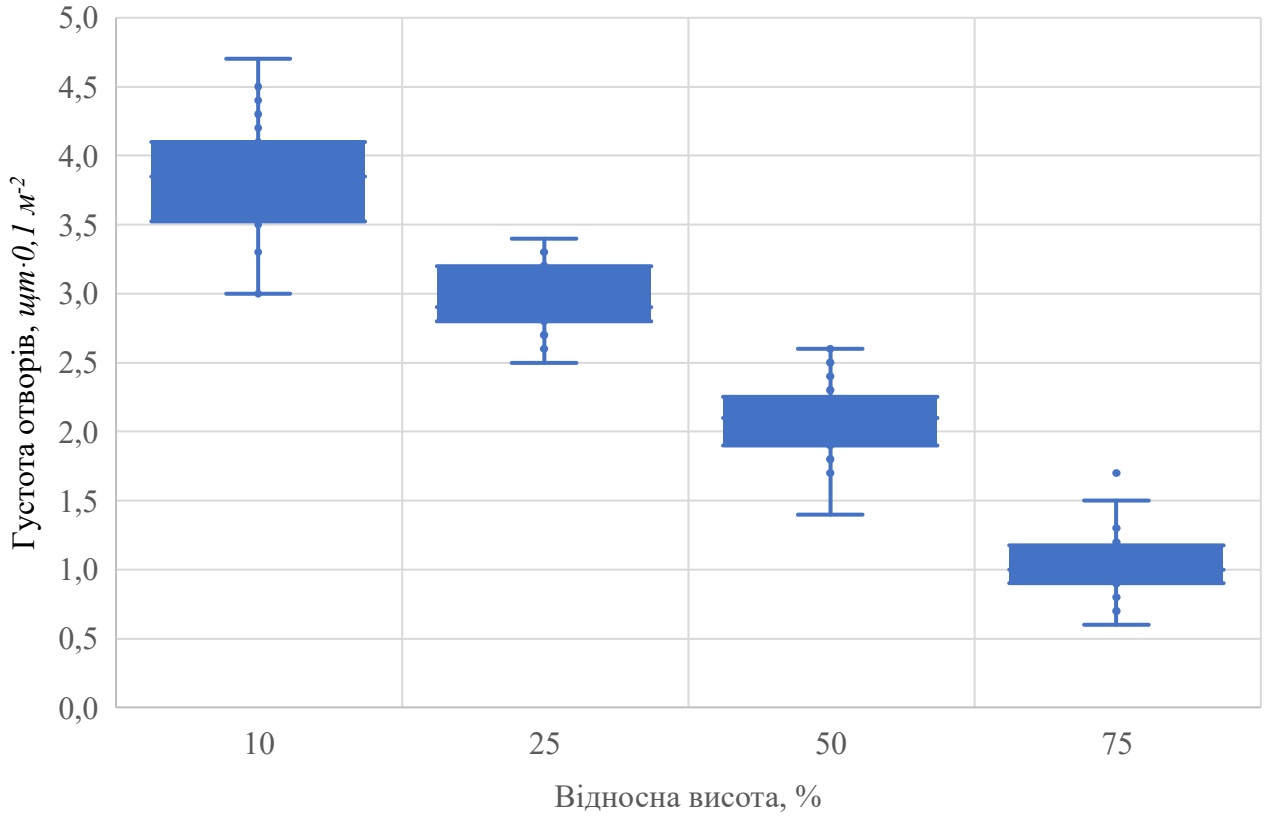


Рис. 4.10 – Густота отворів личинок комахи *Monochamus urussovi* за висотою стовбура

Біологічні пошкодження личинками чорного ялицевого вусача свідчать, що найбільших уражень зазнає стовбурна деревина від окоренкової частини до ¼ висоти стовбура (рис. 4.10). Треба зазначити, що діаметр червоточини (отворів у деревині) є більшим 3 *мм* і знижує сортність круглих лісоматеріалів

до класу якості деревини D. Враховуючи вищезазначене рекомендуємо фахівцям лісової галузі своєчасно виявляти дерева ялиці білої, які є біологічно пошкоджені комахами камбіо- та ксилофагів та проводити їх заготівлю. Статистичну характеристику пошкодження стовбурної деревини ялиці білої червоточеною подано у табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Статистична характеристика пошкодження деревини червоточиною

Показники		Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
Серединний діаметр стовбурів без кори, см		21	$37^{\pm 1,02}$	54	25,9	2,7
Діаметр отворів, мм		3,66	$5,38^{\pm 0,08}$	6,70	13,9	1,5
Густота отворів, шт.·0,1 м$^{-2}$						
Відносна висота стовбура	*10%*	3,0	$3,8^{\pm 0,09}$	4,7	11,4	2,3
	25%	2,5	$2,9^{\pm 0,07}$	3,4	8,9	2,3
	50%	1,4	$2,1^{\pm 0,05}$	2,6	12,6	2,2
	75%	0,6	$1,1^{\pm 0,07}$	1,7	26,3	6,6
Середнє значення		1,7	$3,3^{\pm 0,08}$	4,7	23,9	2,5

Серединний діаметр досліджуваних стовбурів перебуває у межах від 21 до 54 *см* із середнім значенням 37 *см*, що дало змогу проаналізувати особливості пошкодження червоточиною за висотою та віком дерева. Діаметр отворів змінювався від 3,66 *мм* до 6,70 *мм* із середнім діаметром 5,38 *мм*. Результати дослідження густоти отворів за висотою дерева стверджують про її зменшення зі збільшенням висоти стовбура. На відносній висоті 10% густота отворів варіює від 3,0 до 4,7 *шт.·0,1 м$^{-2}$* із середнім значенням 3,8 *шт.·0,1 м$^{-2}$*. Найменшою густотою пошкодження червоточини характеризується стовбурна деревина на відносній висоті 75%, що змінюється від 0,6 до 1,7 *шт.·0,1 м$^{-2}$* із середнім значенням 1,1 *шт.·0,1 м$^{-2}$*. Однак варіація густоти пошкодження червоточиною істотно залежить від тривалості пошкодження личинкою комахи *Monochamus urussovi*. Узагальнюючи сказане доцільно вказати на зменшення

пошкодженням червоточиною від окоренкової частини стовбура до її вершини та на збільшення густоти отворів зі зростанням серединного діаметру круглого лісоматеріалу. Важливим є також те, що біологічно пошкоджені дерева ялиці білої є дуже привабливими для чорного ялицевого вусача.

Висновки до розділу

1. У відземковій частині стовбура довжина вади деревини окоренкуватість є менша на 54,5% у дерев ялиці білої віком до 75 років порівняно з деревами віком понад 75 років, що відчутно впливає на вихід високоякісної деревини. Безсучкова зона ялиці білої є приблизно на 35% більшою у дерев віком до 75 років порівняно з деревами старшими за 75 років, що частково обумовлено зменшенням абсолютної повноти у досліджуваних деревостанах.

2. Вада деревини рогівка істотно впливає на клас якості деревини ялиці білої віком понад 75 років, що перевищує 10% вмісту пізньої деревини в річному кільці. Ширина річного кільця у відземковій частині круглого лісоматеріалу у віковій групі понад 75 років є на 8,1% більшою порівняно з аналогічним показником для круглих лісоматеріалів у віковій групі від 59 до 75 років.

3. Діаметр несправжнього ядра в ялиці білої віком понад 75 років є в середньому на 60,4% більшим від аналогічного показника для дерев віком менше 75 років. Деревина несправжнього ядра характеризується наявністю вади деревини “м’яка гнилизна”, яка зменшує якість деревини круглих лісоматеріалів до класу “D”.

4. Встановлено прямолінійну залежність між довжиною серединної окружності ділового лісоматеріалу та довжиною ділової деревини в стовбурі (висотою стовбура до початку крони) і між діаметром лісоматеріалів без кори у нижньому торці та довжиною вади деревини окоренкуватість.

5. Встановлено прямолінійну залежність між діаметром несправжнього ядра та серединним діаметром круглого лісоматеріалу ($d_{н.я.}$ = 1,13$d_{н.т.}$ - 29,45;

R^2 = 0,71), а також між діаметром несправжнього ядра та діаметром круглого лісоматеріалу у верхньому торці без кори ($d_{н.я.}$ = 0,83 $d_{½Lстов.}$ - 19,35; R^2 = 0,69).

6. У пошкоджених шкідниками ялицевих деревостанах встановлено, що зі збільшенням віку дерева збільшується кількість дерев ялиці білої із несправжнім ядром та площа грибного пошкодження заболонної деревини, а залежність між діаметром несправжнього ядра стовбура та віком дерева описується рівнянням першого порядку ($d_{н.я.}$ = 1,20A - 75,29, R^2 = 0,72).

7. Кваліметрія розмірно-якісних ознак ялиці білої у віковому діапазоні більше 75 років свідчить про значне зниження якості деревини у круглих лісоматеріалів, що зумовлене вадами деревини окоренкуватість, рогівка та несправжнє ядро.

8. Збільшення біологічних пошкоджень ялиці білої зі зміною висотно-екологічних умов описується експоненціальною залежністю, що пов’язано зі зростанням рясності хаменерія вузьколистого від абсолютної висоти. Найбільшим біологічним пошкодженням піддається ялиця біла у висотно-екологічному поясі понад 801 *м н.р.м.* із стовбурною деревиною 3-го класу стійкості.

РОЗДІЛ 5
КВАЛІМЕТРІЯ ПРИРОДНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕРЕВИНИ

Ефективне використання деревинної сировини доцільно пов’язувати із вмінням визначати кваліметричні ознаки стовбурної деревини, які істотно впливають на фізико-механічні властивості деревини. Знання особливостей формування якісних характеристик стовбурної деревини має важливе значення у відборі цільових сортиментів у лісогосподарському та деревоообролювальному виробництвах. Особливої уваги потребує вивчення інтегрального показника природної стійкості деревини – її щільності в контексті впливу біологічних шкідників на якісні властивості деревини як природного матеріалу. Вивчення фізичної якості деревини та її природної стійкості під впливом біологічних та екологічних чинників завжди привертало увагу багатьох дослідників [93, 107, 148, 153, 164, 183]. Варто вказати на значні досягнення щодо вивчення впливу екологічних факторів на анатомічні та фізико-механічні властивості більшості промислових деревних видів України [75, 100, 103, 113, 188, 198, 211, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Водночас питання природної стійкості стовбурної деревини ялиці білої проти шкідників є малодосліджене.

5.1. Вплив грибних уражень на об’ємну масу деревини

До важливих лісівничо-таксаційних візуальних критеріїв відбору дерев із високоякісною деревиною доцільно зарахувати прямий та повнодеревний стовбур, який характеризується високими показниками поточного приросту, очищенням стовбура від сучків як мінімум до 1/3 його висоти та добрим заростанням місць відмерлих сучків, а також вузькою та невеликою за довжиною кроною овальної форми [5, 15, 33, 36, 56, 73]. Водночас значний вплив на якісні характеристики деревини мають грибні ураження, наслідком яких є біодеградація клітинної стінки деревини, що зумовлює зменшення щільності стовбурної деревини та зниження її класу стійкості. Вплив

деревинозабарвлювальних – *Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz, *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd.) та деревиноруйнівних – *Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.) грибів на об'ємну масу деревини ялиці білої подано в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Об'ємна маси здорової та із грибним ураженням деревини, *кг·м*$^{-3}$

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
1	2	3	4	5	6
Здорова деревина					
$\rho_б$	362	$392^{\pm 3,17}$	457	5,7	0,8
ρ_0	412	$449^{\pm 3,27}$	517	5,2	0,7
$\rho_{10\%}$	429	$470^{\pm 4,00}$	543	6,0	0,9
$\rho_{с.з.с.}$	845	$949^{\pm 7,87}$	1099	5,9	0,8
$W_{абс.}$, %	121,0	$134,7^{\pm 1,20}$	148,3	6,3	0,9
Початкове ураження деревини грибами: *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd.					
$\rho_б$	331	$361^{\pm 3,20}$	419	6,3	0,9
ρ_0	382	$403^{\pm 3,52}$	449	6,2	0,9
$\rho_{10\%}$	403	$440^{\pm 2,80}$	471	4,5	0,6
$\rho_{с.з.с.}$	787	$847^{\pm 5,34}$	908	4,5	0,6
$W_{абс.}$, %	100,2	$120,4^{\pm 1,50}$	135,8	8,8	1,2
Середнє ураження деревини грибами: *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.					
$\rho_б$	249	$283^{\pm 2,28}$	309	5,7	0,8
ρ_0	281	$321^{\pm 2,38}$	368	5,2	0,7
$\rho_{10\%}$	300	$343^{\pm 3,75}$	389	7,7	1,1
$\rho_{с.з.с.}$	503	$610^{\pm 5,24}$	678	6,1	0,9

$W_{абс.}$, %	92,5	$109,6^{\pm 0,85}$	118,8	5,5	0,8

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5	6
Значне ураження деревини грибами: *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.					
$\rho_б$	195	$246^{\pm 2,44}$	283	7,0	1,0
ρ_0	232	$279^{\pm 2,47}$	335	6,3	0,9
$\rho_{10\%}$	268	$318^{\pm 2,70}$	347	6,0	0,9
$\rho_{свіж.дер.}$	513	$560^{\pm 3,54}$	619	4,5	0,6
$W_{абс.}$, %	90,4	$96,1^{\pm 0,43}$	103,0	3,2	0,4

Примітка: $\rho_б$ – базисна щільність деревини; ρ_0 – щільність деревини в абсолютно-сухому стані; $\rho_{10\%}$ – щільність деревини при абсолютній вологості 10%; $\rho_{с.з.с.}$ – щільність свіжозрубаної деревини; $W_{абс.}$ – абсолютна вологість свіжозрубаної деревини.

Результати дослідження початкової стадії ураження деревинозафарбувальними грибами *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. впродовж 6 місяців свідчать про незначний вплив біологічного пошкодження на щільність стовбурної деревини. Базисна щільність деревини на початковій стадії ураження змінюється від 331 до 419 $кг \cdot м^{-3}$ із середнім значенням 361 $кг \cdot м^{-3}$, яке є на 7,9% меншим від середнього значення здорової деревини. Відмінність базисної щільності здорової та біологічно пошкодженої деревини є меншою від допустимого значення варіації для об'ємної маси деревини, тобто 10% [15, 160, 177, 178]. Різниця щільності деревини в абсолютно сухому стані між біологічно непошкодженою та пошкодженою деревиною досягає 10,2%, що доцільно пов'язувати з висушуванням деревини до температури $100 \pm 5^{o}C$. Водночас доцільно вказати на подібну тенденцію зменшення щільності деревини за абсолютної вологості 10% та у свіжозрубаному стані, що свідчить про статистичну достовірність отриманих результатів дослідження впливу деревинозабарвлювальних грибів на фізичну якість деревини.

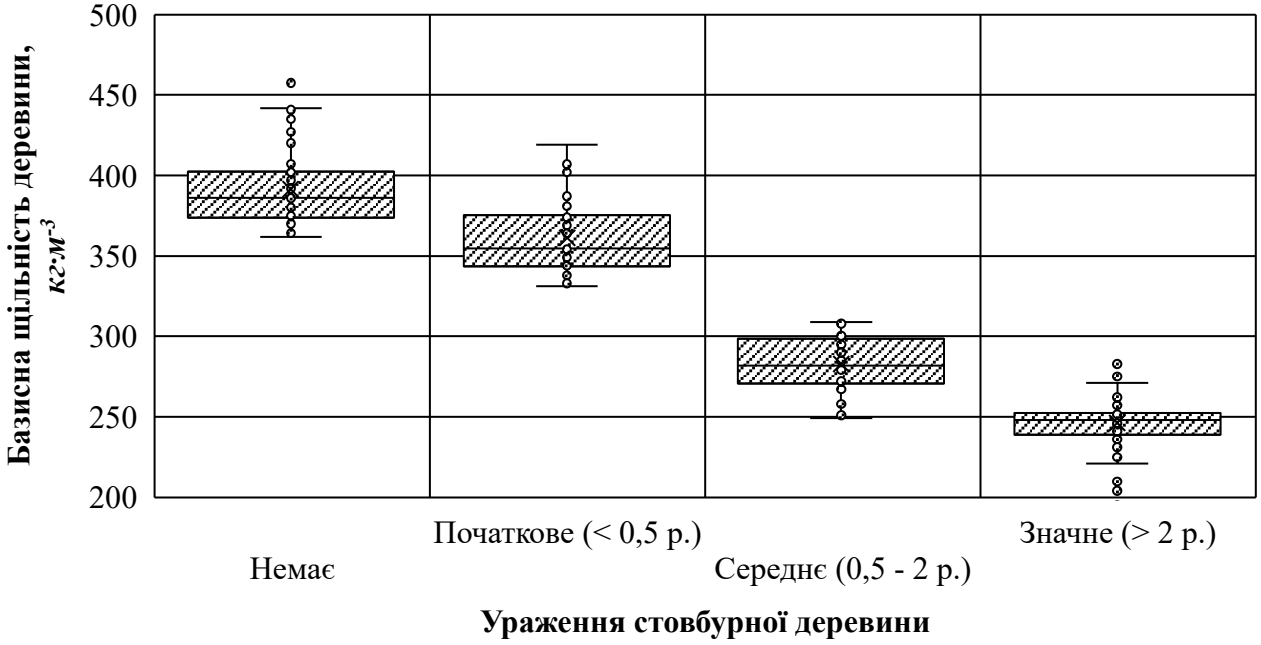
Базисна щільність деревини в середній стадії ураження деревиноруйнівними

грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж терміну від 6 місяців до 2 років перебуває у межах від 249 до 309 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 283 *кг·м*$^{-3}$, що є на 27,8% меншим від середнього значення щільності біологічно непошкодженої деревини ялиці білої. Різниця щільності здорової деревини в абсолютно сухому стані та у середній стадії біологічного пошкодження досягає 28,5…31,8%, що стверджує про істотну зміну фізичної якості стовбурної деревини. Така тенденція до зменшення об'ємної маси стовбурної деревини характерна для щільності деревини за абсолютної вологості 10% та у свіжозрубаному стані. Водночас зі зменшенням щільності деревини у середній стадії біологічного пошкодження відбувається зменшення вологопоглинання деревини порівняно зі здоровою деревиною ялиці білої. Біологічні пошкодження деревини грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців зумовлюють зменшення вологості свіжозрубаної деревини від 18,6 до 23,6%.

