

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

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Максимчук Руслан Тарасович**

УДК [630\*811:630\*812:630\*164:630\*176.322:630\*85]

## **ДИСЕРТАЦІЯ**

Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини  
в лісорослинних умовах Буковинських Карпат

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

\_\_\_\_\_ Р. Т. Максимчук

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

Львів – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Максимчук Р. Т.* Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. - 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, 2020.

В огляді наукових літературних джерел узагальнено вітчизняні та зарубіжні знання про історико-економічні аспекти вирощування ялиці білої та її дендрологічні відмінності в Європі. Акцентовано увагу на лісівничі властивості ялицевих деревостанів в Українських Карпатах у розрізі їх типологічного та висотно-екологічного поширення. Розкрито питання особливостей формування фізико-механічних властивостей деревини в межах стовбура та в різних лісорослинних умовах природного ареалу зростання. Аналіз багатьох наукових праць стверджує, що лісівничі особливості росту дерев ялиці білої із хвилеподібними утворами стовбура та наукові питання внутрішньовидової диференціації за структурою деревини і особливостями формування фізико-механічних показників у лісорослинних умовах Буковинських Карпат не досліджено.

Для вивчення структурних відмінностей стовбурної деревини ялиці білої відібрано ялицеві насадження у вологій смереково-буковій суяличині природно-географічного району “Буковинські Карпати” підобласті "Покутсько-Буковинські Карпати" області "Зовнішньофлішеві Карпати" на абсолютних висотах 750–1045 м н.р.м. Дослідженнями охоплено 11 пробних ділянок, на яких спиляно 12 модельних дерев для визначення фізико-механічних властивостей прямоволокнустої та хвилясто-завилькуватої деревини і відібрано 50 дерев із хвилеподібними утворами стовбура для визначення морфологічних відмінностей стовбурів та 120 дерев для датування річних кілець. Структуру досліджуваних

ялицевих деревостанів розкрито через криву нормального розподілу елементів лісу за ступенями товщини. Вимірювання фізико-механічних показників проведено на сучасному обладнанні LinTab та Zwick. Для виконання наукової роботи використано діалектико-системний метод оцінювання властивостей деревини з неправильним розміщенням деревного волокна відносно осі ростучого дерева. У процесі дослідження застосовано загальноприйняті та спеціальні деревинознавчі методи виконання наукової роботи (польові, лабораторні, математичної статистики). Достовірність отриманих результатів дослідження підтверджено основними статистичними показниками та парним лінійним кореляційно-регресійним аналізом, а також через проведення однофакторного дисперсійного аналізу (One-way ANOVA).

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у тому, що вперше: виділено форму ялиці білої “хвилясто-завилькувата” в лісорослинних умовах Українських Карпат; проведено опис морфологічних ознак дерев із хвилеподібними утворами стовбура та встановлено віковий діапазон початку їх утворення; визначено показники річного приросту, об’ємної маси, анізотропії розбухання, швидкості звуку в повздовжньому напрямку, коефіцієнта затухання, статичного та динамічного модулів пружності хвилясто-завилькуватої деревини; проведено кореляційно-регресійний аналіз залежності між кваліметричними ознаками деревини ялиці білої з типовою та хвилясто-завилькуватою структурою.

Набули подальшого розвитку знання про фізико-механічні властивості прямоволокнутої деревини ялиці білої у межах радіуса та висоти стовбура; закономірності вчення про основні засади індивідуального та популяційного відбору основних лісоутворюючих порід; деревинознавчі засади щодо закономірностей формування кваліметричних ознак деревини цільового призначення та їх візуальне діагностування через кількість річних кілець в 1 см; практична інформація щодо сортування круглих лісоматеріалів та виділення класу якості “декоративна деревина”.

Кваліметрію ростучого дерева спрямовано на прогнозований селективний відбір круглих лісоматеріалів ялиці білої із заданими властивостями деревини. До морфологічних маркерів дерев із хвилясто-завилькуватою деревиною віднесено їх ширину та глибину, а також довжину круглого лісоматеріалу з хвилясто-рельєфними утворами стовбура. Формування останніх зумовлено показниками макроструктури: шириною річного кільця, вмістом ранньої та пізньої деревини в річному кільці. Природну диференціацію ялиці білої за структурою деревини доцільно пов'язувати з різкою зміною мікрокліматичних умов зростання та висотно-екологічних чинників.

За результатами однофакторного дисперсійного аналізу ширини річного кільця деревини ялиці білої встановлено статистично значущі ( $p < 0,05$ ) структурні відхилення між деревами з прямоволокнистою та хвилясто-завилькуватою деревиною. Середні значення річного приросту в дерев із хвилеподібними утворами стовбура змінювались в межах від 3,98 до 5,74 мм, а в дерев із типовою структурою – від 2,36 до 3,53 мм. Аналогічну тенденцію зміни показників макроструктури виявлено для ширини ранньої та пізньої зони деревини в річному кільці.

Встановлено збільшення об'ємної маси стовбурної деревини в дерев із прямоволокнистою деревиною зі зростанням кількості річних кілець в 1 см. Коефіцієнт кореляції між кількістю річних кілець в 1 см та різними видами показників об'ємної маси прямоволокнистої деревини знаходився у межах від 0,761 до 0,830. Висока тіснота зв'язку спостерігається також між об'ємною масою, динамічним і статичним модулями пружності деревини.

У ялиці білої “хвилясто-завилькувата” виявлено від'ємну кореляційну залежність між об'ємною масою, коефіцієнтом затухання, швидкістю звуку, динамічним та статичним модулем пружності деревини, для якої встановлено значну, високу та дуже високу тісноту зв'язку. Кореляція між річним приростом та іншими фізико-механічними показниками хвилясто-завилькуватої деревини відсутня. До кваліметричних маркерів неруйнівного діагностування

фізико-механічної якості хвилясто-завилькуватої деревини віднесено швидкість звуку в повздовжньому напрямку. Парна кореляційна залежність між швидкістю звуку в повздовжньому напрямку та об'ємною масою хвилясто-завилькуватої деревини характеризується більшою тісністю зв'язку порівняно з прямоволокнутою деревиною.

Залежність між об'ємною масою та статичним модулем пружності деревини описано рівняннями регресії першого порядку для ялиці білої з типовою структурою деревини –  $E_n = 28,09\rho_{8\%} - 601,32$  ( $R^2 = 0,65$ ) та з хвилеподібними утворами стовбура –  $E_x = -13,55\rho_{8\%} + 13\,025,42$  ( $R^2 = 0,49$ ). Між статичним та динамічним модулем пружності встановлено також прямолінійну регресійну залежність для прямоволокнутої –  $E_{Lп} = 1,25E_n - 2\,435,65$  ( $R^2 = 0,82$ ) та хвилясто-завилькуватої деревини –  $E_{Lx} = 1,35E_x - 173,62$  ( $R^2 = 0,70$ ). Досліджено, що динамічний модуль пружності хвилясто-завилькуватої деревини на 32% більший, ніж статичний модуль пружності. Подібна тенденція не властива для прямоволокнутої деревини, де різниця абсолютних значень модулів пружності може змінюється в межах  $\pm 10\%$ . Результати кореляційно-регресійного аналізу інтегральних показників фізичної та механічної якості стовбурної деревини ялиці білої свідчать про значущу різницю кваліметричними маркерами хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини.

Встановлено, що середні значення тангентального розбухання, кількості річних кілець в 1 см та статичного модуля пружності прямоволокнутої деревини на 26, 30 та 36% відповідно більші від аналогічних показників деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата”. Об'ємна маса прямоволокнутої деревини характеризується меншими середніми значенням. Середнє значення базисної щільності хвилясто-завилькуватої деревини на 23% більше від фізичної характеристики у дерев із прямоволокнутою деревиною. Значні відмінності якісних характеристик хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої зумовлені різкою зміною її структури в порядкування деревного волокна відносно осі ростучого дерева. Коефіцієнт анізотропії розбухання прямоволокнутої деревини змінюється в межах від 1,6 до 2,9, а його середнє

значення на 14% більше від ідентичного показника неоднорідності для ялиці білої “хвилясто-завилькувата”.

На підставі результатів дослідження внутрішньовидової диференціації ялиці білої за структурою деревини рекомендовано при сортуванні круглих лісоматеріалів виділити клас якості ялиця біла із декоративною деревиною та позначати його “Яц-д”. Узагальнені статистичні дані фізико-механічних властивостей стовбурної прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої в умовах Буковинських Карпат використовувати для заготівлі сортиментів цільового призначення та з декоративною текстурою деревини. Для визначення механічної якості ялицевих сортиментів визначено рівняння першого порядку на висоті стовбура 1,3 м –  $E_n = 335,55N_{річн.кіл.} + 7330,56$  ( $R^2 = 0,73$ ) та 7,0 м –  $E_n = 416,08N_{річн.кіл.} + 6851,34$  ( $R^2 = 0,63$ ). Для створення лісових деревостанів із підвищеною об’ємною масою стовбурної деревини проводити селективний відбір ялиці білої “хвилясто-завилькувата”.

*Ключові слова:* ялиця біла, хвилясто-завилькувата деревина, прямоволокнута деревина, річне кільце, щільність деревини, розбухання деревини, модуль пружності.

## SUMMARY

*Maksymchuk R. T.* Intraspecific differentiation of *Abies alba* Mill. on the wood structure in the forest conditions of the Bukovynian 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, 2020.

In the review of scientific literature, the domestic and foreign knowledge about the historical and economic aspects of the silviculture of silver fir and its dendrological differences in Europe were summarized. The point was emphasized on the silvicultural properties of fir stands in the Ukrainian Carpathians in terms of their typological and altitude-ecological distribution. The question of the peculiarities of

the formation of physical and mechanical properties of wood within the stem and in different forest vegetation conditions of the natural growth area was revealed. The analysis of many scientific works states that forestry features of the growth of silver fir with wavy-relief wood formations and scientific issues of intraspecific differentiation by wood structure and peculiarities of formation of physical and mechanical properties in forest vegetation conditions of Bukovynian Carpathians have not been studied.

To study the structural differences of the stemwood of silver fir, the fir stands growing in the wet spruce-beech fir type of the natural-geographical district “Bukovynian Carpathians” of the subregion “Pokutsko-Bukovynian Carpathians” region “Outer Fleet Carpathians” at the altitude of 750-1045 m a.s.l. were selected. The research covered 11 trial plots, where 12 model trees were cut down to determine the physical and mechanical properties of straight-grained and wave-grained wood, and 50 trees with wavy-relief stemwood formations were selected to determine morphological differences of stems and 120 trees for dating annual rings.

The structure of the studied fir stands was revealed through the curve of the normal distribution of forest elements by diameters at the breast height. Determination of physical and mechanical wood properties were performed on modern LinTab and Zwick equipment. To perform the scientific work, a dialectical-system method of evaluating the wood properties with incorrect placement of wood fibre relative to the axis of a growing tree was used. In the research the generally accepted and special wood science methods of performance of scientific work (field, laboratory, mathematical statistics) are applied. The reliability of the obtained results of the study was confirmed by the main statistical indicators and paired linear correlation-regression analysis, as well as by conducting one-way analysis of variance (One-way ANOVA).

The scientific novelty of the dissertation work is that for the first time: the morphological forma of the silver fir with the straight-grained wood in the forest vegetation of the Ukrainian Carpathians was distinguished; the description of morphological features of trees with wavy-relief stemwood formations was carried

out and the age range of the beginning of their formation was established; indicators of annual growth, wood density, swelling anisotropy, speed of sound in the longitudinal direction, attenuation coefficient, static and dynamic modulus of elasticity of wave-grained wood were determined; a correlation-regression analysis of the relationship between the quality characteristics of silver fir wood with a typical and wave-grained structure was done.

There were acquired the further development of knowledge about the physical and mechanical properties of straight-grained silver fir wood within the radius and height of the stem; regularities of the doctrine of the basic principles of individual and population selection of the main forest-forming species; wood science principles on the regularities of formation of wood quality features of targeted purpose and their visual diagnosis through the number of annual rings in 1 cm; practical information on the round timber grading and the allocation of the quality class "decorative wood".

The quality assessment of the growing tree was aimed at the selection of the round timber with desired stemwood properties of silver fir. The morphological markers of trees with wavy-grained wood include their width and depth, as well as the length of round timber with wavy-relief stemwood formations. The formation of anomalous stemwood was due to the indicators of the macrostructure: the width of the annual ring, the percentage of early and late wood in the annual ring. The natural differentiation of silver fir in the wood structure should be associated with an abrupt sharp change in microclimatic conditions of the growth and altitude and environmental factors.

According to the results of one-factor analysis of variance of the width of the annual ring of silver fir wood, statistically significant ( $p < 0.05$ ) structural deviations between trees with straight-grained and wave-grained wood were found. The average values of annual growth in trees with wavy-relief stemwood formations were ranged from 3.98 to 5.74 mm, and in trees with a typical structure - from 2.36 to 3.53 mm. A similar trend of changes in macrostructure indicators was found for the width of the early- and latewood in the annual ring.

There was an increase of the wood density in trees with straight-grained wood with a rise of the number of annual rings in 1 cm. The values of the correlation coefficient between the number of annual rings in 1 cm and different types of the wood density in stemwood with the straight-grained wood were ranged from 0.761 to 0.830. High correlation value was also observed between wood density, dynamic and static modulus of elasticity of wood.

The silver fir with wave-grained wood had a negative correlation between wood density, attenuation coefficient, speed of sound, dynamic and static modulus of elasticity of wood, for which a significant, high and very high correlation values was established. There was no correlation between annual growth and other physical and mechanical characteristics of curly wood. The speed of sound in the longitudinal direction was one of the qualitative markers of non-destructive diagnosis of the physical and mechanical properties of the wave-grained wood. The pairwise correlation between the speed of sound in the longitudinal direction and the wood density of the wave-grained wood was characterized by a greater value of correlation compared to the straight-grained wood.

The relationship between wood density and static modulus of wood elasticity was described by first-order regression equations for silver fir with a typical wood structure –  $E_n = 28,09\rho_{8\%} - 601,32$  ( $R^2 = 0,65$ ) and with wavy-relief stemwood formations –  $E_x = -13,55\rho_{8\%} + 13\,025,42$  ( $R^2 = 0,49$ ). There was also established a rectilinear regression dependence between the static and dynamic modulus of elasticity for the straight-grained wood –  $E_{LII} = 1,25E_n - 2\,435,65$  ( $R^2 = 0,82$ ) and for the wave-grained wood –  $E_{LX} = 1,35E_x - 173,62$  ( $R^2 = 0,70$ ). It was investigated that the dynamic modulus of elasticity of the wave-grained wood was 32% larger than the static modulus of elasticity. The similar trend was not typical for straight-grained wood, where the difference in the absolute values the modulus of elasticity can vary within  $\pm 10\%$ . The results of correlation-regression analysis of integrated indicators of physical and mechanical characteristics of silver fir wood indicated a significant difference in qualitative markers of wave-grained and straight-grained stemwood.

It was found that the average values of tangential swelling, the number of annual rings in 1 cm and the static modulus of elasticity of the straight-grained wood were 26, 30 and 36%, respectively, higher than similar indicators of silver fir with wave-grained wood. The wood density of the straight-grained wood was characterized by lower average values. The average value of the basic wood density of the wave-grained wood was 23% higher than the physical characteristics of trees with rectilinear wood. Significant differences in the qualitative characteristics of wave-grained silver fir wood were caused by the abrupt change of its structural ordering of the wood fibre relative to the axis of a growing tree. The coefficient of swelling anisotropy of straight-grained wood varied from 1.6 to 2.9, and its average value was 14% higher than the identical value of the heterogeneity for silver fir with wave-grained wood. Based on the results of the study of intraspecific differentiation of silver fir on the wood structure, it was recommended for the round timber grading to establish the quality class of silver fir with decorative wood and to mark it "ABA-d".

The generalized statistical data of physical and mechanical properties of straight- and wave-grained stemwood of silver fir in the conditions of Bukovynian Carpathians are addressed for logging of stemwood with desired wood properties and with the decorative wood texture. To assess the mechanical quality of fir assortments, the first order equation was determined at the height of 1.3 m –  $E_n = 335,55N_{річн.кіл.} + 7330,56$  ( $R^2 = 0,73$ ) and 7,0 m –  $E_n = 416,08N_{річн.кіл.} + 6851,34$  ( $R^2 = 0,63$ ). To create forest stands with high density of stemwood to carry out the selection of silver fir with wave-grained wood.

*Key words:* silver fir, wave-grained wood, straight-grained wood, annual ring, wood density, wood swelling, modulus of elasticity.

## СПИСОК 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. [DOI: 10.17221/79/2020-JFS](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. *Știința agricolă*. 2019. 2. С. 79 – 84. [DOI: 10.5281/zenodo.3596664](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. *Știința 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. *Știința agricolă*. 2018. 47. С. 470 – 475. (Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

5. Sopushynskyy I., **Maksymchuk R.**, Tymochko I., Bardarov N. Some features of timber quality of *Betula pendula* Roth. growing in Carpathian Agroforestry. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design*, 2018. 1. P. 52 – 56. (Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

### Статті у фахових наукових виданнях України

6. Сопушинський І.М., Мілітц Х., **Максимчук Р.Т.**, Біцікс В. Динамічний модуль пружності хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Вип. 28.3. С. 52 – 56. [DOI: 10.15421/40280311](https://doi.org/10.15421/40280311). (Особистий внесок: збір та обробка 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. 28.7. С. 44 – 48. DOI: [10.15421/40280709](https://doi.org/10.15421/40280709). (Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

8. **Максимчук Р.Т.**, Сопушинський І.М. Макроскопічні особливості хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.6. С. 33 – 37. DOI: [10.15421/40270606](https://doi.org/10.15421/40270606). (Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

9. **Максимчук Р.Т.**, Сопушинський І.М., Тимочко І.Я. Особливості формування річного кільця та базисної щільності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.9. С. 30 – 33. DOI: [10.15421/40270906](https://doi.org/10.15421/40270906). (Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

10. **Максимчук Р.Т.** Анізотропія розбухання прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.10. С. 106 – 110. DOI: [10.15421/40271020](https://doi.org/10.15421/40271020). (Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

#### Тези і матеріали наукових конференцій

11. **Maksymchuk R. T.**, Sopushynskyy I. M., Bussemer S. Morphological features of Silver fir with wave-grained stemwood. *Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку* : тез. доп. п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. (м. Малин, 26 бер. 2020 р.). Малин, 2020. С. 76-78. (Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті).

12. **Максимчук Р.Т.**, Сопушинський І.М. Внутрішньовидова диференціація ялиці білої (*Abies alba* Mill.) за макроскопічними ознаками деревини. *Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень* : тез. доп. п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. (м. Путила, 19 квіт. 2018 р.). Чернівці, 2018.

С. 182 – 183. (*Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

13. Сопушинський І.М., **Максимчук Я.М.**, Кополовець Р.Т. Збереження та використання ялиці білої “хвилясто-завилькуватої”. *Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів України* : тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Рахів, 22–25 жовт. 2018 р.). Івано-Франківськ, 2018. С. 394 – 397. (*Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

14. **Максимчук Р.Т.** Формове різноманіття ялиці білої (*Abies alba* Mill.) за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. *Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, збереженні та охороні рослинного світу* : тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–25 квіт. 2018 р.). Київ, 2018. С. 119 – 120. (*Особистий внесок: збір та обробка даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

15. Сопушинський І.М., **Максимчук Р.Т.**, Рудий Б.Б. Структурні відмінності стовбурної деревини *Abies alba* Mill. в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. *Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Івано-Франківськ, 4–5 жовт. 2018 р.). Івано-Франківськ, 2018. С. 238 – 242. (*Особистий внесок: збір та обробка експериментальних даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

16. Sopushynskyy I., Petkova K., Zayachuk V., Mandzyuk R., **Maksymchuk R.** Silvicultural characteristics of *Eucommia ulmoides* Oliv. growing in Ukrainian Precarpathians. *COST Action FP1403 NNEXT: Intern. conf. non-native tree species for European forests* (Vienna, 12–14 Sept. 2018.). Vienna, 2018. P. 93. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

17. **Максимчук Р.Т.**, Сопушинський І.М. Макроструктура аномальної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. *Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем* : тези доп. 67-ої наук.-практ. конф. професорсько-

викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2016 р. (м. Львів, 28 лист. 2017 р.). Львів, 2017. С. 89 – 90. (*Особистий внесок: збір даних, аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

18. Sopushynskyy I., Ray C. D., Zayachuk V., Zhmurko S., Kharyton I., Sopushynskyy M., **Maksymchuk R.**, Hrymenchuk I. Silvicultural assessment of natural coppice forests: a case study relating to coppice management by rural communities in the Ukrainian Subcarpathians. *Coppice forests in Europe: ecosystem services, protection and nature conservation: intern.conf. within COST Action FP1301 EuroCoppice* (Antwerpen, 16–17 June 2016). Antwerpen, 2016. P. 37. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

19. Sopushynskyy I., Zayachuk V., Bardarov N., Sopushynskyy M., **Maksymchuk R.** Some features of timber quality of *Betula pendula* Roth growing in Carpathian agroforestry. *Іновациі в горската промишленост и инженерния дизайн: тез. доп. интер. научно-техн. конф. (Софія, 3–5 нояб. 2016.)*. Sofia, 2016. С. 41. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

20. Харитон І.І., **Максимчук Р.Т.**, Сенюк А.І., Сопушинський І.М., Джурик В.П. Вплив висотно-екологічних умов Українських Карпат на ширину річного кільця *Picea abies* (L.) Karst. *Прагматичні аспекти діяльності національних природних парків у контексті збалансованого розвитку: тези доп. міжн. наук.-практ. конф. (м. Берегомет, 17–19 вер. 2015 р.)*. Берегомет, 2015. С. 185 – 188. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

21. Харитон І.І., **Максимчук Р.Т.**, Сенюк А.І., Сопушинський І.М., Жмурко С.В. Утвори ксилеми *Abies alba* Mill. *Лісівнича наука в контексті сталого розвитку: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 29-30 вер. 2015 р.)*. Харків, 2015. С. 53–54. (*Особистий внесок: аналіз результатів досліджень, участь у написанні статті*).

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ .....	2
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ .....	11
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	17
ВСТУП .....	19
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	25
1.1. Біолого-екологічні особливості <i>Abies alba</i> Mill. ....	25
1.1.1. Історико-економічні аспекти поширення та використання .....	25
1.1.2. Дендрологічні відмінності деревного виду.....	26
1.1.3. Лісівничі властивості ялицевих деревостанів .....	28
1.1.4. Висотно-екологічне поширення ялицевих лісів.....	32
1.2. Фізико-механічні особливості деревини.....	37
1.3. Диференціація деревних видів за властивостями деревини.....	46
2. ОБ'ЄКТИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	52
2.1. Об'єкти та програма досліджень .....	53
2.2. Методи досліджень .....	57
2.2.1. Відбір взірців деревини.....	57
2.2.2. Дендрохронологічні ознаки хвилеподібних утворів.....	58
2.2.3. Фізико-механічні властивості деревини.....	61
2.2.4. Достовірність результатів досліджень .....	64
3. СТРУКТУРНІ ВІДМІННОСТІ ХВИЛЕПОДІБНИХ УТВОРІВ СТОВБУРА ЯЛИЦІ БІЛОЇ.....	66
3.1. Морфологічні особливості дерев та утворів стовбура .....	66
3.2. Дендрохронологічні ознаки початку утворення утворів стовбура .....	71
3.3. Макроструктурні ознаки хвилясто-завилькуватої деревини .....	74
3.4. Парний регресійний аналіз структурних відмінностей деревини.....	81
3.5. Внутрішньовидова відміна ялиці білої за структурою деревини.....	84
4. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ХВИЛЯСТО-	

ЗАВИЛЬКУВАТОЇ ДЕРЕВИНИ .....	95
4.1. Відмінності формування об'ємної маси деревини залежно від кількості річних кілець в 1 см .....	95
4.2. Анізотропія розбухання хвилясто-завилькуватої деревини .....	103
4.3. Особливості формування об'ємної маси стовбурів із хвилеподібними утворами.....	107
5. КВАЛІМЕТРИЧНІ ОЗНАКИ	
ХВИЛЯСТО-ЗАВИЛЬКУВАТОЇ ДЕРЕВИНИ .....	112
5.1. Акустичні маркери хвилясто-завилькуватої деревини.....	112
5.2. Модуль пружності деревини .....	121
5.3. Кореляційно-регресійний аналіз кваліметричних ознак хвилясто- завилькуватої та прямоволокнуватої деревини.....	128
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ .....	138
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	141
ДОДАТКИ.....	162
Додаток А.....	163
Додаток Б .....	167
Додаток В.....	186
Додаток Д.....	192
Додаток Е .....	195

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

$A$	Вік дерева, років
$ПП$	Пробна площа
$МД$	Модельне дерево
$C_3$ - <i>см-бкЯц</i>	Волога смереково-букова суяличина
$h$	Висота дерева, м
$d_{1,3}$	Діаметр на висоті грудей, см
$h_{жив.гіл.}$	Висота до першої живої гілки, м
$l_{хв.-зав.}$	Довжина круглого лісоматеріалу з хвилясто-завилькуватою деревиною, м
$V_{хв.-зав.}$	Об'єм хвилясто-завилькуватої стовбурної деревини, м <sup>3</sup>
$B_{хв.-зав.}$	Відсоток хвилясто-завилькуватої деревини від загального запасу деревостану, %
$S^x_{річн.кіл.}$	Ширина річного кільця у дерев із хвилеподібними утворами, мм
$S^n_{річн.кіл.}$	Ширина річного кільця у дерев із типовою структурою, мм
$\delta^x_{пізн.дер.}$	Ширина пізньої деревини у дерев із хвилеподібними утворами, мм
$\delta^n_{пізн.дер.}$	Ширина пізньої деревини у дерев із типовою структурою, мм
$\delta^x_{ранн.дер.}$	Ширина ранньої деревини у дерев із хвилеподібними утворами, мм
$\delta^n_{ранн.дер.}$	Ширина ранньої деревини у дерев із типовою структурою, мм
$N_{річн.кіл.}$	Кількість річних кілець в 1 см, шт.·см <sup>-1</sup>
$\alpha_l$	Розбухання деревини повздовж волокон, %
$\alpha_r$	Розбухання деревини в радіальному напрямку, %
$\alpha_t$	Розбухання деревини в тангентальному напрямку, %
$\alpha_v$	Об'ємне розбухання деревини, %
$\alpha_t/\alpha_r$	Коефіцієнт анізотропії розбухання деревини
$K\alpha_t$	Коефіцієнт тангентального розбухання деревини

$K\alpha_r$	Коефіцієнт радіального розбухання деревини
$K\alpha_v$	Коефіцієнт об'ємного розбухання деревини
$\rho_{8\%}$	Щільність деревини при абсолютній вологості $W_{абс.}=8\%$ , $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$
$\rho_b$	Базисна щільність деревини, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$
$\rho_0$	Щільність абсолютно сухої деревини, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$
$\rho_{с.з.с.}$	Щільність деревини в свіжозрубаному стані, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$
$\lambda$	Ширина хвилі деревних волокон стовбурної деревини, $\text{мм}$
$U$	Глибина хвилі деревних волокон стовбурної деревини, $\text{мм}$
$W_{абс.}$	Абсолютна вологість деревини, %
$E_{Ln}$	Динамічний модуль пружності прямоволокнутої деревини в повздожньому напрямку, $\text{Н}\cdot\text{мм}^{-2}$
$E_{Lx}$	Динамічний модуль пружності хвилясто-завилькуватої деревини в повздожньому напрямку, $\text{Н}\cdot\text{мм}^{-2}$
$E_n$	Статичний модуль пружності прямоволокнутої деревини, $\text{Н}\cdot\text{мм}^{-2}$
$E_x$	Статичний модуль пружності хвилясто-завилькуватої деревини, $\text{Н}\cdot\text{мм}^{-2}$
$C_x$	Швидкість звуку в хвилясто-завилькуватій деревині, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$
$C_n$	Швидкість звуку в прямоволокнустій деревині, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$
$K_n$	Коефіцієнт затухання прямоволокнутої деревини
$K_x$	Коефіцієнт затухання хвилясто-завилькуватої деревини
.	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасні екологічні виклики у веденні лісового господарства вимагають збереження формового різноманіття деревних видів у природних умовах зростання. При цьому важливо усвідомити прийдешні зміни якісних характеристик деревних видів, зумовлені глобальною зміною клімату, що чітко проявляються у гірських лісових екосистемах. Вивчення внутрішньовидових відмінностей лісових деревних порід за властивостями деревини є невід'ємною складовою сталого ведення лісового господарства, головним завданням якого є цільове використання деревинних ресурсів [13, 28, 86, 181, 216].

Дослідження внутрішньовидової диференціації ялиці білої за структурою деревини в Українських Карпатах дають відповідь на питання, які якісні характеристики дерев та деревини мають економічне значення для лісогосподарського виробництва. Природа виникнення утворів стовбурів ялиці білої в лісорослинних умовах Буковинських Карпатах у процесі онтогенезу є також біолого-екологічним викликом для лісівничих наук [56, 61, 114, 163, 175].

У лісогосподарській практиці діагностування деревини із заданими властивостями є інструментом оптимізації ланцюга визначення вартості круглих лісоматеріалів, що забезпечує збільшення фінансових надходжень для підприємств лісового господарства. Економічна складова різноманітності структурних відмінностей деревини та відповідно її якості за зовнішнім виглядом, фізичними та механічними характеристиками – важлива передумова вирощування дерев із заданими властивостями деревини та виробництва високоякісних виробів із деревини [97, 117, 157, 175, 230].

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в рамках вітчизняних науково-дослідних проектів упродовж 2015–2019 рр., а саме: "Діагностування, кваліметрія та вирощування лісових деревних порід із заданими властивостями деревини в ДП "Берегометське лісомисливське господарство"" (шифр ГД 720-373-

FA12/08.10-10-12, 2014–2017 рр., науковий співробітник); “Дослідження впливу лісівничо-екологічних умов на властивості стовбурної деревини ялиці білої в деревостанах Українських Карпат” (шифр ГД №08.10-07-18, 2018–2020 рр., науковий співробітник).

**Мета і завдання дослідження.** Мета дослідження – встановити структурні відмінності деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура в лісорослинних умовах Буковинських Карпат та охарактеризувати морфологічні ознаки дерев, фізико-механічні показники та кваліметричні маркери діагностування хвилясто-завилькуватої деревини.

Відповідно до поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- дослідити морфологічні ознаки ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура та віковий діапазон початку їх утворення;
- вивчити внутрішньовидові відмінності макроструктурних показників у дерев із хвилясто-завилькуватою та прямоволокнистою деревиною;
- дослідити особливості формування об’ємної маси деревини ялиці білої з хвилеподібною та типовою структурою;
- визначити показники анізотропії розбухання прямоволокнистої та хвилясто-завилькуватої деревини;
- вивчити кваліметричні ознаки дерев ялиці білої “хвилясто-завилькувата”;
- визначити рівняння залежностей між діагностичними показниками фізико-механічної якості хвилясто-завилькуватої та прямоволокнистої деревини.

*Об’єкт дослідження* – хвилясто-завилькувата деревина ялиці білої у лісорослинних умовах Буковинських Карпат.

*Предмет дослідження* – процеси формування хвилясто-завилькуватої структури деревини ялиці білої за анатомічними та фізико-механічними властивостями.

**Методи дослідження.** У ході виконання дисертаційної роботи використано теоретичні такі методи досліджень: вивчення, вимірювання та

аналіз. Для виконання лісівничо-таксаційних досліджень деревостанів використано методи описової характеристики пробних площ, перелікової та вибіркової таксації. Структурні та фізико-механічні відмінності хвилясто-завилькуватої деревини досліджено за стандартними міжнародними методиками. Отримані результати досліджень опрацьовано за допомогою статистичних програм Excel, SPSS 17.0 та Statistica 10.0.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Унаслідок проведення лісівничо-таксаційних та деревинознавчих досліджень ялицевих деревостанів Буковинських Карпат

*вперше:*

– встановлено віковий діапазон початку утворення хвилеподібних утворів стовбура ялиці білої – від 25 до 45 років;

– визначено, що висота поширення хвилеподібних утворів у дерев ялиці білої змінюється від 6,0 до 11,5 м, ширина – від 33,7 до 194,2 мм, а їх глибина – від 4,4 до 24,1 мм;

– встановлено збільшення середніх значень ширини річних кілець до 31%, ширини пізньої деревини до 25% та ширини ранньої деревини до 34% в дерев із хвилясто-завилькуватою структурою;

– встановлено, що базисна щільність деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” варіює в межах від 292 до 478 кг·м<sup>-3</sup>, середнє значення її на 23% більше від ідентичного показника для прямоволокнутої деревини;

– виявлено особливості анізотропії розбухання деревини залежно від структурного розміщення деревного волокна, зокрема коефіцієнт неоднорідності розбухання хвилясто-завилькуватої деревини на 22% менше від аналогічного показника для прямоволокнутої деревини;

– встановлено, що зменшення динамічного та статичного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини зумовлено збільшенням її об’ємної маси, а збільшення модулів пружності прямоволокнутою деревиною обумовлено зростанням об’ємної маси та кількості річних кілець в 1 см.

– визначено, що середнє значення динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини є на 32% більшим від статичного модуля пружності, а різниця абсолютних значень статичного та динамічного модулів пружності прямоволокнутої деревини змінюється в межах  $\pm 10\%$ .

*набули подальшого розвитку:*

– неруйнівний спосіб діагностування якісних характеристик деревини ялиці білої, який базується на визначенні показників макроструктури та швидкості звуку в повздовжньому напрямку;

– кваліметрія дерев ялиці білої “хвилясто-завилькувата” в лісорослинних умовах північно-східного мегасхилу Українських Карпат.

**Практичне значення одержаних результатів.** Вперше одержано наукові результати щодо внутрішньовидової диференціації ялиці білої за структурою деревини в Буковинських Карпатах. Наведено рівняння залежності між кількістю річних кілець в 1 см, щільністю деревини, анізотропією розбухання, динамічним та статичним модулем пружності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини. Візуальне діагностування ялиці білої “хвилясто-завилькувата” рекомендовано проводити за рельєфними утворами стовбура. Для лісогосподарських та деревооброблювальних підприємств рекомендовані узагальнені статистичні фізико-механічні показники прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої. Розмірно-якісні ознаки рельєфних утворів стовбура використовують у лісогосподарській практиці для відбору ялиці білої “хвилясто-завилькувата” та методичні аспекти їх вимірювання у навчальній дисципліні "Деревинознавство" для підготовки фахівців освітнього рівня бакалавр за спеціальністю “187 Деревообробні та меблеві технології” (див. додаток Е).

**Особистий внесок здобувача.** Кваліфікаційна робота є результатом комплексних лісівничо-таксаційних та деревинознавчих досліджень, які виконано та опрацьовано особисто автором на кафедрі ботаніки, деревинознавства та недеревних ресурсів лісу Національного лісотехнічного університету України. Здобувачем сформульовано мету, завдання та проведено

експериментальні вимірювання. Досліджено річне кільце, щільність стовбурної деревини, показники анізотропії розбухання, динамічний та статичний модуль пружності деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. Наведено кваліметричні ознаки для діагностування ялиці білої “хвилясто-завилькувата”. Отримано моделі визначення об’ємної маси, статичного та динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини. Ряд 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. Одержані результати досліджень та їх статистичне опрацювання здобувач представив у вітчизняних та зарубіжних наукових фахових статтях.