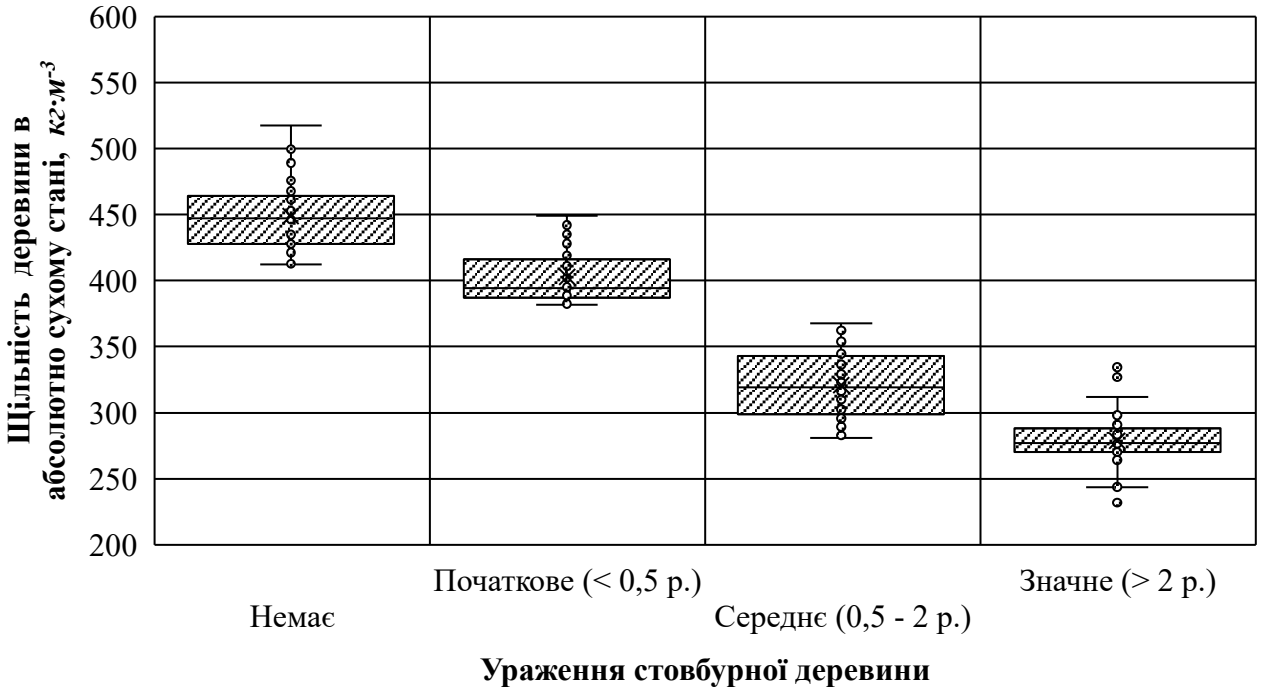
Значні біологічні пошкодження діагностовано в ялиці білої, ураженої *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродож більше 2 років. Базисна щільність деревини зі значними грибними ураженнями варіює від 195 до 283 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 246 *кг·м*$^{-3}$, значення якої є на 37,2…46,1% меншими від аналогічного показника здорової деревини. Різниця об'ємної маси деревини в абсолютно сухому стані досягає 35,2…43,7%, а щільності деревини за абсолютної вологості 10% – 32,3…37,5%. Важливо вказати також на істотну відмінність щільності деревини у свіжозрубаному стані та зменшення абсолютної вологості деревини у стадії значного грибного ураження.

Відчутну різницю різних видів щільності стовбурної деревини ялиці білої доцільно пов'язувати з біологічним руйнуванням клітинної стінки, тобто розкладанням її основних хімічних компонентів целюлози та лігніну деревиноруйнівними грибами з відділу *Basidiomycota* (*Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.). Отримані результати дослідження впливу деревинозабарвлювальних та деревиноруйнівних грибів на об'ємну масу

деревини дають змогу виділити чотири класи дерев ялиці білої за природною стійкістю стовбурної деревини та їх часові рамки: I) без ознак біологічного пошкодження і з грибними ураженнями деревини; II) до шести місяців (0,5 р.); III) від півроку до двох років (0,5–2 р.) та IV) більше двох років (>2р.) (рис. 5.1, 5.2).

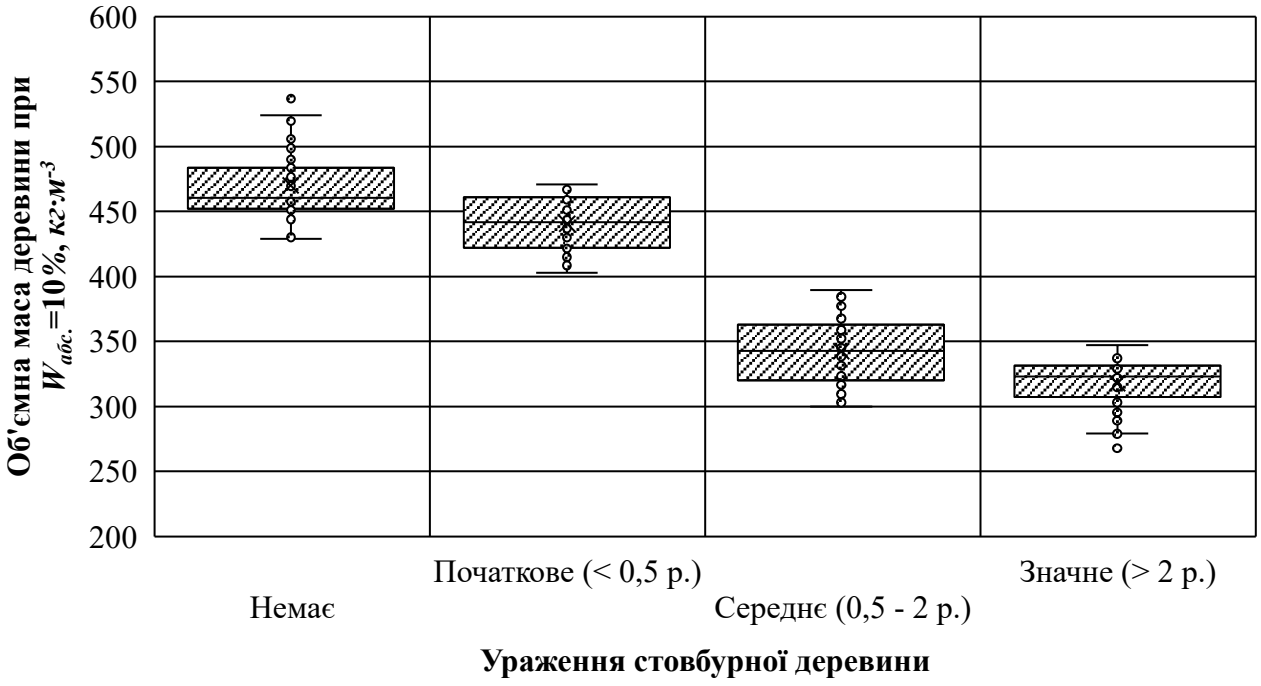


А)

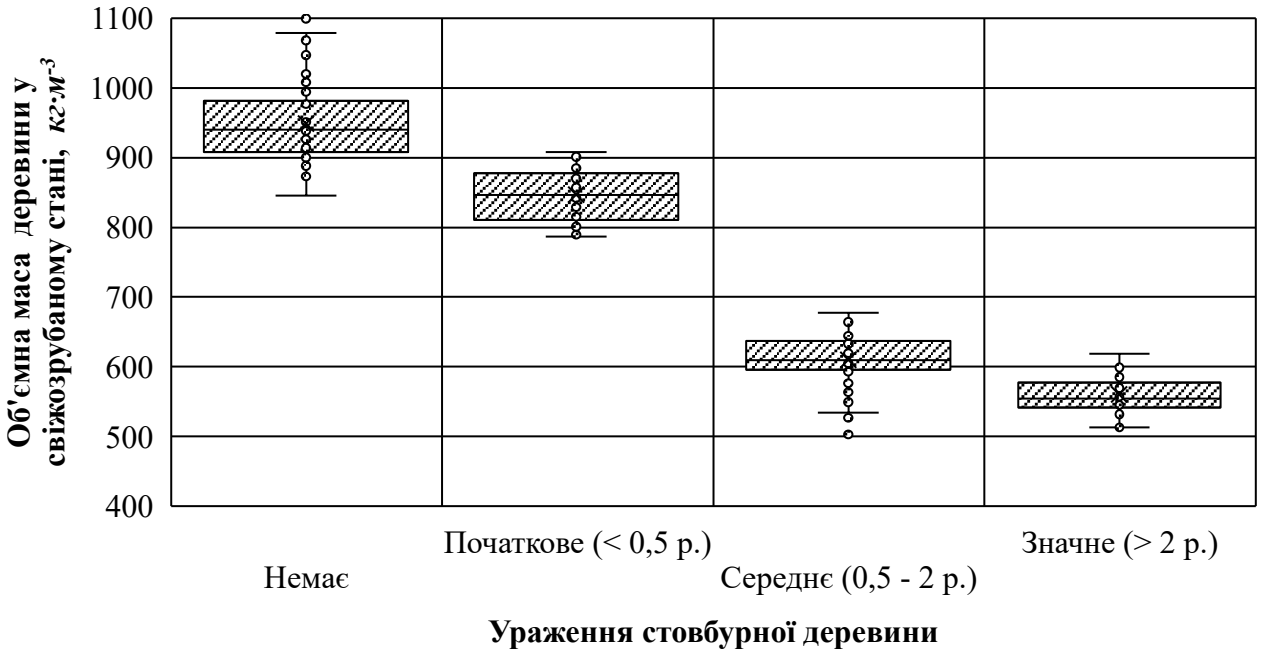


Б)

Рис. 5.1 – Вплив грибних пошкоджень на базисну щільність деревини (А) та щільність деревини в абсолютно сухому стані (Б)



А)



Б)

Рис. 5.2 – Вплив грибних уражень на щільність деревини при $W_{абс.}$=10% (А) та у свіжозрубаному стані (Б)

Як видно з рис. 5.1 та 5.2, деревинозабарвлювальні гриби не надто впливають упродовж перших шести місяців на об'ємну масу деревини ялиці білої, але доцільно вказати на зміну кольорового відтінку деревини, що істотно

впливає на якість пилопродукції та її використання у столярному виробництві. Водночас фізична та механічна якість деревини не зазнає значних змін. Хоча тривала дія трутовиків (*Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.) упродовж більше шести місяців зумовлює руйнування клітинної стінки ксилеми, що чітко простежується у різкому зменшенні різних видів щільності деревини. Дія деревиноруйнівних грибів більше двох років призводить до біодеградації стовбурної деревини, що зумовлює зменшення її об'ємної маси в два рази і більше. Заслуговує на увагу вивчення анізотропних властивостей та енергетичної цінності деревини. Деякі автори зазначають, що деревинознавчі аспекти впливу біологічних пошкоджень на розмірно-якісні ознаки круглих лісоматеріалів та властивості деревини доцільно враховувати не тільки під час визначення якості деревини (круглих лісоматеріалів), але й у період вирощування дерев із заданими властивостями деревини [48, 75, 84, 100, 124, 201]. У зв'язку із цим розкриття питання природної стійкості деревини та впливу різноманітних біолого-екологічних і антропогенних чинників на кваліметричні ознаки стовбурної деревини має теоретичне та практичне лісівниче значення для цільового використання високоякісних сортиментів ялиці білої.

Отже, результати дослідження впливу деревинозабарвлювальних (*Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz, *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd.) та деревиноруйнівних (*Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.) грибів на стовбурну деревину ялиці білої свідчать про істотне зменшення її об'ємної маси в лісорослинних умовах Українських Карпат. За видом та тривалістю біологічного пошкодження стовбурної деревини доцільно виділити чотири класи дерев ялиці білої за природною стійкістю: I) здорову деревину – без зовнішніх ознак біологічного пошкодження грибами; II) деревину з наявністю поверхневої (плівчастої) плісняви до шести місяців; III) деревину із середнім ураженням деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами від півроку до двох років; та IV) деревину зі значним ураженням деревиноруйнівними грибами більше двох років.

5.2. Природна стійкість стовбурної деревини, пошкодженої деревинозабарвлювальними та деревиноруйнівними грибами

Знання про анізотропні властивості деревини розкривають особливості структури та суть кваліметричних ознак деревини і є невід'ємною складовою прогнозування якісних характеристик виробів із деревини [3, 48, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 217]. Відомості про анізотропію всихання деревини на всіх етапах її технологічного оброблення дають змогу зрозуміти природу зміни фізичної та механічної якості деревини як конструкційного матеріалу та оцінити можливості цільового використання деревинної сировини. Практичного значення набуває вивчення впливу деревинозабарвлювальних та деревиноруйнівних грибів на показники лінійного всихання в тангентальному, радіальному та повздовжньому напрямках, а також на всихання за об'ємом і коефіцієнт поперечної анізотропії деревини ялиці білої (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Анізотропія всихання деревини здорової та із грибним ураженням, *%*

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
1	2	3	4	5	6
Здорова деревина					
β_t	7,1	$7,8^{\pm 0,05}$	8,4	4,6	0,7
β_r	3,1	$3,7^{\pm 0,04}$	4,6	8,2	1,2
β_l	0,1	$0,2^{\pm 0,02}$	0,5	51,3	7,3
β_V	10,4	$11,8^{\pm 0,08}$	12,9	4,6	0,7
Початкове ураження деревини грибами: *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd.					
β_t	7,0	$7,7^{\pm 0,05}$	8,4	4,8	0,7
β_r	2,9	$3,5^{\pm 0,05}$	4,3	9,2	1,3
β_l	0,1	$0,2^{\pm 0,02}$	0,4	57,2	8,1
β_V	10,4	$11,5^{\pm 0,08}$	12,6	4,7	0,7

Продовження табл. 5.2

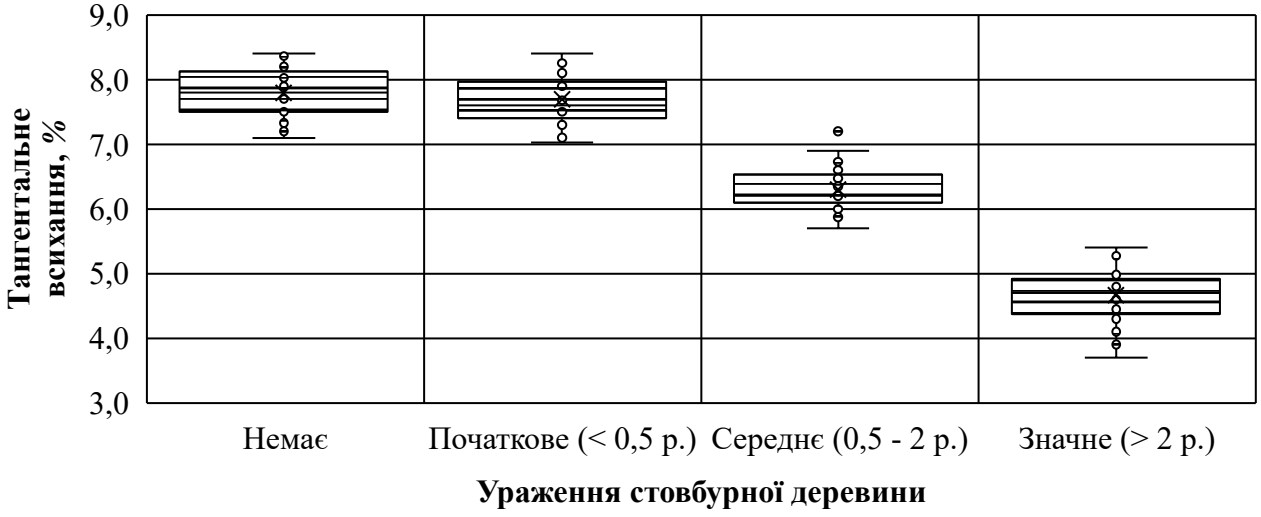
1	2	3	4	5	6
Середнє ураження деревини грибами: *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.					
β_t	5,7	$6,3^{\pm 0,05}$	7,2	5,1	0,7
β_r	2,0	$2,6^{\pm 0,05}$	3,5	12,1	1,7
β_l	0,1	$0,1^{\pm 0,01}$	0,2	35,0	5,0
β_V	8,4	$9,2^{\pm 0,06}$	9,9	4,8	0,7
Значне ураження деревини грибами: *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.					
β_t	3,7	$4,7^{\pm 0,06}$	5,4	8,7	1,2
β_r	1,4	$2,0^{\pm 0,04}$	2,7	15,0	2,1
β_l	0,1	$0,1^{\pm 0,001}$	0,1	0,0	0,0
β_V	5,8	$6,9^{\pm 0,08}$	7,7	7,9	1,1

Примітка: β_t – всихання деревини в тангентальному напрямку, *%*; β_r – всихання я деревини в радіальному напрямку, *%*; β_l – всихання деревини повздовж волокон, *%*; β_V – об'ємне всихання деревини, *%*.