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій** базується на ґрунтовному аналізі морфологічних ознак ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура, макроструктурних показників та фізико-механічних властивостей прямоволокнутої і хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої. Отримані результати досліджень порівняно з даними вітчизняних та зарубіжних дослідників. Вивчення значної кількості досліджуваних взірців деревини проведено з використанням міжнародно-визнаних наукових методів та сучасного програмного забезпечення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення результатів дисертаційної роботи заслухано та обговорено на 11–ти наукових конференціях, зокрема, *міжнародних*: "Ecology and Silvicultural Management of Coppice Forests in Europe" (Бухарест, 2015); Прагматичні аспекти діяльності національних природних парків у контексті збалансованого розвитку (Берегомет, 2015); Лісівнича наука в контексті сталого розвитку (Харків, 2015); Coppice forests in Europe: ecosystem services, protection and nature conservation: Conference within COST Action FP1301 EuroCoppice (Антверпен, 2016); Иновации в горската промишленост и инженерния дизайн: научно-техническа конференция (Софія, 2016); Флористичне і ценотичне різноманіття у

відновленні, збереженні та охороні рослинного світу (Київ, 2018); Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень (Чернівці, 2018); Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах (Івано-Франківськ, 2018); Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів України (Рахів, 2018); COST Action FP1403 NNEXT – International Conference Non-native tree species for european forests (Відень, 2018); *вузівській* "Наукові основи підвищення продуктивності і біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем" (Львів, 2017).

**Публікації.** Результати досліджень висвітлено у 21 науковій праці, з яких 5 – у провідних наукових фахових виданнях, 5 – у зарубіжних наукових періодичних виданнях, в тому числі одна в індексованому скопівському виданні, 11 – у матеріалах міжнародних конференцій.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків та рекомендацій виробництву, списку використаних літературних джерел, який містить 233 найменувань, з них 81 англійською, німецькою, польською й словацькою мовами та п'яти додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 197 сторінках комп'ютерного тексту, в тому числі 122 сторінки основного тексту, 19 таблиць та 47 рисунків. Обсяг додатків становить 35 сторінки.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Важливим завданням сталого лісоуправління є збереження формового різноманіття деревних рослин у природних умовах зростання. У цьому зв'язку селективний відбір деревних видів за якісними характеристиками деревини має за мету вирощування дерев із заданими властивостями деревини [113, 114, 142, 159]. Сучасні екологічні виклики, які зумовлені глобальною зміною клімату, зобов'язують усвідомити прийдешню внутрішньовидову диференціацію видів, що чітко проявляється у гірських лісових екосистемах. Зокрема, своєрідний розвиток деревних видів доцільно пов'язувати із зміною форми рослини в процесі еволюції [107]. Вивчення якісних структурних змін лісових деревних видів дозволяє відповісти на питання, пов'язані зі зміною властивостей деревини та дерева, що має не тільки технологічний, але й господарський характер.

#### **1.1. Біолого-екологічні особливості *Abies alba* Mill.**

##### **1.1.1. Історико-економічні аспекти поширення та використання**

В історичному та економічному ракурсах ялиця біла є однією з найцінніших деревних порід в Європі. Протягом ХХ-го століття лісокультурний інтерес до цього виду зумовив вивчення проблеми невідповідності проведених лісогосподарських заходів у ялицевих деревостанах. Відсутність інформації про екологічні особливості ялиці білої деревного виду та зміни її лісівничих властивостей стала підставою для проведення наукових досліджень щодо структури та динаміки поширення ялицевих насаджень [170].

Акцент науково-дослідних робіт спрямовано на екологію генів і структуру та динаміку популяцій ялиці у змішаних насадженнях та їх керування. Для збереження високого біорізноманіття у лісових екосистемах до уваги взято її тіневитривалість та гнучкість стосовно зміни екологічних умов і здатність співіснувати з багатьма деревними видами. Екологічні властивості ялиці білої

відзначаються значними відмінностями щодо морозостійкості [5, 8, 12, 28, 31, 32, 90, 101, 141].

Ялицеві насадження в Українських Карпатах представлені одна та багатоярусними деревостанами, для природнього відновлення яких важливе проведення лісогосподарських заходів належним чином, тобто з урахуванням екологічних особливостей. Очікується, що зміна клімату призведе до зменшення площі ялицевих деревостанів. У зв'язку з цим необхідним є вивчення впливу екологічних чинників на структурні зміни ксилеми ялиці білої [7, 87, 99, 101, 128].

Найважливіше економічне значення в Україні з класу хвойних має родина соснові (*Pinaceae*), до якої належить близько 10 представників, які належать до чотирьох родів [8, 53, 57, 64, 142]. Ялицю білу відносять до підродини ялицеві. Вона відрізняється наявністю тільки видовжених пагонів і поодиноким розташуванням хвої, а насіння досягає в рік запилення.

### 1.1.2. Дендрологічні відмінності деревного виду

Ялиця біла (я. європейська, я. гребінчаста – *Abies alba* Mill (*A. pectinata* Lam. et DC. *A. excelsa* Link., *A. vulgaris* Poir.) – одне з найвищих дерев роду *Abies* в Європі, досягає до 65 м у висоту та діаметру – до 2 м. Крона є гостро-пірамідальна у молодому віці та у старшому – параболічна. Довжина крони становить від половини до двох третин висоти дерева. У молодому віці кора світло-сіра та гладка, проте з віком стає пластинчастою. Пагони волосисті та сірувато-бурі. Листова пластинка (хвоя) темно-зелена, знизу має дві світлі смужки. За формою тупа, а її краї плоскі. Хвоїнки довжиною 2–3 см та шириною 2–3 мм розташовані гребінчасто в одній площині. Яйцеподібні бруньки не залиті смолою. Період запилення коливається з квітня по червень. Стробіли ялиці є одностатеві. Чоловічі за формою циліндричні, у вигляді жовтих колосків, а жіночі – дрібні, у вигляді зелених шишечок. Шишки циліндричні із затупленням та прямостоячі 9-16 см довжиною. Гострі та вузькі покривні луски виступають над насінневими. Насінини з крилом довжиною 7–9 см [8, 53, 100, 180, 213, 225]. Маса 1000 шт. насінин – 40 г.

У сприятливих лісорослинних умовах може досягати віку до 500–600 років. [70].

Сучасний природний ареал ялиці білої охоплює гірські та передгірські лісорослинні умови. До географічної відмінності виду є його континуальність ценопопуляцій, що спричиняє безперервні міграційні процеси. За даними Т. В. Парпана [88], до Українських Карпат ялиця мігрувала з Балканського та з Апеннінського півостровів.

Поширення ялиці білої в Українських Карпатах пов'язано з кліматичними і едафічними чинниками. Висотно-екологічна границя різниться на південно-західних і північно-східних макросхилах Українських Карпат [28, 35, 142, 141, 140]. Так, ялиця зростає на максимальній абсолютній висоті 1250 м *н.р.м.* в ялинових деревостанах. За даними К. К. Смаглюка [108], її висотний градієнт розповсюдження може знаходитися в межах від 200 м до 2000 м *н.р.м.* на Передкарпатті.

Західна межа природного ареалу сягає франко-іспанського кордону, південна – південь Італії, східна – Західна Україна. Східна границя пролягає у Чернівецькій області, де ялиця росте в деревостанах на висоті від 300 м *н.р.м.* (рис. 1.1).



**Рис. 1.1.** Природний ареал *Abies alba* Mill. [229]

### 1.1.3. Лісівничі властивості ялицевих деревостанів

Найбільший антропогенний вплив на ялицеві насадження відбувся в період 1950-1956 *рр.*, упродовж якого площа деревостанів за участю ялиці білої зменшилась з 123,8 до 72,2 *тис. га.* Відновлення ялицевих лісів було започатковано в 1961 році. Однак близько 40% площі ялицевих типів лісу займають похідні смеречники [123-128]. У Карпатського регіоні України ялицеві деревостани поширені на 38,1% площі лісових масивів із наступним розподілом від їх загальної площі у Львівській, 28,0% – Чернівецькій 24,8% – Івано-Франківській та 9,1% – Закарпатській областях [13-15].

У насадженнях південно-західного макросхилу Полонинського і Водороздільного хребтів ялиця є домішкою, починаючи з висоти 500-600 *м н.р.м.* До вологості повітря та ґрунту ялиця є вибагливою. Ізогіета знаходиться в межах від 600 до 700 *мм* на рік в лісорослинних умовах Прикарпаття та 850-900 *мм* Закарпаття (рис. 1.2). Природний ареал обмежує також підвищена чутливість до пізніх заморозків [28 - 29, 33, 35, 65, 68, 126, 145].

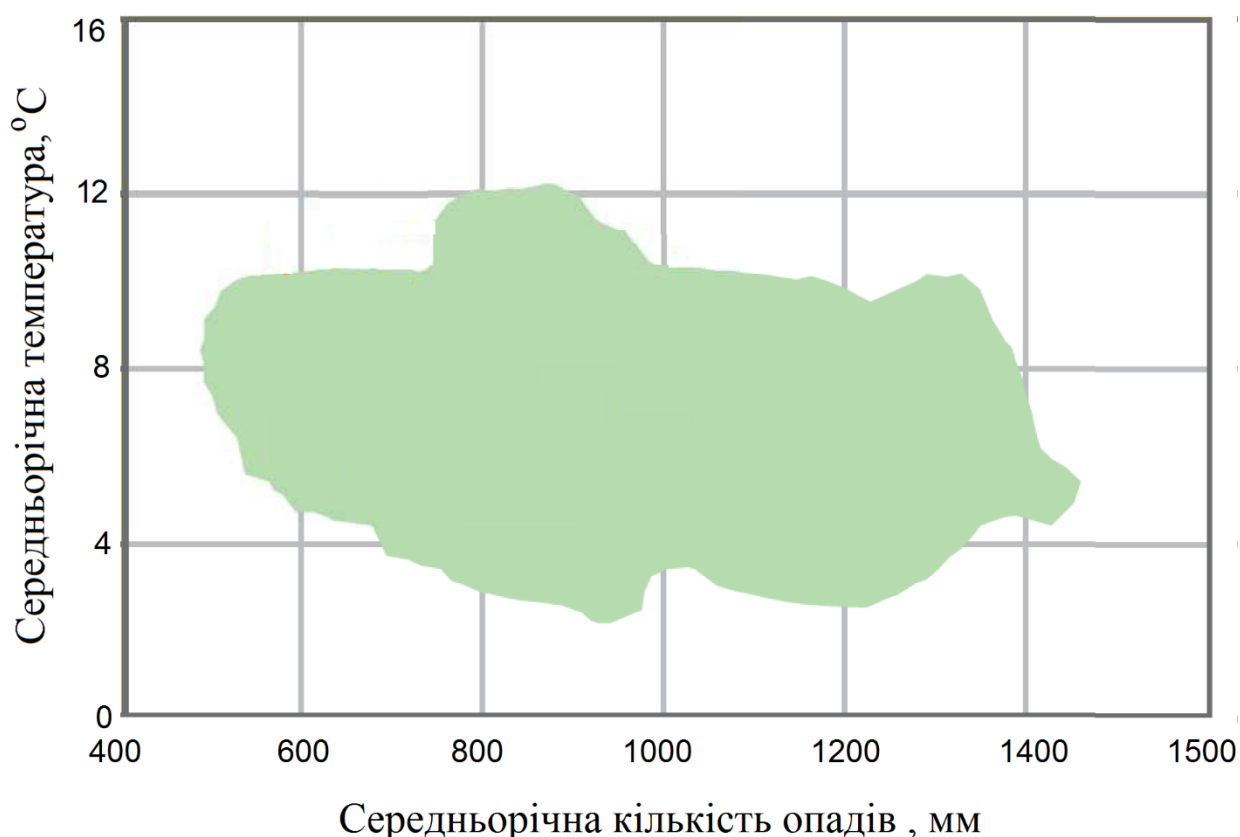


Рис. 1.2. Кліматичні параметри ареалу ялиці білої [197]

До лісознавчих особливостей ялиці білої доцільно віднести її низьку стійкість до забруднення повітря, високу вітростійкість, вибагливість до багатства ґрунту та сильно виражену тіншовитривалість, а в молодому віці повільний ріст. Важливо є також відзначити низьку схожість насіння та і пізні шишкоутворення. Ялиця біла за біоекологічними особливостями близька до бука лісового і певною мірою до ялини європейської, що обумовлює утворення змішаних деревостанів з буком та ялиною в Українських Карпатах [101].

Найсприятливіші лісорослинні умови для ялиці, де вона є едифікатором і досягає максимальної продуктивності, перевершуючи за цим показником інші породи, поширені на абсолютних висотах від 500 до 900 *м н.р.м.* Так, запаси деревини в стиглих деревостанах варіюють від 400 до 1200 *м<sup>3</sup>*. Найпродуктивніші ялицеві деревостани зростають на південному мегасхилі, хоча поширені також і на інших – північно-східному і частково західному [13, 12, 15, 26, 28, 41, 64, 90, 142, 146, 147].

Ряд авторів відзначають, що на місці корінних змішаних ялицевих деревостанів в Українських Карпатах переважають ялинники і букняки [93, 99, 101, 125, 127, 128]. Чисті одновікові яличники штучного походження домінують у Верхньодністровських Бескидах, а незначна домішка ялини європейської характеризується низькою стійкістю до грибкових уражень, що зумовлює проведення санітарних рубок у віковому діапазоні 50-70 років. Такі процеси позитивно впливають на формування середньоповнотних яличників.

На північному мегасхилі Українських Карпат ялиці білій притаманні вади деревини будови та форми стовбура, а також біологічні пошкодження. Особливо вразливий деревний вид до суворої зими, що послаблює дерева і призводить до їх ураження шкідниками. Це зумовило повну зміну деревних порід в ялицевих лісах на площі 7,4% молодняків у 80-х роках минулого століття [90, 99, 101]. У лісовому фонді державних лісових підприємств значну площу займали низькотоварні грабняки, осичники, березняки з середнім віком 24-50 років, які росли на багатих глибоких ґрунтах яличників і суяличників [142, 145, 146]. В ялицевих типах лісу було виявлено 31 тип похідних

деревостанів, які потребували проведення лісгосподарських заходів для відновлення корінної породи. До важливих причин зменшення площ ялицевих деревостанів належить їх незадовільний санітарний стан, що зумовлює розповсюдження біологічних пошкоджень та хворіб. Найпоширенішим ураженням у букових яличинах та суяличинах є грибкові пошкодження, які призводили до утворення несправжнього ядра та багатoverхівковості впливало і впливали на вихід ділової деревини [123, 124, 128].

У гірських лісорослинних умовах, де ялиця утворює деревостани із ялиною, буком та іншими листяними породами, катастрофічно збільшуються площі всихання хвойних насаджень ялини і ялиці через кореневу гнилизну. За даними П. А. Трибуна [130], понад 81,7% хвойних лісів всихає, а частка санітарних рубок у розрахунковій лісосіці досягає 80%. Після рубки уражених дерев на поперечному зрізі виділяється чітко буро-червоне ядро, якість деревини якого різко відрізняється від здорової периферійної зони, а уверх стовбуром воно поширюється аж до верхівки. Автор робить висновок про можливий зв'язок між різкими температурними коливаннями і ураженням гнилизною, а також збільшення здорового природного поновлення місцевого походження та використання насіння з корінних деревостанів – ялицевих пралісів.

Лісознавчою особливістю ялицевих деревостанів, уражених кореневою губкою є проведення реконструкції молодняків віком 10-20 років з уведенням бука лісового, клена-явора, клена гостролистого та інших лісових деревних порід. В яличниках доцільно сприяти природному поновленню берези повислої у перезволожених типах лісорослинних умов, яке можна регулювати рубками догляду. Важливо зазначити, що чисті яличники можна використовувати в якості плантацій з меншим оборотом рубки. Ряд авторів стверджує, що не виважене експлуатаційне втручання в лісові біогеоценози протягом вегетаційного періоду сприяють активізації збудників корневих шкідників та послабленню стійкості ялицевих деревостанів [12, 28, 32, 93, 101].

За даними багатьох дослідників природне поновлення ялиці білої під

наметом деревостанів відбувається цілком задовільно [12, 35, 74, 89, 88, 99, 123, 142]. Під наметом пристигаючих ялицевих деревостанів залежно від зімкнутості крон, складу насадження та інших показників кількість підросту знаходиться в межах від 2,2 до 203,2 *тис.шт.·га<sup>-1</sup>*. У середньоповнотних деревостанах ДП “Берегометське лісомисливське господарство” у свіжих суяличниках та яличниках природне поновлення варіює від 11,0 до 13,1 *тис.шт.·га<sup>-1</sup>*, а у вологих типах лісу знаходиться в межах від 15,1 до 23,2 *тис. шт.·га<sup>-1</sup>*. У високоповнотних насадженнях кількість підросту менша, що зумовлено надмірною зімкнутістю крон, і становить 19,3–19,6 *тис. шт.·га<sup>-1</sup>*, а у середньоповнотних деревостанах кількість природного поновлення змінюється в межах від 20,2 до 23,2 *тис. шт.·га<sup>-1</sup>*. Практичний досвід свідчить, що труднощі під час створення і вирощування культур ялиці білої в Українських Карпатах доцільно пов'язувати насамперед з прорахунками, допущеними вже під час планування обсягів здійснення лісовідновних заходів в ялицевих типах лісу, а само і часто необґрунтованому проектуванні початкових складів і схем змішування головних порід, застосуванні різноманітних, не завжди виправданих технологій обробітку ґрунту, висаджування і догляду за висадженими сіянцями та саджанцями, несвоєчасним, а нерідко і неякісним виконанням рубок формування та оздоровлення лісів [101].

Створення цінних високопродуктивних та біологічно стійких насаджень можна здійснювати через проведення ефективної лісонасінневої справи та завдяки зусиллям науки й лісокультурного виробництва шляхом створення постійних лісонасінних баз ялиці білої. Результати досліджень свідчать, що найрезультативнішим способом у відтворенні ялиці білої є плюсова селекція та плантаційне лісове насінництво. Найкращими підщепами є вирощені у відкритому ґрунті 4-5 – річні саджанці, а найвищі показники приживлюваності досягаються під час щеплення способом серцевиною прищепи на камбій підщепи (85-97%) в період активного росту і розвитку підщепи та початку розвитку прищепи (93%). Літні щеплення приживлюються значно гірше (58-63%) [152, 151].

#### 1.1.4. Висотно-екологічне поширення ялицевих лісів

У передгірській і гірській частинах Карпатського регіону (Львівська, Закарпатська, Івано-Франківська та Чернівецька області) ялиця біла – одна із головних лісотвірних порід, природний ареал якої зумовлений не тільки едафічними, але й висотно-екологічними умовами. На Буковині нижня границя поширення ялицевих деревостанів знаходиться на абсолютній висоті 300-325 м н.р.м. Оптимальні лісорослинні умови для росту і найвищої продуктивності поширені на абсолютній висоті 450-900 м. В Українських Карпатах верхньою границею зростання ялиці білої доцільно вважати абсолютну висоту 1250 м н.р.м., де вона входить до складу смеречин та сусмеречин [7, 146, 147]. За даними К. К. Смагляка [108], ареал ялиці білої у висотно-екологічному аспекті знаходиться в межах від 200 м до 2000 м н.р.м. Узагальнюючи, можна стверджувати, що висотно-екологічний градієнт ялиці у передгір'ї і гірської частини карпатського регіону варіює від 250 до 1500 м н.р.м.

За даними ряду авторів [22, 28, 35, 38, 68, 87, 90, 100, 104, 125, 127], стан та продуктивність ялицевих деревостанів Покутсько-Буковинських Карпат є найбільш вразливою формацією. Площа лісових насаджень за участю ялиці білої скоротилась і становить приблизно 100 тис. га. В Карпатському регіоні це автохтонний вид, який охоплює площу 267,2 тис. га. Оптимальним для неї типом лісорослинних умов є вологий груд та сугруд. У складі ялицевого насадження найчастіше зустрічаються як домішки ялина звичайна, бук лісовий та дуб звичайний, де основними супутниками є клен-явір, ясен звичайний, граб звичайний, в'яз шорсткий, липа дрібнолиста.

За даними Р. І. Бродовича, Ю. Д. Кацуляка та В. М. Гудими [7], загальна площа ялицевих деревостанів становить 244,4 тис. га, в т.ч. в Івано-Франківській області – 102,04 тис. га (41,8%), Львівській – 67,12 тис. га (27,4%), Чернівецькій – 49,14 тис. га (20,1%), у Закарпатській тільки 26,14 тис. га (10,7%). Площу ялицевих типів лісу станом на 2006 рік наведено в табл. 1.1.

Найпоширенішими ялицевими типами лісу є вологі буково-смерекові суяличини та яличини, які займають 68,3% формації, та вологі букові

суяличини і яличини – 16,4%. Рідше представлені вологі дубові суяличини і яличини (9,9%), вологі грабово-букові яличини (3,6%) та сирі смерекові суяличини (1,1%). В умовах Чернівецької області виділено вологий смереково-ялицевий субір (28,8 га). Свіжа дубова суяличина (299,0 га), свіжа смереково-букова суяличина (331,7 га) та волога дубово-букова яличина (651,1 га) трапляються на невеликих площах.

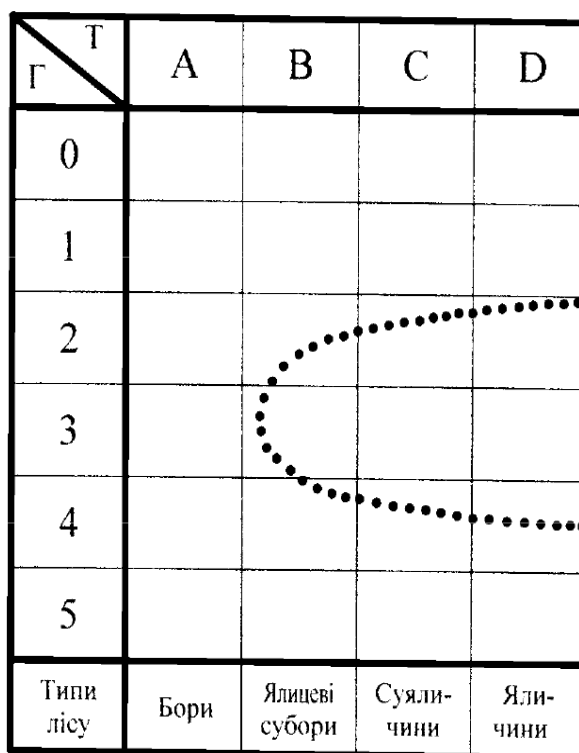
Таблиця 1.1

## Ялицеві типи лісу в Українських Карпатах [7]

Тип лісу, його індекс	Обласні управління лісового господарства, га/%				Разом
	Черні- вецьке	Івано-Фран- ківське	Закар- патське	Львівське	
Вологий смереково-ялицевий субір – В <sub>3</sub> -смЯц	<u>28,8</u> 0,06	–	–	–	<u>28,8</u> 0,01
Свіжа дубова суяличина – С <sub>2</sub> -дЯц	<u>2,3</u> 0,04	<u>269,2</u> 0,03	–	<u>27,5</u> 0,04	<u>299,0</u> 0,1
Свіжа смереково-букова суяличина – С <sub>2</sub> -см-бкЯц	–	–	<u>81,3</u> 0,3	<u>250,4</u> 0,4	<u>331,7</u> 0,1
Волога букова суяличина – С <sub>3</sub> -бкЯц	<u>1127,7</u> 2,3	<u>5952,5</u> 5,8	<u>856,3</u> 3,3	<u>14688,7</u> 21,9	<u>22625,2</u> 9,3
Волога буково-смерекова суяличина – С <sub>3</sub> -бк-смЯц	<u>19377,9</u> 39,4	<u>56630,9</u> 55,5	<u>11622,5</u> 44,4	<u>17274,1</u> 25,8	<u>104905,4</u> 42,9
Волога дубова суяличина – С <sub>3</sub> -дЯц	<u>2323,1</u> 4,7	<u>11941,5</u> 11,7	–	<u>1344,8</u> 2,0	<u>15609,4</u> 6,4
Сира дубова суяличина – С <sub>4</sub> -дЯц	–	<u>19,2</u> 0,01	–	<u>4,2</u> 0,006	<u>23,4</u> 0,01
Сира смерекова суяличина – С <sub>4</sub> -смЯц	<u>2,0</u> 0,004	<u>2732,0</u> 2,7	–	<u>18,4</u> 0,03	<u>2752,4</u> 1,1
Свіжа букова яличина – Д <sub>2</sub> -бкЯц	<u>42,1</u> 0,08	<u>12,8</u> 0,01	<u>29,6</u> 0,1	–	<u>84,5</u> 0,003
Волога букова яличина – Д <sub>3</sub> -бкЯц	<u>5353,7</u> 10,9	<u>8821,2</u> 8,6	<u>1587,8</u> 6,1	<u>1509,7</u> 2,2	<u>17272,4</u> 7,1
Волога буково-смерекова яличина – Д <sub>3</sub> -бк-смЯц	<u>16053,9</u> 32,7	<u>13352,7</u> 13,1	<u>11830,9</u> 45,3	<u>20995,1</u> 31,2	<u>62232,6</u> 25,4
Волога грабово-букова яличина – Д <sub>3</sub> -г-бкЯц	<u>371,4</u> 0,8	<u>2293,3</u> 2,2	<u>131,6</u> 0,5	<u>6214,2</u> 9,3	<u>9010,5</u> 3,6
Волога дубово-букова яличина – Д <sub>3</sub> -д-бкЯц	<u>651,1</u> 1,3	–	–	–	<u>651,1</u> 0,2
Волога дубова яличина – Д <sub>3</sub> -дЯц	<u>3799,0</u> 7,7	–	–	<u>4708,4</u> 7,0	<u>8507,4</u> 3,5
Сира яличина – Д <sub>4</sub> -Яц	<u>8,9</u> 0,02	<u>16,5</u> 0,01	–	<u>85,9</u> 0,1	<u>111,3</u> 0,05
Разом:	<u>49141,9</u> 100,0	<u>102041,8</u> 100,0	<u>26140,0</u> 100,0	<u>67121,4</u> 100,0	<u>244445,1</u> 100,0

Ялиця біла в Українських Карпат росте на площі 192,95 тис. га. Найпоширенішими є волога буково-ялицева сусмєречина і смєречина (74,2 тис. га), волога смєреково-ялицева субучина і бучина (35,0 тис. га), волога ялицева субучина і бучина (25,8 тис. га) та волога ялицева судіброва і діброва (12,8 тис. га) [7, 24, 25, 28, 99, 145-147].

Проф. Швиденко А. Й. виділив 14 ялицєвих типів лісів, в тому числі 2 типи лісу з пануванням ялиці і 12 типів в корінних деревостанах, де ялиця є домішкою [142, 145, 146, 147]. Вологі букові та ялицєво-букові яличники та суяличники є найпоширенішими (рис. 1.3).



**Рис. 1.3. Екологічні ареали типів ялицєвих лісів на едафічній сітці [143]**

У роботі проф. Герушинського З. Ю. виділено 10 типів лісу, що характерні для корінних деревостанів за участю ялиці. Найпоширенішими є вологі смєреково-букові яличники і суяличники, які становлять 80%. Вологі дубово-букові яличники і суяличники займають 16%.

За даними проф. Стойка С. М., корінні ялицєві типи лісу займають екологічну нішу між формаціями букових та смєрекових лісів па висоті 1050-1150 м н.р.м. Деревостани класів бонітету 1А та 1Б мають середню

висоту 42-45 м і запас деревини 750-1200 м<sup>3</sup>. У субформації ялицево-смереково-букових лісів На висоті 1100-1150 м н.р.м. ялиця біла досягає середньої висоти до 33 м і займає перший ярус [87, 90]. Запас чистих та змішаних з буком і смерекою високопродуктивних ялицевих деревостанів може досягати 700–800 м<sup>3</sup> (рис. 1.4) [24, 25].



**Рис. 1.4. Деревостан ялиці білої на висоті 865 м н.р.м.  
в лісорослинних умовах Буковинських Карпат**

В умовах вологих мезо та мегатрофних місцезростань на гірських схилах на абсолютній висоті 750-850 м н.р.м. ялиця біла характеризується швидким ростом та високою продуктивністю. У деревостанах I та II класів бонітету найбільший приріст за висотою характерний у віці 50-100 років, а за діаметром – 50-150 років. Деревостани з високою продуктивністю поширені у вологих яличинах [89,137,

138]. Оптимальними лісорослинними умовами для росту та розвитку ялиці білої є ділянки на схилах зі стрімкістю схилу  $26-50^\circ$  на абсолютній висоті більше  $800$  м н.р.м. та зі стрімкістю  $0-10^\circ$  для висоти  $800-1099$  м н.р.м. [38, 41, 42].

На легких за механічним складом і нормально зволжених ґрунтах ялиця біла має стрижневу кореневу систему, а бічні корені утворюють якорі (рис. 1.5). На важких та надмірно зволжених і на гірсько-підзолистих ґрунтах коренева система характеризується меншим стрижнем, але бічні корені краще розвинені, що зумовлює її хорошу стійкість проти вітровалів.

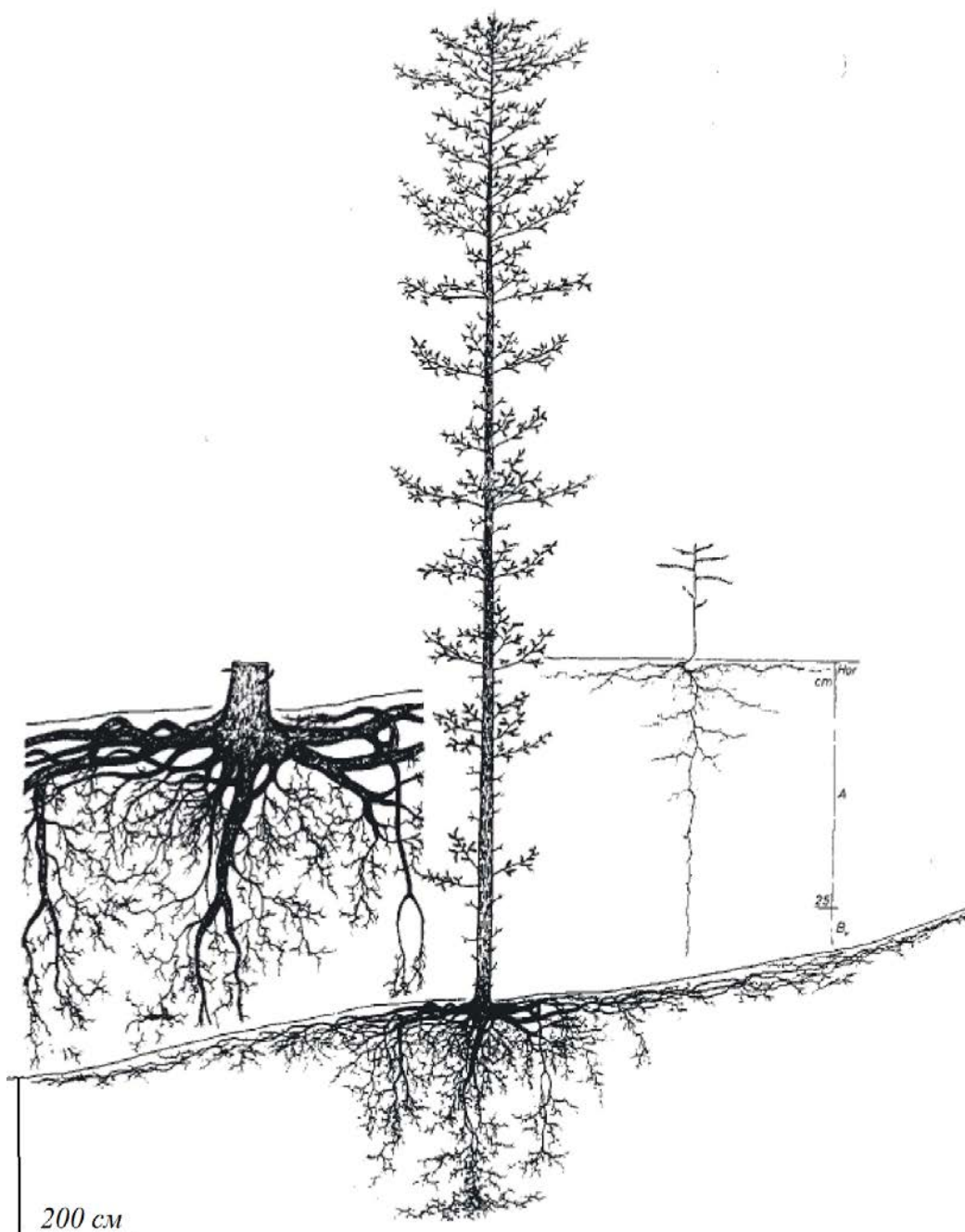


Рис. 1.5. Стрижнева коренева система ялиці білої [184]

У змішаних дубово-ялицевих насадженнях на підзолистих ґрунтах кореневі системи ялиці проникають більш глибоко. Розгалуження кореневої системи відбувається тільки після досягнення до горизонту підземних вод. Деформування коренів можливе тільки у кам'янистих ґрунтах [9, 72, 184, 185].

Ялицеві деревостани відрізняються високою продуктивністю у буковій та смереково-буковій яличині. Найпоширенішими ялицевими типами лісів є вологі смереково-букові (50,1%) і дубово-букові (5,7%) суяличини, вологі смереково-букові (28,3%), дубово-букові (8,9%) та букові (4,7%) яличини. Свіжі та сирі дубово-букові й смереково-букові суяличини та яличини займають 2,3% і поширені фрагментарно. Приблизно 40% площі суяличин та яличин є трансформованими і зайняті похідними деревостанами ялини звичайної, а 20% – бучинами [123-128]. За групами віку ялицеві деревостани в Українських Карпатах поділено на молодняки – 31%, середньовікові – 30%, пристигаючі – 26% і стиглі та перестиглі – 13%, більшість з яких характеризується низькою повнотою. Середній клас бонітету рівний I,2. Середній запас стиглих деревостанів становить  $458 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ , а середній приріст –  $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ .

## 1.2. Фізико-механічні особливості деревини

Вивчення структури та фізико-механічних властивостей деревини відіграє важливу роль при вирощуванні лісових порід із заданими властивостями деревини. Розуміння якості круглого лісоматеріалу чи сортименту включає визначення розмірно-параметричних характеристик стовбура в поперечному перетині, а саме абсолютних значень ювенільної, ядрової та заболонної деревини, в межах яких фізико-механічні властивості деревини відрізняються суттєво. Для селективного відбору високоякісної деревини хвойних порід доцільно враховувати діаметр та висоту безсучкової зони стовбура, візуальне оцінювання яких базується на критеріях сортування круглих лісоматеріалів за класами якості. На особливу увагу заслуговують такі деревинознавчі показники як ширина річного кільця, кількість річних кілець в 1 см, вміст пізньої деревини, щільність деревини в абсолютно сухому стані, при нормалізованій вологості ( $W_{\text{абс.}} = 12\%$ ) та базисна щільність [16,

18, 95, 97, 119, 209, 222]. Достовірний статистичний аналіз якісних характеристик деревини біологічного деревного виду повинен розкривати всі особливості зміни властивостей деревини від серцевини до кори та від відземку до вершини стовбура, а також в межах річного приросту [18, 111, 121, 233].

Варіабельність фізико-механічних властивостей деревини зумовлена фенотипом та генотипічними чинниками не тільки між популяціями одного виду, але й окремих дерев. Зміни властивостей в окремо взятому дереві є результатом складної системи взаємопов'язаних факторів, які змінюють фізіологічні процеси, пов'язані з утворенням деревини [191, 204].

Ряд дослідників вказують на розбіжну варіацію в радіальному і поздовжньому напрямках дерева, що поставило під сумнів, чи можна вважати деревину однієї лісової деревної породи однорідним матеріалом [17, 18, 111, 61, 66, 138, 93, 98, 121, 156, 161, 197, 170]. Стовбур дерева виконує структурну функцію, витримуючи динамічні та статичні навантаження протягом свого життя. Варіація напружень, які виникають в результаті цього уздовж стовбура, впливають безпосередньо на формування внутрішньої структури та механічні властивості деревини. Про це свідчить ряд досліджень, які зосереджені на вивченні анатомічних відмінностей деревини та фізичних властивостей в межах радіусу та висоти дерев [198, 172, 225, 227, 193, 216, 231, 233].

Дослідження ялиці білої, проведені А. Л. Веверисом, В. Е. Вихровим, Г. Крюсманом, Г. В. Крыловим, П. П. Марадудиним, П. П. Махеевим та іншими, розкривають особливості формування показників фізичних властивостей деревини [16, 17, 64, 93]. Автори вивчали властивості деревини в межах висоти та діаметра стовбура дерева, однак у наукових працях не наведені залежності між показниками анатомічних, фізичних та механічних параметричних характеристик деревини. Ці дослідження більш лісівничого характеру, оскільки не враховано структурні відмінності деревини та зміну властивостей деревини в різних лісорослинних умовах.

Ряд вітчизняних дослідників зосереджують свою увагу на залежності між величиною річного приросту та об'ємною масою деревини при різній

абсолютні вологості. Результати досліджень стверджують про те, що деревина хвойних порід із вузькими річними кільцями характеризується більшими показниками щільності деревини порівняно з широкими річними кільцями. Відсоток пізньої деревини суттєво визначає не тільки величину щільності деревини хвойних та кільцесудинних деревних видів. При чому автори відзначають, що рівномірність структури деревини є визначальним чинником її якості та стабільності розмірів. Оптимальний річний приріст сосни звичайної змінюється від 0,5 до 2,0 мм, дуба звичайного – 2-3 мм, а для ясеня звичайного – 3-6 мм. Індикатором сприятливих лісорослинних умов вважають базисну щільність деревини, на яку суттєво впливає зміна висотно-екологічних умов [18, 42, 111, 111, 114, 114, 135, 136].

У своїх наукових роботах О. И. Полубояринов (1976) вказує на те, що відмінність значень об'ємної деревини ялиці білої та інших хвойних порід тісно пов'язана зі структурою клітинної стінки. Важливе значення при цьому відіграє відношення між об'ємом клітинної стінки та порожнини клітини. Дослідник звертає увагу на відмінність густини клітинної оболонки в межах річного кільця, що вагомо визначає щільність деревини, тісно пов'язаної з варіацією розмірів ранніх та пізніх трахеїд і їх процентного вмісту. При однаковій анатомічній будові деревини, її властивості в межах річного кільця визначає відсоток пізньої деревини. За його дослідженнями встановлено п'ять анатомічних особливостей, які визначають фізико-механічні властивості деревини: 1) кількість рядів пізніх трахеїд; 2) загальна кількість рядів трахеїд; 3) товщина стінки пізніх трахеїд; 4) довжина пізніх трахеїд; 5) кількість рядів ранніх трахеїд [95 - 97].

Об'ємну масу деревини традиційно асоціюють з різними фізико-механічними властивостями і вважають, що зміна щільності впливає на більшість властивостей деревини [114, 135, 163, 169, 175, 178, 189, 199, 208, 209, 212, 215, 221, 233]. Відхилення щільності деревини за висотою дерева залежить від біологічного виду і його походження, зокрема прийнято, що щільність знижується одночасно з висотою стовбура в класі хвойних деревних

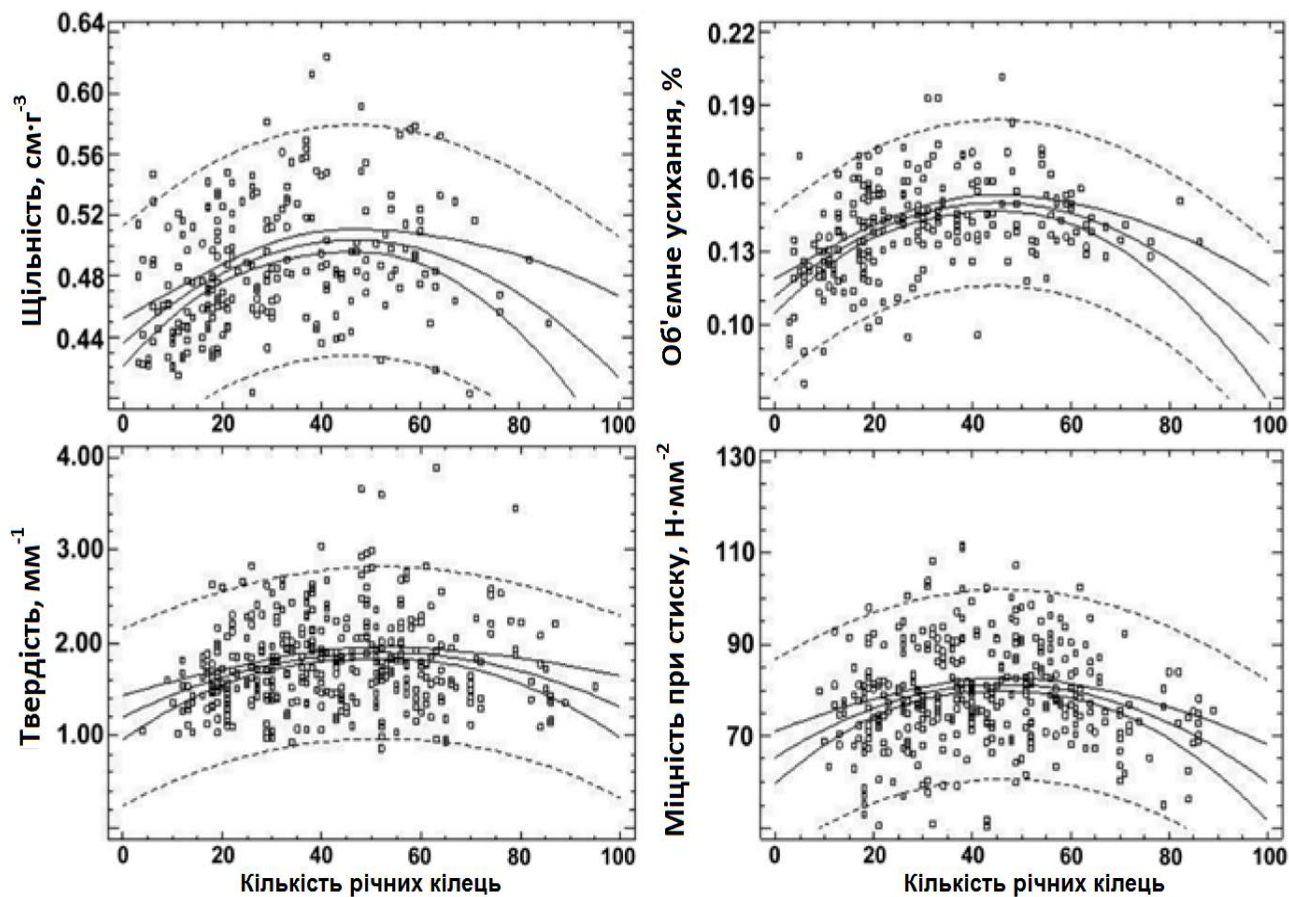
порід [4, 18, 111, 98, 171, 204, 233]. Так, в родині Соснових така закономірність спостерігається для більшості видів, а саме: зменшення щільності на підвищеній висоті, хоча ця варіація може бути незначною.

За даними F. Krzysik (1978), об'ємна маса деревини ялиці білої змінюється від  $350 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  до  $750 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  при абсолютній вологості 15% і суттєво залежить від класу якості стовбура. Середня щільність деревини свіжозрубаного стовбура становить  $1000 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Показник усихання деревини в радіальному напрямку становить 3,8%, а тангентальному 11,7% [185]. Аналогічних результатів досягнуто іншими вченими [194, 199, 205, 211].

На думку А. М. Боровикова та Б. Н. Уголева (1989), фізико-механічні властивості деревини формує не тільки спадковість, але й навколишнє середовище упродовж росту та розвитку деревної рослини. У деревині хвойних порід цей біологічний процес найкраще відслідкувати. Об'ємна маса деревини збільшується від серцевини до  $2/3$  радіуса, після чого починає знову зменшуватись. Базисна щільність ялиці білої становить  $350 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , в абсолютно сухому стані  $400 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , а при нормалізованій вологості 12% –  $425 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . В одновікових деревостанах зі збільшенням діаметру стовбура об'ємна маса деревини зменшується. У густіших деревостанах формується деревина підвищеної щільності і, як правило, із кращими показниками механічних властивостей деревини. Коефіцієнт радіального усихання удвічі менший, ніж в тангентальному напрямку, і становить 0,15. Хвойні дерева, які відстали в рості, незалежно від густоти насадження мають більші показники фізичної якості деревини [6, 131].

За даними групи дослідників [172], дисперсійний аналіз зміни фізико-механічних властивостей в межах стовбура свідчить про неможливість створення моделі для деревини ялиці білої у лісорослинних умовах Іспанських Піренеїв. Тут можна лише посилатися на тенденції. Якісним властивостям деревини (щільність, об'ємна усихання, твердість і міцність при стиску вздовж волокна) властива тенденція зменшення середніх значень відповідного показника від відземку до початку крони. Зміну фізико-механічних

властивостей деревини в радіальному напрямку можна описати поліноміальною кривою другого ступеня з висхідною фазою від серцевини до 40...50-ти річних приростів, за якими йде низхідна фаза з більш м'яким перепадом до 70-75-го річного приросту і різке падіння після цього моменту (рис. 1.6).



**Рис. 1.6.** Зміна фізико-механічних властивостей деревини за радіусом [172]

Така тенденція зміни властивостей деревини ялиці білої пояснюється зміною щільності та відсотком ювенільної деревини і кутом нахилу мікрофібрил. Також було відзначено, що периферійна стигла деревина характеризується ширшими річними кільцями і мала нижчі фізико-механічні властивості.

Дослідження Терелі І. П. свідчать про те, що щільність деревини ялиці змінюється з висотою над рівнем моря. У передгір'ї на абсолютній висоті 300 м н.р.м. об'ємна маса ялиці білої становить  $444 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , а у горах на висоті 1000 м н.р.м. –  $401 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Базисна щільність деревини рівна відповідно  $366 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$  та  $332 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , а усихання деревини за довжиною – відповідно 0,51% та 0,49%, у радіальній площині – 4,66% та 4,37%, у тангентальній – 8,41% та 8,16% і об'ємне

усихання – 13,15% та 12,68%. Таким чином, у передгір'ї формується деревина з більшими фізичними показниками деревини. На межі східного ареалу властивості деревини характеризуються ідентичними значеннями в межах природного ареалу. Межу насичення клітинних стінок встановлено на рівні 29,2%.

За даними проф. Дебринюка Ю. М. [44], об'ємна маса деревини ялиці білої в типах лісу *C<sub>3</sub>-см-бкЯц* змінюється від 345 до 365  $кг \cdot м^{-3}$ . Нижній частині стовбура висотою до 5 м властива найбільша щільність деревини. В умовах свіжої суяличини середнє значення щільності ялиці становило 430  $кг \cdot м^{-3}$ . За показниками фізико-механічних властивостей деревина ялиці білої поступається деревині ялини європейської в умовах вологих яличин і суяличин.

Дані німецького дослідника R. Wagenführ (2007) свідчать про те, що об'ємна маса деревини ялиці білої в ростучому дереві варіює від 800  $кг \cdot м^{-3}$  до 950  $кг \cdot м^{-3}$ . Щільність деревини в абсолютно сухому стані змінюється від 320  $кг \cdot м^{-3}$  до 710  $кг \cdot м^{-3}$  із середнім значенням 410  $кг \cdot м^{-3}$ , а щільність при нормалізованій вологості ( $W_{абс.} = 12-15\%$ ) – від 350  $кг \cdot м^{-3}$  до 750  $кг \cdot м^{-3}$  із середнім значенням 450  $кг \cdot м^{-3}$ . Повне лінійне усихання деревини в радіальному напрямку становить 2,9-3,8% та в тангентальному – 7,2-7,6%, а за об'ємом – 10,2-11,5%. Модуль пружності рівний приблизно 11000  $Н \cdot мм^{-2}$  [225].

Дослідження розмірно-якісних характеристик деревини свідчать, що структура та властивості деревини є відбитком родючості ґрунтів [181]. У гірських лісорослинних умовах доцільно враховувати не тільки зміну родючості ґрунтів, а й відмінність екологічних умов та мікрокліматичні особливості. В умовах Українських Карпат встановлено, що між показниками об'ємної маси деревини, показниками макроструктури та висотно-екологічними умовами існують прямолінійні та регресійні залежності для *Picea abies* (L.) Karst. [216].

Хвойні породи з більшими середніми значеннями об'ємної маси стовбурної деревини ростуть на бідніших ґрунтах, а з меншими значеннями на багатих ґрунтах [17, 18, 34, 111, 90, 157, 161, 197]. Так на величину об'ємної маси деревини *Picea abies* (L.) Karst. суттєво впливає локальний мікроклімат з низькою температурою повітря та високим рівнем ґрунтових вод [223]. Високу

щільність деревини у дерев пов'язують також з низькими лісогосподарськими затратами на проведення рубок догляду та зменшенням площі живлення, що корелює з підтриманням процесу газообміну [188]. Ряд авторів відмінність у параметричних характеристиках деревини в межах радіуса та стовбура дерев пов'язують із структурним упорядкуванням анатомічних елементів [193].

Польські дослідники [202] вказують на те, що якісні характеристики деревини пиломатеріалів, заготовлених в Бескидах-Ніських і Бескидах-Сондецьких, є кращими, ніж в Свентокшиських горах (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Щільність та модуль пружності деревини ялиці білої  
в гірських лісорослинних умовах Польщі

Показники	Лісорослинні умови		
	Бескидів-Ніських	Бескидів-Сондецьких	Свентокшиських гір
Щільність деревини при нормалізованій вологості [ $кг \cdot м^{-3}$ ]	393	387	385
Модуль пружності [ $Н \cdot мм^{-2}$ ]	13800	12900	12200

Згідно з правилами присвоєння візуально класифікованого конструкційного бруса до класів міцності, що впливають з європейських стандартів, розраховано характерні значення модулів пружності та щільності деревини ялиці білої визначено класи міцності *C14*, *C24* і *C27* відповідно.

За останні роки значна увага приділяється неруйнівному оцінюванню деревини через її механічне сортування. Чимало робіт присвячено визначенню модуля пружності при статичному згині та його кореляції з модулем пружності на розрив. Результати цих досліджень стверджують, що найбільш прогнозованим є модуль пружності деревини при статичному згині, який визначений статичним і динамічним методами. Однак динамічний метод на 10% перевищує показники, визначені за статичним методом, і тому вони

обробляються як різні параметри. У цьому дослідженні показано, що різниця між динамічним та статичним значеннями модуля пружності пояснюється ефектом повзучості [169, 210, 224].

Результати дослідження фізичної якості ялини європейської Харитона І. І. (2015) вказують, що висотно-екологічні умови зумовлюють зменшення річного приросту деревини в умовах Українських Карпат і сприяють формуванню резонансної деревини. Як приклад, на абсолютній висоті 630-650 м н.р.м. ширина річного кільця варіює від 1,7 до 4,2 мм, 800-820 м н.р.м. – 0,8-3,5 мм, 975-1000 м н.р.м. – 0,6-3,4 мм та 1190 м н.р.м. – 0,5-2,5 мм. Відсоток пізньої деревини в річному прирості становить 5,4-51,9%. Найменша ширина річного кільця властива для висот над рівнем моря 950, 1050 та 1150 м, де відсоток пізньої деревини змінюється від 16,3 до 23,3%. Щільність деревини ялини європейської зменшується від кори до серцевини. Дослідником виділено три висотно-екологічні пояси за об'ємною масою деревини. Різниця між показниками щільності деревини у висотно-екологічних поясах нижче 800 м н.р.м. та понад 1000 м н.р.м. рівна 13-16%. Показники лінійного усихання деревини характеризуються закономірністю “Середнє значення радіального усихання в першій секції радіуса стовбура від серцевини приблизно на 35% менше, ніж такий ж показник у четвертій секції на периферії стовбура” [135, 216].

Результати дослідження властивостей деревини ялиці білої в Іспанських Піренейських горах [221] розкривають закономірності формування фізико-механічних властивостей деревини в стовбурі дерева. Отримані залежності показників фізико-механічних властивостей деревини по висоті стовбура описано рівняннями першого порядку, а за діаметром рівняннями другого порядку. Рівняння залежностей між показниками фізико-механічних властивостей деревини та по висоті стовбура і за його діаметром з відповідними статистичними характеристиками наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

## Зміна фізико-механічних властивостей деревини в стовбурі

Властивості деревини	Моделі	Рівень значущості	Коефіцієнт детермінації
За висотою			
Щільність	$\rho=0,5003-0,003y$	0,000	0,047
Об'ємне усихання	$\beta_V=0,1433-0,0008y$	0,083	0,013
Твердість	$H=1,8641-0,0317y$	0,000	0,060
Модуль пружності	$E=79,5429-0,1842y$	0,376	0,002
За діаметром			
Щільність	$\rho=0,4395+0,0026x-0,0000279x^2$	0,000	0,145
Об'ємне усихання	$\beta_V=0,1126+0,0016x-0,000018x^2$	0,000	0,220
Твердість	$H=1,3035+0,01967x-0,0001944x^2$	0,000	0,047
Модуль пружності	$E=65,3692+0,6866x-0,0074x^2$	0,000	0,070

Цифрові дані табл. 1.3 свідчать, що варіабельність фізико-механічних властивостей на поперечній площині та по висоті стовбура показали високу дисперсію. Для всіх досліджуваних взірців деревини встановлена залежність між показниками якості деревини і місцем розташування по висоті та в радіальному напрямку. Варіація показників у радіальній площині характеризувалась на 25% меншим значенням.

Варіацію фізико-механічних властивостей деревини в межах деревостану та окремо взятого стовбура дерева вивчали багато вітчизняних та іноземних дослідників [18, 55, 93, 97, 119, 199, 204, 207]. Вченими Б. Й. Цирик, І. П. Тереля, В. L. G. González-Rodrigo, P. Estebande F. Palacios та іншими узагальнено відмінності якісних характеристик лісових деревних порід та закономірності їх зміни [128, 136, 221]. Зокрема, варіація щільності деревини ялиці білої більша, ніж у ялини європейської, та менша, ніж у деревини сосни європейської. Щільність деревини збільшується із

зменшенням річного кільця в ялиці, а максимальні значення щільності характерні для деревини з меншим річним приростом. Такий аналітичний підхід не дозволяє окреслити критерії для діагностування деревини із заданими властивостями і раціонального її використання.

### **1.3. Диференціація деревних видів за властивостями деревини**

Розуміння розвитку та зміни якісних характеристик деревини промислових деревних порід України є важливим у контексті оптимізації ланцюга вартості лісу (виращування, заготівлі, розпилювання та виробництва готових виробів із деревини) та довгострокового планування лісового господарства. У цьому контексті стале лісоуправління базується на цінностях, найкращою економічною стратегією яких є досягнення максимальної економічної вигоди, тобто різниці між створенням вартості та витратами і дозволяє вирощувати дерева із заданими властивостями деревини та виготовляти якісні вироби з деревини [111, 68, 74, 97].

Прогнозування відповідних розмірно-якісних властивостей деревинної сировини зумовлено безпосередньо вимірюванням вхідних змінних як показників макроструктури, об'ємної маси, анізотропії усихання та модуля пружності, які є віддзеркаленням інтегральної якості деревини дерева чи круглого лісоматеріалу. На особливу увагу заслуговує розуміння якісних характеристик деревини утворів стовбура, що обумовлені екологічними умовами та лісогосподарською практикою і визначають економічну віддачу від лісу [1, 40, 158, 163, 159, 189].

Якісні характеристики виробів із деревини в більшості зумовлені структурним упорядкуванням деревних волокон, які, в свою чергу, визначають фізико-механічні показники. До основних візуальних показників якості деревини належать макроструктурні особливості, що представлені величиною річного приросту та відсотком пізньої деревини є важливими критеріями сортування деревини хвойних деревних порід. У цьому контексті важливо є вирощувати лісові дерева із заданими властивостями деревини,

тобто з прогнозованими технічними характеристиками деревини як матеріалу, який ґрунтується на достовірному статистичному аналізі властивостей деревини для окремо взятого деревного виду. В межах окремо взятого дерева чи круглого лісоматеріалу важливо проаналізувати відмінності властивостей деревини від серцевини до кори та від відземку до вершини стовбура, а також в межах річного приросту [18, 85, 94, 114, 115, 121].

Деревинознавчі дослідження проф. О. И. Полубояринова полягають у вивченні співвідношення кількості та якості деревини, де лісівничий акцент він зосереджено на впливі лісорослинних умов та рубок догляду на фізико-механічні властивостей деревини. Окрему увагу звернуто на проведення глибокого аналізу залежностей між лісівничими чинниками та якісними характеристиками деревини і розроблення математичних залежностей між розмірно-якісними параметрами стовбурів та фізико-механічними властивостями деревини. До базових візуальних показників якості деревини хвойних порід віднесено щільність деревини, ширину річного кільця, вміст пізньої деревини [95 - 98].

Визначальними чинниками впливу на ріст та розвиток деревних видів є широкий спектр складних взаємодіючих факторів. Вплив ґрунтових властивостей та екологічних факторів на ріст ялиці білої в Динарських горах досліджено групою науковців [181], які на основі 21-го ґрунтового профілю встановили, що глибина ґрунту, товщина генетичних горизонтів ґрунту, частка типів ґрунту навколо кожного дерева та ґрунтові асоціації суттєво визначали таксаційні показники ялицевих деревостанів. Вік дерева та внутрішньовидова конкуренція віднесені до визначальних факторів впливу на ріст у висоту та за діаметром дерева. Позитивний ефект на ріст за висотою та радіальний приріст підтверджено високою вологістю ґрунту та розташування дерев на схилі. Зменшення річного приросту прослідковувалось у дерев з підвищеною конкуренцією, що було найбільш очевидним для дерев, які ростуть на вилужених ґрунтах. Високий коефіцієнт детермінації і статистична значущість

взаємозв'язку між ростом за висотою та асоціацією ґрунту за останні 100 років встановлено для акумулятивного впливу стану ґрунту на збільшення висоти дерева.

Наукові роботи В. Bendtsen (1978) та А. Е. Macdonald, Ja. Hubert (2002) були пов'язані з прогнозуванням властивостей деревини для лісопильних виробництв та деревооброблювальних підприємств. Основну увагу було зосереджено на плантаційному вирощуванні хвойних деревних видів із заданими властивостями деревини та інтенсивному проведенню рубок догляду з метою формування циліндричного безсучкового стовбура. До якісних характеристик деревини автори включили комплекс показників, які залежали від конкретного призначення. До основних показників віднесені однорідність структури деревини, довжина безсучкової зони стовбура та об'ємна деревини [160, 195].

Одними з перших досліджень внутрішньовидової диференціації лісових деревних порід за структурою деревини в Україні є напрацювання І. С. Вінтоніва та І. М. Сопушинського, метою яких було вивчення декоративних властивостей деревини клена-явора, ясена звичайного та бука лісового. Дослідниками запропоновано різні підходи до вивчення структурних відмінностей деревини під впливом типів лісу та висотно-екологічних умов. Науковий напрям біологічного деревинознавства, а саме вирощування лісових деревних порід із заданими властивостями деревини, знайшов своє застосування у розробленні діагностичних моделей [110, 111, 119, 114, 215].

Впровадження томографічних методів для діагностування внутрішньовидових відмінностей у структурі деревини та розроблення комп'ютерної системи оброблення деревини є технологічним інноваційним проривом щодо раціонального використання високоякісної деревини. У зв'язку із цим створення математичних моделей для прогнозування властивостей деревини є важливою операційною складовою, яка визначає однорідність структури деревини та її фізико-механічні показники. Питання заготівлі високоякісних сортиментів пов'язано з безсучковою зоною стовбура, тобто

технологічною можливістю томографічного діагностування високоякісної деревини та її випилювання [193].

У межах внутрішньовидової диференціації відмінності об'ємної маси деревини в радіальному зрізі здебільшого пов'язані з процесом росту деревних видів і є мінімальними [199]. Утвори стовбурної деревини досліджено у філогенетичному та морфогенетичному спектрах [175]. Особливу увагу було звернено увагу вивченню структурних аномалій стовбурів листяних порід, що стало основою для класифікації структурних змін деревини [61].

Системний підхід в анатомічних дослідженнях аномалій деревини полягав у виявленні морфологічних змін стовбурної деревини та кори [18, 111, 114]. Мінливість структури деревини клена-явора форми “хвилясто-завилькуватий” підвищує акустичні властивості деревини, а розвиток завилькуватості деревних волокон покращує текстуру її поверхні, тобто збільшує її декоративність [114].

Вивчення аномалій вторинної ксилеми тропічних деревних порід розкриває анатомічні особливості деревини та їх відхилення від норми (прямоволокнистої структури), що визначають якісні властивості стовбурної деревини у дерев, які ростуть [162, 164, 185, 228]. Аномальні відхилення від прямоволокнистої структури деревини описано як прояв корелятивних онтогенетичних реверсій – сполучення паразитів та біологічного виду для класів кільцесудинних та розсіяносудинних порід. Однак макроструктурні відмінності стовбурної деревини утворів хвойних деревних видів авторами не вивчено, хоча воно має біолого-екологічне значення для ведення лісового господарства в плані дослідження природи походження.

Результати дослідження внутрішньовидової диференціації листяних порід за декоративністю деревини проф. І. М. Сопушинського (2014) вказують на важливість вивчення зміни фенологічного спектру сезонного розвитку деревних рослин, відмінностей фенотипічних ознак, таксаційних та деревинознавчих характеристик. Фенологічний спектр сезонного розвитку клена-явора в Українських Карпатах зміщується на 3–5 днів через 100 м

абсолютної висоти, а в бука лісового форми “хвилясто-завилькуватий” розпочинається на 5–10 днів пізніше ніж у дерев із прямоволокнутою деревиною. Висота клена-явора з декоративною деревиною на 10,0–42,9% менша, порівняно з прямоволокнутою структурою (контролем). Однак бук лісовий форми “хвилясто-завилькуватий” характеризується на 16,8% меншою висотою, але 13,5% більшим діаметром. Автор зазначає, що декоративна деревина клена-явора форми “пташине око” починає утворюватися у віці 31–50 років, а клена-явора, бука лісового та ясена звичайного форми “хвилясто-завилькуватий” – у віці 11–20 років. Річний приріст деревини в дерев з прямоволокнутим упорядкуванням деревного волокна у 2 та 4 рази менший ніж у дерев із аномальним ростом. Хвилеподібні утвори на радіальному та тангентальному зрізах уздовж осі ростучого дерева класифіковано за шириною на вузькі – до 30 мм (клена-явір та ясен) та широкі – більше 30 мм (бук). За розміщенням деревного волокна виділено п’ять видів деревини: з нахилом деревного волокна 0–9°; з кутом нахилу деревного волокна 10–25°; з кутом нахилу деревного волокна 26–45°; із завилькуватим розміщенням деревного волокна (хвилясто-завилькувате та плутане розміщення) та з точковою паренхіматизацією деревного волокна. Базисна щільність декоративної деревини клена-явора є на 4,7% меншою, а бука лісового та ясена звичайного – на 10,9 та 13,5% більшою ніж у дерев із прямоволокнутою текстурою. Показники усихання декоративної деревини в тангентальному та радіальному напрямках є більшими для клена-явора форми “пташине око”, відповідно, на 9,7 та 46,3% і для ясена звичайного – на 4,6 та 6,7% порівняно із контролем, а хвилясто-завилькуватої деревини клена-явора та бука лісового менші, відповідно, на 17,2 та 6,3%, а радіального усихання більші – на 12,2 та 19,3%. Природні та технологічні чинники формування якісних властивостей декоративної деревини класифіковано на чотири групи: лісівничо-екологічні фактори, параметрична характеристика стовбура та деревини, технологічні процеси виробництва і якість виробів із декоративної деревини. Модуль пружності декоративної деревини клена-явора форми “пташине око” є на 20,5–

28,9% менший порівняно з контролем [113, 114, 114, 117].

Загалом питання вивчення особливостей формування аномальної деревини ялиці білої та внутрішньовидової диференціації за фізико-механічними властивостями деревини, а також розроблення моделей діагностування дерев із декоративною деревиною в лісорослинних умовах Українських Карпат залишається як у теоретичному, так і практичному аспектах мало дослідженим.

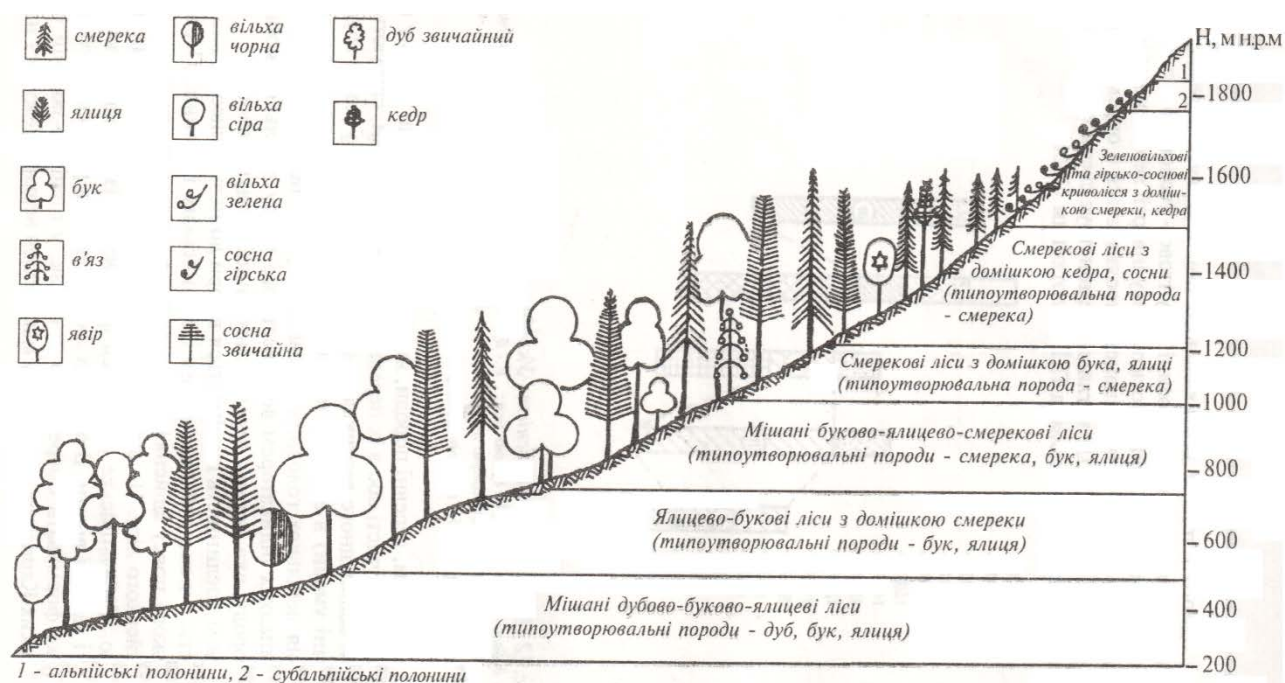
#### *Висновки до розділу*

Огляд літературних даних щодо дослідження ялиці білої (*Abies alba* Mill.) показав, що біолого-екологічні характеристики виду та питання фізико-механічних властивостей деревини у різних лісорослинних умовах природного ареалу зростання висвітлені тільки для дерев із прямоволокнистою деревиною. Лісівничі аспекти поширення ялицевих деревостанів та типів лісу в Українських Карпатах відображено в багатьох вітчизняних наукових працях. Важливо зазначити, що лісівничі особливості росту дерев ялиці білої із хвилясто-завилькуватою деревиною та питання внутрішньовидової диференціації за структурою деревини і особливостями формування фізико-механічних показників в лісорослинних умовах Буковинських Карпат не досліджено.

## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відмінність лісових масивів у різних висотно-екологічних поясах Українських Карпат на абсолютних висотах від 200 до 1800 м н.р.м. є природною лабораторією для вивчення впливу екологічних умов на структурне упорядкування деревного волокна у стовбурах лісових деревних порід на відносно невеликій відстані. Наочною ілюстрацією впливу екологічних умов на ріст та розвиток лісової рослинності є узагальнений профіль вертикальної поясності Українських Карпат (рис. 2.1).



**Рис. 2.1.** Узагальнений профіль вертикальної поясності Українських Карпат (північний мегасхил) за З. Ю. Герушинським [25]

Ялицево-букові ліси на абсолютній висоті від 500 м н.р.м. поступово змінюються на мішані ялиново-буково-ялицеві та ялицево-буково-смерекові ліси на висоті над рівнем моря 1000 м, що зумовлено орографічними чинниками, родючістю ґрунтів та їх потужністю. Для визначення структурних відмінностей стовбурної деревини ялиці білої нами вивчено ялиново-буково-ялицеві ліси у вологій смереково-буковій суяличині.

## 2.1. Об'єкти та програма досліджень

Для дослідження внутрішньовидової диференціації *Abies alba* Mill. за структурою деревини нами відібрано ялиново-буково-ялицеві насадження природно-географічного району "Буковинські Карпати" підобласті "Покутсько-Буковинські Карпати" області "Зовнішньофлішеві Карпати" [26]. Район дослідження ялиці білої картографічно наведено на рис. 2.2.



**Рис. 2.2. Картографічне розміщення району дослідження ялиново-буково-ялицевих деревостанів [35]**

Як зображено на рис. 2.2, природний ареал ялиці білої поширений на схилах Українських Карпат між адміністративними районами смт. Берегомет та смт. Путила. Картографічне розміщення висотно-екологічного поясу досліджуваних ялицевих деревостанів за участю бука лісового та ялини європейської охоплює абсолютні висоти від 650 до 1150 м н.р.м. Структурні відмінності між прямоволокнистою та хвилясто-завилькуватою стовбурною деревиною ялиці білої нами вивчено на 11 пробних площах розміром 100×100 м у вологій смереково-буковій суяличині ( $C_3$ -см-бкЯц) Долішньо-Шепітського, Лопушнянського та Гірсько-Кутського лісництв ДП "Берегометське лісомисливське господарство". Лісівничо-таксаційні показники досліджуваних ялицевих деревостанів у вологій смереково-буковій суяличині Буковинських Карпат наведено у табл. 2.1 (див. додаток А).