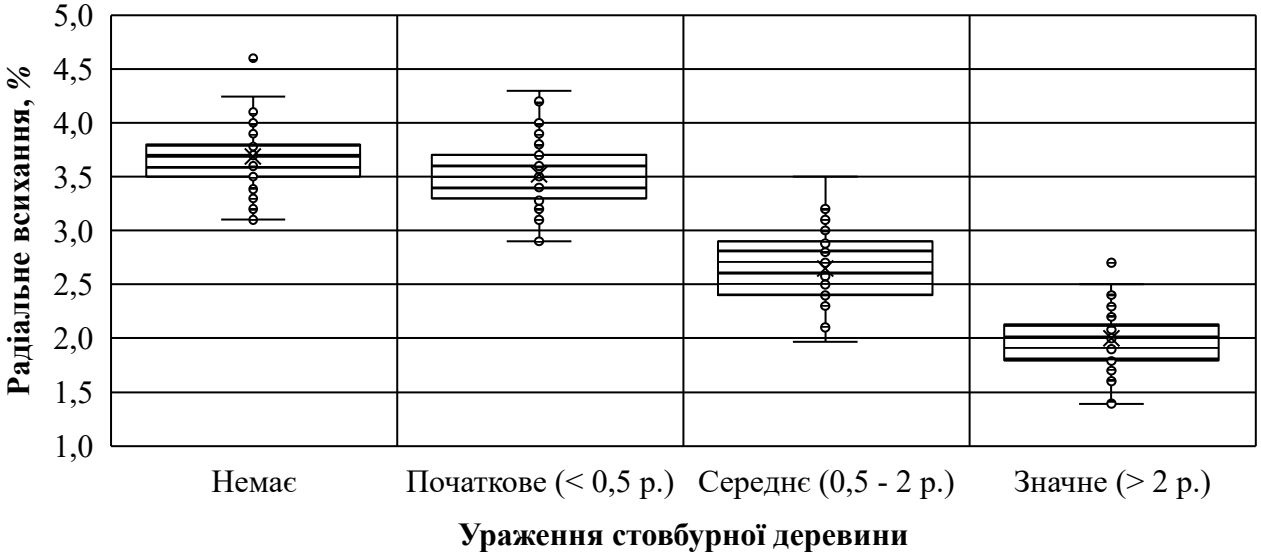
Тангентальне всихання біологічно непошкодженої (здорової) деревини варіює від 7,1 до 8,4*%* із середнім значенням 7,8*%*, що відповідає показниками висихання стиглої деревини ялиці білої (див. розд. 3.3). Аналогічні показники встановлено для радіального всихання деревини та за об'ємом. Тангентальне всихання деревини ураженої грибами: *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. впродовж перших шести місяців не надто відрізняється від подібного показника для здорової деревини. Водночас радіальне всихання деревини, яка уражена деревинозабарвлювальним грибом є на 5,4*%* меншим порівняно з аналогічним показником біологічно непошкодженої деревини ялиці білої.

Істотна різниця показників анізотропії всихання деревини властива для стовбурної деревини ялиці білої із грибними ураженнями *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців. Тангентальне

всихання деревини змінюється від 5,7 до 7,2% із середнім значенням 6,3%, а всихання в радіальному напрямку від 2,0 до 3,5% із середнім значенням 2,6%, середні значення яких є відповідно на 19,2 та 29,7% меншими від аналогічних показників всихання здорової деревини. Водночас доцільно зазначити також про подібну тенденцію до зменшення об'ємної маси деревини із середнім грибним ураженням. Аналогічна тенденція зменшення показників анізотропії всихання деревини властива в тангентальному напрямку та за об'ємом (рис. 5.3, 5.4).



А)



Б)

Рис. 5.3 – Показники тангентальне (А) та радіальне (Б) всихання деревини ялиці білої під впливом грибних уражень

Найбільша відмінність показників анізотропії всихання деревини характерна для стовбурної деревини біологічно пошкодженої деревиноруйнівними грибами впродовж більше 2 років. Тангентальне всихання перебуває у межах від 3,7% до 5,4% із середнім значенням 4,7%, різниця значень яких порівняно з біологічно непошкодженою деревиною ялиці білої досягає 35,7…47,9%. Відмінність показників радіального всихання між здоровою деревиною та зі значним грибним ураженням досягає 41,3…54,8%.

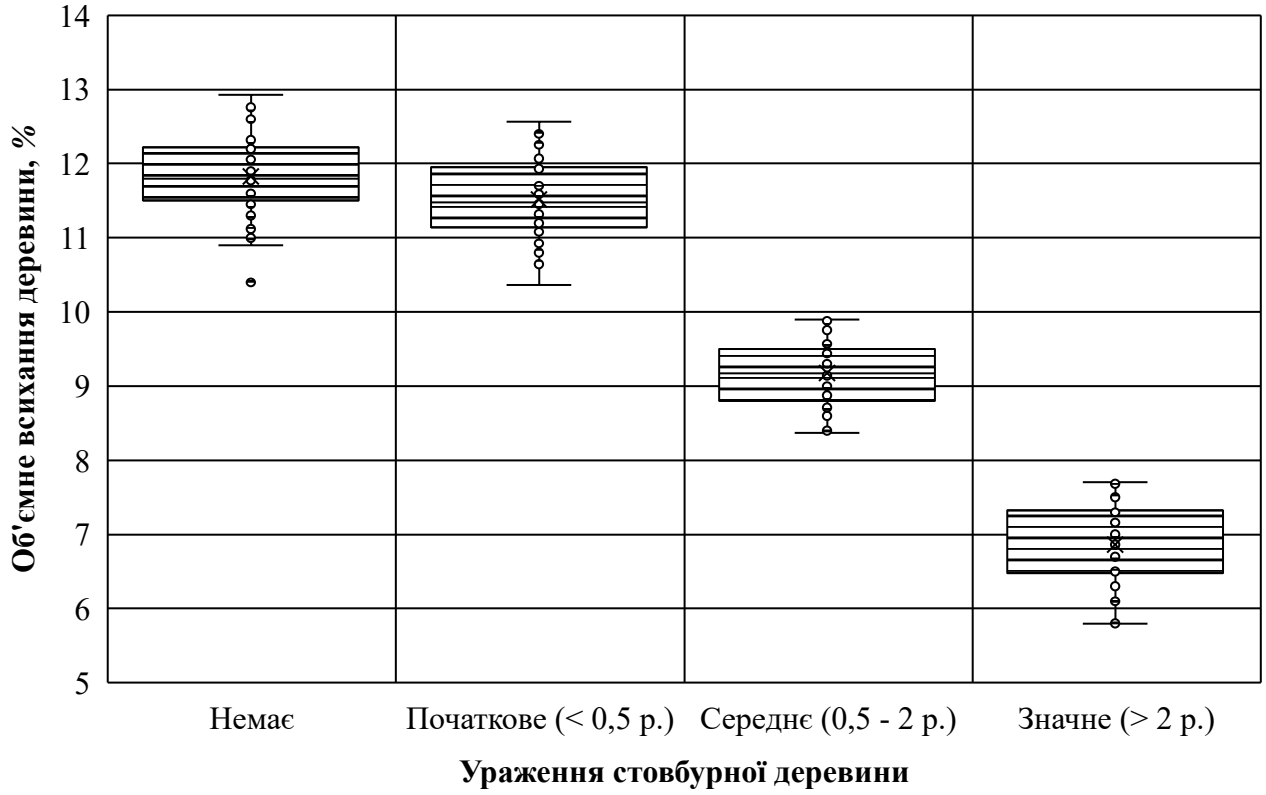


Рис. 5.4 – Показники всихання деревини ялиці білої за об’ємом під впливом біологічних пошкоджень

Як видно з рис. 5.4, біологічні пошкодження стовбурної деревини ялиці білої значно впливають на показники об’ємного всихання при ураженні деревиноруйнівними грибами впродовж періоду більше 6 місяців. Подібна тенденція зменшення якісних ознак властива також для різних видів об’ємної маси деревини, що доцільно враховувати у веденні лісового господарства, особливо з огляду на проведення своєчасної заготівлі якісної деревини. Відмінності показників анізотропії всихання деревини в ураженої грибами ялиці білої свідчать, що

біологічне руйнування деревини відбувається значно швидше в радіальному ніж у тангентальному напрямках.

5.3. Кваліметрія природної стійкості деревини

Визначення природної стійкості деревини ялиці білої доцільно пов'язувати з особливостями зміни візуальних ознак та фізичної якості стовбурної деревини внаслідок впливу грибних уражень (*Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz, *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd.), *Phellinus hartigii*, *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.)) та личинок комах камбіо- та ксилофагів. Для виокремлення кваліметричних ознак круглих лісоматеріалів важливим етапом є статистичний аналіз залежності між розмірно-якісними характеристиками стовбурної деревини [76, 99, 101, 114]. Кваліметрію природної стійкості деревини належить розглядати не тільки в розрізі вимірювання біологічних пошкоджень деревини, але й подальшої зміни її якісних характеристик, які охоплюють сукупність кваліметричних ознак, що пов'язані зі структурними відмінностями та фізичною якістю деревини і цільовим використанням деревинної сировини. Тому особливо важливим є розроблення деревинознавчих підходів раціонального використання круглих лісоматеріалів та математичних моделей для оцінювання якісних властивостей деревини ялиці білої.

Визначення якості деревини доцільно пов'язувати не тільки з її фізико-механічними показниками, але й декоративними властивостями [75, 103]. До переліку цих властивостей доцільно долучити пошкодження деревинозабарвлювальними грибами, які змінюють здебільшого текстурні ознаки деревини, а саме кольорові відтінки. Водночас ураження деревиноруйнівними грибами та личинками комах дещо погіршують не тільки фізичні властивості деревини, але й руйнують її структурну цілісність, що унеможливлює подальше використання деревини як конструкційного матеріалу. Діагностування якості деревини ґрунтується передусім на візуальному порівнянні кваліметричних характеристик здорової та біологічно

ураженої деревини, що передбачає визначення кольорових відтінків, наявності вад деревини та показників макроструктури. Статистичний аналіз парної залежності між об'ємною пористістю, щільністю та анізотропією всихання деревини ялиці білої, ураженої деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst, наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Кореляційна матриця властивостей деревини, ураженої деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst.

Показники деревини	β_t	β_r	β_V	$\rho_б$	ρ_0	$\rho_{10\%}$	$\rho_{с.з.с.}$	$П_0$	$П_б$
β_t	1	0,890**	0,985**	0,872**	0,860**	0,844**	0,860**	-0,861**	-0,872**
β_r	0,890**	1	0,954**	0,851**	0,844**	0,834**	0,845**	-0,844**	-0,851**
β_V	0,985**	0,954**	1	0,892**	0,882**	0,867**	0,883**	-0,882**	-0,892**
$\rho_б$	0,872**	0,851**	0,892**	1	0,987**	0,972**	0,926**	-0,987**	-1,000**
ρ_0	0,860**	0,844**	0,882**	0,987**	1	0,978**	0,925**	-1,000**	-0,987**
$\rho_{10\%}$	0,844**	0,834**	0,867**	0,972**	0,978**	1	0,927**	-0,978**	-0,972**
$\rho_{с.з.с.}$	0,860**	0,845**	0,883**	0,926**	0,925**	0,927**	1	-0,925**	-0,926**
$П_0$	-0,861**	-0,844**	-0,882**	-0,987**	-1,000**	-0,978**	-0,925**	1	0,987**
$П_б$	-0,872**	-0,851**	-0,892**	-1,000**	-0,987**	-0,972**	-0,926**	0,987**	1

Примітка. **Кореляція значна на рівні 0,01.

Дані кореляційної матриці свідчать про високу щільність зв'язків між показниками анізотропії усихання ураженої деревини та відповідними показниками об'ємної маси. Найбільше значення тісноти зв'язку властиве між об'ємним всиханням деревини та базисною щільністю деревини – 0,892. Високу щільність у кореляційній матриці між показниками фізичних властивостей ураженої деревини доцільно пов'язувати з рівномірним руйнування клітинної стінки деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. У зв'язку із цим прикладного значення набуває аналіз процесу біологічної деградації деревини в часі та відмінності

властивостей деревини відповідно до аналогічної кореляційної матриці досліджуваних показників для здорової деревини ялиці білої. Водночас доцільним є врахування макроструктурних особливостей деревини через вивчення кількість річних кілець в 1 *см*, що дає змогу візуально оцінити якісні відмінності стовбурної деревини в різних лісорослинних умовах та типах лісу [48, 101, 213]. Кореляційна матриця парних залежностей між показниками макроструктури, об'ємної пористості, щільності та анізотропії всихання здорової деревини ялиці білої наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Кореляційна матриця властивостей здорової деревини

Показники деревини	$N_{р.к.}$	ρ_{12}	ρ_0	$\rho_{с.з.с.}$	β_t	β_r	β_V	$П_0$
$N_{р.к.}$	1	0,930**	0,923**	0,657**	0,798**	0,782**	0,867**	-0,923**
ρ_{12}	0,930**	1	0,999**	0,763**	0,782**	0,843**	0,882**	-0,999**
ρ_0	0,923**	0,999**	1	0,760**	0,777**	0,842**	0,878**	-1,000**
$\rho_{с.з.с.}$	0,657**	0,763**	0,760**	1	0,622**	0,656**	0,692**	-0,760**
β_t	0,798**	0,782**	0,777**	0,622**	1	0,654**	0,929**	-0,777**
β_r	0,782**	0,843**	0,842**	0,656**	0,654**	1	0,870**	-0,842**
β_V	0,867**	0,882**	0,878**	0,692**	0,929**	0,870**	1	-0,878**
$П_0$	-0,923**	-0,999**	-1,000**	-0,760**	-0,777**	-0,842**	-0,878**	1

Примітка. **Кореляція значна на рівні 0,01.

Як видно з табл. 5.4, між кількістю річних кілець в 1 *см* та об'ємною масою деревини, показниками анізотропії усихання і абсолютною об'ємною пористістю деревини існує висока залежність. Коефіцієнти кореляції між досліджуваними властивостями перебувають у межах від 0,657 до 0,930. Доцільно зазначити, що досліджувані взірці деревини характеризувалися рівномірною структурою деревини та відсутністю вади деревини рогівки, тобто збільшення відсотку пізньої деревини в річному кільці. Водночас треба зазначити, що відмінності коефіцієнтів кореляції між досліджуваними показниками в грибом ураженої і здорової деревини ялиці білої є незначними,

що свідчить про рівномірне біологічне руйнування деревини впродовж двох років. Отже між показниками макроструктури, об'ємної маси та усихання ураженої грибом та здорової деревини ялиці білої існує кореляційна залежність, яка характеризується високими показниками тісноти зв'язку. Фізичні властивості ураженої деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. зменшуються рівномірно впродовж двох років.

Кореляційна матриця властивостей здорової та ураженої деревини ялиці білої свідчить про поступове зменшення природної стійкості деревної клітини в часі та зниження якості стовбурної деревини. Статистичний аналіз однорідності груп ялиці білої з різним ступенем грибного ураження стовбурної деревини відповідно до тесту Левене наведено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Однорідність груп ялиці білої за об'ємною масою деревини відповідно до її стану

Деревина		Щільність деревини			
		базисна	в абсолютно-сухому стані	в кімнатно-сухому стані	у свіжозрубаному стані
Здорова		392	449	470	949
Із грибним ураженням	початковим	361	403	440	847
	середнім	283	321	343	610
	значним	246	279	318	560
Показники Левене теста					
W- значення		*3,7*	*4,4*	*3,4*	*7,4*
p - значення		*0,013*	*0,005*	*0,018*	*0,000*

Як видно з табл. 5.5 *p – значення* тесту Левене менше критичного значення 0,05, що свідчить про статистично значущу різницю між різними групами деревини та їх однорідність в межах групи. Це відображає природну тенденцію зниження щільності деревини ялиці білої у часі в ураженої грибами

стовбурної деревини. Таким чином, візуальні та якісні ознаки в різних стадіях грибного ураження стовбурної деревини ялиці білої є важливим деревинознавчим інструментом під час моніторингу здорових насаджень щодо їх біологічного пошкодження. Своєчасне діагностування грибних уражень ялиці білої дозволить зменшити економічні втрати для лісогосподарських підприємств Українських Карпат.

Висновки до розділу

Підсумовуючи отримані результати дослідження природнї стійкості деревини ялиці білої та її кваліметрію в Українських Карпатах можна зробити такі висновки:

1. Ураження деревинозафарбувальними грибами *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. впродовж 6 місяців не впливають помітно на щільність стовбурної деревини ялиці білої. Базисна щільність деревини на початковій стадії ураження змінюється від 331 $кг \cdot м^{-3}$ до 419 $кг \cdot м^{-3}$ із середнім значенням 361 $кг \cdot м^{-3}$.

2. Біологічні пошкодження деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців істотно впливають на об'ємну масу деревини. Базисна щільність деревини, ураженої грибами впродовж від 6 місяців до 2 років, зменшується на 27,8% порівняно зі щільністю біологічно непошкодженої деревини ялиці білої.

3. Відмінність об'ємної маси здорової деревини в абсолютно сухому стані та у середній стадії біологічного пошкодження деревини досягає 28,5…31,8%, а зі значними грибними ураженнями – 35,2…43,7%. Аналогічна тенденція характерна для базисної щільності деревини зі значним грибним ураженням.

4. Грибні ураження *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців відчутно впливають на тангентальне та радіальне всихання деревини ялиці білої, що зумовлює їх зменшення на 19,2% та 29,7% від аналогічних показників анізотропії всихання здорової деревини.

5. Зміна фізичних властивостей стовбурної деревини ялиці білої внаслідок

грибних уражень *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. упродовж більше 6 місяців зумовлює зменшення якісних характеристик деревини, що належить враховувати у веденні лісового господарства з метою своєчасної заготівлі якісних круглих лісоматеріалів.