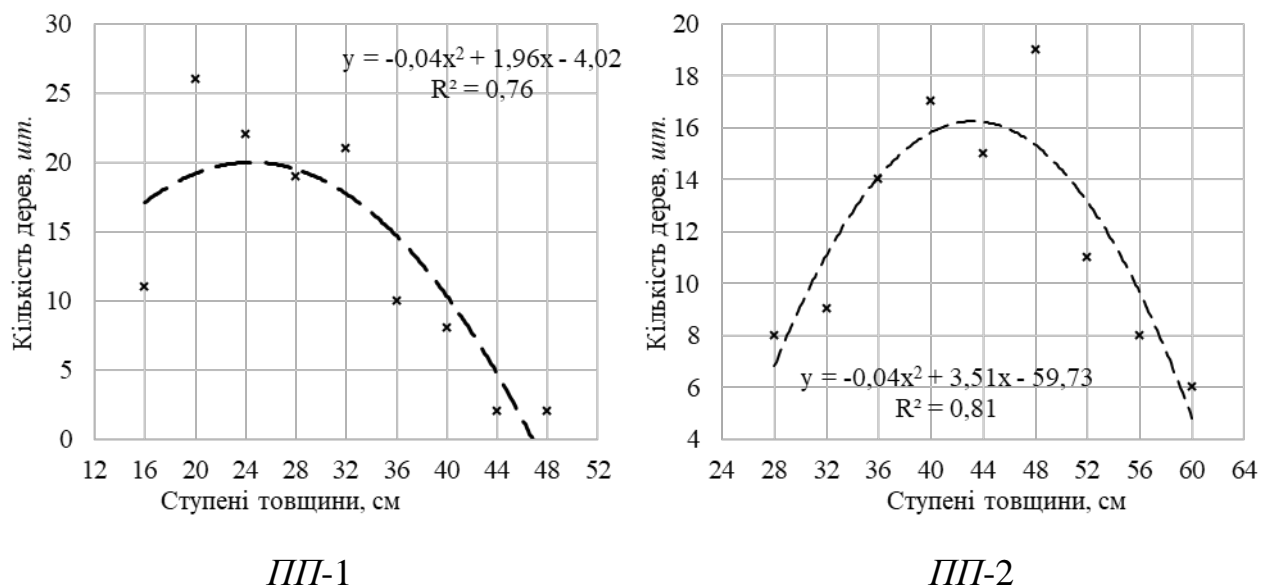
Таблиця 2.1

Лісівничо-таксаційні показники досліджуваних ялицевих деревостанів

ПП Кв./вид.	Склад деревостану Висота н. р. м.	Вік, роки Запас, м <sup>3</sup> · га <sup>-1</sup>	Висота, м Діаметр, см	Клас бонітет Відносна повнота
Долішньо-Шепітське лісництво				
<u>1</u> 22/8	<u>5Яцб3Бкл2Яле</u> 750	<u>107</u> 540	<u>28</u> 36	<u>I</u> 0,80
<u>3</u> 24/9	<u>5Яцб3Яле2Бкл</u> 865	<u>107</u> 500	<u>28</u> 36	<u>I</u> 0,70
<u>6</u> 24/10	<u>6Яцб2Яле2Бкл</u> 922	<u>117</u> 550	<u>30</u> 46	<u>I</u> 0,70
<u>7</u> 38/22	<u>5Яцб4Яле1Бкл</u> 800	<u>95</u> 355	<u>26</u> 34	<u>I</u> 0,65
Лопушнянське лісництво				
<u>2</u> 27/20	<u>6Яцб2Яле2Бкл + Яв</u> 866	<u>112</u> 345	<u>30</u> 42	<u>I</u> 0,40
<u>4</u> 37/16	<u>4Яцб3Яле3Бкл + Яв</u> 1045	<u>108</u> 349	<u>29</u> 40	<u>I</u> 0,45
<u>5</u> 27/3	<u>7Яцб2Бкл1Яле + Яв</u> 1000	<u>118</u> 387	<u>29</u> 44	<u>I</u> 0,40
<u>11</u> 31/6	<u>6Яцб3Бкл1Яле + Яв</u> 985	<u>105</u> 530	<u>30</u> 40	<u>I</u> 0,70
Гірсько-Кутське лісництво				
<u>8</u> 3/3	<u>6Яцб3Яле1Бкл + Яв</u> 825	<u>130</u> 330	<u>30</u> 48	<u>I</u> 0,40
<u>9</u> 2/2	<u>4Яцб3Яле3Бкл + Яв</u> 900	<u>118</u> 324	<u>30</u> 44	<u>I</u> 0,50
<u>10</u> 44/3	<u>6Яцб3Яле1Бкл + Яв</u> 790	<u>106</u> 435	<u>29</u> 40	<u>I</u> 0,65

Таксаційні показники деревостанів та дерев встановлювали відповідно до загальноприйнятих методик таксації деревостанів та дерев [37, 39, 43, 92]. Для лісівничо-таксаційного аналізу структури насадження нами проведено

розподіл кількості дерев за товщиною, що дозволило такі отримати основні таксаційні показники як середній діаметр ( $D_{\text{сер}}$ ) і середня висота ( $H_{\text{сер}}$ ). Типи лісорослинних умов та типи лісу визначено за лісотипологічною методикою, запропонованою проф. З. Ю. Герушинським [24, 25]. Основні структурні відмінності росту ялицевих деревостанів відображено через криві розподілу кількості дерев за товщиною (рис. 2.3).



**Рис. 2.3. Криві розподілу кількості дерев ялиці білої за товщиною**

У результаті суцільного переліку було встановлено, що для досліджуваних ялицевих деревостанів характерно два види кривих розподілу дерев елементу лісу за ступенями товщини. Перший вид кривих розподілу відзначався збільшенням кількості дерев від тонких ступенів до середніх, де досягав максимуму, а потім знову знижувався. Цей розподіл дерев за товщиною був характерний для пробних ділянок (III-2 на рис. 2.3) з високою повнотою деревостану (0,6 і більше) і характеризувався симетричною, одновершинною лінією, яку прийнято називати кривою нормального розподілу. Другий вид розподілу був характерний для складних та мішаних ялицевих насаджень, пройденими санітарними та вибірковими рубками (III-1 на рис. 2.3), що зумовило зміщення кривої розподілу дерев за товщиною вліво, тобто утворення асиметричного розподілу.

Кількість модельних дерев, взятих для дослідження морфологічних

ознак хвилястих утворів стовбура, становила 50 шт. та фізико-механічних властивостей деревини 12 шт. Дендрохронологічним аналізом ростучих дерев ялиці білої з прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою структурою деревини охоплено 120 дерев.

Програмою дисертаційної роботи передбачено лісівничо-таксаційні та деревинознавчі дослідження внутрішньовидової диференціації ялиці білої за структурою деревини в деревостанах Буковинських Карпат, які охопили:

- аналіз лісівничих особливостей поширення ялицевих деревостанів в лісорослинних умовах Буковинських Карпат та підбір пробних ділянок для вивчення діагностичних ознак ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура;
- визначення морфологічних відмінностей дерев із хвилясто-рельєфними утворами ксилеми стовбура та вікового діапазону початку їх утворення;
- вивчення відмінностей показників макроструктури деревини в дерев із типовою та хвилеподібною структурою;
- визначення фізичних та механічних властивостей прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої;
- парний лінійний кореляційно-регресійний аналіз залежностей між показниками макроструктури, об'ємної маси, анізотропії розбухання, швидкістю звуку, коефіцієнтом затухання, динамічним та статичним модулем пружності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини;
- обґрунтування кваліметричних маркерів діагностування інтегральних показників фізико-механічної якості прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої.

Таким чином, об'єктами дослідження є дерева ялиці білої з прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою деревиною в ялиново-буково-ялицевих деревостанах Буковинських Карпат з метою вивчення їх внутрішньовидових відмінностей за показниками макроструктури, об'ємної маси, анізотропії розбухання, швидкістю звуку, коефіцієнтом затухання, динамічним та статичним модулем пружності деревини.

## 2.2. Методи досліджень

### 2.2.1. Відбір взірців деревини

Дослідженнями охоплено стиглі та перестійні насадження, у складі яких ялиця біла займала щонайменше 40% у складі деревостану, а кількість дерев на пробній ділянці була не менша 100 досліджуваного деревного виду. Площа досліджуваних ділянок знаходилась у межах від 0,5 до 1.0 га, а на пробній площі відбирали не менше шести модельних дерев [18, 51, 168, 183, 185, 204]. Взірці деревини для вивчення фізичних властивостей виготовляли зі стиглої деревини відповідно до схеми відбору, яка наведена на рис. 2.4.

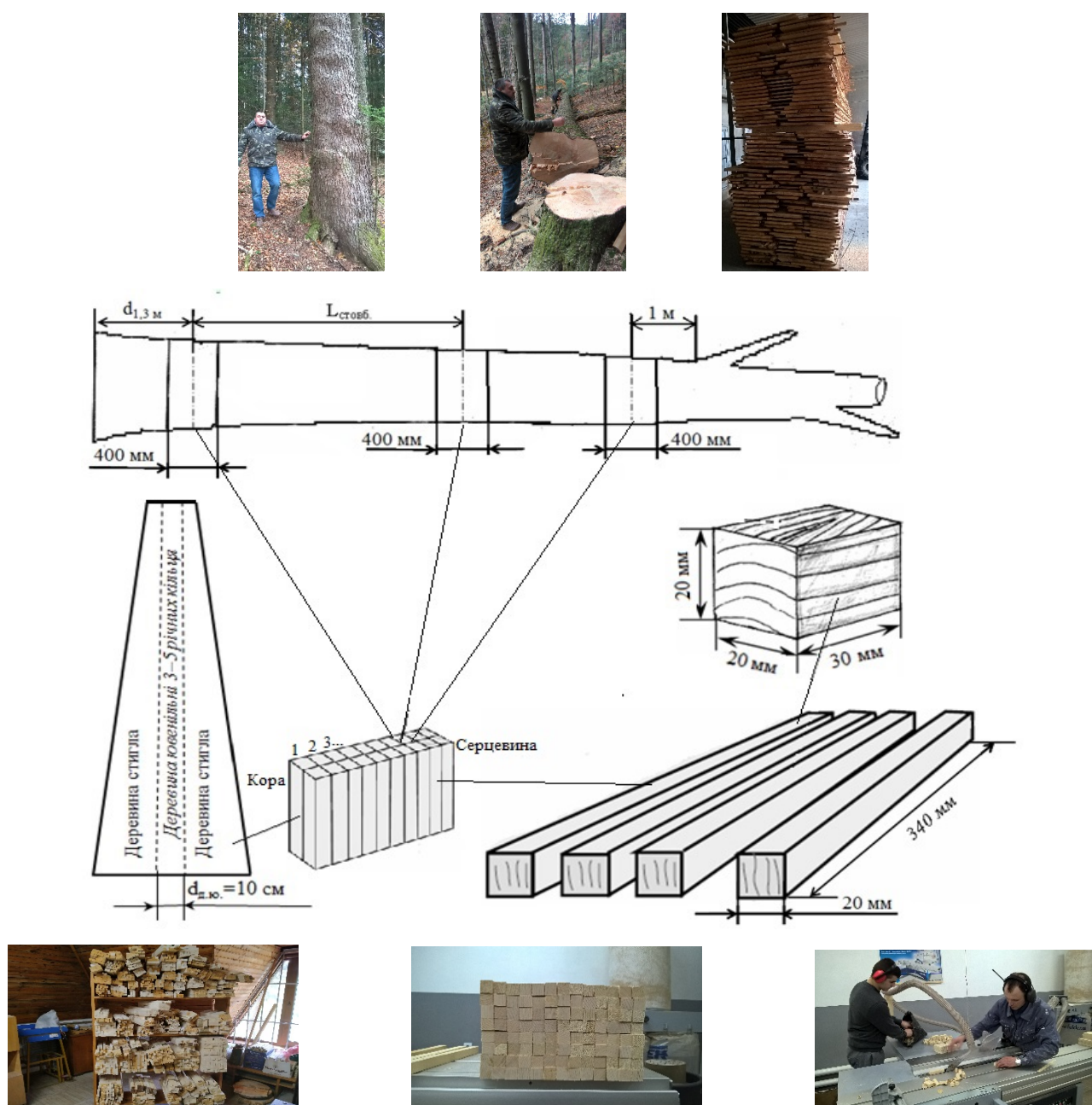


Рис. 2.4. Схема відбору взірців деревини

З кожного модельного дерева ялиці випилювали дошку товщиною 25 мм і висушували в камерах сушіння, з яких пізніше виготовили взірці деревини для вивчення фізико-механічних властивостей деревини. Ювенільну деревину ялиці білої нами визначено в діаметрі із серцевиною 10 см (рис. 2.4). Дослідницькі взірці виготовлено у відповідності до чинних стандартів [18, 119, 168]. Відбір особин ялиці білої проведено із врахуванням основних вимог до розмірно-якісних характеристик стовбурів та із ступеней товщини, де кількість дерев була найбільша. Взірці для вивчення фізико-механічних властивостей деревини виготовлено із кряжів довжиною 400 мм, які вирізано у модельних дерев на висоті 1,3 м,  $\frac{2}{3}$  м довжини стовбура ( $L_{\text{стовб.}}$ ) та на відстані 1 м від початку крони (рис. 2.4) [18]. Така послідовність відбору взірців дає можливість вивчити зміну властивостей деревини як за висотою так і за радіусом стовбура. Кількість взірців деревини для окремо взятого зрізу становила не менше 10 шт.

### 2.2.2. Дендрохронологічні ознаки хвилеподібних утворів

Для вивчення дендрохронологічних особливостей формування прямоволокнистої та хвилясто-завилькуватою деревини ялиці білої з кожної моделі за допомогою вікового бурава Haglöf (Швеція) викрутили керни з північної та південної сторони (рис. 2.5).



А)

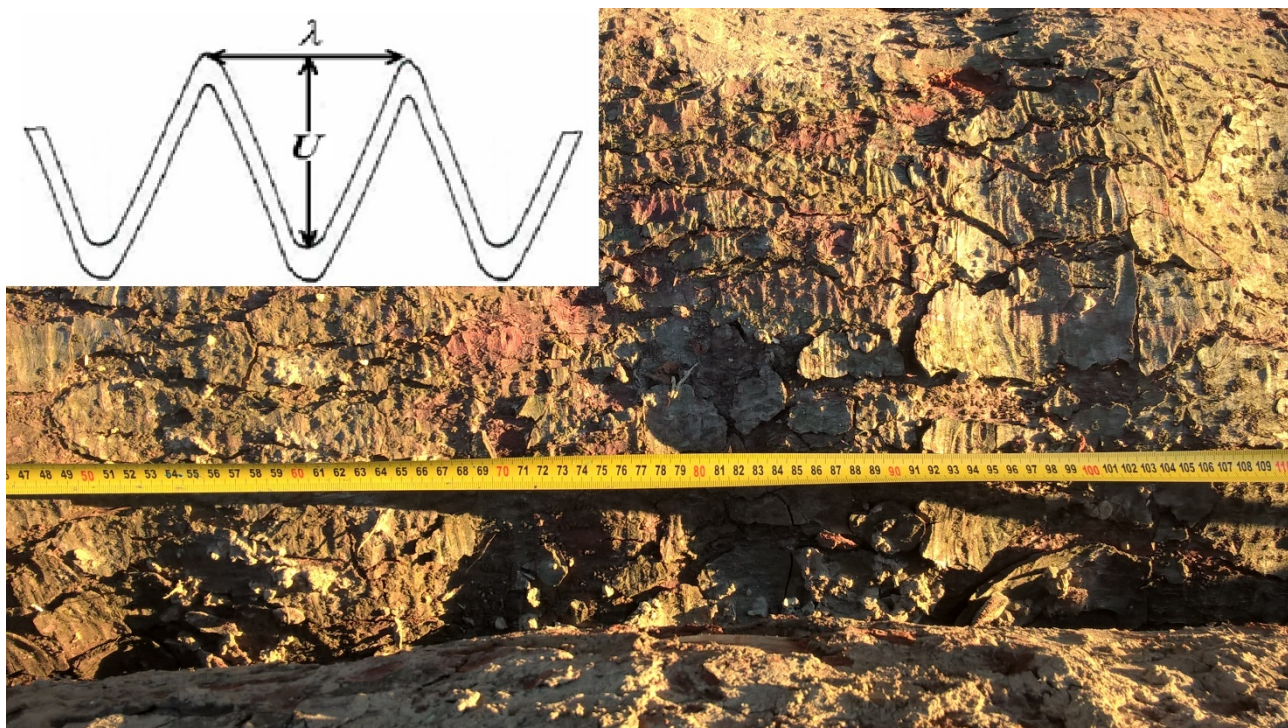


Б)

**Рис. 2.5. Ялиця біла з хвилясто-завилькуватою (А) та прямоволокнистою (Б) стовбуровою деревиною**

Дослідження морфологічних особливостей хвилеподібних утворів стовбурів ялиці білої передбачало визначення віку ( $A$ , років), висоти ( $h$ , м), діаметру на висоті грудей ( $d_{1,3}$ , см), висоти стовбура до першої живої гілки крони ( $h_{\text{жив.гіл.}}$ , м), довжини круглого лісоматеріалу з хвилеподібними утворами стовбура ( $l_{\text{хв.-зав.}}$ , м), об'єму хвилясто-завилькуватої стовбурної деревини ( $V_{\text{хв.-зав.}}$ , м<sup>3</sup>) та відсотка хвилясто-завилькуватої деревини від загального запасу деревостану ( $B_{\text{хв.-зав.}}$ , %) [114, 135]. Висоту дерева, висоту стовбура до першої живої гілки крони та довжину круглого лісоматеріалу з хвилеподібними утворами стовбура виміряно за допомогою висотоміра Forestor-Vertex IV / M. Діаметр стовбура визначено у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Запас хвилясто-завилькуватої деревини на пробній площі обчислено за таблицями об'ємів круглих лісоматеріалів по середньому діаметрі [37, 43, 120, 121].

Вимірювання аномальних хвилясто-рельєфних утворів ксилеми стовбура ялиці білої проведено з використання деревинознавчого підходу проф. Дж. Гарріса [175], тобто вимірювання ширини ( $\lambda$ ) та глибини ( $U$ ) хвилеподібних утворів (рис. 2.6).



**Рис. 2.6. Визначення ширини ( $\lambda$ ) та глибини ( $U$ ) хвилі у хвилясто-завилькуватій деревині**

У стиглих та перестійних ялиново-буково-ялицевих деревостанах природно географічного району “Буковинські Карпати” підобласті “Покутсько-Буковинські Карпати” області “Зовнішньофлішеві Карпати” нами відібрано по 100 кернів із прямоволокнуистою та хвилясто-завилькуватою деревиною (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Керни деревини ялиці білої

Вимірювання ширини річних кілець проведено з використанням програмного забезпечення TSAP та на цифровій лінійці Lintab 6 із точністю вимірювання 0,01 мм (рис. 2.8). Для вивчення макроструктурних ознак деревини визначено ширину річного кільця у хвилясто-завилькуватій ( $S^x_{річн.кіл.}$ ) та прямоволокнуистій деревині ( $S^n_{річн.кіл.}$ ), ширину пізньої деревини (відповідно  $\delta^x_{пізн.дер.}$  та  $\delta^n_{пізн.дер.}$ ), ширину ранньої деревини (відповідно  $\delta^x_{ранн.дер.}$  та  $\delta^n_{ранн.дер.}$ ).



Рис. 2.8. Цифрова лінійка Lintab 6

Показники макроструктури деревини ялиці білої, а саме річний приріст, кількість річних кілець в 1 см, процент ранньої та пізньої деревини досліджено на відібраних вікових кернах у ростучих дерев на висоті грудей (1,3 м).

### 2.2.3. Фізико-механічні властивості деревини

Фізичні властивості деревини ялиці білої досліджували в розрізі особливостей формування об'ємної маси та анізотропії прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини залежно від кількості річних кілець в 1 см. До основних показників якісних відмінностей деревини за її структурою включено кількість річних кілець в 1 см, ( $N_{\text{річн.кіл.}}$ , шт.·см<sup>-1</sup>); лінійне розбухання в радіальному ( $\alpha_r, \%$ ) та тангентальному ( $\alpha_t, \%$ ) напрямках, розбухання за довжиною ( $\alpha_l, \%$ ) та об'ємом ( $\alpha_v, \%$ ), коефіцієнти розбухання в тангентальному ( $K\alpha_t$ ) та радіальному ( $K\alpha_r$ ) напрямках і за об'ємом ( $K\alpha_v$ ), коефіцієнт анізотропії ( $\alpha_t/\alpha_r$ ) деревини, абсолютна вологість деревини ( $W_{\text{абс.}}, \%$ ), щільність деревини при вологості  $W_{\text{абс.}}=8\%$  ( $\rho_8$ , кг·м<sup>-3</sup>), щільність деревини у свіжозрубаному стані ( $\rho_{\text{с.з.с.}}$ , кг·м<sup>-3</sup>), базисна щільність деревини ( $\rho_8$ , кг·м<sup>-3</sup>) [18, 45–51, 119, 161, 163, 167, 183].

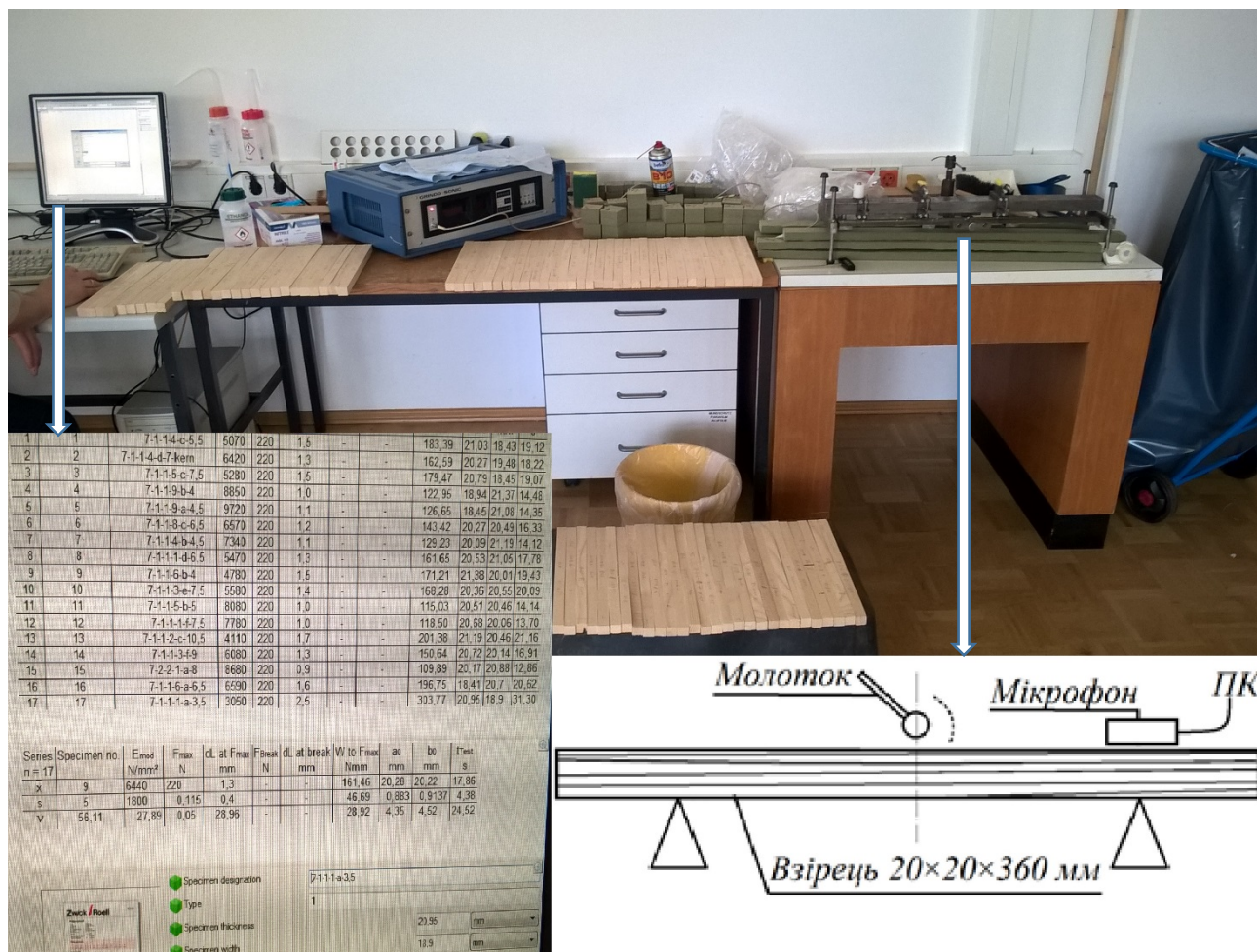
З кожного відібраного кряжа досліджено не менше 10 взірців деревини стандартних розмірів 20×20×30 мм<sup>3</sup> (±1 мм), виготовлених у напрямку від кори до серцевини. Кількість річних кілець в 1 см визначено з точністю до половини річного кільця. Для визначення об'ємної маси деревини взірці деревини вимірювали з точністю 0,01 мм та зважували масу до 0,001 г [18, 46, 48, 51].

Базисну щільність деревини обчислено як відношення маси взірця в абсолютно сухому стані до об'єму взірця деревини при абсолютній вологості більше за межу насичення клітинних стінок ( $W_{\text{абс.}} \geq 30\%$ ). Об'ємну масу при абсолютній вологості  $W_{\text{абс.}}=8\%$  та в свіжозрубаному стані ( $W_{\text{абс.}}=75\text{...}100\%$ ) визначено як відношення маси до об'єму взірця деревини [18, 45, 110, 119].

Вивчення розбухання деревини ялиці білої проведено на стандартних взірцях деревини як відношення різниці розмірів взірців деревини у мокрому ( $W_{\text{абс.}} > 100\%$ ) та абсолютно сухому ( $W_{\text{абс.}} = 0\%$ ) станах до розмірів взірців в

абсолютно сухому стані. Коефіцієнт розбухання визначено як відношення величини показників розбухання та межі насичення клітинних стінок. Коефіцієнт анізотропії (неоднорідності) деревини розраховано як відношення повного лінійного тангентального та радіального розбухання деревини [18, 119].

Динамічний модуль пружності у повздовжньому напрямку досліджено на приладі Grindo Sonic кафедри біології деревини та деревинної продукції в Геттінгенському університеті (м. Гьоттінгент, Німеччина) в рамках Європейської науково-технічної співпраці “COST Action FP1407: ModWoodLife” (рис. 2.9).

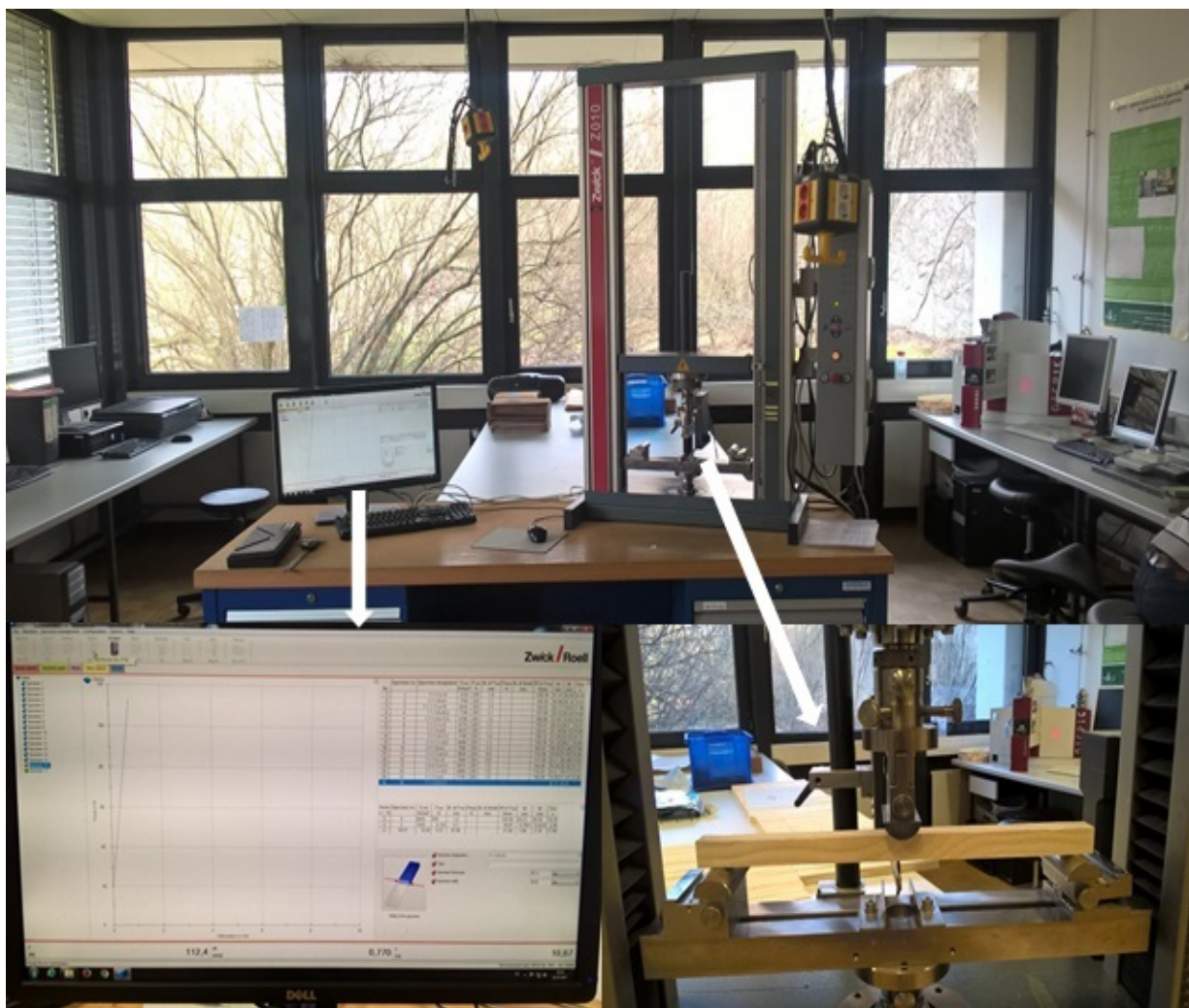


**Рис. 2.9. Схема випробування та розміщення взірців деревини на динамічний модуль пружності з використанням приладом Grindo Sonic**

В основу методики визначення динамічного модуля пружності закладено повздовжні вібрації. Повздовжній динамічний модуль пружності

розраховано за формулою  $E_L=4L^2f_m^2\rho/m^2$ , де  $L$  – довжина взірця, м;  $\rho$  – щільність деревини,  $кг\cdot м^{-3}$ ;  $f_m$  – повздовжня резонансна частота коливань в деревині,  $Гц$ ;  $m$  – кількість періодів гармонічних коливань. Абсолютна вологість взірців деревини у момент випробування становила 8%. Для визначення середньої швидкості звукової хвилі було проведено три удари молотком. Для аналізу динамічного модуля пружності деревини визначено швидкість звуку ( $C$ ) та коефіцієнт затухання ( $K$ ).

Дослідження статичного модуля пружності при статичному згині проведено в науково-дослідній лабораторії кафедри біології деревини та деревинної продуктів в Геттінгенському університеті імені Георга Августа, Німеччина (рис. 2.10).



**Рис. 2.10. Визначення статичного модуля пружності деревини на машині Zwick Z010**

Вимірювання деформації проведено при навантаженнях, що не перевищують межі пропорційності за формулою відповідно до стандартної методики [50, 51, 168].

#### 2.2.4. Достовірність результатів досліджень

Середні значення фізико-механічних показників деревини визначено на достатньому й однорідному статистичному матеріалі, що охопив три етапи відбору взірців, а саме: для пробної площі, за висотою дерева та його радіусом. Такий деревинознавчий підхід дозволив отримати статистично достовірні результати дослідження. У випадку неоднорідності сукупності результатів вимірювань формували окремі статистичні групи. Різниця між середніми значеннями становила не більше 3-кратної величини кореня квадратного суми квадратів з квадратичних відхилень середніх арифметичних величин. Статистичний аналіз результатів дослідження охопив визначення таких показників: кількість вимірювань ( $N$ ); мінімальне ( $max$ ) та максимальне ( $min$ ) значення; середнє арифметичне значення та його помилка ( $M^{\pm m}$ ); коефіцієнт варіації ( $V, \%$ ) та показник точності ( $P, \%$ ). У деревинознавстві прийнято вважати експеримент правильним, якщо показник точності є меншим п'яти відсотків ( $P < 5\%$ ) [18, 51, 163, 185].

Вивчення річних приростів проведено на обладнанні LinTab з використання дендрохронологічної програми TSAP. Статистичне оброблення результатів виконано за допомогою програми Excel, SPSS 17.0 та Statistica 10.0. Порівняння середніх значень показників макроструктури хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини проведено за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (One-way ANOVA). Незалежну змінну тестували за критерієм Шеффе (Scheffe). Різницю між групами взірців за різними властивостями деревини встановлено через величину значущості ( $p$ ), де значення  $p < 0,05$  свідчить про статистично значущу групу зразків деревини за структурою деревини [39, 133, 179].

Для вивчення залежностей між показниками фізико-механічних

властивостей деревини проведено парний лінійний кореляційно-регресійний аналіз. Коефіцієнт кореляції перевірено на значущість за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента, який при умові  $|t| > t_{табл.}$  вказує на суттєвий зв'язок між залежною та незалежними показниками. Рівняннями регресії підтверджувано наявний зв'язок між досліджуваними змінними моделі якщо  $R^2 > 0,5$ . Для перевірки статистичної значущості коефіцієнта детермінації  $R^2$  використано  $F$ -критерій Фішера. За отриманим значенням коефіцієнта детермінації обчислено фактичне значення  $F_{факт.}$  та порівняно з відповідним табличним значенням розподілу Фішера коли рівень значущості  $p = 0,05$  або  $p = 0,01$ . При умові  $F_{факт.} < F_{експ}$  регресійні залежності між досліджуваними фізико-механічними показниками якості хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини прийнято вважати статистично достовірними [39, 133, 179].

Тісноту зв'язку між показниками фізико-механічних властивостей деревини, які мали найбільший вплив на результативні показники, визначено кореляційним аналізом, яким передбачено розрахунок коефіцієнта кореляції. Його значення характеризувало напрям і тісноту зв'язку між властивостями деревини. За абсолютним значенням коефіцієнта кореляції встановлювали тісноту зв'язку за такою шкалою: слабкий із значенням коефіцієнта кореляції в 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 показниками макроструктури, об'ємної маси, швидкості звуку в повздовжньому напрямку, коефіцієнта затухання, динамічного та статичного модуля пружності хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини характеризували через парну кореляційну матрицю [39, 179].

### РОЗДІЛ 3

## СТРУКТУРНІ ВІДМІННОСТІ ХВИЛЕПОДІБНИХ УТВОРІВ СТОВБУРА ЯЛИЦІ БІЛОЇ

Кваліметричні ознаки ростучого дерева пов'язані між собою, а визначення одного показника дозволяє спрогнозувати якісні характеристики круглого лісоматеріалу [114]. До важливих морфологічних маркерів добротності стовбурів доцільно віднести основні таксаційні показники: висоту, діаметр, вік дерева, які дають загальну кількісну оцінку під час заготівлі деревинної сировини. Для якісного оцінювання стовбурної деревини необхідно діагностувати деревинознавчі ознаки. Вони визначають цільове використання деревини, що зумовлено наявністю її вад та характеризують ширину річного кільця, яке є відбитком не тільки лісогосподарського чинника, але й різкої зміни екологічних факторів. Для визначення класів якості лісоматеріалів хвойних порід доцільним є визначити кваліметричні ознаки структури деревини: кількість річних кілець в 1 см, ширину річного кільця, вміст ранньої та пізньої деревини в річному кільці. Літературні джерела подають [35, 135, 181, 215], що річний приріст найбільш динамічно реагує на зміну кліматичних факторів та умов місцезростання, а також зумовлює формування утворів стовбура.

### 3.1. Морфологічні особливості дерев та утворів стовбура

Для виділення форми за структурою деревини визначальним є діагностування груп особин окремого виду, які відрізняються від типових представників за певними ознаками, що характерні для внутрішньовидової систематичної одиниці. Згідно з ботанічною номенклатурою основним таксоном у систематиці вищих рослин, у контексті структурних відмінностей, на увагу заслуговує форма → *forma*, яка є безреальною внутрішньовидовою категорією і є цінною для селективного відбору при вирощуванні лісових деревних порід із заданими властивостями деревини [79, 81].

Природну диференціацію ялиці білої за структурою деревини в Українських Карпатах доцільно пов'язувати з різкою зміною висотно-екологічних факторів та відмінними мікрокліматичними умовами зростання деревостанів. Ряд авторів [7, 114, 159] вказує, що утворення утворів стовбура у лісових деревних порід властиве для гірських умов із чіткою вертикальною поясністю лісів та різкою зміною ґрунтово-кліматичних умов. Ялиця біла форми “хвилясто-завилькувата” у досліджуваних деревостанах Буковинських Карпат наведено на рис. 3.1.