6. За природною стійкістю стовбурної деревини ялиці білої доцільно виділити чотири класи: I) здорову деревину – без зовнішніх ознак біологічного пошкодження грибами; II) деревину з наявністю поверхневої (плівчастої) плісняви до шести місяців; III) деревину із середнім ураженням деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами від півроку до двох років; та IV) деревину зі значним ураженням деревиноруйнівними грибами більше двох років.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі подано аналіз структурних аспектів біологічного пошкодження стовбурної деревини ялиці білої як важливого елементу лісової екосистеми. Досліджено макроструктурні відмінності, особливості формування об'ємної маси та анізотропії всихання стовбурної деревини та особливості біологічного ушкодження ялиці білої у різних висотно-екологічних умовах. Розглянуто лісівничо-таксаційні та деревинознавчі аспекти кваліметрії природної стійкості деревини ялиці білої в лісорослинних умова Українських Карпат.

1. Виділені три класи стійкості деревини за кількістю річних кілець в 1 *см*: 1-й клас характерний у вологій грабово-буковій суяличині та яличині на абсолютній висоті нижче 600 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$; 2-й клас – у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині на абсолютній висоті від 601 до 800 *м н.р.м.* із 3 *шт.·см*$^{-1} \leq N_{р.к.} \leq 5$ *шт.·см*$^{-1}$ та 3-й клас – у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині на абсолютній висоті понад 800 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} > 5$ *шт.·см*$^{-1}$.

2. За об'ємною масою деревини виділено три класи стійкості: 1-й клас має стандартну щільність деревини менше 440 *кг·м*$^{-3}$, 2-й клас –від 441 до 499 *кг·м*$^{-3}$ та 3-й клас – більше 500 *кг·м*$^{-3}$. Середнє значення об'ємної маси деревини 3-го класу є на 27,2% більшим від аналогічного показника 1-го класу стійкості деревини і на 12,4% – від 2-го класу.

3. Найбільші значення анізотропії всихання деревини ялиці білої характерні для 3-го класу стійкості із кількістю річних кілець більше 5 *шт.·см*$^{-1}$ та стандартною щільністю більше 500 *кг·м*$^{-3}$. Показник усихання деревини за об'ємом змінюється від 11,4% до 13,5% із середнім значенням 12,7%, яке є на 11,5% більшим від аналогічного показника для 1-го класу стійкості.

4. Коефіцієнт анізотропії деревини 1-го класу стійкості ялиці білої змінюється від 2,27 до 2,00 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r}$ = 2,15, 2-го класу – від

1,91 до 2,23 із середнім значенням 2,05 та 3-го класу від 2,17 до 1,89 із середнім значенням $k_{\beta t/\beta r} = 2{,}03$.

5. Вада деревини окоренкуватість стовбура є менша на 54,5% у дерев ялиці білої віком до 75 років порівняно з деревами, старшими за 75 років і помітно впливає на вихід високоякісних повностовбурних круглих лісоматеріалів. Безсучкова зона ялиці білої є приблизно на 35% більшою у дерев віком до 75 років порівняно з деревами, старшими за 75 років і обумовлюється зменшенням абсолютної повноти у ялицевих деревостанах. Між довжиною серединної окружності ділового лісоматеріалу та довжиною ділової деревини в стовбурі (висотою стовбура до початку крони) і між діаметром лісоматеріалів без кори у нижньому торці та довжиною вади деревини окоренкуватість встановлено прямолінійну залежність.

6. Вада деревини рогівка істотно впливає на клас якості деревини ялиці білої, старшої за 75 років і перевищує допустиму норму 10% вмісту пізньої деревини в річному кільці. Ширина річного кільця у відземковій частині круглого лісоматеріалу у віковій групі понад 75 років є на 8,1% більшою порівняно з аналогічним показником для круглих лісоматеріалів у віковій групі від 59 до 75 років.

7. Діаметр несправжнього ядра в ялиці білої віком понад 75 років є в середньому на 60,4% більшим від аналогічного показника для дерев віком менше 75 років. Деревина несправжнього ядра характеризується наявністю вади деревини “м’яка гнилизна”, яка зменшує якість деревини круглих лісоматеріалів до класу “D”. Між діаметром несправжнього ядра та серединним діаметром круглого лісоматеріалу ($d_{н.я.} = 1{,}13 d_{н.т.} - 29{,}45$; $R^2 = 0{,}71$) і між діаметром несправжнього ядра та діаметром круглого лісоматеріалу у верхньому торці без кори ($d_{н.я.} = 0{,}83\ d_{½Lстов.} - 19{,}35$; $R^2 = 0{,}69$) встановлено прямолінійну залежність.

8. Збільшення кількості біологічних пошкоджень ялиці білої в розрізі зміни абсолютної висоти пов’язано зі зростанням рясності хаменерія вузьколистого і описується рівняннями експоненціальної залежності

$N_{біол.п.}$ = 13,178e^{0,001AB} (R^2 = 0.96) та $P_{зн.вуз.}$ = 0,0042e^{0,0083AB} (R^2 = 0.99). Найбільші біологічні пошкодження характерні для ялиці білої у висотно-екологічному поясі понад 801 *м н.р.м.* із стовбурною деревиною 3-го класу стійкості.

9. Ураження деревинозафарбувальними грибами *Aspergillus sp., Ceratocystis comatum* Mill. & Cernz та *Ceratocystis coeruleum* (Munch.) H. et Syd. впродовж 6 місяців майже не впливають на щільність стовбурної деревини ялиці білої. Базисна щільність деревини на початковій стадії ураження змінюється від 331 *кг·м*$^{-3}$ до 419 *кг·м*$^{-3}$ із середнім значенням 361 *кг·м*$^{-3}$.

10. Біологічні пошкодження деревиноруйнівними грибами *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців істотно впливають на об'ємну масу деревини. Базисна щільність деревини, ураженої грибами впродовж від 6 місяців до 2 років, зменшується на 27,8*%* порівняно зі щільністю біологічно непошкодженої деревини ялиці білої. Відмінність об'ємної маси здорової деревини в абсолютно сухому стані та у середній стадії біологічного пошкодження деревини досягає 28,5…31,8*%,* а зі значними грибними ураженнями – 35,2…43,7%.

11. Грибні ураження *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. впродовж 6-24 місяців істотно впливають на тангентальне та радіальне всихання деревини ялиці білої, що зумовлює їх зменшення на 19,2*%* та 29,7*%* від аналогічних показників анізотропії всихання здорової деревини.

12. За природною стійкістю стовбурної деревини ялиці білої виділено чотири класи: I) здорову деревину – без зовнішніх ознак біологічного пошкодження грибами; II) деревину з наявністю поверхневої (плівчастої) плісняви до шести місяців; III) деревину із середнім ураженням деревинозафарбувальними та деревиноруйнівними грибами від півроку до двох років; та IV) деревину зі значним ураженням деревиноруйнівними грибами більше двох років.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Проводити лісогосподарські заходи спрямовані на локалізацію хаменерія вузьколистого у висотно-екологічному поясі понад 801 *м н.р.м.*, що зумовить зменшення біологічних пошкоджень ялиці білої.

2. Візуальне діагностування сортиментів ялиці білої за класами стійкості деревини проводити за кількістю річних кілець в 1 *см*: 1-й клас характерний у вологій грабово-буковій суяличині та яличині на абсолютній висоті нижче 600 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} < 3$ *шт.·см*$^{-1}$; 2-й клас – у вологій смереково-буковій яличині та буковій суяличині на абсолютній висоті від 601 до 800 *м н.р.м.* із 3 *шт.·см*$^{-1} \leq N_{р.к.} \leq 5$ *шт.·см*$^{-1}$ та 3-й клас – у вологій смереково-буковій суяличині та буковій яличині на абсолютній висоті понад 800 *м н.р.м.* із $N_{р.к.} > 5$ *шт.·см*$^{-1}$.

3. Використовувати кваліметричні особливості ялиці білої, у віці понад 75 років якої істотно збільшуються розмірні характеристики вад деревини окоренкуватість, рогівка та несправжнє ядро, а також збільшується кількість дерев ялиці білої із несправжнім ядром та площа пошкодження деревини.

4. Враховувати під час кваліметрії уражених дерев ялиці білої значне зменшення густоти та діаметру червоточини від відземкової частини до вершини стовбура, а також значну відмінність якісних властивостей стовбурної деревини внаслідок грибних уражень *Phellinus hartigii* та *Fomitopsis pinicola* (Swartz: Fr.) P. Karst. упродовж періоду більше 6 місяців порівняно зі здоровою деревиною.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андріанов М. С. Клімат. *Природа Українських Карпат*. 1968. С. 87–101.

2. Атлас древесины и волокон для бумаги / Чавчавадзе Е. С. и др.; под ред. Е. С. Чавчавадзе. М. : Ключ, 1992. 329 с.

3. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. М. : Лесн. пром-сть., 1989. 296 с.

4. Білик Г. І., Брадіс Є. М. Геоботанічне районування Української РСР. *Український ботанічний журнал*. 1962. Т. XIX, № 4. С. 326–334.

5. Білоус В. І. Лісова селекція : навч. посіб. Умань : Уманське видавничо-поліграфічне п-во, 2003. 534 с.

6. Біологічний захист рослин / Дядечко М.П. та ін.; за ред. Дядечка М.П. та Падія М.М. . Біла Церква, 2001. 312 с.

7. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М. : Лесн. пром-сть., 1989. 294 с.

8. Бродович Р. І., Кацуляк Ю. Д., Гудима В. М. Проблеми відтворення біорізноманіття ялицевих лісів у Карпатському регіоні. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість.* 2006. Вип. 31. С. 32–38.

9. Бродович Р. І., Порада Т. М., Равлюк І. П. Сучасний стан і науково-обґрунтована стратегія відтворення ялицевих лісів Українських Карпат. *Наук. вісн. УкрДЛТУ*. 2003. Вип. 13.3. С. 199–206.

10. Василишин Р. Д. Методичні особливості та результати дослідження надземної фітомаси дерев ялиці білої в лісостанах Українських Карпат. *Наук. вісн. НАУ*. 2006. Вип. 96. С. 189–194.

11. Василишин Р. Д. Моделювання якісних параметрів фітомаси стовбурів дерев ялиці білої в природних лісостанах Карпат. *Наук. вісн. НАУ*. 2006. Вип. 102. С. 206–210.

12. Василишин Р. Д., Лакида П. І. Аналіз продуктивності ялицевих деревостанів Українських Карпат. *Наук. вісн. НАУ*. 2005. Вип. 83. С. 282–287.

13. Василишин Р. Д., Лакида П. І., Василишин О. М. Надземна фітомаса дерев

ялиці білої (*Abies alba* Mill.) у деревостанах Українських Карпат. *Наук. вісн. НЛТУ*. 2007. Вип. 17.1. С. 28–34.

14. Василишин Р. Д. Продуктивність та надземна фітомаса лісостанів ялиці білої в Українських Карпатах : дис... канд. с.-г. наук: 06.03.02 / Національний аграрний університет. Київ, 2007. 235 с.

15. Вінтонів І. С., Сопушинський І. М. , Тайшінґер А. Деревинознавство : навч. посіб. Вид. 2-ге, переробл. і допов. Львів : Апріорі, 2007. 312 с.

16. Влияние структурных изменений ксилемы пихты белой на объёмную массу древесины / И. Сопушинский, Я. Кополовец, И. Тымочко, Р. Максымчук. *Ştiinţa agricolă*. 2019. 1. С. 94–99.

17. Влияние типов леса на объёмную массу древесины сосны обыкновенной в лесорастительных условиях Прикарпатья / И. Сопушинский, Я. Кополовец, И. Тымочко, Р. Максымчук. *Ştiinţa agricolă*. 2019. Т.2. С. 79–84.

18. Генсирук С. А. Ельники Восточных Карпат. Львов : Изд-во Львов. лесотех. ин-та, 1957. 128 с.

19. Генсірук С. А. Ліси України. Львів : НТШ, УкрДЛТУ, 2002. 495 с.

20. Герушинський З. Ю. Типологія лісів Українських Карпат : навч. посіб. Львів : Піраміда, 1996. 208 с.

21. Голубец М. А. Пихтовые леса (формация *Abietea*) / М. А. Голубец // *Украинские Карпаты. Природа*. 1988. С. 86–91.

22. Голубец М. А. Два подвида *Picea excelsa* Link, и вопрос об их ареалах. *Ботанический журнал.* 1960. Т. 45, № 5. С. 684–694.

23. Голубец М. А. Ельники Украинских Карпат. К. : Наук. думка, 1978. 264 с.

24. Голубець М. А. Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. *Праці НТШ*. 2003. Т. XII. С. 283–292.

25. Голубець М. А. Екологічний потенціал наземних екосистем. Львів : Поллі, 2003. 180 с.

26. Голубець М. А. Сучасні проблеми лісознавства, лісівництва та лісового господарства. *Наук. праці ЛАНУ.* 2003. Вип. 2. С. 20–26.

27. Голубець М. А. Лісорослинне і лісогосподарське районування Українських

Карпат. *Використання лісових багатств*. 1966. С. 40–52.

28. Голубець М. А., Половніков Л. І. Загальні закономірності нагромадження фітомаси в смерекових лісах. *Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат.* 1975. С. 61–68.

29. Голубець М. А., Гаврусевич А. Н., Загайкевич І. К. Природа Українських Карпат. К. : Наук. думка, 1988. 208 с.

30. Гордієнко М. І., Корецький Г. С., Маурер В. М. Лісові культури. К. : Сільгоспосвіта, 1995. С. 294–306.

31. Горошко М. П., Карабчук Д. Ю. Аналіз структури надземної фітомаси високогірного смеречника. *Науковий вісник НАУ*. 2002. Вип. 50. С. 260–264.

32. Горошко М. П., Миклуш С. І. , Хомюк П. Г. Біометрія : навч. посіб. Львів : Камула, 2004. 236 с.

33. Гриб В.М., Осадчук Л.С., Гриб І.В. Відтворення соснових деревостанів Східного Полісся України : монографія. Київ : ЦП Компрінт, 2016. 234 с.

34. Гриник Г. Г. Лісівничо-таксаційна характеристика ялицевих деревостанів Українських Карпат з урахуванням особливостей рельєфу. *Наук. вісн. НЛТУ України.* 2011. Вип. 21.13. С. 17–28.

35. Гриник Г. Г. Ріст та продуктивність головних лісотвірних порід Українських Карпат залежно від особливостей рельєфу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра с.-г. наук : 06.03.02. К., 2013. 40 с.

36. Гром М. М. Лісова таксація : підруч. Львів : РВВ НЛТУ України, 2007. Вид. 2-е, переробл. і допов. 416 с.

37. Дебринюк Ю. М. Фізичні властивості деревини *Picea abies* [L.] Karst. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Вип. 18. 11. С. 10–21.

38. Дебринюк Ю. М. Теоретико-методологічні основи групування дерев хвойних порід в одновікових штучних лісових насадженнях. *Наукові праці ЛАН України*. 2009. Вип. 7. С. 51–61.

39. Дебринюк Ю. М. Фізичні властивості деревини ялини європейської та ялиці білої в лісових культурах Прикарпаття. *Наукові праці ЛАН України*. 2007. Вип. 5. С. 51–56.

40. До питання діагностування *Picea abies* Karst. з резонансною деревиною / І. І. Харитон та ін. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень* : матеріали 2-а міжн. наук.-техн. конф., 24-25 квіт. 2015 р. Чернівці: Друк Арт, 2015. С. 293–295.

41. До питання методики визначення щільності деревини у зв'язку із зміною вологості / І. Сопушинський та ін. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2003. Вип. 13.3. С. 14–22.

42. Дослідження причин всихання деревостанів ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в Українських Карпатах / О. О. Погрібний та ін. *Наук. дісн. НЛТУ України*. 2018. 28.8. С. 9–13.

43. Древесные породы мира / под ред. Г. И. Воробьева. М. : Лесн. пром-сть, 1982. Т. 2. 352 с.

44. ДСТУ 4756: 2007 Захист рослин. Терміни та визначення понять. Київ : Держстандарт України, 2008. 38 с.

45. Задорожний А. І. Структура надземної фітомаси букових і ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат: дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02 / Національний лісотехнічний університет України. Львів, 2021. 253 с.

46. Заячук В. Я. Дендрологія : підруч. Львів : Апріорі, 2008. 656 с.

47. Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів. Київ : ДП “Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр”, 2019. 277 с.

48. Зв'язок властивостей деревини та якості виробів з деревини / І. Сопушинський та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2007. Вип. 17.4. С. 101–108.

49. Карабчук Д. Ю. Диференціація та надземна фітомаса дерев ялини європейської у природних лісостанах басейну Черемошу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : 06.03.02 / НУБіП України. К., 2013. 22 с.

50. Карабчук Д. Ю. Надземна фітомаса дерев ялини європейської в природних лісостанах. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. Вип. 45.

С. 150–158.

51. Карабчук Д. Ю., Горошко М. П. Аспекти таксації фітомаси смерекових деревостанів басейну Черемошу в системі раціонального лісокористування. *Наукові праці ЛАН України*. 2010. Вип. 8. С. 91–96.

52. Карасев В. Н., Карасева М. Н. Влажность древесины хвойных пород в годичной динамике. *Современные проблемы древесиноведения*. 1996. С. 31–32.

53. Колесникова А. А. Влажность древесины ели и её изменение во времени. *Деревообрабат. пром-сть*. 1998. № 4. С. 23–24.

54. Колесникова А. А., Мазуркин П. М. Изменение свойств древесины по радиусу ствола ели. *Деревообрабат. пром-сть*. 1997. № 5. С. 23–25.

55. Коліщук В. Г., Сорока М. І. , Юськевич Т. В. Ботаніка : навч. посіб. Львів : НЛТУ України, 2011. 507 с.

56. Колосок О. М. Продуктивність і структура фітомаси штучних лісостанів ялини європейської в Українських Карпатах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.02 / НУБіП України. К., 2002. 20 с.