**Рис. 3.1. Хвилеподібні утвори стовбура ялиці білої**

Для більшої безсучкової частини стовбура ялиці білої “хвилясто-завилькувата” спостерігаються морфологічні відміни за структурою

деревини (рис. 3.1). Результати дослідження морфологічних показників ялиці білої з хвилеподібними утворами ( $N_0 = 50$ ) в умовах Буковинських Карпат подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

## Морфологічні показники ялиці білої “хвилясто-завилькувата”

Показники дерев	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
<i>A</i> , роки	94	112 <sup>+1,29</sup>	132	8,2	1,2
<i>h</i> , м	25,0	29,0 <sup>+0,25</sup>	32,5	6,2	0,9
<i>d</i> <sub>1,3</sub> , см	32	44 <sup>+1,03</sup>	59	16,8	2,4
<i>h</i> <sub>жив.гіл.</sub> , м	4,5	7,0 <sup>+0,18</sup>	10,0	18,5	2,6
<i>l</i> <sub>хв.-зав.</sub> , м	6,0	8,3 <sup>+0,18</sup>	11,5	15,6	2,2
<i>V</i> <sub>хв.-зав.</sub> , м <sup>3</sup>	0,30	0,90 <sup>+0,06</sup>	2,33	51,1	7,2
<i>B</i> <sub>хв.-зав.</sub> , %	0,47	1,17 <sup>+0,10</sup>	2,81	58,3	8,2

Аналіз даних табл. 3.1 свідчить про те, що дослідження стовбурних утворів ялиці білої проведено у дерев, віковий діапазон (*A*) яких в межах 94-132 років. Висота дерев (*h*) варіює від 25 до 32,5 м, а діаметр на висоті грудей (*d*<sub>1,3</sub>) – 32-59 см. Слід зазначити, що висота дерева до першої живої гілки (*h*<sub>жив.гіл.</sub>) на 18,6% більша, ніж довжина стовбура з хвилясто-завилькуватою структурою деревини (*l*<sub>хв.-зав.</sub>). Довжина круглих лісоматеріалів із хвилеподібними утворами змінюється від 6,0 до 11,5 м із середнім значенням 8,3 м, що у технологічному аспекті відповідає номінальним розмірам для отримання повноцінної пилопродукції [201]. Об’єм хвилясто-завилькуватої деревини (*V*<sub>хв.-зав.</sub>) у стовбурі становить в середньому 0,90 м<sup>3</sup>, а у досліджуваних ялицевих деревостанах відсоток хвилясто-завилькуватої деревини (*B*<sub>хв.-зав.</sub>) від його загального запасу знаходиться в межах від 0,47 до 2,81%. Очевидним є те, що декоративна деревина ялиці білої є унікальною сировиною для деревооброблювальних підприємств, а вироби з цієї деревини

займуть раритетну нішу в меблевому виробництві.

До діагностичних морфологічних ознак доцільно віднести структурні відмінності деревини, віддзеркаленням яких є розмірна характеристика завилькуватості деревних волокон в утворах стовбурів, що визначають через кута нахилу волокон [175]. У радіальній та тангентальній площинах хвилеподібну завилькуватість ялиці білої вимірюють через помітні широкі паралельні смуги, результати вимірювання яких подано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Ширина хвилеподібних утворів стовбурів ялиці білої, мм

Пробна площа	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
1	38,1	90,1 <sup>±3,56</sup>	156,1	27,9	3,9
2	40,6	109,3 <sup>±5,31</sup>	179,8	34,4	4,9
3	43,3	82,6 <sup>±3,56</sup>	143,5	30,5	4,3
4	55,6	71,5 <sup>±1,83</sup>	123,8	18,1	2,6
5	55,6	109,2 <sup>±3,79</sup>	172,2	24,6	3,5
6	71,1	108,0 <sup>±4,02</sup>	194,2	26,3	3,7
7	33,7	67,7 <sup>±3,37</sup>	114,0	35,2	5,0
8	57,2	127,6 <sup>±3,90</sup>	174,2	21,6	3,1
9	65,0	136,7 <sup>±3,68</sup>	171,3	19,0	2,7
10	59,9	77,0 <sup>±1,97</sup>	133,3	18,1	2,6
Середнє	33,7	86,6 <sup>±1,57</sup>	194,2	33,9	1,8

Примітка. Кількість проведених вимірювань для кожної пробної площі становить 50.

За результатами комплексних досліджень утворів стовбура встановлено, що амплітуду коливань в ширині хвиль варіює від 33,7 до 194,2 мм із середнім значенням 86,6 мм (табл. 3.2). Найбільший показник властивий для перестійних ялицевих деревостанів віком 118 та 130 років на

ПП-8 та ПП-9. Він змінюється від 57,2 до 174,2 мм із середніми значеннями 127,6 та 136,7 мм відповідно. Найменший показник характерний для 95-річного ялицевого деревостану на ПП-7 із середнім значенням 67,7 мм. Статистичний аналіз результатів дослідження свідчить про те, що коефіцієнт варіації досліджуваного показника знаходиться в межах допустимого ( $V < 40\%$ ), а показник точності менший 5%, який підтверджує достовірність проведеного дослідження. Не менш важливим показником структурних аномалій стовбурної деревини є також глибина ( $U$ ) хвилеподібних утворів (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

## Глибина хвилеподібних утворів стовбурів ялиці білої, мм

Пробна площа	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
1	5,2	12,4 $\pm$ 0,40	17,6	23,0	3,2
2	4,9	10,5 $\pm$ 0,39	16,8	26,4	3,7
3	5,5	9,7 $\pm$ 0,33	14,4	23,9	3,4
4	4,4	7,3 $\pm$ 0,24	11,2	23,7	3,3
5	6,7	13,7 $\pm$ 0,68	22,3	35,3	5,0
6	6,5	13,4 $\pm$ 0,59	20,6	31,1	4,4
7	4,5	6,9 $\pm$ 0,23	10,3	23,1	3,3
8	6,6	15,2 $\pm$ 0,68	23,0	31,8	4,5
9	6,6	16,9 $\pm$ 0,70	24,1	29,1	4,1
10	4,8	9,0 $\pm$ 0,38	12,9	30,1	4,3
Середнє	4,4	11,5 $\pm$ 0,21	24,1	41,0	1,8

Примітка. Кількість проведених вимірювань для кожної пробної площі становить 50.

Як показують дані табл. 3.3, найбільше середнє значення глибини хвилеподібних утворів ялиці білої становить  $U=16,9$  мм. Тенденція зменшення

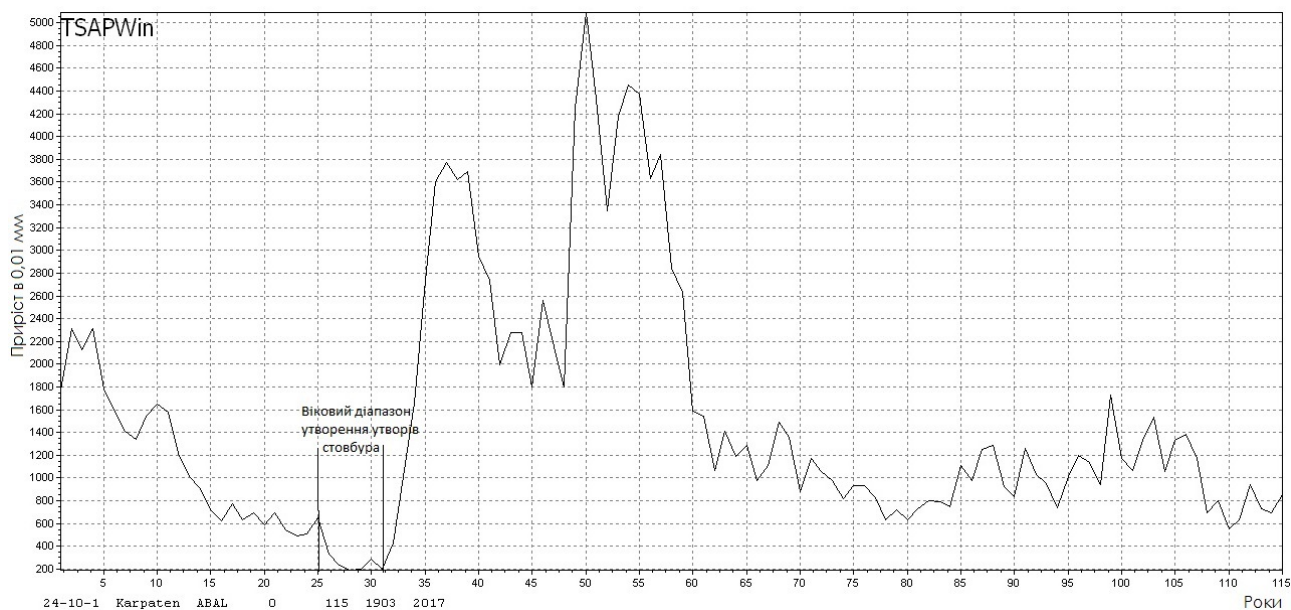
глибини хвилеподібних утворів аналогічна до показників їх ширини. Найменші значення глибини хвилеподібних утворів характерні для тих досліджуваних дерев, які характеризуються меншими показниками ширини хвилі. Амплітуда коливання абсолютних значень глибини хвилі деревних волокон знаходиться в межах від 4,4 до 24,1 мм. У більшості дослідів статистичні показники вимірювань хвилеподібних утворів характеризуються значною варіабельністю ( $V > 20\%$ ). У технічному аспекті структурні аномалії в стовбурах стверджують про значну завилькуватість деревних волокон відносно осі ростучого дерева та унікальність текстури деревини. У наукових працях проф. Сопушинський І. М. робить припущення про те, що зміна структурного розміщення деревного волокна щодо осі ростучого дерева та суттєва відмінність його морфологічних ознак має генетичну природу походження [111, 114, 114].

Підсумовуючи результати дослідження морфологічних ознак ялиці білої із хвилеподібними утворами, слід зазначити, що довжина круглих лісоматеріалів із хвилясто-завилькуватою деревиною змінюється від 6,0 до 11,5 м. Амплітуда коливання ширини хвилі утворів стовбура знаходиться в межах від 33,7 до 194,2 мм, а глибина хвилеподібних утворів - від 4,4 до 24,1 мм. На нашу думку, встановлені параметричні характеристики декоративної деревини ялиці білої доцільно віднести до спадкової мінливості, спричиненої подібними мутаціями однакових генів. Утвори стовбурів ялиці білої у технологічному аспекті є унікальною деревинною сировиною для меблевого виробництва, а в лісівничому - основою для проведення селекції відміни за структурою деревини.

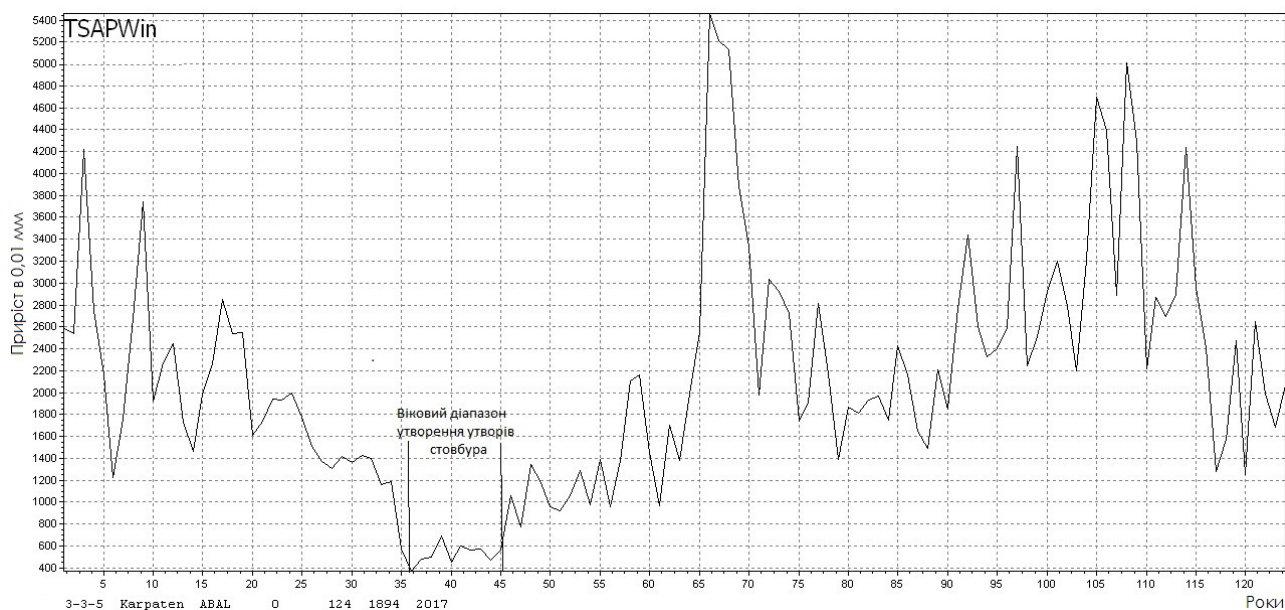
### **3.2. Дендрохронологічні ознаки початку утворення утворів стовбура**

Неправильне розміщення деревного волокна у стовбурах окреслює якісну міру її декоративності та формування фізико-механічних властивостей деревини. Річне кільце визначає не тільки текстурні відмінності, але й є реакцією сезонної діяльності камбію на зміну кліматичних факторів. Датування річного кільця стовбурної деревини є біологічним маркером

діяльності клітин камбію, на утворення яких впливають екологічні чинники. Дендрохронологічні шкали ялиці білої з хвилясто-завилькуватою структурою деревини показано на рис. 3.2.



А)

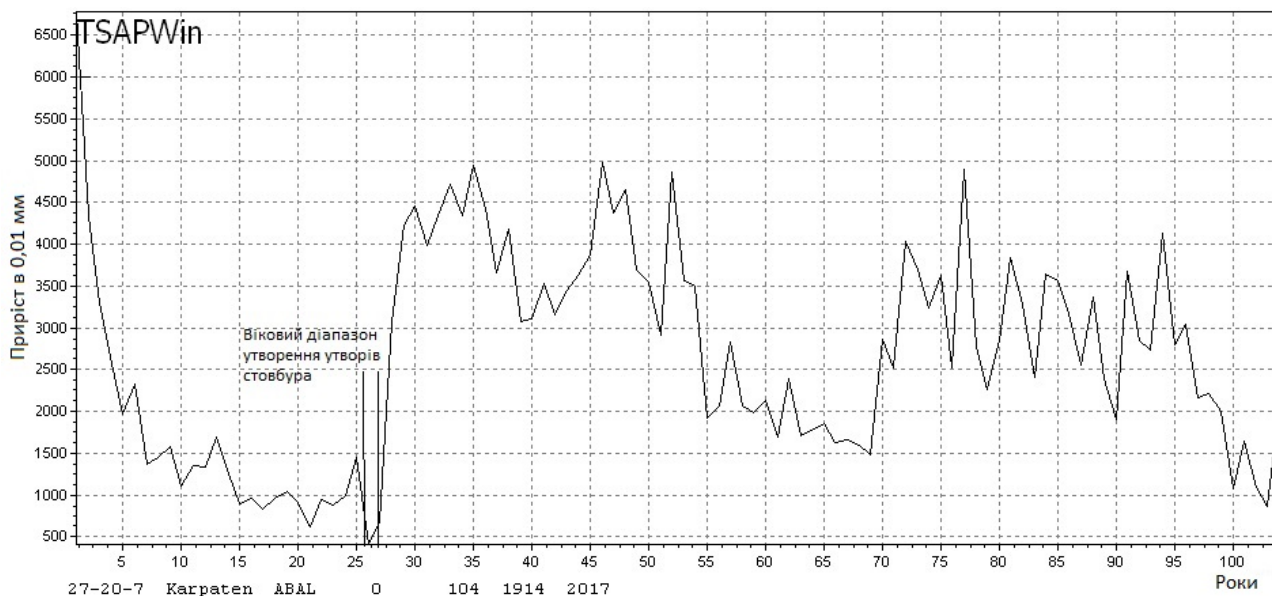


Б)

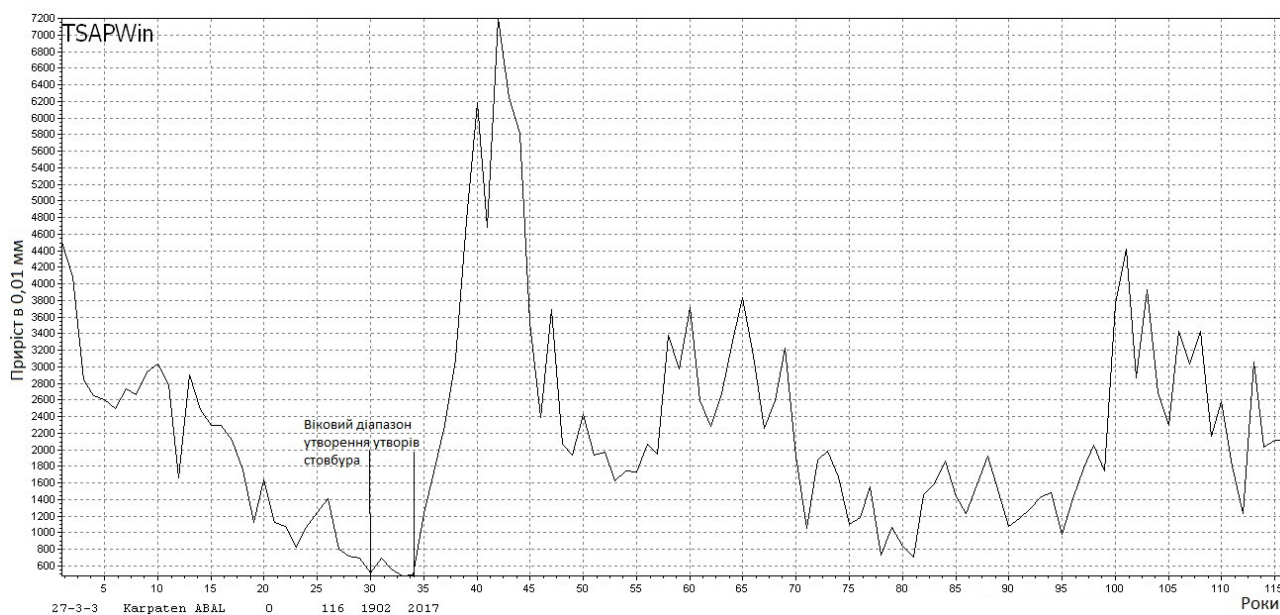
**Рис. 3.2. Віковий діапазон початку утворення хвилеподібних утворів стовбура ялиці білої на III-6 (А) та III – 8 (Б)**

Як видно з рис. 3.2А, порушення діяльності камбію ялиці білої на III-6 встановлено у віковому діапазоні від 25 до 32 років, а у дерев на III-8 – від 37 до 45 років. Таку відмінність у вікових діапазонах доцільно пов'язувати з мікрокліматичними чинниками зростання ялиці білої на різних експозиціях схилів

та висотно-екологічних поясів. Віковий діапазон утворення утворів стовбура ялиці білої на *ПП-2* та *5* наведено на рис. 3.3.



А)



Б)

**Рис. 3.3. Віковий діапазон початку утворення хвилеподібних утворів стовбура ялиці білої на *ПП-2* (А) та *ПП-5* (Б)**

Аномальному приросту деревини ялиці білої на *ПП-2* та *ПП-5* передував екологічний стрес, який зумовив сповільнену діяльність камбію на *ПП-2* у віці 26 років та на *ПП-5* у віковому діапазоні від 30 до 35 років. Зазначимо, що аномальну діяльність камбію доцільно пов'язувати у більшій мірі з ґрунтово-кліматичними чинниками на відміну від лісівничих. Таким чином, віковий

діапазон утворення хвилеподібних утворів стовбура знаходиться у межах 25-45 років, що необхідно враховувати при вирощуванні ялиці білої із заданими властивостями деревини. З одного боку, діяльність камбію у цьому віковому періоді є вразливою, що, можливо, зумовлено впливом екологічних умов на ріст та розвиток біологічного виду і, як наслідок, на його структуроване розміщення деревного волокна відносно осі ростучого дерева. З іншого боку, питання формування утворів стовбура доцільно розглядати як прояв корелятивних онтогенетичних реверсій – поєднання паразитів та біологічного виду. У теоретичних та прикладних лісівничих аспектах залишається важливим вивчення природи походження утворів стовбура ялиці білої, що дозволить через проведення лісогосподарських заходів вирощувати лісові деревні породи із заданими властивостями деревини.

### **3.3. Макроструктурні ознаки хвилясто-завилькуватої деревини**

Селективний відбір дерев із заданими властивостями деревини передбачає визначення її візуальних характеристик, що на практиці передбачає встановлення основних макроструктурних показників, а саме: ширини річного кільця, вмісту пізньої та ранньої деревини у хвойних порід. Неоднорідність (анізотропія) структури деревини визначає не тільки фізико-механічні властивості деревини, але й її текстурні особливості. Різка зміна вмісту пізньої (літньої) деревини підкреслює її текстурні характеристики і окреслює якісну міру декоративності деревини. У хвойних порід ширина ранньої деревини відбиває вплив екологічних умов на діяльності камбію на початку вегетаційного періоду. Наукові джерела подають, що річний приріст є найбільш вразливим на зміну кліматичних факторів та умов місцезростання [65, 93, 95, 98, 135, 177, 171], які, можливо, і є причиною аномальних відхилень від типової структури (прямоволокнистої) деревини.

Визначення макроструктурних маркерів ялиці білої з різним упорядкуванням деревного волокна в умовах Буковинських Карпат є одним із важливих деревинознавчих критеріїв для виокремлення відміни (форми)

деревного виду за структурою деревини та подальшого вивчення відмінностей у формуванні фізико-механічних властивостей деревини. Статистичні показники річного приросту ялиці білої у межах 10-річних діапазонів в напрямку від кори до серцевини стовбура на III-11 висвітлено в табл. 3.4 ((див. додаток Б)).

Таблиця 3.4

## Середня ширина річного кільця у різних вікових діапазонах, мм

Віковий діапазон від кори до серцевини (роки)	Кількість вимірювань, шт.	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
<i>Хвилясто-завилькувата структура деревини (<math>S^x_{\text{річн.кіл.}}</math>)</i>						
1 (0-10)	240	0,90	2,55 $\pm$ 0,07	6,00	41,5	2,7
2 (11-20)	240	1,10	2,54 $\pm$ 0,06	6,00	36,4	2,3
3 (21-30)	240	1,00	2,72 $\pm$ 0,05	4,60	29,7	1,9
4 (31-40)	240	0,50	2,62 $\pm$ 0,07	5,12	40,0	2,6
5 (41-50)	240	0,50	3,23 $\pm$ 0,10	6,30	47,8	3,1
6 (51-60)	212	0,50	3,24 $\pm$ 0,09	6,80	39,9	2,7
7 (61-70)	143	0,60	2,67 $\pm$ 0,06	4,60	27,5	2,3
8 (71-80)	47	0,23	2,69 $\pm$ 0,22	5,10	57,3	8,4
<i>Прямоволокниста структура деревини (<math>S^n_{\text{річн.кіл.}}</math>)</i>						
1 (0-10)	240	0,90	1,75 $\pm$ 0,04	4,00	31,1	2,0
2 (11-20)	240	1,00	2,17 $\pm$ 0,04	5,01	31,0	2,0
3 (21-30)	240	0,50	2,30 $\pm$ 0,05	4,00	30,4	2,0
4 (31-40)	240	0,20	2,23 $\pm$ 0,06	4,91	40,6	2,6
5 (41-50)	240	0,50	2,69 $\pm$ 0,07	6,30	37,5	2,4
6 (51-60)	240	1,10	2,73 $\pm$ 0,06	6,60	34,9	2,3
7 (61-70)	179	0,90	2,87 $\pm$ 0,07	6,70	33,6	2,5
8 (71-80)	70	1,00	2,90 $\pm$ 0,14	5,10	39,9	4,8

Ширина річного кільця ялиці білої змінюється у діапазоні від 0,23 до 6,80 мм у дерев із хвилясто-завилькуватою структурою та з прямоволокнистою структурою – від 0,20 до 6,70 мм (табл. 3.4). В аналогічних вікових діапазонах річний приріст у дерев із хвилясто-завилькуватою (нетиповою) деревиною характеризується більшими середніми значеннями порівняно до дерев із прямоволокнистою (типовою) деревиною. Різке збільшення середнього річного приросту ялиці білої у віковому діапазоні 35-45 років доцільно вважати початком утворення утворів стовбура. У дерев із хвилясто-завилькуватою текстурою середня ширина річного кільця досягає максимального значення у віковому діапазоні 51-60 років і становить 3,24 мм, а у дерев із прямоволокнистою текстурою – 2,73 мм.

За результатами дослідження визначено, що ширина річного кільця ялиці білої з хвилясто-завилькуватою деревиною (віком 0-60 років) більша, ніж у дерев із прямоволокнистою деревиною (див. додаток Б). Найбільший річний приріст властивий деревам із хвилеподібними утворами віком більше 35-45 років. Дерева з хвилеподібними утворами стовбура характеризуються більшими середніми значеннями ширини річного кільця у порівнянні до дерев із прямоволокнистою деревиною. Діапазон середньої ширини річного кільця ялиці з хвилясто-завилькуватою деревиною змінюється від 2,54 до 3,24 мм, а у дерев із прямоволокнистою деревиною – від 1,75 до 2,90 мм. Відмінність максимальних значень річних приростів у дерев із нетиповою деревиною порівняно до дерев із типовою деревиною описує аналогічна тенденція. Найменший середній річний приріст ( $S^n_{річн.кіл.}=1,75$  мм) ялиці білої з прямоволокнистою деревиною властивий для дерев віком більше 90 років. Так, у віковому діапазоні 0-10 років (2007-2017 рр.) середня ширина річного кільця у дерев із хвилясто-завилькуватою деревиною на 45,7% більша у порівнянні до аналогічного показника у дерев із прямоволокнистою деревиною. Отримані середні значення 10-річних вікових діапазонів у досліджуваних дерев ялиці білої є статистично достовірними, а показник точності не перевищує  $P<5\%$ .

Середні значення ширини пізньої деревини в річному кільці ялиці білої

залежно від вікового діапазону в напрямку від кори до серцевини на ПП-11 наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

## Середня ширина пізньої деревини в річному кільці, мм

Віковий діапазон від кори до серцевини (роки)	Кількість вимірювань, шт.	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
<i>Хвилясто-завилькувата структура деревини (<math>\delta^x</math> пізн.дер.)</i>						
1 (0-10)	240	0,08	0,81 $\pm$ 0,03	2,90	51,1	3,3
2 (11-20)	240	0,14	0,89 $\pm$ 0,03	2,70	55,0	3,6
3 (21-30)	240	0,10	0,87 $\pm$ 0,02	2,70	41,5	2,7
4 (31-40)	240	0,15	0,85 $\pm$ 0,02	2,00	43,5	2,8
5 (41-50)	240	0,20	0,98 $\pm$ 0,03	3,00	51,1	3,3
6 (51-60)	212	0,20	1,00 $\pm$ 0,04	3,90	52,4	3,6
7 (61-70)	143	0,27	0,89 $\pm$ 0,03	2,60	35,8	3,0
8 (71-80)	47	0,10	0,86 $\pm$ 0,08	1,90	61,0	8,9
<i>Прямоволокниста структура деревини (<math>\delta^n</math> пізн.дер.)</i>						
1 (0-10)	240	0,15	0,60 $\pm$ 0,02	2,22	41,8	2,7
2 (11-20)	240	0,20	0,71 $\pm$ 0,02	2,07	40,5	2,6
3 (21-30)	240	0,15	0,67 $\pm$ 0,02	2,70	45,2	2,9
4 (31-40)	240	0,07	0,69 $\pm$ 0,02	2,20	49,0	3,2
5 (41-50)	240	0,20	0,82 $\pm$ 0,02	2,00	41,5	2,7
6 (51-60)	240	0,20	0,82 $\pm$ 0,02	2,40	43,3	2,8
7 (61-70)	179	0,20	0,78 $\pm$ 0,03	2,40	43,3	3,2
8 (71-80)	70	0,20	0,83 $\pm$ 0,05	1,90	46,5	5,6

Цифрові дані табл. 3.5 вказують, що абсолютні значення ширини пізньої деревини у річному кільці суттєво відрізняються у віковому діапазоні 0-60

років. Середнє значення пізньої деревини в останніх десяти річних приростах (2007-2017 рр.) на 35% більше у дерев із хвилястими утворами стовбура в порівнянні з типовою структурою деревини. У віковому діапазоні 71-80 років (1937-1946 рр.) ширина пізньої деревини характеризується приблизно однаковими значеннями як у дерев із прямоволокнустою, так і з хвилясто-завилькуватою деревиною. Важливо зазначити, що варіація абсолютних значень пізньої деревини значно більша у дерев із аномальною стовбурною деревиною. Середні значення ширини пізньої деревини у дерев із прямоволокнустою структурою змінюються від 0,60 мм до 0,83 мм. Для них характерна тенденція зменшення абсолютного значення від серединних річних шарів стовбура до периферійних. Ширина пізньої деревини ялиці білої із хвилясто-завилькуватою деревиною знаходиться в межах від 0,08 до 3,90 мм, а максимальне значення на 31% більше, ніж у дерев із прямоволокнустою структурою деревини. Ширина пізньої деревини характеризуються високим коефіцієнтом варіації, який коливається у межах 35,8-61,0%, а показник точності для більшості вікових діапазонів до 70 років є допустимим ( $P < 5\%$ ).

Аналіз отриманих результатів дослідження пізньої деревини в річному кільці свідчить про суттєві відмінності її формування у дерев із хвилясто-завилькуватою та прямоволокнустою структурою (див. додаток Б). Середні значення пізньої деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” є на 14-35% більшими ніж аналогічні показники у дерев із типовою структурою деревини у віковому діапазоні 0-70 років (1947-2017 рр.). Для цілісного аналізу відмінностей у формуванні річного приросту ялиці білої з хвилеподібними утворами необхідно дослідити ширину ранньої деревини, що розкриває особливості впливу кліматичних чинників на ріст та розвиток деревного виду на початку вегетаційного періоду.

Значні відмінності вмісту ранньої та пізньої деревини в річному кільці відображають не тільки вплив екологічних факторів на лісову деревну породу, але й зміни, які відбуваються на рівні її фенотипу та генотипу [114, 175, 228, 233]. Статистична характеристика абсолютних значень ширини ранньої

деревини ялиці білої з структурними відмінностями в різних вікових діапазонах на ПП-11 подана в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

## Ширина ранньої деревини в різних вікових діапазонах, мм

Віковий діапазон від кори до серцевини (роки)	Кількість вимірювань, шт.	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
<i>Хвилясто-завилькувата структура деревини (<math>\delta^x_{\text{ранн.дер.}}</math>)</i>						
1 (0-10)	240	0,30	1,74 $\pm$ 0,06	5,10	51,0	3,3
2 (11-20)	240	0,25	1,66 $\pm$ 0,05	4,10	44,6	2,9
3 (21-30)	240	0,13	1,86 $\pm$ 0,05	3,80	39,0	2,5
4 (31-40)	240	0,20	1,77 $\pm$ 0,05	3,90	47,7	3,1
5 (41-50)	240	0,20	2,25 $\pm$ 0,08	5,25	56,4	3,6
6 (51-60)	212	0,06	2,27 $\pm$ 0,08	5,80	50,6	3,5
7 (61-70)	143	0,70	1,79 $\pm$ 0,05	3,60	35,8	3,0
8 (71-80)	47	0,12	1,82 $\pm$ 0,16	3,90	60,1	8,8
<i>Прямоволокниста структура деревини (<math>\delta^n_{\text{ранн.дер.}}</math>)</i>						
1 (0-10)	240	0,25	1,14 $\pm$ 0,03	3,10	39,9	2,6
2 (11-20)	240	0,13	1,45 $\pm$ 0,03	3,10	35,7	2,3
3 (21-30)	240	0,20	1,63 $\pm$ 0,04	3,00	37,2	2,4
4 (31-40)	240	0,05	1,53 $\pm$ 0,05	3,50	47,4	3,1
5 (41-50)	240	0,06	1,86 $\pm$ 0,05	5,25	44,4	2,9
6 (51-60)	240	0,20	1,91 $\pm$ 0,05	5,30	42,6	2,8
7 (61-70)	179	0,40	2,09 $\pm$ 0,06	5,50	40,8	3,1
8 (71-80)	70	0,70	2,07 $\pm$ 0,11	4,00	45,4	5,4

Середня величина ранньої деревини в річному кільці дерев із рельєфними хвилеподібними утворами стовбура знаходиться у діапазоні від 1,66 до 2,27 мм і

більша на 19-53%, ніж аналогічний показник у дерев із прямоволокнутою деревиною у віковому діапазоні 0-60 років (1957-2017 рр.). Найбільші середні значення ширини ранньої деревини ялиці білої форми “хвилясто-завилькувата” характерні для вікового діапазону 41-60 років (1957-1976 рр.). У віковому діапазоні 61-80 років середня ширина ранньої деревини у дерев із прямоволокнутою структурою на 12-14% більша, ніж у дерев із хвилеподібними утворами. Ялиця біла з прямоволокнутою структурою деревини також характеризується меншим діапазоном зміни середніх значень ширини ранньої деревини, який змінюється від 1,14 до 2,09 мм. Максимальне значення ширини ранньої деревини в десяти останніх приростах у дерев із хвилясто-завилькуватою структурою на 65% більше, ніж у модельних дерев із прямоволокнутою структурою. Важливо зазначити, що деревам із прямоволокнутою деревиною характерна тенденція до зменшення ширини ранньої деревини в напрямку від серцевини до периферії у віковому діапазоні 0-70 років (1947-2017 рр.). Показник точності дослідження ширини ранньої деревини у віковому діапазоні 71-80 років (1937-1946 рр.) більший допустимого значення, що пояснюється структурними відмінностями деревини на межі стиглої та ювенільної зони. Аналізуючи отримані результати дослідження ширини ранньої деревини, треба зазначити взаємозв’язок між різким збільшенням ранньої деревини та початком утворення хвилеподібних утворів стовбура (див. додаток Б). Отже віковий діапазон 35-45 років є початком утворення утворів стовбура ялиці білої.

Результати дослідження показників макроструктури деревини ялиці білої в умовах Буковинських Карпат свідчать, що початок утворення хвилеподібних утворів стовбура доцільно пов’язувати з різким збільшенням не тільки річного приросту, але й абсолютних значень ширини ранньої та пізньої деревини. Отримані дані про відмінність показників макроструктури хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини є важливою передумовою для вивчення фізико-механічних властивостей деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата”, а також проведення дослідження мікроскопічної будови ранніх та пізніх трахеїд.

### 3.4. Парний регресійний аналіз структурних відмінностей деревини

Селективному відбору дерев за структурними ознаками передуює аналіз взаємозалежності між макроструктурними ознаками та часовим критерієм їх формування, що одночасно віддзеркалює вплив комплексу лісівничо-екологічних факторів на формування стовбурної деревини. У зв'язку з цим важливим етапом проведення деревинознавчих досліджень є детальний статистичний аналіз залежності діагностичних маркерів лісових деревних порід із декоративною (хвилясто-завилькуватою) та типовою структурою деревини. Проф. І. М. Сопушинський зазначає [114], що якісні характеристики стовбурної деревини у деревостанах є ключовими індикаторами їх біологічної стійкості та продуктивності. Достовірні регресійні залежності між діагностичними ознаками стверджують про селективну стійкість властивостей деревини.

Результати дослідження показників макроструктури стовбурної деревини ялиці білої свідчать про суттєву відмінність у ширині річних кілець для дерев із типовою (прямоволокнистою) та декоративною (хвилясто-завилькуватою) деревиною у віковому діапазоні 1-6 (1957–2017 роках) в умовах Буковинських Карпат на абсолютній висоті 985 м (рис. 3.4).