57. Копій Л. І. Методологічні основи оптимізації лісистості західного регіону України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2005. Вип. 15.3. С. 28–35.

58. Копій Л. І. Перспективи розширення лісоресурсного потенціалу Західного регіону України. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 2006. Вип. 32. С. 229–238.

59. Король М. М. Особливості формування ялинових деревостанів у Горганах (Українські Карпати) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук : спец. 06.03.02 / НАУ. 2004. 19 с.

60. Крамарець В. О. Ялинники Українських Карпат: стан та підвищення біотичної стійкості [рукопис] : дис. на здобуття наук. ступенядоктора с.-г. наук: 06.03.03 / НЛТУ України. Львів, 2021. – 419 с.

61. Крамарець В. О., Мацях І. П. Роль біотичних чинників у всиханні ялинників Українських Карпат. *Наукові праці ЛАН України*. 2018. 17. С. 121–132.

62. Крамарець В. О., Мацях І. П. Біологічний захист рослин : навч. посіб. Львів : Панорама, 2017. 112 с.

63. Криницький Г. Т. Морфофізіологічні основи збереження і відтворення кедрових лісів в Українських Карпатах. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2004. Вип. 106. С. 181–189.

64. Крюсман Г. Хвойные породы. М. : Лесн. пром-сть, 1986. 255 с.

65. Кучерявий В. П. Екологія : підруч. Львів : Світ, 2001. 500 с.

66. Лакида П. І. Фітомаса лісів України : монографія. Тернопіль : Збруч, 2002. 256 с.

67. Лакида П. І., Володимиренко В. М. Штучні ялинові деревостани Українських Карпат – прогнозросту та продуктивності: монографія. К. : ННЦ "Інститут аграрної економіки", 2008. 158 с.

68. Лакида П. І., Колосок О. М. Фітомаса та депонований вуглець у насадженнях основнихтипів умов місцезростання штучних смеречників Карпат. *Науковий вісник НАУ*. 2000. Вип. 27. С. 305–310.

69. Ліси Закарпаття: сучасний стан, використання та охорона [текст] / Федурця І. Ю. та ін. Ужгород : Патент, 1997. 53 с.

70. Лісівництво : термілогічний словнк / Авт.-уклад. Бондаренко В. Д. та ін. Львів : НЛТУ України, 2006. 84 с.

71. Лісове насінництво : навч. посіб. / Дебринюк Ю. М., Калінін М. І., Гузь М. М., Шаблій І. В. Львів : Світ, 1998. 432 с.

72. Лісовий кодекс України : Закон України в редакція від 16.01.2020 р. № 3852-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1994. № 17. Ст. 99.

73. Лісові культури [текст] : підруч. / Гордієнко М. І., Гузь М. М., Дебринюк Ю. М., Маурер В. М. Львів : Камула, 2005. 608 с.

74. Мазепа В. Г. Регіональне лісівництво : консп. лекц. Львів : РВВ УкрДЛТУ, 2005. 91 с.

75. Максимчук Р.Т. Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат: дис. ... докт. філософії за спец. 205 / НЛТУ України. Львів, 2020. 197 с.

76. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М., Тимочко І.Я. Особливості формування річного кільця та базисної щільності прямоволокнистої та хвилясто-

завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2017. Вип. 27.9. С. 30–33.

77. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М., Кополовець Я.М., Заячук В.Я. Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип. 28.7. С. 44–48.

78. Методичні вказівки з нагляду, обліку та прогнозування поширення шкідників і хвороб лісу для рівнинної частини України / Мєшкова В.Л. та ін. Харків, 2019. 90 с.

79. Миклуш С. І., Вицега Р. Р. Черни М. Залежність збігу стовбура від його біометричних показників. *Науковий вісник НАУ*. 2006. Вип. 103. С. 178–185.

80. Мусієнко С. І. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Фітопатологія» для студентів 1 курсу денної форми навчання за спеціальністю 206 Садово-паркове господарство. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 300 с.

81. Некрасова, А. А. Свойства древесины хвойных пород в зависимости от условий произрастания. *Лесное хозяйство и лесоэксплуатация*. 1994. № 2. С. 22–24.

82. Осадчук Л. С., Гриб В. М., Юськевич Т. В. Смолопродуктивність соснових насаджень в умовах України: монографія. Київ : Наукова столиця, 2017. 364 с.

83. Особливості кваліметрії дров'яної деревини / І. М. Сопушинський та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.01. С. 162–166.

84. Особливості кваліметрії стовбурної деревини / І. М. Сопушинський та ін. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24. 11. С. 150–154.

85. Особливості росту вікових модельних дерев ялиці білої на гірських схилах у верхів'ї басейну ріки лімниці у Карпатах / Ю.І. Черневий та ін. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.7. С. 21–28.

86. Остапенко Б. Ф., Ткач В. П. Лісова типологія. Харків : ХДАУ, 2002. 204 с.

87. Парпан Т. В. Біоекологічні особливості ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в лісових біогеоценозах Передкарпаття : автореф. дис. … канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпрпетровськ, 2004. 20 с.

88. Пастернак В. П. Біопродуктивність лісів північного сходу України в

контексті змін клімату : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д. с.-г. наук : 06.03.02 та 06.03.03. К., 2011. 47 с.

89. Пихта / Крылов Г. В. и др. Москва : Агропромпздат, 1986. 239 с.

90. Полубояринов О. И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины : учеб. пос. Л. : ЛТА, 1974. 96 с.

91. Полубояринов О. И. Квалиметрия древесного сырья в процессе лесовыращивания : автореф. дисс. д. с.-х. наук. Л. : ЛТА, 1976. 46 с.

92. Полубояринов О. И. Оценка качества древесины в насаждении : учеб. пос. Л. : ЛТА, 1979. 76 с.

93. Полубояринов О. И. Плотность древесины. М. : Лесн. пром-сть., 1976. 160 с.

94. Порада Т. М. Восстановление пихты белой в Бескидах: автореф. дисс. канд. с.-х. наук: 06.03.01. Харьков, 1990. 19 с.

95. Правдин Л. Ф. Ель европейская и сибирская в СССР. М. : Наука, 1975. 176 с.

96. Природа Українських Карпат / за ред. К. І. Геренчук. Львів : Вид-во Львівського ун-ту, 1968. 267 с.

97. Рябчук В. П. Стандартизація і кваліметрія лісової продукції. Львів : УкрДЛТУ, 2001. 45 с.

98. Свириденко В. Є., Швиденко А. Й. Лісівництво : підруч. К. : Сільгоспосвіта, 1995. 364 с.

99. Сопушинский И., Максымчук Р., Кополовец Я. Структурное изменение стволовой древесины пихты белой в Украинских Карпатах. *Ştiinţa agricolă*. 2018. 47. С. 470–475.

100. Сопушинський І. М. Вплив лісорослинних умов південно-західного мегасхилу Українських Карпат на властивості деревини бука лісового (*Fagus sylvatica* L.): дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03 / УкрДЛТУ. Львів, 2001. 180 с.

101. Сопушинський І. М., Кополовець Я. М. Кваліметрія лісоматеріалів ялиці білої в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Вип. 29.7. С. 142–145.

102. Сопушинський І. М., Максимчук Р. Т., Кополовець Я. М. Збереження та

використання ялиці білої “хвилясто-завилькувальої”. *Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів України* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 22–25 жовт. 2018 р. Івано-Франківськ : НАІР, 2018. С. 394–397.

103. Сопушинський І. М. Внутрішньовидова диференціація клена-явора (*Acer pseudoplatanus*L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) і ясена звичайного (*Fraxinus excelsior*L.) за декоративністю деревини : дис. на здобуття наук. ступенядоктора с.-г. наук: 06.03.03 / НЛТУ України. Львів, 2014. 402 с.

104. Сопушинський І. М., Вінтонів І. С. Деревинознавство : практикум. Львів : Ліга-Прес, 2014. 144 с.

105. Сопушинський І. М., Клим Н. М., Харитон І. І. Європейський досвід ціноутворення на ринку круглих лісоматеріалів хвойних порід. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. Вип. 24. 10. С. 29–34.

106. СОУ 02. 02-37-476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. [Чинний від 2007]. К. : Мінагрополітики України, 2006. 32 с.

107. Справочное руководство по древесине / Лаборатория лесных продуктов США; пер. с англ. М. : Лесн. пром-сть, 1979. 544 с.

108. Тереля І. П. Ялиця біла (*Abies alba* Mill.) у лісах Українських Карпат: стан, відтворення та господарське використання : автореф. дис. … канд. с.-г. наук : 06.03.03. Львів, 2004. 19 с.

109. ТУУ 16.1-00994207-001:2018. Лісоматеріали круглі та пиляні. Візуальні характеристики. Класифікація, терміни та визначення, способи вимірювання. Технічні умови. Київ : Міністерство економічного розвитку, 2018. 132 с.

110. Тышкевич Г. Л. Еловые леса Советских Карпат. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 175 с.

111. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебн. Изд 4-е. М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 340 с.

112. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учебн. Изд. 3-е, перераб. и доп. М. : ООО "Бином-Пресс", 2007. 512 с.

113. Харитон І. І. Особливості формування резонансної деревини *Picea abies* (L.) Karst. в лісорослинних умовах північно-східного мегасхилу Українських Карпат : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03 / НЛТУ України. Львів, 2016. 191 с.

114. Харитон І. І., Сопушинський І. М. Якісні характеристики деревини *Picea abies* Karst. в умовах Українських Карпат. *Науковий вісник НУБІП України : Серія "Біологія, біотехнологія, екологія"*. 2015. Вип. 214. С. 288–293.

115. Харитон І. І., Сопушинський І. М. Особливості формування об'ємної маси та макроструктури деревини ялини європейської в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.02. С. 90–95.

116. Цилюрик А. В., Шевченко С. В. Лісова фітопатологія. К. : КВІЦ, 2008. 464 с.

117. Цыбык Б. Й. Строение и физико-механические свойства древесины европейской пихты (*Abies pectinata* D.C.) : автореф. дис. … канд. с/х. наук. Київ, 1963. 21 с.

118. Черневий Ю. І. Сукцесійні стадії типів лісу за участю бука, дуба та ялиці. *Наук. праці Лісівн. акад. наук України.* 2004. Вип. 3. С. 72–77.

119. Чернявський М., Теліш П., Коляджин І. Оптимізація структури мішаних ялицевих лісів басейну рік Сівка і Чечва у межах Передкарпаття на засадах наближеного до природного лісівництва. *Вісник Львівського університету. Серія географічна.* 2014. Вип. 45. С. 331–346.

120. Швиденко А. Й., Данілова О. М., Бойко І. Д. Географія типів лісу України. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2003. Вип. 13.3. С. 159–164.

121. Швиденко А. Й., Остапенко Б. Ф. Лісознавство : підруч. Чернівці : Зел. Буковина, 2001. 352 с.

122. Швыденко А. Й. Пихтовые леса Украины. Львов : Вища школа, 1980. 192 с.

123. Юськевич Т. В., Тереля І. П. Щільність деревини лісових хвойних видів України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.16. С. 27–31.

124. Barnett J., Jeronimidis G. Wood quality and its biological basis. Oxford: Blackwell, 2003. 226 p.

125. Bendtsen B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *For. Prod. J.* 1978. № 28. P. 61–71.

126. Blaschke M. Die Tanne und ihre Welt der Pilze. *LWF*. 2004. N45. S. 78–82.

127. Boa E. An illustrated guide to the state of health of trees: Recognition and interpretation of symptoms and damage. Rome: CABI Bioscience Egham, 2003. 55 p.

128. Bosshard H. H. Holzkunde. Zur Biologie, Physik, und Chemie des Holzes. 2. Aufl. Basel-Boston-Studgart : Birkhaeuser Verlag, 1984. 312 S.

129. Bosshard H. H. Holzkunde: Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. Basel : Birkhaeuser Verlag, 1982. 224 S.

130. Bowyer J. L. Shmulsky R., Haygreen J. G. Products and Wood Science. 5th Ed. Oxford : Blackwell, 2007. 576 p.

131. Camarero J. J., Gutiérrez E. Wood density of silver fir reflects drought and cold stress across climatic and biogeographic gradients. *Dendrochronologia*. 2017. Vol. 45. P. 101–112.

132. Can forests management based on natural disturbances maintain ecological resilience? / C.R. Drever et al. *Can. Jour. For. Res.* 2006. 36. P. 2285–2299.

133. Comparison of the Decay Behavior of Two White-Rot Fungi in Relation to Wood Type and Exposure Conditions / E. Bari et al. *Microorganisms*. 2020. 8(12). P. 1931.

134. Cowling E. B. Comparative biochemistry of the decay of Sweetgum sapwood by white-rot and brown-rot fungus. *U.S. Department of Agriculture, Forest Serv. Technol. Bull.* 1961. No. 1258. 50 p.

135. Die Weisstanne – ein Baum mit Zukunft / P. Muck et al. *LWF*. 2008. N67. S. 56–58.

136. Distinct effects of climate warming on populations of silver fir (Abies alba) across Europe / A. J. Gazol et al.. *Journal of Biogeography*. 2015. V. 42, Iss. 6. P. 1150–1162.

137. Diversity of wood-decaying fungi under different disturbance regimes – a case study from spruce mountain forests / Müller J. et al. *Biodiversity and Conservation*. 2012. 21 (1). P. 33–49.

138. Dobrowolska D. Growth and development of Silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration and restoration of the species in the Karkonosze Mountains. *J. For. Sci.* 2008. 54 (9). P. 398–408.

139. EN 1001-2, 2005. Durability of Wood and Wood-based Products. Terminology, Vocabulary. CEN, European Standardisation Institute, Brussels, Belgium.

140. EN 335, 2013. Durability of Wood and Wood-Based Products. Use Classes: Definitions, Application to Solid Wood and Wood-based Products. CEN, European Standardisation Institute, Brussels, Belgium.

141. EN 350, 2016. Durability of Wood and Wood-Based Products. Testing and Classification of the Durability to Biological Agents of Wood and Wood-Based Materials. CEN, European Standardisation Institute, Brussels, Belgium.

142. EN 1309-3:2018 Round and sawn timber – Methods of measurements – Part 3: Features and biological degradations. CEN, European Standardisation Institute, Brussels, Belgium.

143. Feemers M, Blaschke M, Lang KJ. Tannen-Rindennekrose – eine Komplexkrankheit an der Weißtanne. *AFZ/DerWald*. 2005. 60. S. 178–179.

144. Fengel D., Wegener G. Chemische Analysen von Fichtenholz nach 17 jaehriger Wasserlagerung. *Holz Roh-Werkst*. 1988. № 46. P. 7–8.

145. Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems / I. Thompson et al. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series 43, 2009. 67 p.

146. Glos P., Pahler A. Fichtenstarkholz – Problemsortiment oder Chance? *Schweiz Z Forstwes.* 2006. № 157. S. 539–545.

147. Growing valuable broadleaved tree species: COST E42: final report / Edited by G. Hemery et al. Freiburg im Br. : Uni-Freiburg, 2008. 40 p.

148. Gunderson L. Ecological resilience: in theory and application. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 2000. 31. P. 425–439.

149. Havill NP, Foottit RG. Biology and Evolution of Adelgidae. Annu Rev Entomol. 2007. 52. P. 325–349.

150. Haygreen J. G., Bowyer J. L. Forest products and wood science: 3. ed. Iowa : Iowa State Univ. Pr., 1996. 484 S.

151. Houllier F., Leban J. M. , Colin F. Linking growth modelling to timber quality assessment for Norway spruce. *For. Ecol. Manage*. 1995. № 74. P. 91–102.

152. How do log characteristics influence the occurrence of wood fungi in a mountain spruce forest? / V. Pouska et al. *Fungal Ecology.* 2011. 4 (3). P. 201–209.

153. Ibach R. E. Biological Properties of Wood : 2nd Ed. of Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites edited by Roger M. Rowell. NW: CRC Press, 2013. 687 p.

154. Intraspecific structural signs of curly silver fir (*Abies alba* Mill.) growing in the Ukrainian Carpathians / I. Sopushynskyy et al. *Journal of Forest Science*. 2020. 66 (7). P. 299–308.

155. Janssen J., Laatz W. Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows: eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests. Berlin : Springer, 2007. 817 S.

156. Jaworski A. Hodowla lasu: Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. Warszawa : PWRiL, 2011. 556 s.

157. John R. Tannen-Rindennekrose in Baumhölzern. *AFZ-DerWald.* 2011. 11. S. 30–33.

158. Kantola A., Mäkinen H., Mäkelä A. Stem form and branchiness of Norway spruce as a sawn timber – Predicted by a process based model. *For. Ecol. Manag*. 2007. № 241. P. 209–222.

159. Kohle U., Yue Ch., Cullmann D. Wachstum der Weisstanne in Suedwestdeutschland – Entwicklung, Klimarisiko und Verjuengung. Wissen. 2011. 66. S. 41–51.

160. Kollmann F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: Anatomie u. Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität u. Festigkeit: 2., neubearb. u. erw. Aufl. 1951, Repr. Berlin: Springer, 1982. 1050 S.

161. Kramer H. Waldwachstumslehre. Hamburg-Berlin : Parey, 1988. 374 S.

162. Kruessmann G. Taschenbuch der Gehölzverwendung. Hamburg-Berlin : Parey, 1970. 149 S.

163. Krzysik F. Nauka o drewnie. Warszawa : PWN, 1978. 653 s.

164. Kües U., Mai C., Militz H. Biological Wood Protection against Decay, Microbial Staining, Fungal Moulding and Insect Pests. *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts*. 2007. P. 273–294.

165. Larjavaara M., Muller-Landau HC. Rethinking the value of high wood density. *Funct. Ecol.* 2010. 24. P. 701–705.

166. Leban J. M., Duchanois G. Modelling wood quality – new software – SIMQUA. *Ann. For. Sci.* 1990. № 47. P. 483–493.

167. Lemieux H., Usenius A., Samson M. Shape and distribution of knots in a sample of *Picea abies* logs. *For. Prod. J.* 1997. № 12. P. 50–56.