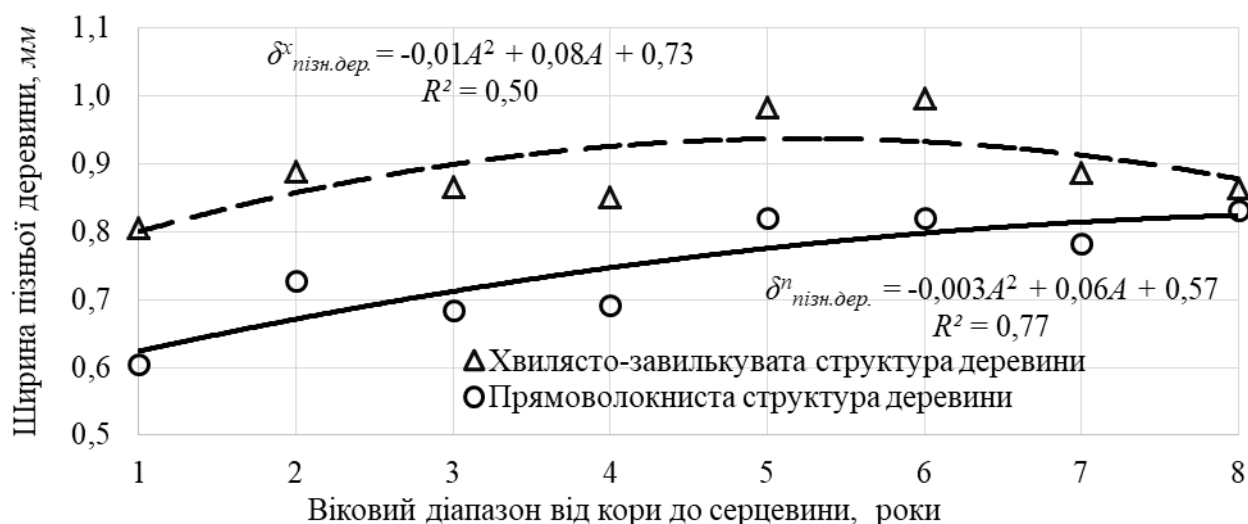
**Рис. 3.4. Залежність ширини річного кільця хвилясто-завилькуватої та прямоволокнистої деревини ялиці білої від віку**

Різниця середніх значень ширини річного кільця ялиці білої з хвилеподібними утворами та типовою структурою деревини знаходиться в

діапазоні від 15 до 31с. Зменшення річного приросту з віком у дерев із типовою структурою описується рівнянням другого порядку  $S^n_{річн.кіл.} = -0,01A^2 + 0,27A + 1,56$  ( $R^2 = 0,94$ ), а фактичний критерій Фішера при значущості  $p = 0,05$  є більшим від його табличного значення ( $F_{факт.} = 94,0 > F_{табл.}(1; 7) = 5,59$ ), що підтверджує статистичну надійність рівняння регресії. У дерев із хвилеподібними утворами стовбура фактичний критерій Фішера є меншим від табличного ( $F_{факт.} = 3,93 < F_{табл.} = 5,59$ ). Отже величина річного приросту суттєво не залежить від вікового параметру.

Збільшення щільності стовбурної деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” дозволяє провадження селекції спрямованої на підвищення об’ємної продуктивності деревостанів та плантаційного вирощування дерев із декоративною деревиною. Хвилясто-завилькувата деревина ялиці білої вирізняється унікальною текстурою, що утворена хвилеподібним розміщенням річних приростів та відтінками ранньої та пізньої деревини.

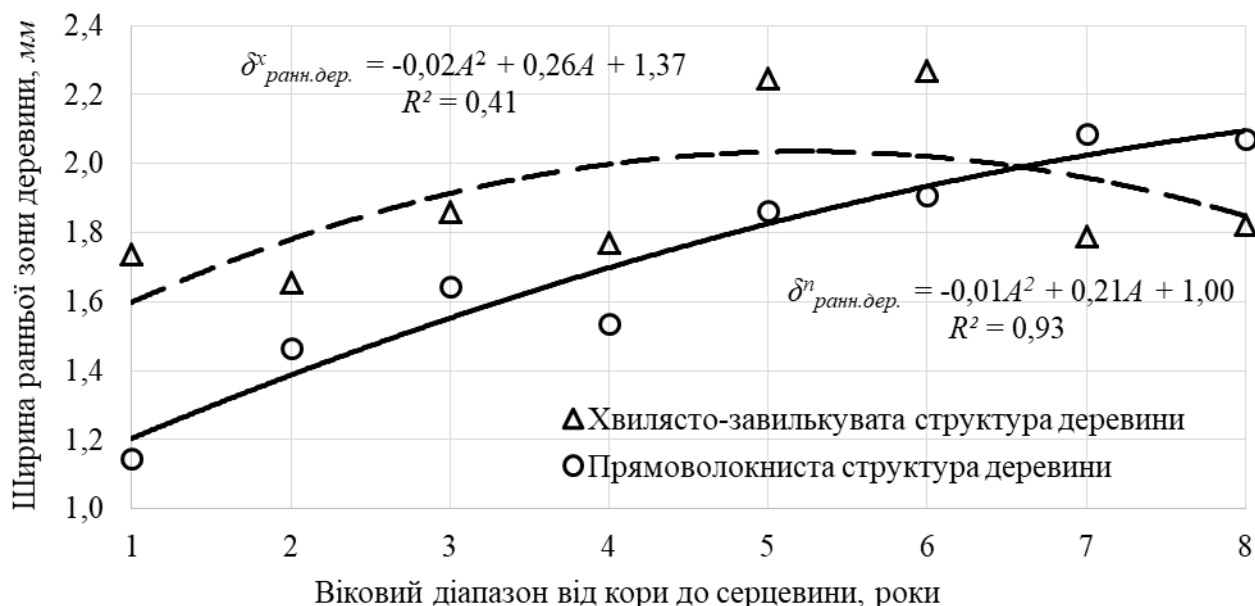
Ширина пізньої деревини ялиці білої з типовою та декоративною (хвилясто-завилькуватою) текстурою досягає максимальних значень у віковому діапазоні від 40 до 50 років. У віці 95-105 років середні значення ширини пізньої деревини є найменшими. Залежність ширини пізньої деревини у дерев із декоративною та типовою текстурою від вікового чинника зображено на рис. 3.5.



**Рис. 3.5. Залежність ширини пізньої хвилясто-завилькуватої та прямоволокнистої деревини в річному кільці від віку**

Величина пізньої деревини в річному кільці ялиці білої з хвилеподібною та прямоволокнистою текстурою є найбільшою у середньовікових дерев 40-60

років (1957–1977 роках). Різниця між шириною пізньої деревини в особин із хвилясто-завилькуватою та прямоволокнустою текстурою деревини однакова і становить 20%. Залежність між віковим діапазоном та шириною пізньої деревини ялиці білої з типовою структурою підтверджує статистичну значущість лінійної регресії і описується рівнянням другого порядку  $\delta^n_{\text{пізн.дер.}} = -0,003A^2 + 0,06A + 0,57$  ( $R^2 = 0,77$ ). Фактичний критерій Фішера ( $p = 0,05$ ) для прямоволокнустої деревини більший від його табличного значення  $F_{\text{факт.}} = 20,09 > F_{\text{табл.}}(1; 7) = 5,59$ , а для хвилясто-завилькуватої – менший ( $F_{\text{факт.}} = 5,0 < F_{\text{табл.}} = 5,59$ ). Існують суттєві відмінності не тільки ширини пізньої деревини, але й ранньої деревини в осіб з хвилеподібними утворами стовбура та типовою структурою (рис. 3.6).



**Рис. 3.6. Залежність ширини ранньої хвилясто-завилькуватої та прямоволокнустої деревини в річному кільці від віку**

Як зображено на рис. 3.6, кореляційне поле із лініями регресії ширини ранньої деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” та з типовою структурою характеризується подібною тенденцією зміни річного приросту та пізньої деревини у віковому діапазоні від 1937 до 2017 років. Залежність між віковим діапазоном та шириною ранньої прямоволокнустої деревини описується рівнянням другого порядку, де  $F_{\text{факт.}} = 79,71 > F_{\text{табл.}} = 5,59$ . Очевидно, що відсутність регресійної залежності між показниками макроструктури та віковим параметром ялиці білої

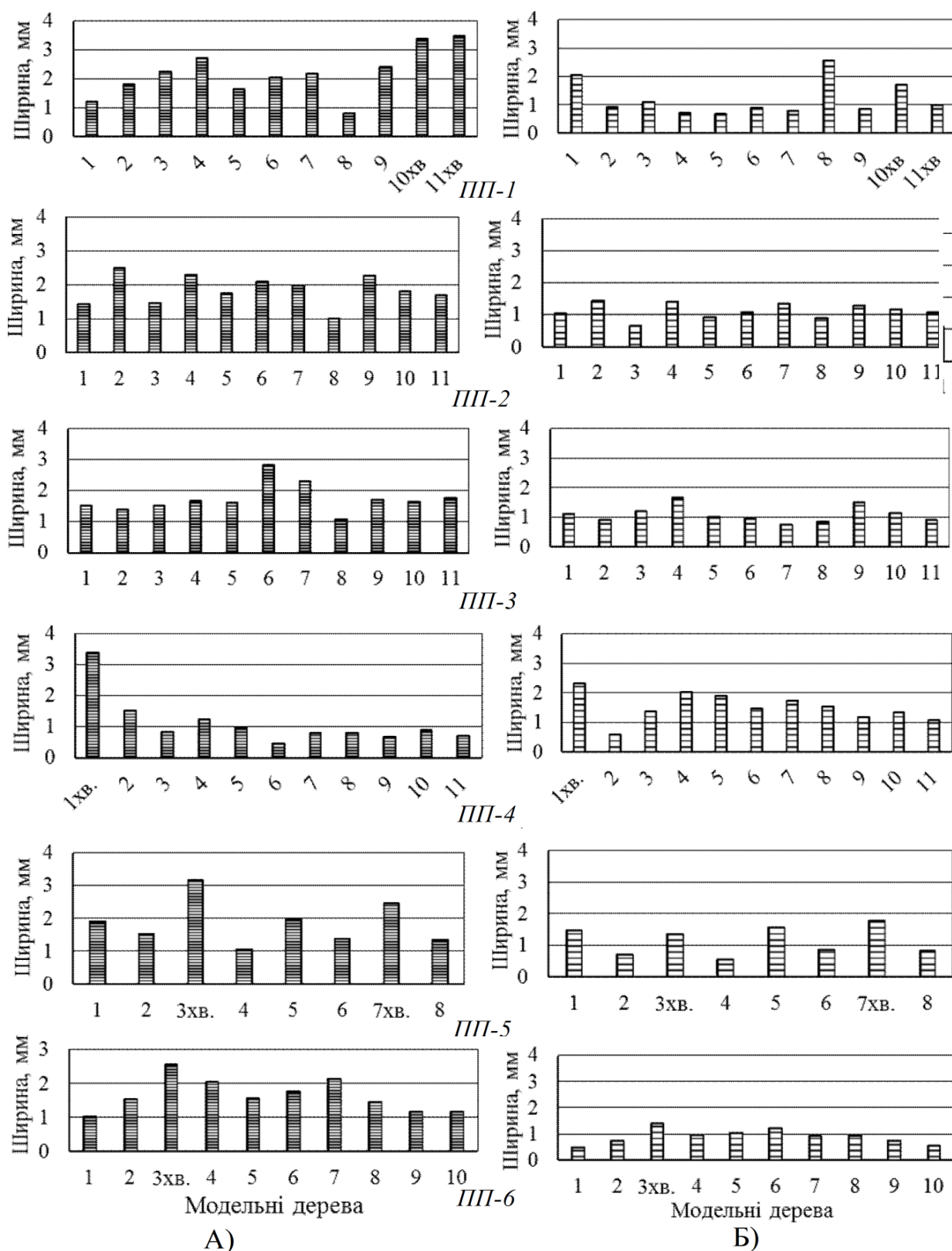
стверджує про значні структурні відмінності стовбурної деревини.

Узагальнюючи отримані результати дослідження показників макроструктури, необхідні підкреслити про суттєві відмінності їх середніх та граничних значень. У віці до 80 років річний приріст ялиці білої з типовою структурою поступово зменшується в напрямі від ювенільної деревини до периферії стовбура. У дерев із хвилясто-завилькуватою деревиною ширина ріного кільця змінюється неоднаково і свідчить про аномальну діяльності камбію. Ялиця біла “хвилясто-завилькувата” характеризується різким збільшенням середніх значень: ширини річних кілець до 31%, ширини пізньої деревини до 25% та ширини ранньої деревини до 34% у порівнянні з прямоволокнистою деревиною. Для виділення внутрішньовидової відміни ялиці білої за структурою деревини необхідно провести дисперсійний аналіз річних приростів ялиці білої з типовою та декоративною текстурою.

### **3.5. Внутрішньовидова відміна ялиці білої за структурою деревини**

Структурні відмінності ксилеми є результатом циклічної діяльності клітин камбію, будь-які відхилення яких в процесі росту та розвитку деревної рослини мають більш за все генетичну природу. Річний приріст лісових деревних порід утворений в результаті діяльності клітин камбію на протязі вегетаційного періоду, що закладають назовні анатомічні елементи, в той час як дочірні клітини диференціюються в стиглу деревини. Розмірна характеристика річного приросту, ранньої і пізньої зони деревини в межах річного кільця є одним із вагомих деревинознавчих маркерів для виділення відміни деревної рослини за структурою деревини. Суттєвий вплив на формування показників макроструктури деревини мають екологічні фактори в різних лісорослинних умовах, але якщо досліджувати структурні відміни деревного виду в межах окрему взятого деревостану, то природні чинники будуть зведені до мінімуму.

Структурні особливості формування ранньої та пізньої деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура та прямоволокнистою структурою деревини наведено на рис. 3.7.



**Рис. 3.7. Ширина пізньої (А) та ранньої (Б) деревини ялиці білої з хвилясто-завилькуватою (хв.) та типовою структурою**

Як видно зі стовпчикової діаграми на рис. 3.7А, ширина пізньої зони у річному кільці прямоволокнистої деревини на 2,5 мм менша, ніж у дерев із

хвилясто-завилькуватою структурою під номерами 1хв., 3хв., 7хв., 10хв. та 11хв. на *III* №1, 4, 5 та 6 відповідно. Такі відмінності показника макроструктури деревини суттєво впливатимуть як на фізичні, так і механічні властивості деревини ялиці білої. Відмінності стовпчикових діаграм ширини пізньої прямоволокнустої та хвилясто-завилькуватої деревини свідчать про зміну генетичної природи циклічної діяльності клітин камбію, що знайшло також аналогічний прояв у формуванні ширини ранньої деревини.

Ширина ранньої деревини ялиці білої знаходиться в межах від 0,5 до 2,0 мм (рис. 3.7Б). Мінливість показника зумовлена чуттєвістю ялиці білої до кліматичних змін під час вегетаційного періоду, тобто в період формування весняної деревини, що найхарактерніше для гірської екосистеми. Разюче збільшення ранньої зони деревини в модельних деревах №1 та 8 на *III-1* доцільно пов'язувати скоріш за все з мікрокліматичними чинниками та умовами місцезростання.

Різниця між середніми значеннями ширини пізньої та ранньої деревини у досліджуваних дерев ялиці білої доцільно пов'язувати з екологічними факторами, які впливають на ріст та розвиток провідної тканини у живій корі (флоемі), а саме: температурний режим, а в деревині (ксилемі) – водний. Проте, необхідно зазначити, що нетипове (аномальне) збільшення абсолютних значень ширини пізньої деревини в ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура асоціюється, перш за все, з генетичними змінами окремих біологічних особин.

Таким чином, аномальність у структуроутворенні деревини ялиці білої в умовах Буковинських Карпат необхідно пов'язувати не тільки зі структурою водної системи голонасінних видів, які є уразливими до різкої зміни кліматичних умов з висотою над рівнем моря, а також із генетичними особливостями біологічного виду, що обумовлює внутрішньовидову диференціацію деревного виду за структурою деревини. Зміна ширини ранньої деревини в річному кільці ялиці білої є реакцією на умови місцезростання, які, здебільшого, не обумовлюють ширину пізньої деревини.

Внутрішньовидову диференціацію ялиці білої можна добре відслідкувати через закономірності формування ширини річного кільця та його відхилення від

середнього значення в межах деревостану (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

## Статистичні показники річних приростів, мм

Модельні дерева	Кількість річних кілець	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Показник точності, %
1	2	3	4	5	6
<i>III-1</i>					
1	77	0,62	3,27 $\pm$ 0,17	8,02	5,3
2	56	1,24	2,73 $\pm$ 0,10	6,26	3,6
3	59	0,51	3,34 $\pm$ 0,18	6,94	5,5
4	74	1,03	3,45 $\pm$ 0,16	6,55	4,5
5	68	0,25	2,36 $\pm$ 0,21	5,69	8,7
6	65	0,66	2,94 $\pm$ 0,19	6,50	6,5
7	75	0,51	2,98 $\pm$ 0,19	6,71	6,4
8	72	0,95	3,37 $\pm$ 0,15	6,10	4,4
9	61	1,36	3,25 $\pm$ 0,21	6,70	6,6
10хв.	61	2,89	5,11 $\pm$ 0,23	11,03	4,5
11хв.	60	2,56	4,48 $\pm$ 0,16	7,51	3,6
<i>III-4</i>					
1хв.	63	1,05	5,74 $\pm$ 0,27	11,57	4,8
2	104	0,47	2,11 $\pm$ 0,07	4,07	3,4
3	89	0,52	2,20 $\pm$ 0,13	4,77	5,7
4	77	0,77	3,25 $\pm$ 0,17	7,64	5,3
5	103	0,96	2,89 $\pm$ 0,12	6,46	4,3
6	114	0,24	1,91 $\pm$ 0,10	4,49	5,2
7	105	0,84	2,55 $\pm$ 0,11	4,87	4,1
8	96	1,00	2,32 $\pm$ 0,08	4,30	3,4
9	122	0,41	1,85 $\pm$ 0,07	4,43	4,0
10	105	0,53	2,23 $\pm$ 0,11	5,16	5,1
11	86	0,55	1,77 $\pm$ 0,09	3,97	5,0

Продовж. табл. 3.7

1	2	3	4	5	6
<i>III-5</i>					
1	67	0,74	3,39 <sup>±0,14</sup>	6,83	4,2
2	116	0,48	2,25 <sup>±0,12</sup>	7,20	5,2
3хв.	64	1,59	4,52 <sup>±0,13</sup>	9,60	2,9
4	94	0,12	1,59 <sup>±0,08</sup>	3,01	4,9
5	69	1,12	3,53 <sup>±0,12</sup>	5,53	3,4
6	118	0,11	2,24 <sup>±0,14</sup>	7,74	6,3
7хв.	63	1,95	4,25 <sup>±0,18</sup>	7,97	4,2
8	98	0,13	2,15 <sup>±0,15</sup>	7,17	7,0
<i>III-6</i>					
1	115	0,19	1,50 <sup>±0,10</sup>	5,09	6,7
2	80	0,77	2,28 <sup>±0,12</sup>	5,19	5,3
3хв.	67	0,91	3,98 <sup>±0,21</sup>	9,69	5,2
4	69	1,67	3,03 <sup>±0,10</sup>	5,28	3,4
5	97	0,72	2,61 <sup>±0,13</sup>	6,31	5,0
6	82	0,60	3,05 <sup>±0,10</sup>	4,44	3,3
7	78	1,08	3,07 <sup>±0,12</sup>	5,14	4,0
8	114	0,08	2,39 <sup>±0,13</sup>	6,12	5,2
9	111	0,07	1,92 <sup>±0,16</sup>	7,09	8,4
10	114	0,27	1,75 <sup>±0,11</sup>	5,42	6,0

Дані табл. 3.7 свідчать, що найбільший діапазон середніх значень ширини річного кільця характерний для досліджуваних дерев із прямоволокнустою деревиною на *III-5*, що змінюється від 1,59 до 3,53 мм. У дерев із хвилеподібними утворами середній приріст становить 4,25 та 4,52 мм, а абсолютні значення знаходяться в межах від 1,59 до 9,60 мм. Середні значення приросту ялиці “хвилясто-завилькувата” на 74% більші, ніж середні значення річних приростів на *III-5*.

Істотна різниця у середніх значеннях ширини річного кільця ялиці

білої властива також для мінімальних та максимальних значень. Значна відмінність річного приросту ялиці білої властива для *ПП-4*, де його середнє значення у дерев із рельєфними утворами стовбура становить 5,74 мм, а варіабельність показника знаходиться в межах від 1,05 до 11,57 мм.

Найменшим середньорічним приростом відрізнялась ялиця біла з типовою структурою деревини на *ПП-6*, де діапазон середніх значень ширини річного кільця знаходився в межах від 1,50 до 3,05 мм. Відхилення ширини річного кільця у прямоволокнистій та хвилясто-завилькуватій деревині властиве для лісових деревних порід на *ПП-1*, 4, 5 та 6. Середні значення ширини річного кільця прямоволокнистої деревини ялиці білої на *ПП-1* змінюються від 2,36 до 3,45 мм, а у дерев із хвилясто-завилькуватою деревиною – 4,48-5,11 мм.

Отже, найбільш динамічним показником деревного виду, що реагує на різку зміну екологічних факторів та розкриває внутрішньовидову диференціацію лісових деревних порід за структурою деревини є середньорічний приріст. Закономірності структурних відхилень ксилеми, які виявлені в ялиці білої з рельєфними утворами стовбура, обумовлені різкою зміною екологічних факторів упродовж тривалого періоду і спричинили порушення кореляції ростових процесів.

Отримані результати досліджень свідчать про можливість селекції ялиці білої за енергією росту в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. Беручи до уваги вищевказане, доцільним є врахування спадкової мінливості досліджуваної форми ялиці білої під впливом екологічних факторів. Мінливість досліджуваної форми доцільно пов'язувати з якісними та кількісними характеристиками деревини, що необхідно проаналізувати з використанням статистичних програм.

Враховуючи ці результати дослідження, констатуємо, що визначення макроструктурних показників деревини на початкових стадіях розвитку деревного виду дозволяє провести відбір особин з декоративними властивостями деревини або цільового призначення (рис. 3.8).



**Рис. 3.8. Текстура хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої**

Як видно з рис. 3.8, декоративність текстури деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” підкреслюється хвилеподібним розміщенням деревного волокна та величиною річного приросту, що вирізняється чергуванням ранньої та пізньої деревини. У деревинознавчому аспекті доцільним є проведення селективного відбору дерев ялиці білої із декоративною текстурою деревини як унікальної деревинної сировини для деревооброблювальних виробництв, орієнтованих на нову нішу виробів із декоративної деревини [182].

Для аналізу структурних відмінностей стовбурної деревини ялиці білої

нами проведено порівняння середніх значень ширини річного кільця за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Однофакторний дисперсійний аналіз ширини річного кільця ялиці білої із прямоволокнустою та хвилясто-завилькуватою (хв.) структурою

Модельне дерево (I)	Модельне дерево (J)	Різниця середніх (I-J)	Стандартна помилка середнього	Значущість, <i>p</i>	95% довірчий інтервал	
					Нижня межа	Верхня межа
1	2	3	4	5	6	7
<i>III-1</i>						
10хв.	1	1,84338(*)	0,25600	0,000	0,7441	2,9426
	2	2,37661(*)	0,27640	0,000	1,1897	3,5635
	3	1,77153(*)	0,27271	0,000	0,6005	2,9426
	4	1,66135(*)	0,25828	0,000	0,5523	2,7704
	5	2,74794(*)	0,26338	0,000	1,6170	3,8789
	6	2,16677(*)	0,26624	0,000	1,0235	3,3100
	7	2,13360(*)	0,25750	0,000	1,0279	3,2393
	8	1,73597(*)	0,25990	0,000	0,6200	2,8520
	9	1,85541(*)	0,27043	0,000	0,6942	3,0167
	11хв.	0,63383	0,27155	0,859	-0,5322	1,7999
<i>III-4</i>						
1хв.	2	3,63270(*)	0,18297	0,000	2,8479	4,4175
	3	3,53422(*)	0,18870	0,000	2,7249	4,3436
	4	2,48515(*)	0,19470	0,000	1,6501	3,3202
	5	2,84856(*)	0,18330	0,000	2,0623	3,6348
	6	3,82992(*)	0,17992	0,000	3,0582	4,6016
	7	3,18905(*)	0,18264	0,000	2,4057	3,9724
	8	3,41519(*)	0,18582	0,000	2,6182	4,2122
	9	3,89323(*)	0,17780	0,000	3,1306	4,6559
	10	3,50590(*)	0,18264	0,000	2,7225	4,2893
	11	3,96695(*)	0,19006	0,000	3,1518	4,7821

Продовж. табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7
<i>III-5</i>						
Зхв.	1	1,12881(*)	0,22254	0,001	0,2913	1,9663
	2	2,26595(*)	0,19826	0,000	1,5199	3,0120
	4	2,92723(*)	0,20634	0,000	2,1508	3,7037
	5	0,98768(*)	0,22096	0,006	0,1562	1,8192
	6	2,28407(*)	0,19766	0,000	1,5403	3,0279
	7хв.	0,27159	0,22597	0,984	-,5788	1,1219
	8	2,37000(*)	0,20463	0,000	1,6000	3,1400
<i>III-6</i>						
Зхв.	1	2,47859(*)	0,20021	0,000	1,6529	3,3043
	2	1,70286(*)	0,21573	0,000	0,8131	2,5926
	4	0,95615(*)	0,22343	0,033	0,0346	1,8777
	5	1,37616(*)	0,20693	0,000	0,5227	2,2296
	6	0,93456(*)	0,21453	0,026	0,0498	1,8193
	7	0,91006(*)	0,21698	0,042	0,0151	1,8050
	8	1,59066(*)	0,20053	0,000	0,7636	2,4177
	9	2,06332(*)	0,20153	0,000	1,2321	2,8945
	10	2,23250(*)	0,20053	0,000	1,4054	3,0596

Примітка: \* – при різниці середніх значень  $p < 0,05$  – групи значень вважають самостійною.

Як видно з табл. 3.8, групи значень ширини річних кілець ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура на *III-1* та *III-5* є однорідними, а значущість знаходиться в межах від 0,859 до 0,984. Між групами значень середньорічного приросту стовбурів із прямоволокнустою та хвилясто-завилькуватою деревиною на *III-1*, 4, 5 та 6 існує статистично значуща різниця, значущість якої змінюється від 0,000 до 0,042.

Отже, отримані результати однофакторного дисперсійного аналізу річного приросту ялиці білої в чотирьох ялицевих деревостанах свідчать про статистично значущу різницю середніх значень ширини річних кілець у дерев з

типовою та хвилясто-завилькуватою структурою. Значущість між досліджуваними деревами з хвилеподібними утворами стовбура та типовою структурою менший, ніж граничне значення тобто  $p < 0,05$ . Беручи до уваги одержані результати однофакторного дисперсійного аналізу річних приростів 34 дерев ялиці білої із прямоволокнустою та 6 дерев із хвилясто-завилькуватою деревиною, доцільно виокремити форму ялиці білої “хвилясто-завилькувата” (див. додаток Д).

Одержані результати вивчення внутрішньовидової диференціації ялиці білої в Буковинських Карпатах свідчать про значні структурні відмінності між прямоволокнустою та хвилясто-завилькуватою деревиною, а саме в формуванні ширини ранньої та пізньої деревини. Ширина річного кільця ялиці білої із прямоволокнустою деревиною характеризуються меншими середніми значеннями і знаходиться в межах від 2,36 до 3,53 мм, а у дерев із хвилеподібними утворами стовбура – 3,98-5,74 мм. Однофакторний дисперсійний аналіз ширини річного кільця 40 дерев ялиці білої дозволив виділити форму “хвилясто-завилькувата”.

#### *Висновки до розділу*

1. Висота поширювання хвилеподібних утворів у стовбурах ялиці білої змінюється від 6,0 до 11,5 м із середнім значенням 8,3 м, об’єм їх становить в середньому 0,90 м<sup>3</sup>.

2. Ширина хвилеподібних утворів стовбура ялиці білої змінюється від 33,7 до 194,2 мм із середнім значенням 86,6 мм, а їх глибина - від 4,4 до 24,1 мм із середнім значенням 11,5 мм. Віковий діапазон початку утворення хвилясто-завилькуватої деревини в дерев ялиці білої знаходиться у межах 25-45 років.

3. Ялиця біла “хвилясто-завилькувата” характеризується різким збільшенням середніх значень: ширини річних кілець до 31%, ширини пізньої деревини до 25% та ширини ранньої деревини до 34% у порівнянні з прямоволокнустою деревиною.

4. Між віковим діапазоном та шириною річного кільця, ранньою і пізньою деревиною ялиці білої з хвилеподібними утворами відсутній тісний

кореляційний зв'язок, який характерний для дерев із типовою структурою і описується рівняннями другого порядку.

5. Результати однофакторного дисперсійного аналізу річних приростів ялиці білої в досліджуваних деревостанах свідчать про статистично значущу різницю ширини річного кільця у дерев із прямоволокнистою та хвилясто-завилькуватою структурою деревини, що є вагомою деревинознавчою ознакою для виділення ялиці білої форми “хвилясто-завилькувата”.

## РОЗДІЛ 4

### ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ХВИЛЯСТО- ЗАВИЛЬКУВАТОЇ ДЕРЕВИНИ

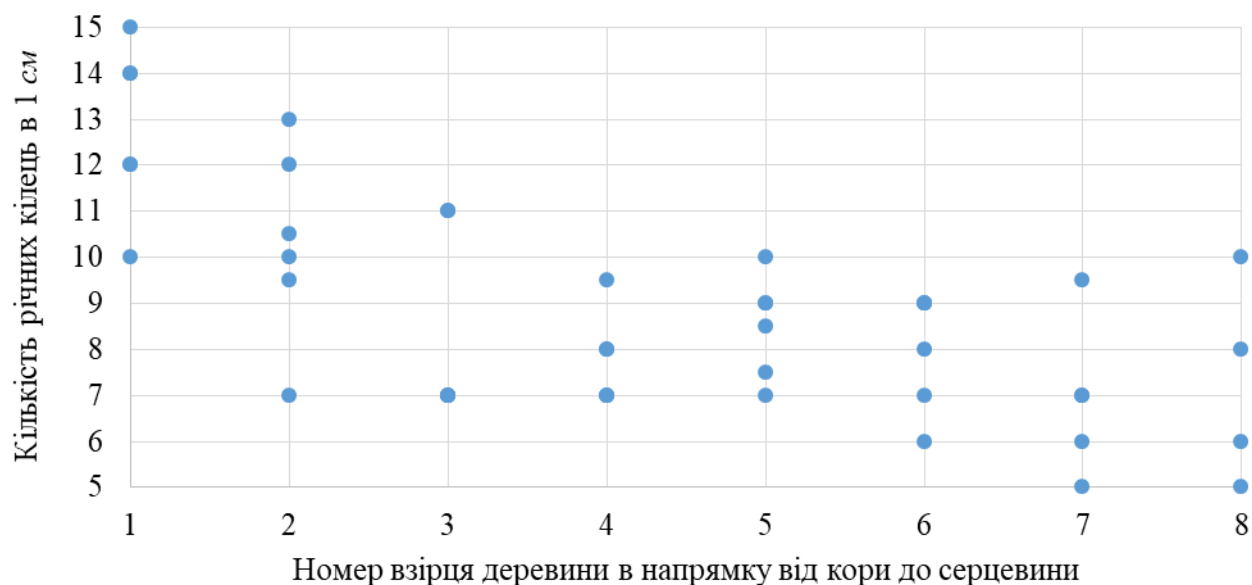
Закономірності формування об'ємної маси стовбурної деревини хвойних порід є одним із біологічних маркерів, які розкривають структурні особливості та суттєво визначають якісну продуктивність деревостанів [18, 110, 114, 135, 175, 181, 204, 230, 233]. Щільність деревини інтегрально віддзеркалює вплив екологічних чинників на ріст та розвиток деревної рослини і є важливим індикатором механічної якості деревини. У зв'язку із цим дослідження мінливості об'ємної маси відмін деревних порід за структурою деревини має практичне лісівниче значення з метою вирощування та заготівлі дерев із заданими властивостями деревини, тобто цільового призначення.

#### **4.1. Відмінності формування об'ємної маси деревини залежно від кількості річних кілець в 1 см**

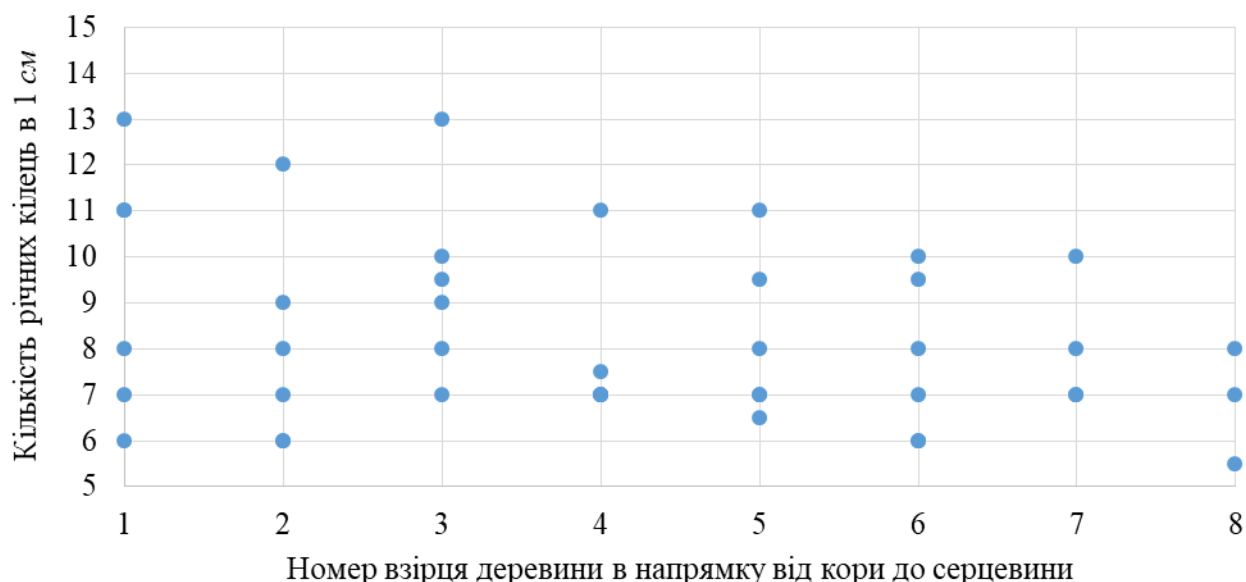
Відмінності формування щільності стовбурної деревини доцільно перш за все розглядати за радіусом стовбура, що розкриває структурні особливості упорядкування деревного волокна у різних зонах річних приростів. У лісогосподарській практиці важливим є виділення ювенільної та стиглої деревини, остання може змінюватись від периферії до ювенільної трубки у більшості хвойних порід. Деревинознавчою передумовою діагностування деревини цільового призначення є визначення візуального та вагового маркерів, між якими є достовірна залежність, що окреслює якісні властивості деревини. Ряд дослідників [97, 98, 114, 135, 136] зазначають, що одним із візуальних деревинознавчих способів діагностування деревини цільового призначення є використання залежності між показниками макроструктури та об'ємної маси стовбурної деревини.

Закономірності зміни середньої кількості річних кілець в 1 см за радіусом у дерев ялиці білої із типовою структурою деревини та хвилеподібними утворами

стовбура на висоті 1,3 та 7,0 м наведено на рис. 4.1 та рис. 4.2.



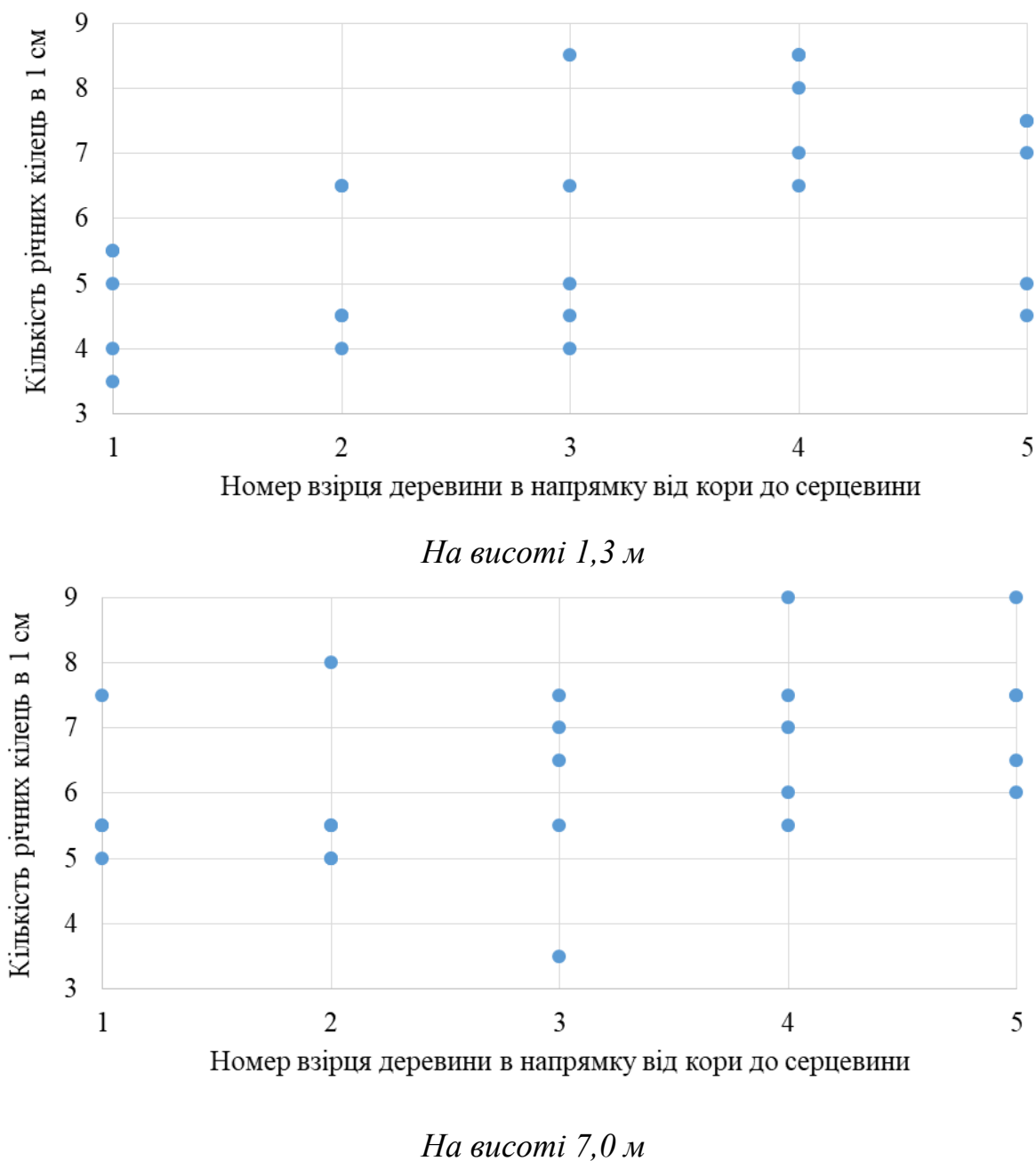
*На висоті 1,3 м*



*На висоті 7,0 м*

**Рис. 4.1. Кількість річних кілець в 1 см у дерев із прямоволокнуною деревиною**

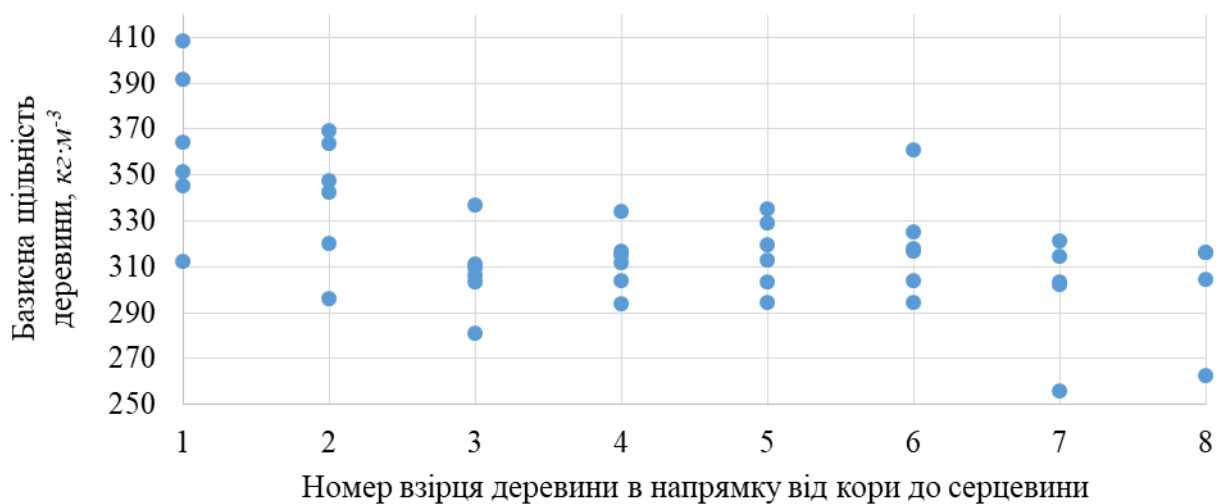
Як видно з рис. 4.1, кількість річних кілець в 1 см збільшується в напрямку від серцевини до периферії стовбура ялиці білої з прямоволокнуною деревиною. Максимальна кількість річних кілець в 1 см властива для взірців деревини під №1 на висоті 1,3 м і варіює в межах від 10 до 15  $шт. \cdot см^{-1}$ . Дереви́на взірців №5-8 характеризується найменшими показниками макроструктури і знаходиться в межах від 5 до 10  $шт. \cdot см^{-1}$ .



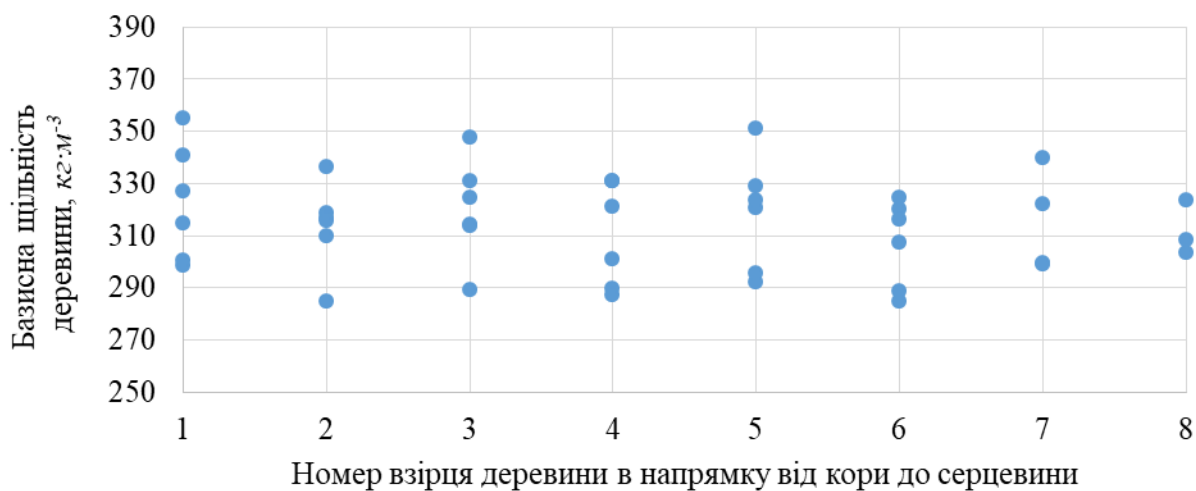
**Рис. 4.2. Кількість річних кілець в 1 см у дерев із хвилеподібними утворами стовбура**

Варіація кількості річних кілець в 1 см в ялиці “хвилясто-завилькуватій” значно відрізняється від аналогічного показника для дерев із типовою структурою деревини (рис. 4.2). Найменша кількість річних кілець в 1 см характерна для взірців №1 та 2, які репрезентують стиглу деревину периферійної зони стовбура. Таким чином, кількість річних кілець в 1 см за радіусом та висотою стовбура ялиці білої змінюється неоднаково для прямоволокнустої та хвилясто-завилькуватої структури деревини. Показник макроструктури збільшується рівномірно в напрямку від

серцевини до кори для прямоволокнутої деревини [78, 79, 80, 81]. Слід зазначити, що ця тенденція збільшення досліджуваного показника макроструктури зберігається також за висотою стовбура. Найбільші показники кількості річних кілець в 1 см властиві для стиглої прямоволокнутої деревини ялиці білої в останніх 30-40 – річних приростах. Кількість річних кілець у стовбурах із хвилясто-завилькуватою деревиною зменшується в напрямку від ювенільної деревини (серцевини) до кори, що свідчить про збільшення річного приросту в останніх 20-30 років. Така відмінність кількості річних кілець в 1 см у межах радіусу та висоти стовбура ялиці білої із типовою (прямоволокнутою) та хвилясто-завилькуватою деревиною зумовлює мінливість її об'ємної маси (рис. 4.3 та 4.4).

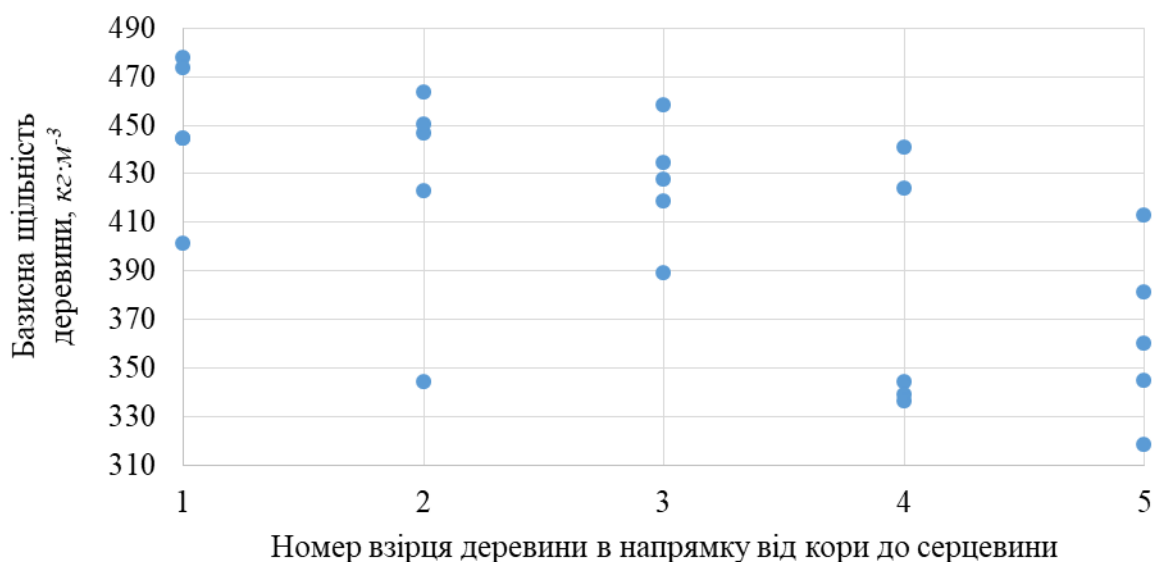


*На висоті 1,3 м*

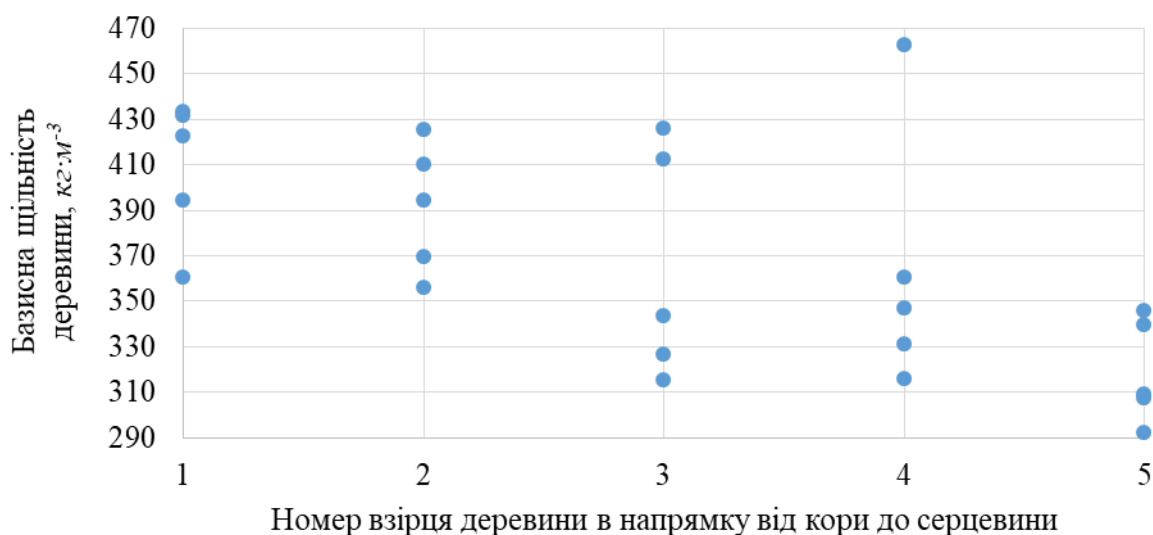


*На висоті 7,0 м*

**Рис. 4.3.** Базисна щільність ялиці білої з прямоволокнутою деревиною



*На висоті 1,3 м*



*На висоті 7,0 м*

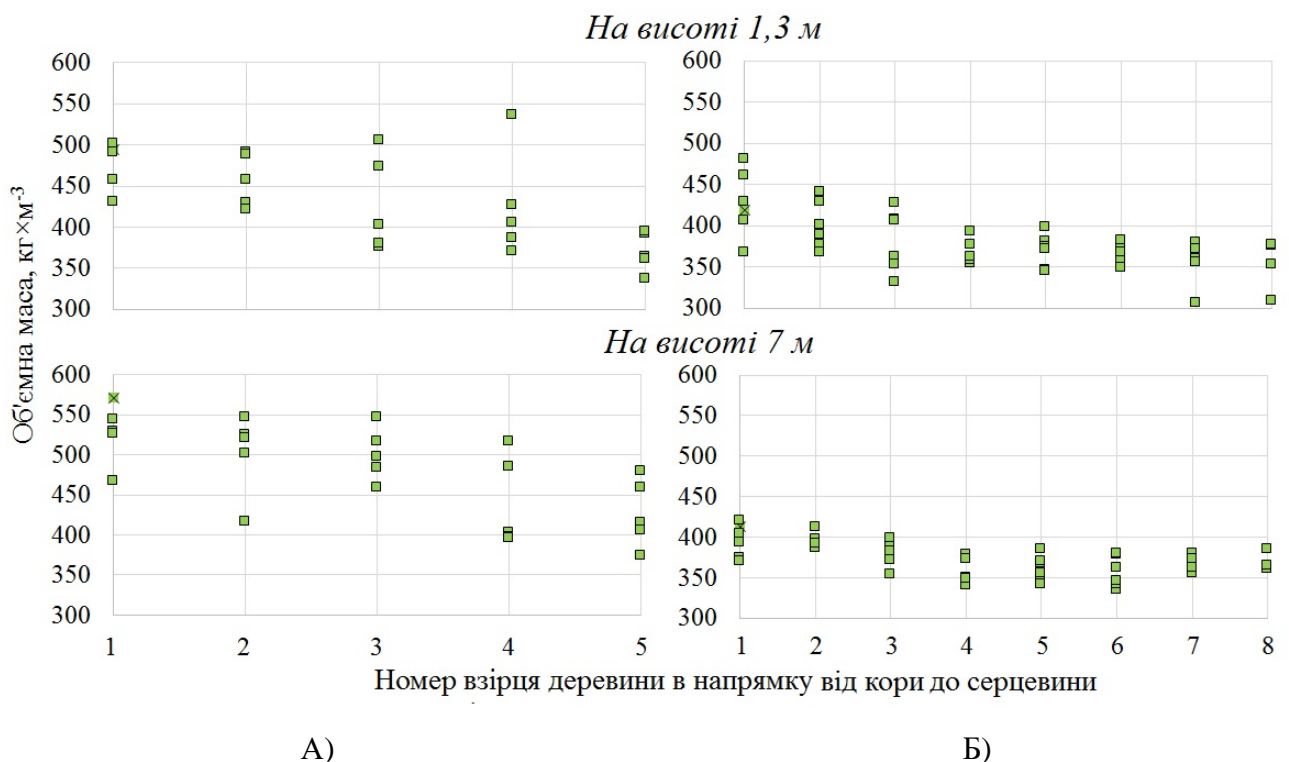
**Рис. 4.4. Базисна щільність ялиці білої з хвилясто-завилькуватою деревиною**

Як видно з рис. 4.3, базисна щільність прямоволокнутої деревини поступово збільшується від ювенільної трубки до кори. Стигла деревина, яка розміщена від 1/3 до 2/3 радіуса дерева характеризується приблизно однаковою базисною щільністю деревини і змінюється від 290 до 350  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Найбільші значення базисної щільності властиві периферійній зоні деревини на висоті 1,3 м і досягають 410  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ .

Базисна щільність деревини ялиці “хвилясто-завилькувата” суттєво відрізняється від щільності прямоволокнутої деревини у взірців № 1-4. При

цьому слід зазначити, що кількість річних кілець у вищенаведених взірцях є меншою, ніж у дерев із типовою структурою деревини. Дані інших наукових праць вказують на те, що між кількістю річних кілець в 1 см та щільністю деревини існує тісна залежність. Так, збільшення кількості річних кілець та проценту пізньої деревини зумовлює зростання базисної щільності деревини хвойних деревних видів (Sopushynskyy et al., 2016; Maksymchuk et al., 2017).

Результати дослідження щільності деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура та типовою структурою в напрямку від кори до серцевини у взірців із абсолютною вологістю  $W_{абс.}=8\%$  наведено на рис. 4.5.



**Рис. 4.5. Об'ємна маса хвилясто-завилькуватої (А) та прямоволокнутої (Б) деревини при абсолютній вологості  $W_{абс.}=8\%$**

Взірці №1-4 з хвилясто-завилькуватою деревиною у периферійній зоні стовбура характеризується значно більшими значеннями у порівнянні до аналогічної зони стовбура з прямоволокнутою деревиною (рис. 4.5). Ця тенденція не є характерною в деревинознавчій практиці і потребує наукового обґрунтування зміни властивостей хвилясто-завилькуватої деревини.

У межах радіуса стовбура об'ємна маса прямоволокнутої деревини збільшується в напрямку від серцевини до периферії стовбура на висотах 1,3 та

7,0 м. Об'ємна маса хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини на висоті 1,3 м у взірців №1 суттєво не відрізняється, частково це пояснюється початком утворення у стиглих деревах ялиці білої з прямоволокнутою деревиною вади деревини окоренкуватість, яка обумовлює збільшення пізньої зони деревини і відповідно щільності деревини.

Статистична характеристика показників макроструктури та об'ємної маси деревини ялиці білої із хвилясто-завилькуватою та прямоволокнутою структурою наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Статистична характеристика кількості річних кілець в 1 см  
та щільності деревини ялиці білої

Висота зрізу	Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Показник точності, %
<i>Прямоволокнута деревина</i>					
1,3 м	$N_{\text{річн.кіл.}} [\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}]$	5,0	$8,8^{\pm 0,36}$	15,0	4,1
	$\rho_{8\%} [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	306	$380^{\pm 5,20}$	481	9,2
	$\rho_6 [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	256	$321^{\pm 4,41}$	408	1,4
7,0 м	$N_{\text{річн.кіл.}} [\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}]$	3,5	$8,1^{\pm 0,31}$	13,0	3,8
	$\rho_{8\%} [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	294	$371^{\pm 3,7}$	421	6,6
	$\rho_6 [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	245	$314^{\pm 3,17}$	355	1,0
<i>Хвилясто-завилькувата деревина</i>					
1,3 м	$N_{\text{річн.кіл.}} [\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}]$	3,5	$5,9^{\pm 0,32}$	8,5	5,4
	$\rho_{8\%} [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	374	$479^{\pm 11,0}$	572	12,0
	$\rho_6 [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	318	$408^{\pm 9,75}$	478	2,4
7,0 м	$N_{\text{річн.кіл.}} [\text{шт.}\cdot\text{см}^{-1}]$	3,5	$6,6^{\pm 0,30}$	10,0	4,6
	$\rho_{8\%} [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	338	$431^{\pm 11}$	536	12,8
	$\rho_6 [\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}]$	292	$369^{\pm 9,67}$	463	2,6

Результати дослідження базисної щільності прямоволокнистої деревини та утворів стовбура ялиці білої свідчать про значні відмінності об'ємної маси за радіусом стовбура (табл. 4.1). Базисна щільність хвилясто-завилькуватої деревини змінюється від 292 до 478  $кг \cdot м^{-3}$ , а прямоволокнистої – 256-408  $кг \cdot м^{-3}$  (див. додаток Б). Найбільше значення базисної щільності становить 478  $кг \cdot м^{-3}$  і характерне для стиглої хвилясто-завилькуватої структури деревини і є більшим на 17,2% від аналогічного показника для прямоволокнистої деревини. У дерев ялиці з типовою структурою деревиною властиве поступове збільшення базисної щільності у напрямку від ювенільної зони до кори. Середнє значення базисної щільності хвилясто-завилькуватої деревини на 23% більше від аналогічного показника для прямоволокнистої деревини.

На висоті стовбура 1,3 та 7,0 м об'ємна маса хвилясто-завилькуватої деревини при  $W_{абс.}=8\%$  змінюється від 338 до 572  $кг \cdot м^{-3}$  із середніми значеннями 479 та 431  $кг \cdot м^{-3}$  відповідно (див. додаток Б), які є більшими на 26% та 16% від середніх значень щільності прямоволокнистої деревини ялиці білої. Збільшення об'ємної маси хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої зумовлено зменшенням показника макроструктури – кількості річних кілець в 1 см.

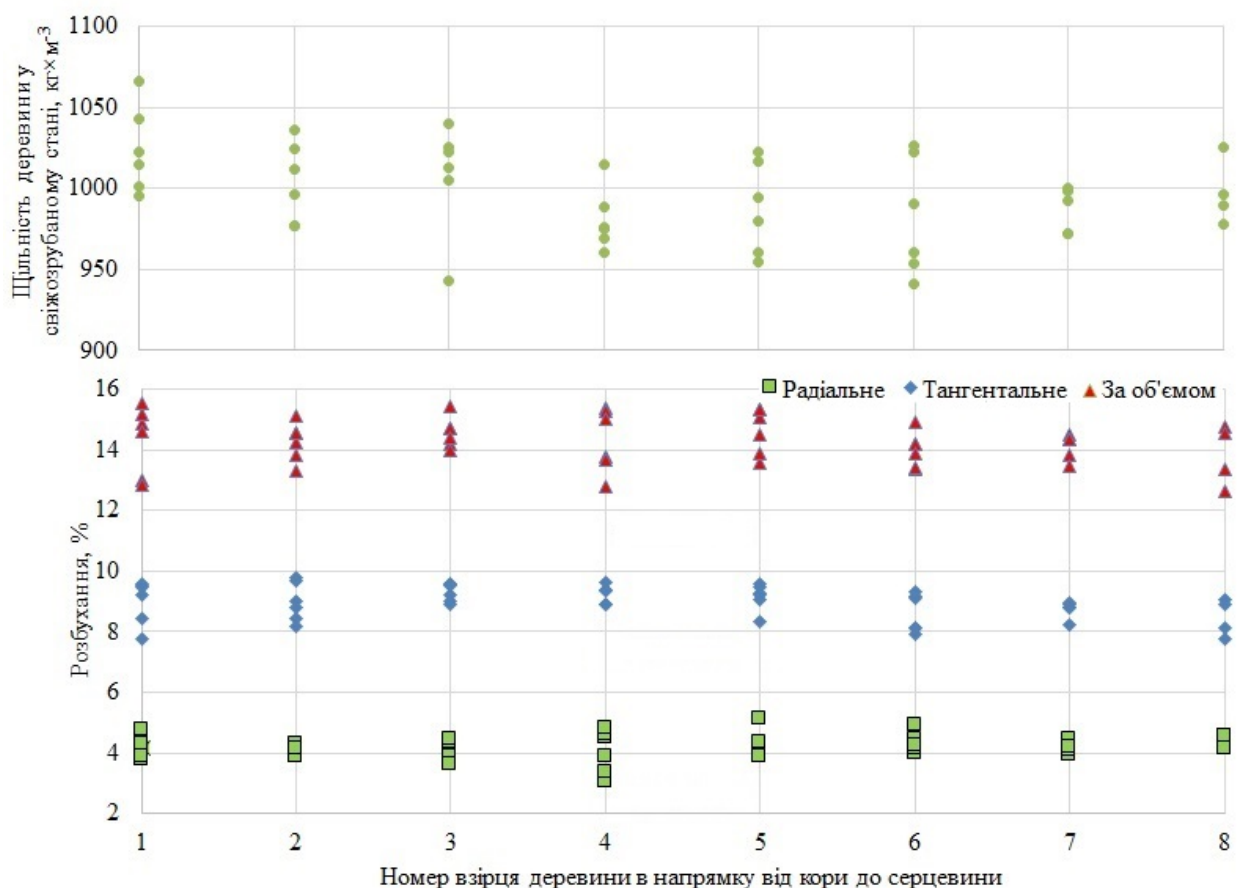
Показник кількості річних кілець в 1 см ялиці білої із прямоволокнистою деревиною змінюється в межах від 5,0 до 15,0  $шт. \cdot см^{-1}$  із середнім значенням 8,8  $шт. \cdot см^{-1}$  на висоті грудей (на висоті стовбура 1,3 м), а на висоті дерева 7,0 м становить 8,1  $шт. \cdot см^{-1}$ . Важливо зазначити, що значення коефіцієнтів варіації менші від допустиних (граничних) значень, а результати дослідження об'ємної маси деревини є достовірними ( $P < 5\%$ ).

У результаті проведених деревинознавчих досліджень щодо відмінностей формування щільності стовбурної деревини залежно від показника кількості річних кілець в 1 см встановлено суттєву різницю між об'ємною масою дерев із типовою структурою та хвилеподібними утворами стовбура в умовах Буковинських Карпат. Середні значення базисної щільності прямоволокнистої деревини ялиці менші на 27% та 18% відповідно на висоті стовбура 1,3 та 7,0 м ніж у дерев із рельєфними хвилеподібними утворами. Ялиця біла із хвилясто-

завилькуватою структурою деревини характеризується меншими значеннями кількості річних кілець в 1 см порівняно із прямоволокнутою структурою на 33% та 19% відповідно на висоті стовбура 1,3 та 7,0 м.

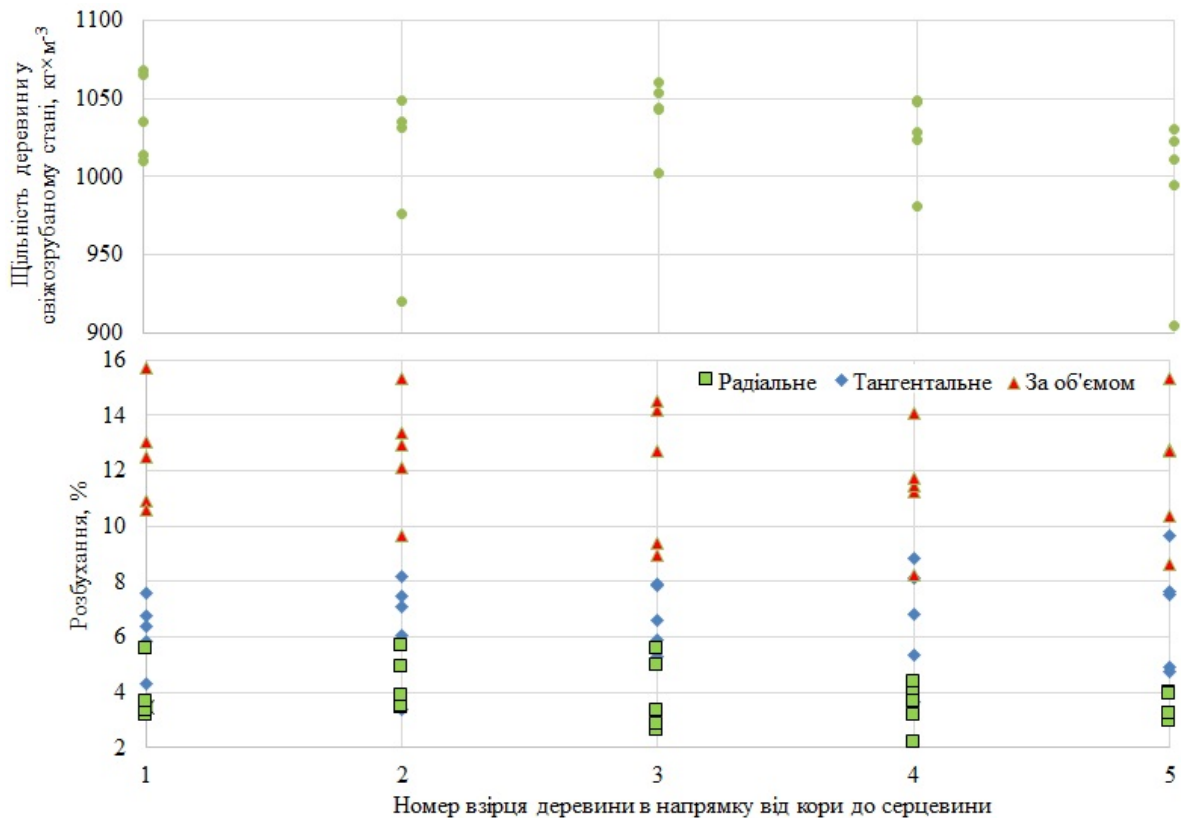
#### 4.2. Анізотропія розбухання хвилясто-завилькуватої деревини

Структурне упорядкування деревного волокна суттєво впливає на анізотропію розбухання деревини, що у біологічному аспекті характеризує взаємозв'язок між показниками макроструктури та фізико-механічною якістю деревини. Знання закономірностей формування показників розбухання деревини в межах радіусу та висоти стовбура має прикладне значення у технологічних процесах оброблення деревини [75, 79, 81]. Відмінності показників розбухання хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини ялиці білої у радіальному та тангентальному напрямках і за об'ємом наведено на рис. 4.6 та 4.7.



**Рис. 4.6. Розподіл щільності в свіжозрубаному стані та показників розбухання прямоволокнутої деревини в напрямку від кори до серцевини**

Як видно з рис. 4.6, величина тангентального розбухання прямоволокнутої деревини змінюється в межах 8-10%, а радіального – 3-5%. Найбільша величина об'ємного розбухання властива для периферійної зони деревини, де щільність у свіжозрубаному стані характеризується максимальними значеннями і знаходиться в межах приблизно  $1000-1050 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Чіткої залежності між показниками об'ємної маси прямоволокнутої деревини та місцем розміщенням за радіусом та висотою стовбура не встановлено.



**Рис. 4.7. Розподіл щільності у свіжозрубаному стані та показників розбухання хвилясто-завилькуватої деревини в напрямку від кори до серцевини**

Варіація щільності та показників розбухання хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої суттєво відрізняється від аналогічних даних у дерев із типовою структурою деревини (рис. 4.6 та 4.7). Тангентальне розбухання хвилясто-завилькуватої деревини є на порядок меншим, ніж у прямоволокнутої деревини і змінюється приблизно від 6 до 8%, що свідчить про суттєві зміни в структурному упорядкуванні деревного волокна. Так,

значення показників тангентального та радіального розбухання хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої наближаються графічно одні до одних і, як наслідок, призводить до зменшення поперечної анізотропії розбухання.

Показники анізотропії розбухання деревини ялиці білої з типовою структурою та їх статистична характеристика в умовах Буковинських Карпат на висоті зрізу 1,3 та 7,0 м подана в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

## Показники розбухання прямоволокнутої деревини

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
<i>На висоті 1,3 м</i>					
$\alpha_t$ [%]	7,8	$9,0^{\pm 0,08}$	9,8	6,1	0,9
$\alpha_r$ [%]	3,0	$4,2^{\pm 0,06}$	5,1	9,0	1,3
$\alpha_l$ [%]	0,1	$0,6^{\pm 0,03}$	1,0	32,1	4,8
$\alpha_v$ [%]	12,6	$14,3^{\pm 0,12}$	15,5	5,4	0,8
$\alpha_t/\alpha_r$	1,6	$2,1^{\pm 0,04}$	2,9	11,3	1,7
$K\alpha_t$	0,26	$0,30^{\pm 0,0027}$	0,33	6,1	0,9
$K\alpha_r$	0,10	$0,14^{\pm 0,0019}$	0,17	9,0	1,3
$K\alpha_v$	0,42	$0,48^{\pm 0,0039}$	0,52	5,4	0,8
<i>На висоті 7,0 м</i>					
$\alpha_t$ [%]	7,5	$9,0^{\pm 0,09}$	9,9	7,0	1,1
$\alpha_r$ [%]	3,6	$4,2^{\pm 0,04}$	4,8	6,1	0,9
$\alpha_l$ [%]	0,1	$0,5^{\pm 0,04}$	1,0	45,0	6,8
$\alpha_v$ [%]	12,3	$14,2^{\pm 0,11}$	15,2	5,1	0,8
$\alpha_t/\alpha_r$	1,9	$2,2^{\pm 0,03}$	2,5	8,2	1,2
$K\alpha_t$	0,25	$0,30^{\pm 0,0032}$	0,33	7,0	1,1
$K\alpha_r$	0,12	$0,14^{\pm 0,0013}$	0,16	6,1	0,9
$K\alpha_v$	0,41	$0,47^{\pm 0,0036}$	0,51	5,1	0,8

Абсолютні значення тангентального розбухання прямоволокнутої деревини ялиці білої змінюються від 7,8 до 9,8% на висоті 1,3 м, а на 7,0 м –

7,5-9,9% (табл. 4.2). Їх середньо арифметичні значення для прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої стовбурної деревини є однаковими і рівні 9,0%. Середні значення коефіцієнтів розбухання прямоволокнутої деревини в тангентальному та радіальному зрізах є також однаковими для взірців деревини на висоті 1,3 м та 7,0 м і становлять  $K\alpha_t = 0,30$  та  $K\alpha_r = 0,14$ . Діапазон зміни величини поперечної анізотропії розбухання деревини більший для взірців, взятих на висоті дерева 7,0 м.

Показники анізотропії повного розбухання деревини ялиці білої з рельєфними утворами стовбура наведено в табл. 4.3 (див. додаток В).