168. Lemieux H., Usenius A., Samson M. A method for the characterizationof knots in logs. *For. Prod. J.* 1997. № 47. P. 57–62.

169. Lincoln W. A. World woods in color: Wood – Handbooks. New York : Macmillan, 1986. 320 p.

170. Macdonald E., Hubert Ja. A review of the effects of silviculture on timber quality of Sitka spruce. *Forestry*. 2002. № 75.2. P. 107–138.

171. Managing climate change impacts to enhance the resilience and sustainability of Fennoscandian forests / F.S. Chapin et al. *Ambio*. 2007. 36. P. 528–533.

172. Manion P. D. Tree Disease Concepts. NJ: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1991. 409 p.

173. Millar C. I., Stephenson N. L., Stephens S. L. Climate change and forests of the future: Managing in the face of uncertainty. *Ecol. Applic*. 2007. 17. P. 2145–2151.

174. Moberg L. Models of internal knot properties for *Picea abies*. *For. Ecol. Manag.* 2001. № 147. P. 123–138.

175. Modelling the distribution of wood properties along the stems of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) as affected by silvicultural management / V-P. Ikonen et al. *Forest Ecology and Management*. 2008. № 256(6). P. 1356–1371.

176. Molteberg D., Hoibo O. Development and variation of wood density, kraft pulp yield and fibre dimensions in young Norway spruce (*Picea abies*). *Wood Science and Technology*. 2006. № 40(3). P. 173–189.

177. Niemz P. Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Stuttgart : DRW, 1993. 243 S.

178. Normen für Holz: DIN-Taschenbuch 31: 8te Aufl. Berlin : Beuth, 2009. 604 s.

179. Panshin A. J., Zeeuw De C. Textbook of wood technology. New York : Mc-Graw-Hill, 1980. 722 p.

180. Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. Potencjalna ilość surowca drzewnego najwyższych klas jakości w Polsce. *Sylwan*. 2015. № 159 (3). S. 188–200.

181. Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. Kształtowanie cen oraz metody sprzedaży surowca cennego w Polsce. *Sylwan.* 2015. № 159 (4). S. 267–277.

182. Pasternak V., Pyvovar T., Yarotsky V. Forest carbon stock in Left-bank Forest-Steppe of Ukraine according to intensive forest monitoring data. *Наукові праці ЛАНУ*. 2020. Вип. 20. С.120-130.

183. Peterson G., Allen C.R., Holling C.S. Ecological resilience, biodiversity and scale. *Ecosystems*. 1998. 1. P. 6–18.

184. Pouska V., Svoboda M., Lepš J. Co-occurrence patterns of wood-decaying fungi on Picea abies logs: Does Fomitopsis pinicola influence the other species? *Polish Journal of Ecology.* 2013. 61 (1). P. 119–134.

185. Pouska V., Svoboda M., Lepšová A. The diversity of wood-decaying fungi in relation to changing site conditions in an old-growth mountain spruce forest, Central Europe. *European Journal of Forest Research.* 2010. 129 (2). P. 219–231.

186. Quality Control for Wood and Wood Products: The first conference COST E 53, 15th – 17th Oct. 2007, Warsaw / Edited by M. Grześkiewicz. Warsaw : University of Life Sciences, 2007. 173 p.

187. Quality of timber products from Norway spruce / M. Perstorper et al. *Wood. Scs. Technol*. 1995. № 29. P. 157–170.

188. Quality of timber products from Norway spruce. Part 2. Influence of spatial position and growth characteristics on warp / M. Perstorper et al. *Wood. Sci. Technol*. 1995. № 29. P. 339–352.

189. Quality of timber products from Norway spruce. Part 3. Influence of spatial position and growth characteristics on bending stiffness andstrength / IR. Kliger et al. *Wood. Sci. Technol.* 1995. № 29. P. 397–410.

190. Ranta-Maunus A., Denzler J. K., Stapel P. Strength of European Timber: Part 2. Properties of spruce and pine tested in Gradewood project. Utgivare Publisher, 2011. 115 p.

191. Reinprecht L. Diagnosis, sterilization and restoration of damaged timber structures. Zvolen: Technical University, 2016. 71 p.

192. Rigling, A., Schaffer, H. P. Forest Report 2015. Condition and Use of Swiss Forests. Federal Office for the Environment, Bern – Birmensdorf: Swiss Federal Institute WSL, 2015. 144 p.

193. Schütt P., Schuck H., Stimm B. Lexikon der Forstbotanik: Baum und Straucharten, Waldpflanzen, mikroorganismen, Ökosysteme: 1. Aufl. Landesberg : Ecomed, 1992. 550 S.

194. Schweingruber F. H., Boerner A. , Schulze E.-D. Atlas of Wood Plants Stems: Evolution, Structure and Environmental Modifications: 2nd Edit. Berlin : Springer, 2008. 229 p.

195. Service life design of timber structures / M. Verbist et al. *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures*: Edited by B. Ghiassi, P. B. Lourenço. Woodhead Publishing, 2019. P. 311–336.

196. Skrøppa T. Norway spruce (*Picea abies* Karst.): Technical guidelines for genetic conservation and use. Rome : EUFORGEN, 2003. 6 p.

197. Sonderegger W., Mandallaz D., Niemz P. An investigation of the influence of selected factors on the properties of spruce wood. *Wood Sci. Technol.* 2008. № 42(4). P. 281–298.

198. Spycher M., Schwarze FWMR., Steiger R. Assessment of resonance wood quality by comparing its physical and histological properties. *Wood Sci Technol.* 2008. 42(4). P. 325–342.

199. Sustainable development in the forest products industry / Ed. by Roger M. Rowell, Fernando Caldeira, Judith K. Rowell. Porto: Edições Universidade Fernando Pessoa, 2010. 281 p.

200. Technical characteristics of Silver fir wood (*Abies alba* Mill.) harvested in the Carpathian natural-forest region / A. Noskowiak et al. *Forestry and Wood Technology*. 2013. 83. P. 279–282.

201. Teischinger A., Patzelt M. XXL-Wood. Materialkenngrößen als Grundlage für innovative Verarbeitungstechnologien und Produkte zur wirtschaftlich nachhaltigen Nutzung der Österreichischen Nadelstarkholzreserven. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2006. 133 S.

202. Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels / C. Kölling et al. *Forstarchiv.* 2009. 80, Heft 2. S. 42–54.

203. Uncertainties in projected impacts of climate change on European agriculture and terrestrial ecosystems / J.E. Olesen etc. *Climatic Change*. 2007. 81. P. 123–143.

204. Valuable broadleaved forests in Europe / H. Spiecker et al. Leiden : Martinus Nijholf Publisher, 2009. 256 p.

205. Van der Maaten-Theunissen M., Boden S., Maaten E. Wood density variations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) under contrasting climate conditions in southwestern Germany. *Ann. For. Res*. 2013. 56(1). P. 91–103.

206. Variation throughout the tree stem in the physical-mechanical properties of the wood of *Abies alba* Mill. from the Spanish Pyrenees / B. González-Rodrigo et al. *Madera y Bosques*. 2013. 19(2). P. 87–107.

207. Vorreiter L. Stammform und Holzeigenschaften der Bayernwald-Fichte. *Holz Roh- Werkst.* 1954. № 12(2). S. 47–54.

208. Wagenführ R. Holzatlas: 6. Aufl. Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 2007. 816 S.

209. Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Cons. Biol.* 1995. 9. P. 747–752.

210. Wheeler E. A., Baas P., Gasson P. E. IAWA of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin.* 1989. V. 10(3). P. 221–332.

211. Within-stem maps of wood density and water content for characterization of species: a case study on three hardwood and two softwood species / F. Longuetaud et al. *Annals of Forest Science*. 2016. 73. P. 601–614.

212. Wolf H. Technical Guidelines for genetic conservation and use for Silver fir (*Abies alba*). Rome: EUFORGEN, 2003. 6 p.

213. Wood density and annual growth variability of *Picea abies* (L.) Karst. growing in the Ukrainian Carpathians / I. M. Sopushynskyy et. al. *Wood and Wood Products*. 2016. 75. P. 419–428.

214. Yarotskiy V., Pasternak V., Nazarenko V. Deadwood in the oak forests of the Left Bank Forest-steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*. 2019. Vol. 61 (3). P. 247–254.

215. Yarotskyi V., Pasternak V., Nazarenko V. Phitomass and mortmass assesment in pine forests of left bank forest steppe of Ukraine. *Silva Balcanica.* 2019. 20(2). Sofia: FRI BAS. P. 63-71.

216. Zobel B. J. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*. 1984. № 18. P. 1–17.

217. Zobel B. J., van Buijtenen J. P. Wood variation, its causes and control. New York : Springer, 1989. 363 p.

218. Zubizarreta G. A., Peltola H., Pulkkinen P. Growth and wood property traits in narrow crowned Norway spruce (*Picea abies* f. pendula) clones grown in southern Finland. *Silva Fennica*. 2009. № 43(3). P. 369–382.

219. Some features of timber quality of Betula pendula Roth. growing in Carpathian Agroforestry / I. Sopushynskyy et al. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design*. 2018. 1. P. 52–56.

ДОДАТКИ

Додаток А

Додаток А1. Лісівничо–таксаційна характеристика досліджуваних деревостанів ДП “Перечинське лісове господарство”

1. Лісництво	Турицьке
2. Квартал, літер ділянки	5, 13
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-1 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	850
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	5Яцб5Бкл / 170 р. / I / 0,45
7. Підлісок	ліщина звичайна, бузина червона
8. Підріст	ялиця біла, клен-явір, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчу́к жо́втий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Грунти	лісовий бурозем

1. Лісництво	Турицьке
2. Квартал, літер ділянки	9, 1
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-2 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	750
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	5Яцб5Бкл / 190 р. / I / 0,60
7. Підлісок	ліщина звичайна, бузина червона
8. Підріст	ялиця біла, клен-явір, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчу́к жо́втий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Грунти	лісовий бурозем

1. Лісництво	Турицьке
2. Квартал, літер ділянки	24, 9
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-3 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	700
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	C_3, волога букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб4Бкл / 190 р. / I / 0,50
7. Підлісок	ліщина звичайна, бузина червона
8. Підріст	ялиця біла, клен-явір, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчу́к жо́втий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний,
10. Грунти	бурі гірськолісові

1. Лісництво	Турицьке
2. Квартал, літер ділянки	9, 5
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-4 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	950
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб4Бкл + Яв / 190 р. / I / 0,60
7. Підлісок	ліщина звичайна, ялина європейська, бузина червона
8. Підріст	ялиця біла, клен-явір, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчу́к жо́втий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Грунти	лісовий бурозем

1. Лісництво	Порошківське
2. Квартал, літер ділянки	22, 11
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-5 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	420
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога грабово-букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	9Яцб1Бкл + Грз / 95 р. / I / 0,60
7. Підлісок	бузина чорна, ліщина звичайна
8. Підріст	ялиця біла, граб звичайний, клен-явір, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, підмаренник запашний, вероніка дібровна, воронець колосистий, переліска багаторічна, зубниця залозиста,
10. Грунти	лісовий бурозем

1. Лісництво	Порошківське
2. Квартал, літер ділянки	22, 12
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-6 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	350
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога грабово-букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб3Бкл1Ялє+Яв / 92 р. / I / 0,55
7. Підлісок	бузина чорна, ліщина звичайна
8. Підріст	ялиця біла, граб звичайний, клен-явір, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, підмаренник запашний, вероніка дібровна, воронець колосистий, переліска багаторічна, зубниця залозиста,
10. Грунти	лісовий бурозем

1. Лісництво	Тур'я Реметівське
2. Квартал, літер ділянки	9, 37
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-7 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	450
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	$С_3$, волога грабово-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб4Бкл/ 75 р./ ІА / 0,70
7. Підлісок	ліщина звичайна, горобина звичайна, калина звичайна, бруслина європейська, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, граб звичайний, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, підмаренник запашний, вероніка дібровна, воронець колосистий, переліска багаторічна, зубниця залозиста,
10. Грунти	дерново-підзолисті

1. Лісництво	Тур'я Реметівське
2. Квартал, літер ділянки	9 / 28
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-8 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	420
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	$С_3$, волога грабово-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	8Яцб2Бкл + Грз/ 89 р. / ІА / 0,60
7. Підлісок	ліщина звичайна, горобина звичайна, калина звичайна, бруслина європейська, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, граб звичайний, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, підмаренник запашний, вероніка дібровна, воронець колосистий, переліска багаторічна, зубниця залозиста,
10. Грунти	дерново-підзолисті

1. Лісництво	Тур'я Реметівське
2. Квартал, літер ділянки	9, 26
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-9 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	400
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	$С_3$, волога грабово-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	10Яцб + Бкл/ 115 р. / ІА / 0,55
7. Підлісок	ліщина звичайна, горобина звичайна, калина звичайна, бруслина європейська, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, граб звичайний, бук лісовий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, підмаренник запашний, вероніка дібровна, воронець колосистий, переліска багаторічна, зубниця залозиста,
10. Грунти	дерново-підзолисті

Додаток А2. Лісівничо–таксаційна характеристика досліджуваних деревостанів ДП “ Великоберезнянське лісове господарство ”

1. Лісництво	Лютянське
2. Квартал, літер ділянки	12, 8
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-10 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	575
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога смереково-букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб4Бкл / 75 р. / IA / 0,55
7. Підлісок	горобина звичайна, жимолость чорна, таволга в’язолиста, вовчі ягоди звичайні
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір,
9. Надгрунтовий покрив	купена багатоквіткова, зубниця залозиста, квасениця звичайна, жовтець їдкий, зеленчу́к жо́втий, чорниця, **ж**ивокіст лікарський, підмаренник запашний, безщитник жіночий
10. Грунти	бурі гірсько-лісові

1. Лісництво	Лютянське
2. Квартал, літер ділянки	4, 18
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-11 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	610
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	D_3, волога смереково-букова яличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	7Яцб3Ялє + Бкл / 63 р. / IA / 0,75
7. Підлісок	горобина звичайна, жимолость чорна, таволга в’язолиста, вовчі ягоди звичайні
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір,
9. Надгрунтовий покрив	купена багатоквіткова, зубниця залозиста, квасениця звичайна, жовтець їдкий, зеленчу́к жо́втий, чорниця, **ж**ивокіст лікарський, підмаренник запашний, безщитник жіночий
10. Грунти	бурі гірсько-лісові

Додаток А3. Лісівничо–таксаційна характеристика досліджуваних деревостанів ДП “ Берегометське лісомисливське господарство ”

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	27, 20
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-12 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	866
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	$С_3$, волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб2Ялє2Бкл+Яв / 112 р. / I / 0,40
7. Підлісок	жимолость чорна, вовче лико, таволга в’язолиста
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір, в’яз шорсткий
9. Надгрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчу́к жо́втий, чорниця, безщитник жіночий, ожина шорстка
10. Грунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	37, 16
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-13 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	1045
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	$С_3$, волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	4Яцб3Ялє3Бкл/ 108 р. / I / 0,45
7. Підлісок	таволга в’язолиста, бузина чорна, ліщина звичайна, жимолость чорна,
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надгрунтовий покрив	зеленчу́к жо́втий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Грунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	27, 3
3. Номер пробної площі / площа проби	*ПП*-14 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	1000
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	$С_3$, волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	7Яцб2Бкл1Ялє + Яв/ 118 р. / I / 0,40
7. Підлісок	ліщина звичайна, жимолость чорна, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надгрунтовий покрив	зеленчу́к жо́втий, ожина шорстка, безщитник жіночий, живокіст серцевидний,
10. Грунти	бурі гірсько-піщані

Додаток Б

Результати вимірювання показників макроструктури деревини

$N_{р.к.}$, *шт. см*$^{-1}$	ρ_{12}, *кг·м*$^{-3}$	ρ_0, *кг·м*$^{-3}$	$\rho_{с.з.с.}$, *кг·м*$^{-3}$	β_t, %	β_r, %	β_l, %	β_V
1	2	3	4	5	6	7	8
<1	303	291	636	7,1	2,7	0,3	10,4
<1	291	281	616	6,9	3,1	0,1	10,4
<1	344	327	669	7,0	3,0	0,3	10,5
<1	295	284	559	7,3	2,9	0,2	10,6
<1	299	288	620	7,3	3,2	0,2	10,9
<1	296	285	609	6,7	3,1	0,1	10,1
<1	287	277	630	6,6	3,0	0,3	10,1
<1	285	272	604	5,9	3,0	0,2	9,3
<1	339	322	777	6,2	3,1	0,3	9,8
<1	333	324	766	7,0	2,4	0,2	9,8
<1	300	291	765	7,0	2,8	0,1	10,1
<1	292	280	720	7,2	2,7	0,3	10,5
<1	312	298	723	7,1	3,2	0,1	10,6
<1	285	277	680	7,3	2,7	0,3	10,5
<1	300	282	680	6,4	2,9	0,2	9,6
<1	310	296	697	7,0	2,9	0,1	10,3
<1	289	276	693	6,9	2,8	0,2	10,1
<1	300	283	686	6,7	3,1	0,3	10,3
<1	320	305	645	5,9	2,9	0,1	9,0
<1	320	304	642	6,2	3,1	0,1	9,5
<1	303	291	636	7,1	2,7	0,3	10,4
<1	291	281	616	6,9	3,1	0,1	10,4
<1	344	327	669	7,0	3,0	0,3	10,5
<1	295	284	559	7,3	2,9	0,2	10,6
<1	299	288	620	7,3	3,2	0,2	10,9
<1	296	285	609	6,7	3,1	0,1	10,1
<1	287	277	630	6,6	3,0	0,3	10,1
<1	285	272	604	5,9	3,0	0,2	9,3
<1	339	322	777	6,2	3,1	0,3	9,8
<1	333	324	766	7,0	2,4	0,2	9,8

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
<1	300	291	765	7,0	2,8	0,1	10,1
<1	292	280	720	7,2	2,7	0,3	10,5
<1	312	298	723	7,1	3,2	0,1	10,6
<1	285	277	680	7,3	2,7	0,3	10,5
<1	300	282	680	6,4	2,9	0,2	9,6
<1	310	296	697	7,0	2,9	0,1	10,3
<1	289	276	693	6,9	2,8	0,2	10,1
<1	300	283	686	6,7	3,1	0,3	10,3
<1	320	305	645	5,9	2,9	0,1	9,0
<1	320	304	642	6,2	3,1	0,1	9,5
<1	303	291	636	7,1	2,7	0,3	10,4
<1	291	281	616	6,9	3,1	0,1	10,4
<1	344	327	669	7,0	3,0	0,3	10,5
<1	295	284	559	7,3	2,9	0,2	10,6
<1	299	288	620	7,3	3,2	0,2	10,9
<1	296	285	609	6,7	3,1	0,1	10,1
<1	287	277	630	6,6	3,0	0,3	10,1
<1	285	272	604	5,9	3,0	0,2	9,3
<1	339	322	777	6,2	3,1	0,3	9,8
<1	333	324	766	7,0	2,4	0,2	9,8
<1	300	291	765	7,0	2,8	0,1	10,1
<1	292	280	720	7,2	2,7	0,3	10,5
<1	312	298	723	7,1	3,2	0,1	10,6
<1	285	277	680	7,3	2,7	0,3	10,5
<1	300	282	680	6,4	2,9	0,2	9,6
<1	310	296	697	7,0	2,9	0,1	10,3
<1	289	276	693	6,9	2,8	0,2	10,1
<1	300	283	686	6,7	3,1	0,3	10,3
<1	320	305	645	5,9	2,9	0,1	9,0
<1	320	304	642	6,2	3,1	0,1	9,5
<1	303	291	636	7,1	2,7	0,3	10,4
<1	291	281	616	6,9	3,1	0,1	10,4
<1	344	327	669	7,0	3,0	0,3	10,5

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
<1	295	284	559	7,3	2,9	0,2	10,6
<1	299	288	620	7,3	3,2	0,2	10,9
<1	296	285	609	6,7	3,1	0,1	10,1
<1	287	277	630	6,6	3,0	0,3	10,1
<1	285	272	604	5,9	3,0	0,2	9,3
<1	339	322	777	6,2	3,1	0,3	9,8
<1	333	324	766	7,0	2,4	0,2	9,8
<1	300	291	765	7,0	2,8	0,1	10,1
<1	292	280	720	7,2	2,7	0,3	10,5
<1	312	298	723	7,1	3,2	0,1	10,6
<1	285	277	680	7,3	2,7	0,3	10,5
<1	300	282	680	6,4	2,9	0,2	9,6
<1	310	296	697	7,0	2,9	0,1	10,3
<1	289	276	693	6,9	2,8	0,2	10,1
<1	300	283	686	6,7	3,1	0,3	10,3
<1	320	305	645	5,9	2,9	0,1	9,0
<1	320	304	642	6,2	3,1	0,1	9,5
<1	303	291	636	7,1	2,7	0,3	10,4
<1	291	281	616	6,9	3,1	0,1	10,4
<1	344	327	669	7,0	3,0	0,3	10,5
<1	295	284	559	7,3	2,9	0,2	10,6
<1	299	288	620	7,3	3,2	0,2	10,9
<1	296	285	609	6,7	3,1	0,1	10,1
<1	287	277	630	6,6	3,0	0,3	10,1
<1	285	272	604	5,9	3,0	0,2	9,3
<1	339	322	777	6,2	3,1	0,3	9,8
<1	333	324	766	7,0	2,4	0,2	9,8
<1	300	291	765	7,0	2,8	0,1	10,1
<1	292	280	720	7,2	2,7	0,3	10,5
<1	312	298	723	7,1	3,2	0,1	10,6
<1	285	277	680	7,3	2,7	0,3	10,5
<1	300	282	680	6,4	2,9	0,2	9,6
<1	310	296	697	7,0	2,9	0,1	10,3

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
<1	289	276	693	6,9	2,8	0,2	10,1
<1	300	283	686	6,7	3,1	0,3	10,3
<1	320	305	645	5,9	2,9	0,1	9,0
<1	320	304	642	6,2	3,1	0,1	9,5
<2,5	382	369	891	7,5	3,5	0,2	11,5
<2,5	391	376	904	7,6	3,5	0,2	11,5
<2,5	416	404	844	7,3	3,5	0,2	11,3
<2,5	359	336	664	7,2	3,1	0,1	10,6
<2,5	354	336	674	7,4	3,3	0,2	11,3
<2,5	354	333	667	7,3	3,3	0,1	11,1
<2,5	402	388	891	7,0	3,6	0,2	11,0
<2,5	414	394	867	7,0	3,5	0,1	10,9
<2,5	377	362	853	7,1	3,4	0,2	11,0
<2,5	394	378	821	7,0	3,4	0,2	10,9
<2,5	410	394	827	7,2	3,4	0,1	11,0
<2,5	377	359	791	6,8	3,0	0,1	10,1
<2,5	429	415	763	7,0	3,8	0,3	11,5
<2,5	436	423	760	7,5	3,3	0,2	11,2
<2,5	400	392	788	7,6	3,5	0,1	11,5
<2,5	403	388	806	7,1	3,4	0,3	11,2
<2,5	349	336	874	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	351	336	868	7,3	3,5	0,1	11,1
<2,5	376	356	969	7,6	3,5	0,1	11,4
<2,5	381	357	956	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	382	369	891	7,5	3,5	0,2	11,5
<2,5	391	376	904	7,6	3,5	0,2	11,5
<2,5	416	404	844	7,3	3,5	0,2	11,3
<2,5	359	336	664	7,2	3,1	0,1	10,6
<2,5	354	336	674	7,4	3,3	0,2	11,3
<2,5	354	333	667	7,3	3,3	0,1	11,1
<2,5	402	388	891	7,0	3,6	0,2	11,0
<2,5	414	394	867	7,0	3,5	0,1	10,9
<2,5	377	362	853	7,1	3,4	0,2	11,0

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
<2,5	394	378	821	7,0	3,4	0,2	10,9
<2,5	410	394	827	7,2	3,4	0,1	11,0
<2,5	377	359	791	6,8	3,0	0,1	10,1
<2,5	429	415	763	7,0	3,8	0,3	11,5
<2,5	436	423	760	7,5	3,3	0,2	11,2
<2,5	400	392	788	7,6	3,5	0,1	11,5
<2,5	403	388	806	7,1	3,4	0,3	11,2
<2,5	349	336	874	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	351	336	868	7,3	3,5	0,1	11,1
<2,5	376	356	969	7,6	3,5	0,1	11,4
<2,5	381	357	956	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	382	369	891	7,5	3,5	0,2	11,5
<2,5	391	376	904	7,6	3,5	0,2	11,5
<2,5	416	404	844	7,3	3,5	0,2	11,3
<2,5	359	336	664	7,2	3,1	0,1	10,6
<2,5	354	336	674	7,4	3,3	0,2	11,3
<2,5	354	333	667	7,3	3,3	0,1	11,1
<2,5	402	388	891	7,0	3,6	0,2	11,0
<2,5	414	394	867	7,0	3,5	0,1	10,9
<2,5	377	362	853	7,1	3,4	0,2	11,0
<2,5	394	378	821	7,0	3,4	0,2	10,9
<2,5	410	394	827	7,2	3,4	0,1	11,0
<2,5	377	359	791	6,8	3,0	0,1	10,1
<2,5	429	415	763	7,0	3,8	0,3	11,5
<2,5	436	423	760	7,5	3,3	0,2	11,2
<2,5	400	392	788	7,6	3,5	0,1	11,5
<2,5	403	388	806	7,1	3,4	0,3	11,2
<2,5	349	336	874	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	351	336	868	7,3	3,5	0,1	11,1
<2,5	376	356	969	7,6	3,5	0,1	11,4
<2,5	381	357	956	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	382	369	891	7,5	3,5	0,2	11,5
<2,5	391	376	904	7,6	3,5	0,2	11,5

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
<2,5	416	404	844	7,3	3,5	0,2	11,3
<2,5	359	336	664	7,2	3,1	0,1	10,6
<2,5	354	336	674	7,4	3,3	0,2	11,3
<2,5	354	333	667	7,3	3,3	0,1	11,1
<2,5	402	388	891	7,0	3,6	0,2	11,0
<2,5	414	394	867	7,0	3,5	0,1	10,9
<2,5	377	362	853	7,1	3,4	0,2	11,0
<2,5	394	378	821	7,0	3,4	0,2	10,9
<2,5	410	394	827	7,2	3,4	0,1	11,0
<2,5	377	359	791	6,8	3,0	0,1	10,1
<2,5	429	415	763	7,0	3,8	0,3	11,5
<2,5	436	423	760	7,5	3,3	0,2	11,2
<2,5	400	392	788	7,6	3,5	0,1	11,5
<2,5	403	388	806	7,1	3,4	0,3	11,2
<2,5	349	336	874	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	351	336	868	7,3	3,5	0,1	11,1
<2,5	376	356	969	7,6	3,5	0,1	11,4
<2,5	381	357	956	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	382	369	891	7,5	3,5	0,2	11,5
<2,5	391	376	904	7,6	3,5	0,2	11,5
<2,5	416	404	844	7,3	3,5	0,2	11,3
<2,5	359	336	664	7,2	3,1	0,1	10,6
<2,5	354	336	674	7,4	3,3	0,2	11,3
<2,5	354	333	667	7,3	3,3	0,1	11,1
<2,5	402	388	891	7,0	3,6	0,2	11,0
<2,5	414	394	867	7,0	3,5	0,1	10,9
<2,5	377	362	853	7,1	3,4	0,2	11,0
<2,5	394	378	821	7,0	3,4	0,2	10,9
<2,5	410	394	827	7,2	3,4	0,1	11,0
<2,5	377	359	791	6,8	3,0	0,1	10,1
<2,5	429	415	763	7,0	3,8	0,3	11,5
<2,5	436	423	760	7,5	3,3	0,2	11,2
<2,5	400	392	788	7,6	3,5	0,1	11,5

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
<2,5	403	388	806	7,1	3,4	0,3	11,2
<2,5	349	336	874	7,5	3,4	0,3	11,5
<2,5	351	336	868	7,3	3,5	0,1	11,1
<2,5	376	356	969	7,6	3,5	0,1	11,4
<2,5	381	357	956	7,5	3,4	0,3	11,5
2,5...5	453	434	878	7,5	3,5	0,3	11,6
2,5…5	473	461	883	7,1	3,9	0,2	11,4
2,5…5	452	438	868	7,8	3,5	0,2	11,8
2,5…5	450	438	849	7,5	4,1	0,2	12,0
2,5…5	461	448	841	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	460	450	844	6,9	3,6	0,1	10,8
2,5…5	473	453	817	8,0	3,6	0,3	12,3
2,5…5	460	440	822	7,8	3,7	0,3	12,2
2,5…5	452	427	944	8,0	3,9	0,1	12,3
2,5…5	484	458	994	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	452	440	778	7,6	4,1	0,1	12,0
2,5…5	455	439	792	8,2	3,1	0,2	11,7
2,5…5	499	474	845	7,5	3,8	0,3	11,9
2,5…5	441	422	840	7,6	4,1	0,2	12,2
2,5…5	492	465	897	8,1	3,8	0,1	12,3
2,5…5	494	470	864	8,2	3,7	0,1	12,3
2,5…5	478	457	825	7,7	3,5	0,2	11,6
2,5…5	442	417	780	7,5	3,7	0,1	11,5
2,5…5	490	463	840	7,5	4,3	0,1	12,3
2,5…5	485	461	842	7,8	3,8	0,3	12,3
2,5…5	453	434	878	7,5	3,5	0,3	11,6
2,5…5	473	461	883	7,1	3,9	0,2	11,4
2,5…5	452	438	868	7,8	3,5	0,2	11,8
2,5…5	450	438	849	7,5	4,1	0,2	12,0
2,5...5	461	448	841	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	460	450	844	6,9	3,6	0,1	10,8
2,5…5	473	453	817	8,0	3,6	0,3	12,3
2,5…5	460	440	822	7,8	3,7	0,3	12,2

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
2,5…5	452	427	944	8,0	3,9	0,1	12,3
2,5…5	484	458	994	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	452	440	778	7,6	4,1	0,1	12,0
2,5…5	455	439	792	8,2	3,1	0,2	11,7
2,5…5	499	474	845	7,5	3,8	0,3	11,9
2,5…5	441	422	840	7,6	4,1	0,2	12,2
2,5…5	492	465	897	8,1	3,8	0,1	12,3
2,5…5	494	470	864	8,2	3,7	0,1	12,3
2,5…5	478	457	825	7,7	3,5	0,2	11,6
2,5…5	442	417	780	7,5	3,7	0,1	11,5
2,5…5	490	463	840	7,5	4,3	0,1	12,3
2,5…5	485	461	842	7,8	3,8	0,3	12,3
2,5…5	453	434	878	7,5	3,5	0,3	11,6
2,5…5	473	461	883	7,1	3,9	0,2	11,4
2,5…5	452	438	868	7,8	3,5	0,2	11,8
2,5…5	450	438	849	7,5	4,1	0,2	12,0
2,5…5	461	448	841	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	460	450	844	6,9	3,6	0,1	10,8
2,5…5	473	453	817	8,0	3,6	0,3	12,3
2,5…5	460	440	822	7,8	3,7	0,3	12,2
2,5...5	452	427	944	8,0	3,9	0,1	12,3
2,5…5	484	458	994	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	452	440	778	7,6	4,1	0,1	12,0
2,5…5	455	439	792	8,2	3,1	0,2	11,7
2,5…5	499	474	845	7,5	3,8	0,3	11,9
2,5…5	441	422	840	7,6	4,1	0,2	12,2
2,5…5	492	465	897	8,1	3,8	0,1	12,3
2,5…5	494	470	864	8,2	3,7	0,1	12,3
2,5…5	478	457	825	7,7	3,5	0,2	11,6
2,5…5	442	417	780	7,5	3,7	0,1	11,5
2,5…5	490	463	840	7,5	4,3	0,1	12,3
2,5…5	485	461	842	7,8	3,8	0,3	12,3
2,5…5	453	434	878	7,5	3,5	0,3	11,6

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
2,5…5	473	461	883	7,1	3,9	0,2	11,4
2,5…5	452	438	868	7,8	3,5	0,2	11,8
2,5…5	450	438	849	7,5	4,1	0,2	12,0
2,5…5	461	448	841	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	460	450	844	6,9	3,6	0,1	10,8
2,5…5	473	453	817	8,0	3,6	0,3	12,3
2,5…5	460	440	822	7,8	3,7	0,3	12,2
2,5…5	452	427	944	8,0	3,9	0,1	12,3
2,5…5	484	458	994	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	452	440	778	7,6	4,1	0,1	12,0
2,5…5	455	439	792	8,2	3,1	0,2	11,7
2,5...5	499	474	845	7,5	3,8	0,3	11,9
2,5…5	441	422	840	7,6	4,1	0,2	12,2
2,5…5	492	465	897	8,1	3,8	0,1	12,3
2,5…5	494	470	864	8,2	3,7	0,1	12,3
2,5…5	478	457	825	7,7	3,5	0,2	11,6
2,5…5	442	417	780	7,5	3,7	0,1	11,5
2,5…5	490	463	840	7,5	4,3	0,1	12,3
2,5…5	485	461	842	7,8	3,8	0,3	12,3
2,5…5	453	434	878	7,5	3,5	0,3	11,6
2,5…5	473	461	883	7,1	3,9	0,2	11,4
2,5…5	452	438	868	7,8	3,5	0,2	11,8
2,5…5	450	438	849	7,5	4,1	0,2	12,0
2,5…5	461	448	841	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	460	450	844	6,9	3,6	0,1	10,8
2,5…5	473	453	817	8,0	3,6	0,3	12,3
2,5…5	460	440	822	7,8	3,7	0,3	12,2
2,5…5	452	427	944	8,0	3,9	0,1	12,3
2,5…5	484	458	994	6,9	3,4	0,1	10,6
2,5…5	452	440	778	7,6	4,1	0,1	12,0
2,5…5	455	439	792	8,2	3,1	0,2	11,7
2,5…5	499	474	845	7,5	3,8	0,3	11,9
2,5…5	441	422	840	7,6	4,1	0,2	12,2

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
2,5…5	492	465	897	8,1	3,8	0,1	12,3
2,5…5	494	470	864	8,2	3,7	0,1	12,3
2,5…5	478	457	825	7,7	3,5	0,2	11,6
2,5…5	442	417	780	7,5	3,7	0,1	11,5
2,5…5	490	463	840	7,5	4,3	0,1	12,3
2,5…5	485	461	842	7,8	3,8	0,3	12,3
>5	524	500	834	8,2	4,2	0,1	12,9
>5	500	468	828	7,6	3,5	0,1	11,4
>5	543	509	977	8,1	4,3	0,3	13,2
>5	522	494	971	8,5	3,5	0,1	12,4
>5	560	538	866	8,2	4,0	0,1	12,6
>5	541	517	864	8,2	4,6	0,1	13,3
>5	537	517	895	8,0	3,6	0,4	12,3
>5	523	497	978	8,1	3,7	0,2	12,3
>5	582	554	995	8,0	4,1	0,4	12,9
>5	568	531	951	8,5	4,0	0,3	13,2
>5	519	492	947	8,2	3,7	0,4	12,8
>5	514	486	932	8,3	4,1	0,2	12,9
>5	537	510	888	7,7	4,3	0,3	12,6
>5	506	487	861	7,8	4,0	0,3	12,5
>5	503	474	831	8,3	3,7	0,2	12,5
>5	550	520	945	8,4	4,2	0,4	13,5
>5	555	533	848	7,8	3,9	0,4	12,4
>5	541	519	836	8,7	3,7	0,2	13,0
>5	509	481	807	8,4	3,9	0,2	12,9
>5	524	504	821	7,9	4,4	0,3	13,0
>5	524	500	834	8,2	4,2	0,1	12,9
>5	500	468	828	7,6	3,5	0,1	11,4
>5	543	509	977	8,1	4,3	0,3	13,2
>5	522	494	971	8,5	3,5	0,1	12,4
>5	560	538	866	8,2	4,0	0,1	12,6
>5	541	517	864	8,2	4,6	0,1	13,3
>5	537	517	895	8,0	3,6	0,4	12,3

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
>5	523	497	978	8,1	3,7	0,2	12,3
>5	582	554	995	8,0	4,1	0,4	12,9
>5	568	531	951	8,5	4,0	0,3	13,2
>5	519	492	947	8,2	3,7	0,4	12,8
>5	514	486	932	8,3	4,1	0,2	12,9
>5	537	510	888	7,7	4,3	0,3	12,6
>5	506	487	861	7,8	4,0	0,3	12,5
>5	503	474	831	8,3	3,7	0,2	12,5
>5	550	520	945	8,4	4,2	0,4	13,5
>5	555	533	848	7,8	3,9	0,4	12,4
>5	541	519	836	8,7	3,7	0,2	13,0
>5	509	481	807	8,4	3,9	0,2	12,9
>5	524	504	821	7,9	4,4	0,3	13,0
>5	524	500	834	8,2	4,2	0,1	12,9
>5	500	468	828	7,6	3,5	0,1	11,4
>5	543	509	977	8,1	4,3	0,3	13,2
>5	522	494	971	8,5	3,5	0,1	12,4
>5	560	538	866	8,2	4,0	0,1	12,6
>5	541	517	864	8,2	4,6	0,1	13,3
>5	537	517	895	8,0	3,6	0,4	12,3
>5	523	497	978	8,1	3,7	0,2	12,3
>5	582	554	995	8,0	4,1	0,4	12,9
>5	568	531	951	8,5	4,0	0,3	13,2
>5	519	492	947	8,2	3,7	0,4	12,8
>5	514	486	932	8,3	4,1	0,2	12,9
>5	537	510	888	7,7	4,3	0,3	12,6
>5	506	487	861	7,8	4,0	0,3	12,5
>5	503	474	831	8,3	3,7	0,2	12,5
>5	550	520	945	8,4	4,2	0,4	13,5
>5	555	533	848	7,8	3,9	0,4	12,4
>5	541	519	836	8,7	3,7	0,2	13,0
>5	509	481	807	8,4	3,9	0,2	12,9
>5	524	504	821	7,9	4,4	0,3	13,0

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
>5	524	500	834	8,2	4,2	0,1	12,9
>5	500	468	828	7,6	3,5	0,1	11,4
>5	543	509	977	8,1	4,3	0,3	13,2
>5	522	494	971	8,5	3,5	0,1	12,4
>5	560	538	866	8,2	4,0	0,1	12,6
>5	541	517	864	8,2	4,6	0,1	13,3
>5	537	517	895	8,0	3,6	0,4	12,3
>5	523	497	978	8,1	3,7	0,2	12,3
>5	582	554	995	8,0	4,1	0,4	12,9
>5	568	531	951	8,5	4,0	0,3	13,2
>5	519	492	947	8,2	3,7	0,4	12,8
>5	514	486	932	8,3	4,1	0,2	12,9
>5	537	510	888	7,7	4,3	0,3	12,6
>5	506	487	861	7,8	4,0	0,3	12,5
>5	503	474	831	8,3	3,7	0,2	12,5
>5	550	520	945	8,4	4,2	0,4	13,5
>5	555	533	848	7,8	3,9	0,4	12,4
>5	541	519	836	8,7	3,7	0,2	13,0
>5	509	481	807	8,4	3,9	0,2	12,9
>5	524	504	821	7,9	4,4	0,3	13,0
>5	524	500	834	8,2	4,2	0,1	12,9
>5	500	468	828	7,6	3,5	0,1	11,4
>5	543	509	977	8,1	4,3	0,3	13,2
>5	522	494	971	8,5	3,5	0,1	12,4
>5	560	538	866	8,2	4,0	0,1	12,6
>5	541	517	864	8,2	4,6	0,1	13,3
>5	537	517	895	8,0	3,6	0,4	12,3
>5	523	497	978	8,1	3,7	0,2	12,3
>5	582	554	995	8,0	4,1	0,4	12,9
>5	568	531	951	8,5	4,0	0,3	13,2
>5	519	492	947	8,2	3,7	0,4	12,8
>5	514	486	932	8,3	4,1	0,2	12,9
>5	537	510	888	7,7	4,3	0,3	12,6

Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7	8
>5	506	487	861	7,8	4,0	0,3	12,5
>5	503	474	831	8,3	3,7	0,2	12,5
>5	550	520	945	8,4	4,2	0,4	13,5
>5	555	533	848	7,8	3,9	0,4	12,4
>5	541	519	836	8,7	3,7	0,2	13,0
>5	509	481	807	8,4	3,9	0,2	12,9
>5	524	504	821	7,9	4,4	0,3	13,0

Додаток В

Додаток В. 1. Таксаційні показники зрубаних дерев ялиці білої

A, років	*h, м*	$L_{діл.}$, *м*	$Cd_{1,3к.}$, *см*	$Cd_{1/2h\ к.}$, *см*	$Cd_{верх.діл.\ к.}$, *см*	$d_{1,3к.}$, *см*	$d_{1/2ст.\ к.}$, *см*	$d_{верх.діл.\ к.}$, *см*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПП-7								
84	32,0	14,5	188	134	112	59,9	42,7	35,7
82	33,0	22,0	171	130	102	54,5	41,4	32,5
87	36,8	15,8	205	130	113	65,3	41,4	36,0
85	33,5	21,5	172	123	89	54,8	39,2	28,3
88	35,5	26,0	208	125	100	66,2	39,8	31,8
81	33,7	17,5	245	157	110	78,0	50,0	35,0
86	36,8	19,0	181	138	115	57,6	43,9	36,6
81	33,5	20,5	166	132	102	52,9	42,0	32,5
67	30,5	18,5	98	83	59	31,2	26,4	18,8
71	30,6	22,0	136	109	85	43,3	34,7	27,1
68	32,0	21,5	129	101	79	41,1	32,2	25,2
73	33,0	23,0	117	93	78	37,3	29,6	24,8
69	30,5	18,0	98	76	57	31,2	24,2	18,2
71	32,6	20,5	123	94	75	39,2	29,9	23,9
73	32,5	19,5	112	87	66	35,7	27,7	21,0
ПП-5								
96	32,5	15,5	176	144	91	56,0	46,0	29,0
97	33,0	12,5	182	137	85	58,0	43,5	27,0
98	36,5	11,5	207	151	104	66,0	48,0	33,0
99	36,0	16,6	188	138	97	60,0	44,0	31,0
98	34,7	23,3	176	122	94	56,0	39,0	30,0
98	32,5	14,4	160	116	82	51,0	37,0	26,0
98	35,6	20,6	220	176	132	70,0	56,0	42,0
96	34,8	21,0	201	160	126	64,0	51,0	40,0
68	29,1	18,0	88	63	47	28,0	20,0	15,0
80	29,5	17,1	107	82	57	34,0	26,0	18,0
98	35,7	11,5	166	119	79	53,0	38,0	25,0
98	36,5	23,3	182	129	91	58,0	41,0	29,0
98	34,5	26,4	176	135	97	56,0	43,0	31,0

Продовж. додаток В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
68	30,5	21,0	104	91	60	33,0	29,0	19,0
98	35,1	25,1	226	179	126	72,0	57,0	40,0
ПП-6								
59	27,7	13,7	107	66	47	34,0	21,0	15,0
98	38,5	24,5	251	195	141	80,0	62,0	45,0
98	35,9	21,9	204	151	113	65,0	48,0	36,0
91	34,0	22,9	138	85	66	44,0	27,0	21,0
93	33,6	21,0	148	91	69	47,0	29,0	22,0
89	33,5	21,0	132	79	57	42,0	25,0	18,0
66	30,5	19,5	107	69	50	34,0	22,0	16,0
59	32,0	21,0	104	66	44	33,0	21,0	14,0
97	35,5	25,8	210	138	104	67,0	44,0	33,0
65	34,0	20,0	119	82	57	38,0	26,0	18,0
60	28,5	21,0	91	63	47	29,0	20,0	15,0
98	34,5	22,5	182	126	91	58,0	40,0	29,0
90	34,0	22,0	157	113	85	50,0	36,0	27,0
98	33,0	24,3	188	138	94	60,0	44,0	30,0
82	30,5	23,0	126	88	63	40,0	28,0	20,0

Додаток В. 2. Кваліметричні ознаки зрубаних дерев ялиці білої

$L_{діл.}$	$S_{річн.кіл., мм\ 1,3м}$, *см*	$S_{річн.кіл., мм\ 1/2h}$, *см*	$S_{річн.кіл., мм\ верх.діл.}$, *см*	$d_{ядра\ 1,3м}$, *см*	$d_{ядра\ 1/2h}$, *см*	$d_{ядра\ верх.діл.\ к.}$, *см*	*P, %*
1	2	3	4	5	6	7	8
ПП-7							
14,5	5,0	4,1	3,9	30	13	9	12
22,0	4,7	3,7	2,5	31	14	3	9
15,8	5,2	4,0	3,6	34	12	4	13
21,5	4,8	3,9	3,4	14	3	1	17
26,0	4,7	3,9	3,1	5	0	0	0
17,5	6,0	4,6	3,9	56	33	15	15
19,0	5,0	4,0	3,7	29	10	5	23
20,5	4,6	3,9	3,2	15	6	4	13
18,5	3,9	3,7	3,2	5	0	0	0
22,0	4,0	3,8	3,3	4	0	0	0
21,5	3,9	3,6	3,3	4	0	0	0
23,0	3,7	3,4	2,5	7	0	0	15
18,0	4,0	3,5	3,4	8	0	0	0
20,5	4,1	3,8	3,1	6	0	0	4
19,5	4,0	3,8	3,6	7	0	0	21
ПП-5							
15,5	2,4	2,1	1,8	40	24	10	12
12,5	3,5	3,1	2,9	50	28	15	23
11,5	3,2	3,0	2,8	32	18	11	19
16,6	3,0	2,9	2,4	32	12	2	17
23,3	2,9	2,7	2,3	34	7	0	14
14,4	2,8	2,6	2,1	35	12	4	10
20,6	3,8	3,7	3,5	48	20	0	17
21,0	2,7	2,5	2,2	42	17	0	16
18,0	2,4	2,3	1,9	4	0	0	0
17,1	2,9	2,4	2,1	3	0	0	5
11,5	2,5	2,4	2,0	37	16	5	9
23,3	3,8	3,5	3,1	50	20	9	15
26,4	4,1	3,8	3,2	34	13	7	9
21,0	2,4	2,1	2,0	0	0	0	0

Продовж. додаток В.2

1	2	3	4	5	6	7	8
25,1	3,7	3,3	3,0	57	23	11	11
ПП-6							
13,7	3,3	3,0	2,9	4	0	0	0
24,5	4,2	3,8	3,6	64	42	6	19
21,9	4,1	3,9	3,8	49	29	22	17
22,9	2,9	2,7	2,4	32	8	13	15
21,0	2,9	2,6	2,5	37	11	7	18
21,0	3,1	2,8	2,4	34	9	5	14
19,5	2,0	2,4	2,2	6	0	0	0
21,0	2,7	2,6	2,1	1	0	0	0
25,8	3,8	3,5	3,4	47	16	10	8
20,0	2,6	2,5	2,1	6	0	0	0
21,0	2,9	2,7	2,5	3	0	0	0
22,5	2,6	2,5	2,0	36	14	8	9
22,0	3,2	3,0	2,7	30	17	11	5
24,3	4,1	4,0	3,5	50	22	13	11
23,0	3,9	3,5	3,3	15	0	0	4

Додаток Г

Однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) природної стійкості ялиці білої за фізичними властивостями деревини з використання програми SPSS 17.0

Фізичні властивості		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ρ_{12}	Between Groups	2920683,687	3	973561,229	2193,644	0,000
	Within Groups	175748,750	396	443,810		
	Total	3096432,437	399			
$\rho_б$	Between Groups	2598969,688	3	866323,229	1983,599	0,000
	Within Groups	172950,250	396	436,743		
	Total	2771919,938	399			
$\rho_{с.з.с.}$	Between Groups	2834651,187	3	944883,729	223,355	0,000
	Within Groups	1675243,250	396	4230,412		
	Total	4509894,437	399			
β_l	Between Groups	97,987	3	32,662	265,538	0,000
	Within Groups	48,710	396	0,123		
	Total	146,697	399			
β_r	Between Groups	60,325	3	20,108	334,084	0,000
	Within Groups	23,835	396	0,060		
	Total	84,160	399			
β_t	Between Groups	0,327	3	0,109	13,637	0,000
	Within Groups	3,170	396	0,008		
	Total	3,497	399			
β_V	Between Groups	360,652	3	120,217	553,270	0,000
	Within Groups	86,045	396	0,217		
	Total	446,697	399			

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Перший проректор
з науково-педагогічної роботи
_____ Олександр СУШИНСЬКИЙ
«__02__» _____02_____ 2023 р.

21 лютого 2023 р.
м. Львів

АКТ

про встановлення факту використання результатів дисертаційної роботи КОПОЛОВЦЯ Я.М. у навчальному процесі Національного лісотехнічного університету України (НЛТУ України)

Підстава: Рішення Вченої ради Навчально-наукового інституту деревообробних і комп'ютерних технологій та дизайну (ННІ ДКТД) від 21.02.2023 р. (протокол № 1) про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри ботаніки, деревинознавства та недеревних ресурсів лісу КОПОЛОВЦЯ Ярослава Михайловича у навчальний процес.

Складений комісією у складі:
Голова комісії: директор ННІ ДКТД, професор кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів, доктор технічних наук, професор МАЄВСЬКИЙ В.О.
Члени комісії: заступник директора ННІ ДКТД з навчальної роботи, кандидат технічних наук КОПИНЕЦЬ З.П.;
завідувач кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор КІШИВЕЦЬКИЙ Б.Я.

24 лютого 2023 року комісія провела роботу зі встановлення факту використання результатів дисертаційної роботи КОПОЛОВЦЯ Я. М. на тему «Природна стійкість деревини *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах» у навчальному процесі НЛТУ України.

Комісія встановила, що у робочій програмі навчальної дисципліни «Деревинознавство» для підготовки бакалаврів спеціальності спеціальності 187 «Деревообробні та меблеві технології» використовуються окремі результати дисертаційної роботи КОПОЛОВЦЯ Я.М.

Акт складено у трьох примірниках:
1-й примірник – кафедрі ботаніки, деревинознавства та недеревних ресурсів лісу;
2-й примірник – навчально-методичному відділу НЛТУ України;
3-й примірник – аспіранту КОПОЛОВЦЮ Я.М.

Голова комісії _____ Володимир МАЄВСЬКИЙ

Члени комісії: _____ Зоя КОПИНЕЦЬ
_____ Богдан КІШИВЕЦЬКИЙ

Додаток Д. 2

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ДП «Ужгородське лісове господарство»
_____ В.В.СИНИЧКА
27 грудня 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО

результатів дисертаційної роботи Кополовця Я.М.
“Природна стійкість деревини *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах”
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 205 - Лісове господарство

27.12.2022 с. Камяниця

Комісія у складі головного лісничого ДП «Ужгородське лісове господарство» Геккер Валетина Едуардовича, провідного інженера з лісокористування ДП «Ужгородське лісове господарство» Нападій Євгена Євгеновича, лісничого Турицького лісництва Лакатош Михайла Михайловича, склали цей акт на підтвердження того, що результати досліджень природної стійкості стовбурної деревини *Abies alba* Mill, в лісорослинних умовах Українських Карпат використовуються у лісогосподарський діяльності підприємства для визначення класів якості деревини ялиці білої у біологічно пошкоджених ялицевих деревостанах в ДП «Ужгородське лісове господарство».

Головний лісничий В.Е. Геккер

Провідний інженер з лісокористування Є.Є. Нападій

Лісничий Турицького лісництва М.М. Лакатош

Додаток Д.3

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ДП «Берегометське лісомисливське господарство»
_____ Р. Т. Максимчук
28 грудня 2022 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО

результатів дисертаційної роботи Кополовця Я.М.
“Природна стійкість деревини *Abies alba* Mill. в Українських Карпатах”
на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 205 - Лісове господарство

28.12.2022 смт. Берегомет

Комісія у складі начальника лісового відділу ДП «Берегометське лісомисливське господарство» Лазоряка Ярослава Йосиповича, інженера лісового господарства ДП «Берегометське лісомисливське господарство» Рощебака Василя Дмитровича, лісничого Лопушнянського лісництва Сергія Юрія Михайловича, склали цей акт на підтвердження того, що результати досліджень природної стійкості стовбурної деревини *Abies alba* Mill, в лісорослинних умовах Українських Карпат використовуються у практичній діяльності підприємства для визначення кваліметрії круглих лісоматеріалів ялиці білої у біологічно пошкоджених ялицевих деревостанах в ДП «Берегометське лісомисливське господарство».

Начальник лісового відділу Я. Й. Лазоряк

Інженер лісового господарства В. Д. Рощебак

Лісничий Лопушнянського лісництва Ю.М. Сергій