Таблиця 4.3

## Показники розбухання хвилясто-завилькуватої деревини

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
<i>На висоті 1,3 м</i>					
$\alpha_t$ [%]	3,4	$6,6^{\pm 0,32}$	9,6	24,4	4,9
$\alpha_r$ [%]	2,2	$3,8^{\pm 0,19}$	5,7	24,6	4,9
$\alpha_l$ [%]	0,2	$1,4^{\pm 0,17}$	3,9	63,1	12,6
$\alpha_v$ [%]	8,2	$12,1^{\pm 0,43}$	15,7	17,8	3,6
$\alpha_t/\alpha_r$	1,0	$1,8^{\pm 0,10}$	2,6	27,1	5,4
$K\alpha_t$	0,11	$0,22^{\pm 0,0107}$	0,32	24,4	4,9
$K\alpha_r$	0,07	$0,13^{\pm 0,0062}$	0,19	24,6	4,9
$K\alpha_v$	0,27	$0,40^{\pm 0,0143}$	0,52	17,8	3,6
<i>На висоті 7,0 м</i>					
$\alpha_t$ [%]	4,9	$6,9^{\pm 0,27}$	9,4	19,1	3,8
$\alpha_r$ [%]	2,1	$3,7^{\pm 0,21}$	5,8	28,6	5,7
$\alpha_l$ [%]	0,1	$1,0^{\pm 0,12}$	2,6	61,5	12,3
$\alpha_v$ [%]	8,0	$11,9^{\pm 0,42}$	16,2	17,6	3,5
$\alpha_t/\alpha_r$	1,1	$2,0^{\pm 0,09e}$	2,7	23,8	4,8
$K\alpha_t$	0,16	$0,23^{\pm 0,0088}$	0,31	19,1	3,8
$K\alpha_r$	0,07	$0,12^{\pm 0,0070}$	0,19	28,6	5,7
$K\alpha_v$	0,27	$0,40^{\pm 0,0140}$	0,54	17,6	3,5

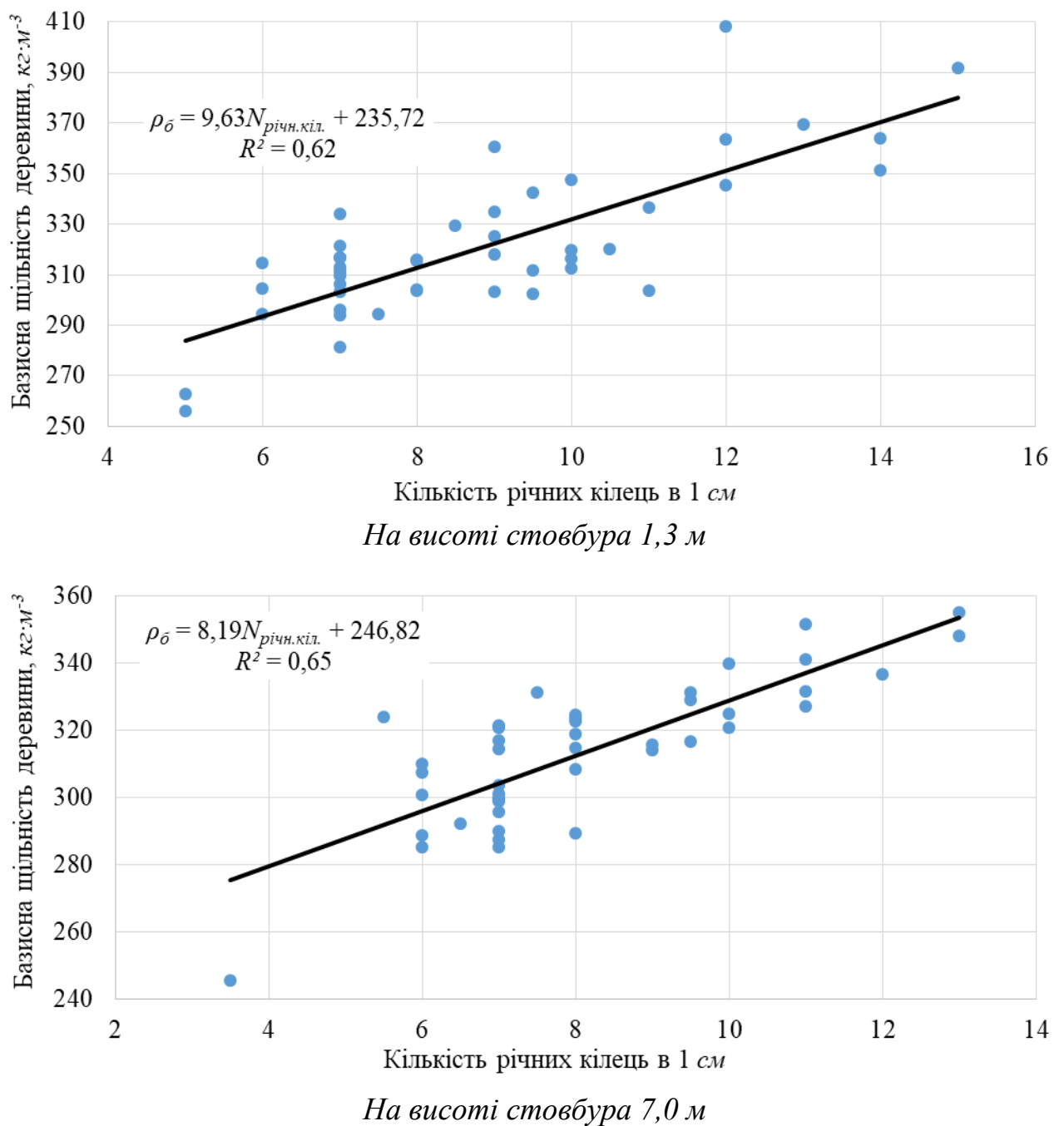
Показники розбухання хвилясто-завилькуватої деревини в тангентальному та радіальному напрямках свідчать про меншу анізотропію властивостей (табл. 4.3). На висоті стовбура 1,3 м величина розбухання в тангентальному перетині змінюється від 3,4 до 9,6% із середнім значенням 6,6%, який є на 27% меншим від аналогічного показника у дерев із прямоволокнустою деревиною. Середнє значення розбухання в радіальній площині на 10% менше від ідентичного для ялиці білої з типовою структурою. Коефіцієнти розбухання хвилясто-завилькуватої деревини в тангентальному напрямку знаходяться в діапазоні від 0,11 до 0,32, а в радіальному – від 0,07 до 0,19. Зменшення значень коефіцієнтів розбухання хвилясто-завилькуватої деревини становить приблизно на 20% порівняно з ідентичними показниками ялиці білої з типовою структурою. Середнє значення коефіцієнта неоднорідності розбухання хвилясто-завилькуватої деревини на висоті 1,3 м рівне 1,8 і є меншим на 22% від ідентичного показника в дерев із прямоволокнустою деревиною.

Підсумовуючи результати дослідження, зазначимо, що структурне упорядкування деревного волокна прямоволокнустої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої суттєво визначає анізотропію розбухання деревини. Аналіз отриманих показників розбухання прямоволокнустої та хвилясто-завилькуватої деревини свідчить про суттєву різницю між коефіцієнтами неоднорідності стовбурної деревини. Величина розбухання деревини в межах висоти стовбура ялиці білої суттєво не відрізняється, що є важливим деревинознавчим маркером для технологічних процесів оброблення деревини.

#### **4.3. Особливості формування об'ємної маси стовбурів із хвилеподібними утворами**

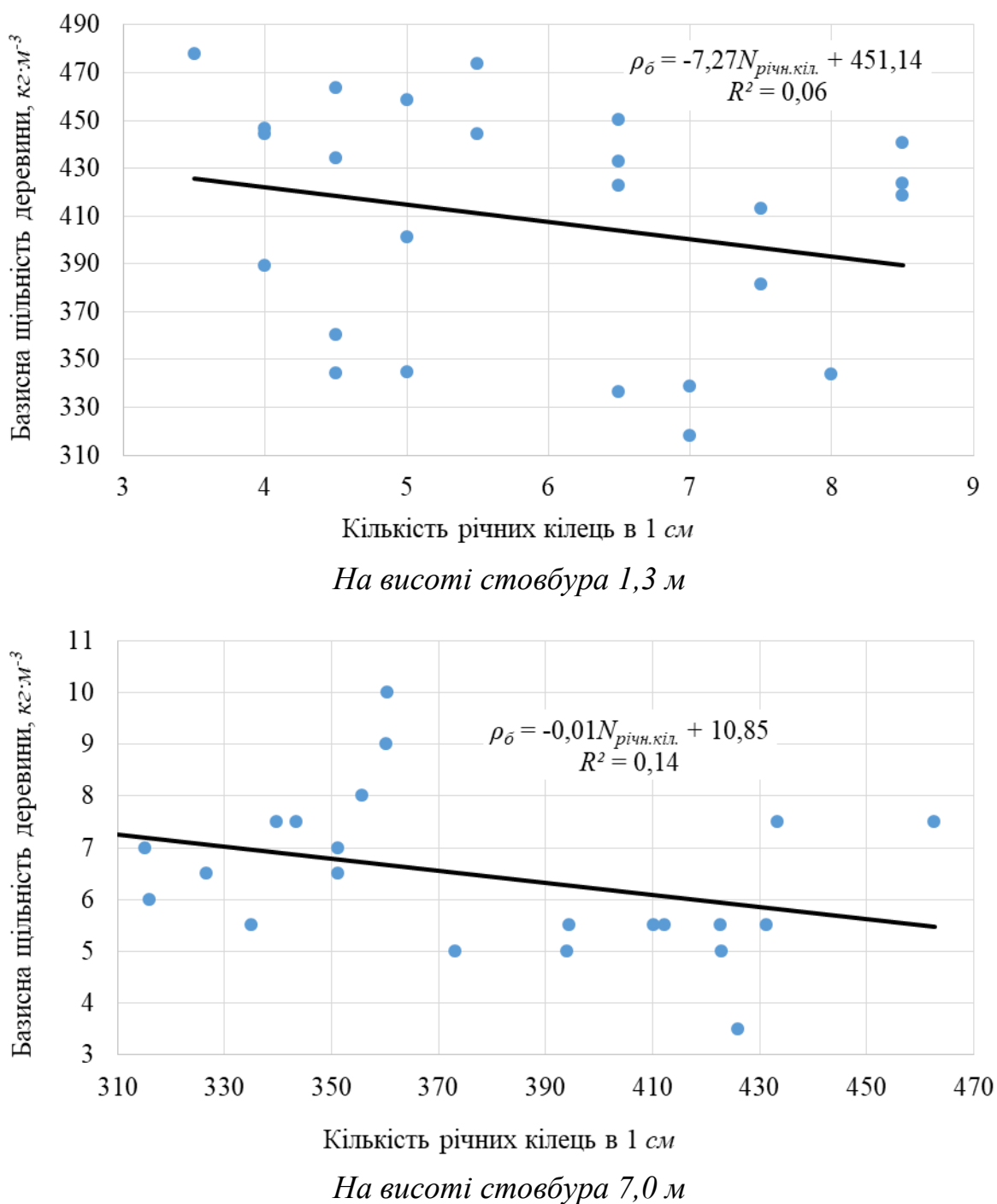
Одним із якісних маркерів стовбурної деревини є її об'ємна маса, нагромадження якої суттєво залежить від структурно-упорядкованого розміщення деревного волокна у річному кільці. У біологічному аспекті зміну структури ксилеми відображає залежність між величиною річного приросту та

нагромадженням деревинної фітомаси в річному кільці, що пов'язано з морфогенезом клітин ксилеми. Базисна щільність деревини інтегрує кількісні (об'ємні) та якісні (вагові) характеристики стовбурної деревини, що відображаються через її макроструктурні маркери (показники). У зв'язку із цим вивчення особливостей формування щільності стовбурної деревини ялиці білої з типовою та хвилеподібною структурою деревини спрямоване плантаційне вирощування деревних видів із заданими властивостями деревини (рис. 4.8 та 4.9).



**Рис. 4.8. Залежність між кількістю річних кілець в 1 см та базисною щільністю прямоволокнутої деревини**

Залежність між макроструктурою (кількістю річних кілець в 1 см) та об'ємною масою (базисною щільністю) деревини описується рівнянням прямої на висоті 1,3 м та 7,0 м (рис. 4.8). Коефіцієнт детермінації знаходиться в межах  $0,62 < R^2 < 0,65$ , що дозволяє зробити припущення про адекватність одержаної регресійної моделі. Аналогічну залежність між кількістю річних кілець в 1 см та об'ємною масою деревини визначено і для інших хвойних порід [44, 98, 135].



**Рис. 4.9.** Залежність між кількістю річних кілець в 1 см та базисною щільністю хвильисто-завилькуватої деревини

Як видно з рис. 4.8 та 4.9, збільшення кількості річних кілець в 1 см у дерев із прямоволокнистою деревиною зумовлює прямо пропорційне зростання її базисної щільності, а для ялиці білої “хвилясто-завилькувата” така залежність не характерна. Регресійна залежність між показником макроструктури та об’ємною масою деревини описується рівнянням першого порядку на висоті 1,3 м –  $\rho_b = 9,63N_{\text{річн.кіл.}} + 235,72$  ( $F_{\text{факт.}}=70,16 > F_{\text{табл.}}(1; 45)=4,08$ ) та на висоті 7,0 м –  $\rho_b = 8,19N_{\text{річн.кіл.}} + 246,82$  ( $F_{\text{факт.}}=78,0 > F_{\text{табл.}}(1; 44)=4,08$ ), що свідчить про їх статистичну значущість. Така відмінність залежності між кількістю річних кілець в 1 см та базисною щільністю деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” обумовлена хвилеподібним розміщенням деревного волокна в стовбурі дерева, природа походження яких вимагає проведення подальших генетичних досліджень [76, 77, 112, 113].

#### *Висновки до розділу*

Підсумовуючи отримані результати дослідження фізичних властивостей деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура, можна зробити такі висновки:

1. Базисна щільність хвилясто-завилькуватої деревини варіює від 292 до 478  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$  і суттєво відрізняється від щільності прямоволокнистої деревини, яка змінюється від 256 до 408  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$  і характеризується більшою кількістю річних кілець в 1 см. Середнє значення базисної щільності хвилясто-завилькуватої деревини є на 23% більшим від ідентичних показників для прямоволокнистої деревини.

2. Об’ємна маса хвилясто-завилькуватої деревини при  $W_{\text{абс.}}=8\%$  змінюється від 338 до 572  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , а середнє значення є на 21% більшим від щільності прямоволокнистої деревини. Збільшення об’ємної маси хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої зумовлене зменшення кількості річних кілець в 1 см.

3. Тангентальне розбухання хвилясто-завилькуватої деревини знаходиться в межах від 3,4 до 9,6%, а прямоволокнистої - від 7,8 до 9,8%, що свідчить про суттєві зміни в структурному впорядкуванні деревного волокна

відносно осі ростучого дерева. Коефіцієнт неоднорідності розбухання хвилясто-завилькуватої деревини на 22% менший від аналогічного показника ялиці білої з типовою структурою.

4. Між кількістю річних кілець в 1 см та базисною щільністю деревини ялиці білої з типовою структурою існує прямолінійна залежність, яка описується рівнянням першого порядку, що не властиво для ялиці білої “хвилясто-завилькувата” і обумовлено хвилеподібним розміщенням деревного волокна в стовбурі дерева.

## РОЗДІЛ 5

### КВАЛІМЕТРИЧНІ ОЗНАКИ

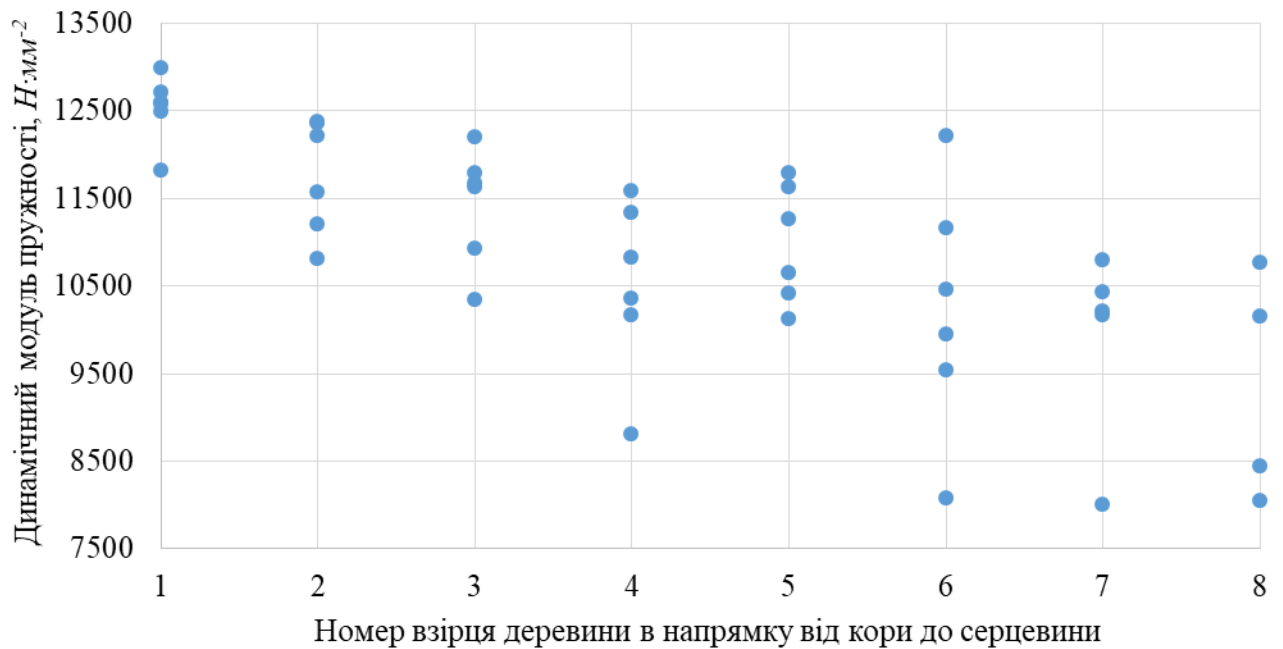
#### ХВИЛЯСТО-ЗАВИЛЬКУВАТОЇ ДЕРЕВИНИ

Однією з важливих складових кваліметрії деревинної сировини є встановлення технічних властивостей деревини, які окреслюють вимоги до якості круглих лісоматеріалів в контексті відбору сортиментів із заданими властивостями деревини як матеріалу деревооброблювальних виробництв. Інтегральним показником технічної якості деревини є модуль пружності, в основі якого закладено статичне та динамічне навантаження. Цей показник відіграє важливу роль при механічному сортуванні пиломатеріалів за міцністю деревини на класи якості з метою їх використання у дерев'яному будівництві та виробництві конструктивних брусів. При цьому висвітлення питання варіації модуля пружності деревини при статичному згині має виробниче значення при сортуванні та відборі пилопродукції цільового призначення.

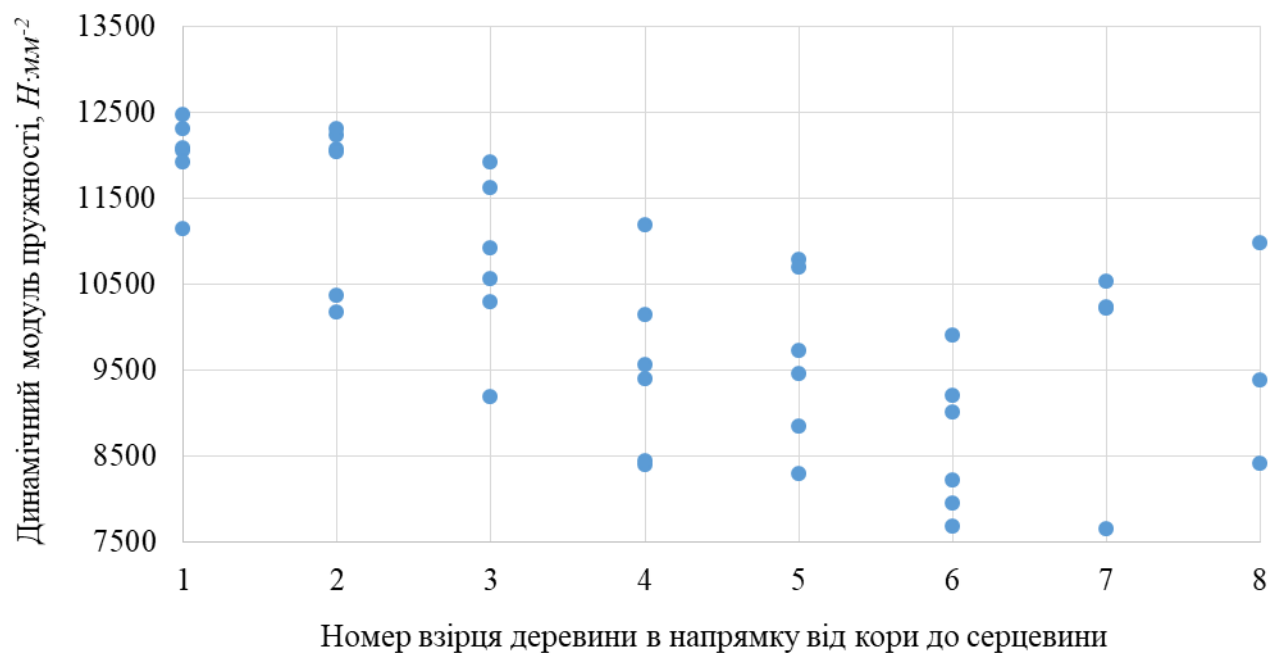
#### **5.1. Акустичні маркери хвилясто-завилькуватої деревини**

Мінливість структури деревини вимагає визначення її якісних властивостей за допомогою неруйнівних методів вимірювання. Відмінність якісних характеристик деревини в окремо взятому дереві та між окремими деревами зумовлює дослідження закономірностей формування фізико-механічних показників деревини. В цьому контексті заслуговує на увагу дослідження впливу кліматичних факторів на діяльність клітин камбію протягом вегетаційного періоду через визначення відмінності якісних ознак деревини за висотою та радіусом стовбура. Деревинознавчі маркери внутрішньовидової диференціації деревного виду добре відображаються на границі природного ареалу в географічному або висотному аспектах [95, 114, 175, 181]. Структурні відхилення у деревині, які виявляються у зв'язку зі зміною лісорослинних умов, визначають якісні властивості деревини, знання яких є важливим при механічному сортуванні деревини. Зміна величини динамічного модуля пружності деревини в напрямку від кори до серцевини

стовбура та за його висотою дерев ялиці білої з типовою та хвилясто-завилькуватою структурою наведено на рис. 5.1 та 5.2.



*На висоті стовбура 1,3 м*

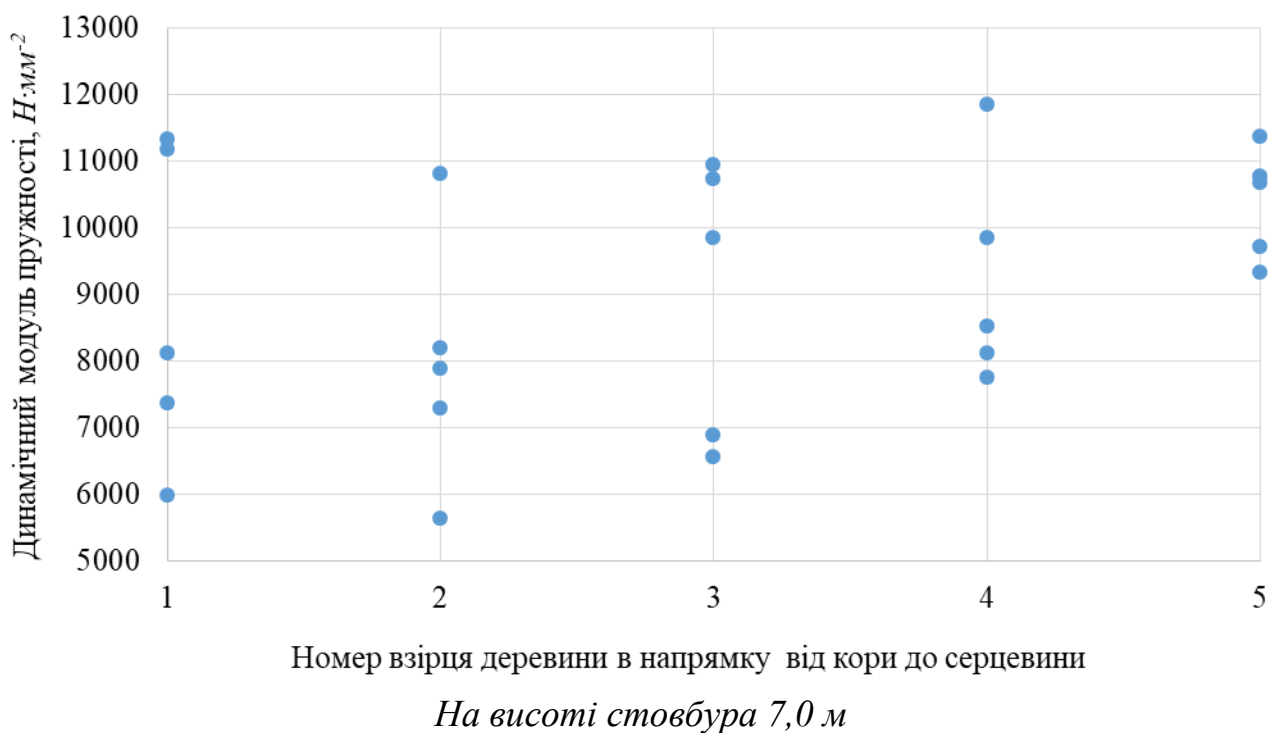
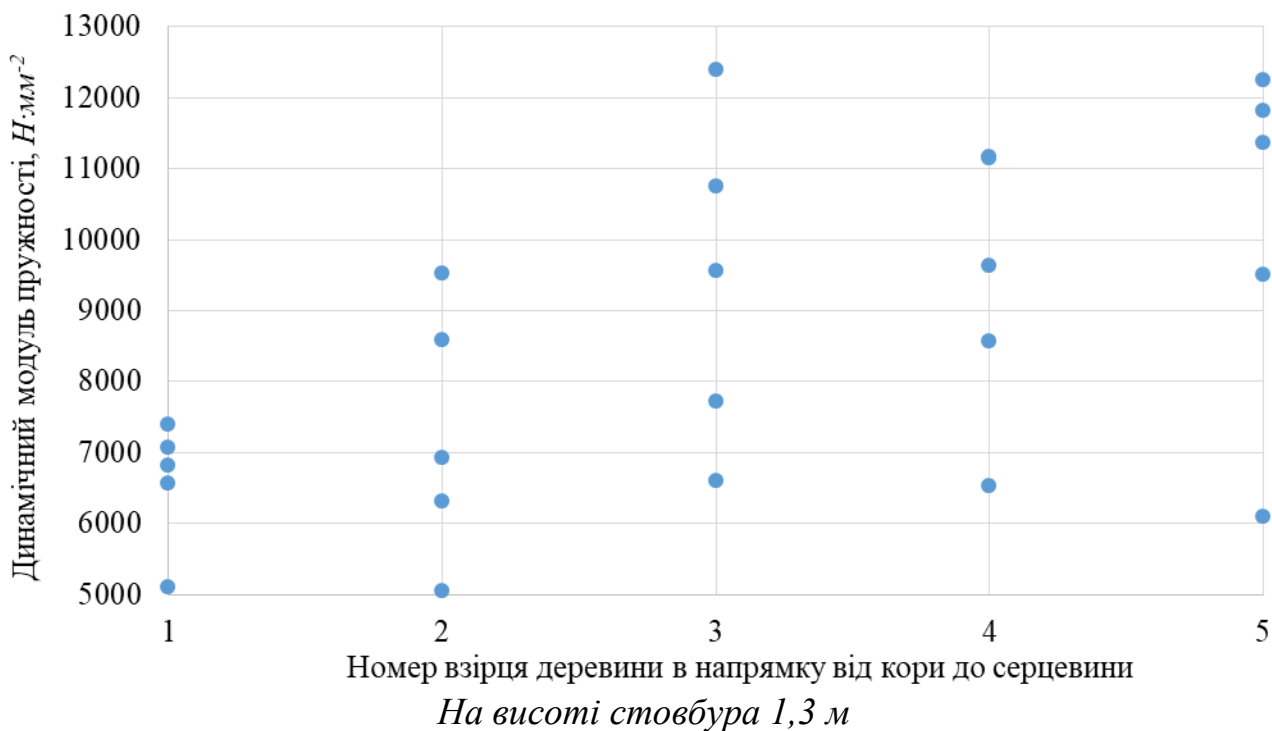


*На висоті стовбура 7,0 м*

**Рис. 5.1. Кореляційне поле динамічного модуля пружності  
прямоволокнистої деревини**

Як видно з рис. 5.1, динамічний модуль пружності прямоволокнистої деревини ялиці білої збільшується в напрямку від серцевини до периферійної зони стовбура. Діапазон значень знаходиться в межах від 7500 до 1300  $N \cdot mm^{-2}$ , а

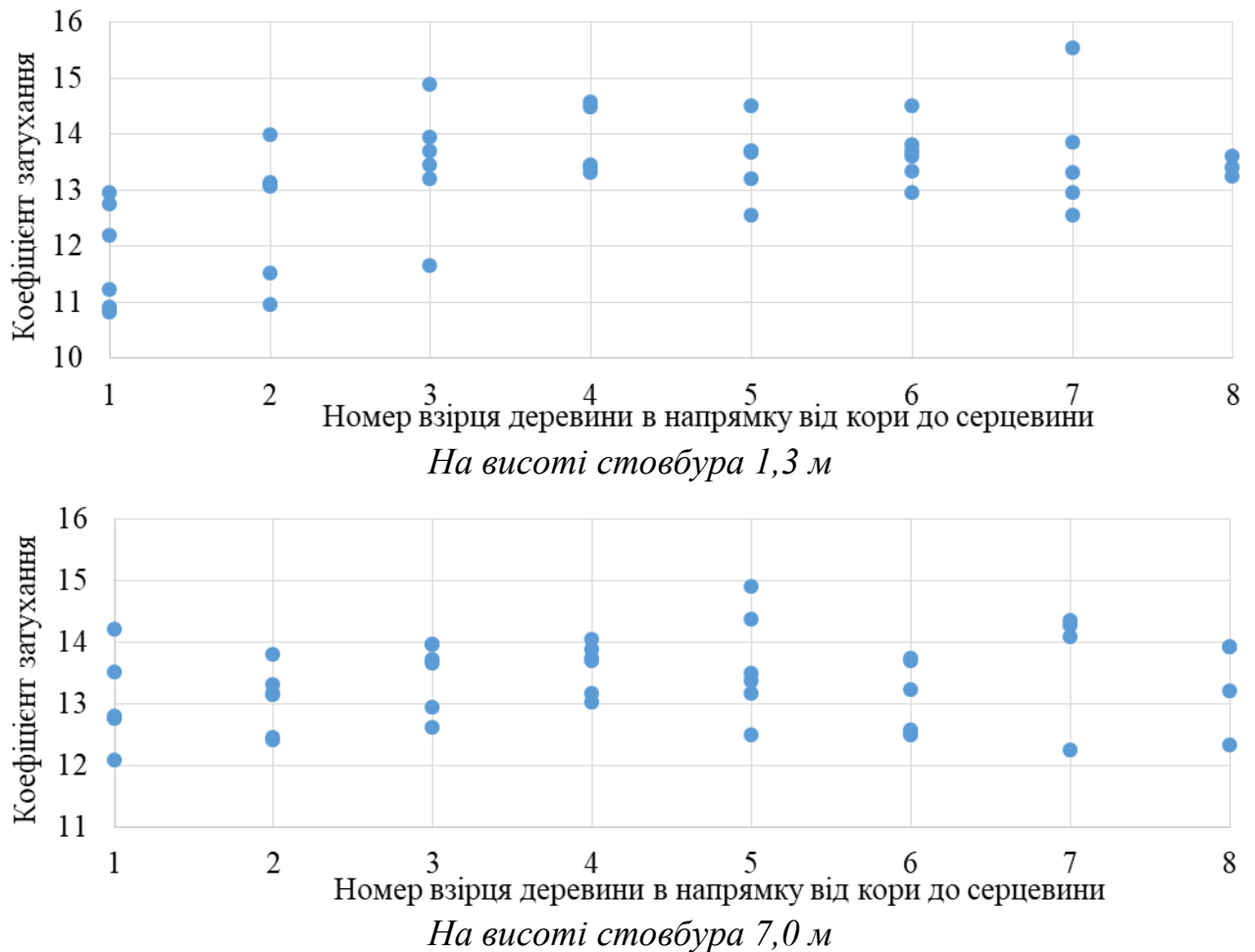
варіацію показника доцільно пов'язати з мінливістю величини річного приросту, ширини пізньої деревини та об'ємної маси деревини.



**Рис. 5.2. Кореляційне поле динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини**

Відмінність динамічного модуля пружності деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами добре прослідковується у периферійних зрізках деревини, де абсолютні значення змінюються від 5000 до 11000  $H \cdot \text{мм}^{-2}$ .

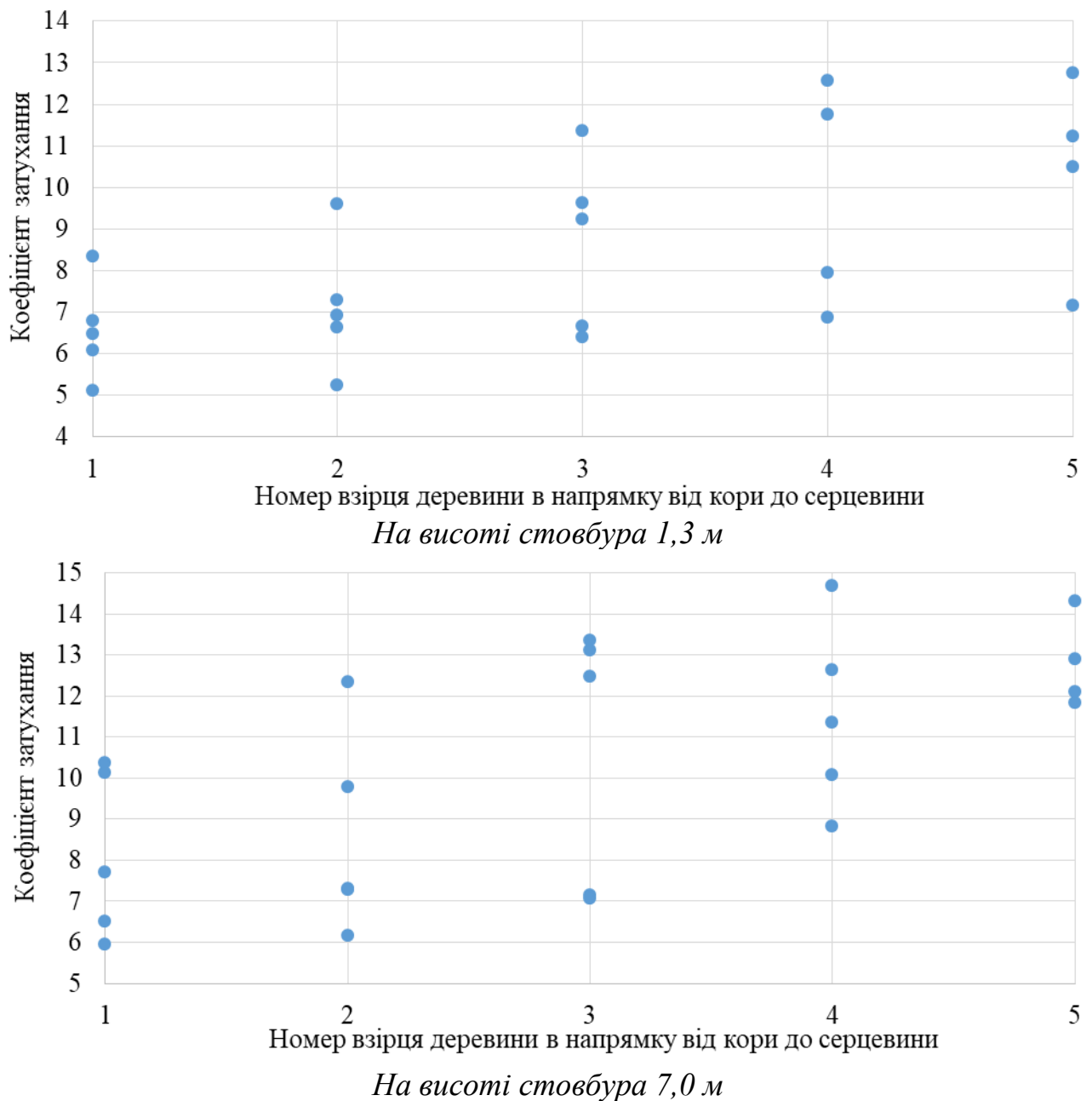
Графічні дані динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини стверджують про його послідовне зменшення від ювенільної деревини (серцевини) до кори, що невластиво для прямоволокнутої деревини. В межах радіусу стовбура ялиці білої з хвилеподібними утворами доцільно виокремити дві зони: перша – деревина з низькими показниками динамічного модуля пружності на периферії стовбура, що складає 40% радіусу; друга – серединна (ядрова) деревина – 60% радіусу (див. додаток В). Для використання неруйнівних способів діагностування структурних відмінностей деревини важливим показником є коефіцієнт затухання звукових коливань (рис. 5.3 та 5.4).



**Рис. 5.3. Кореляційне поле коефіцієнтів затухання  
прямоволокнутої деревини**

Коефіцієнт затухання у взірцях деревини ялиці білої варіює від 11 до 15, а закономірності в зміні показника за радіусом та висотою стовбура не

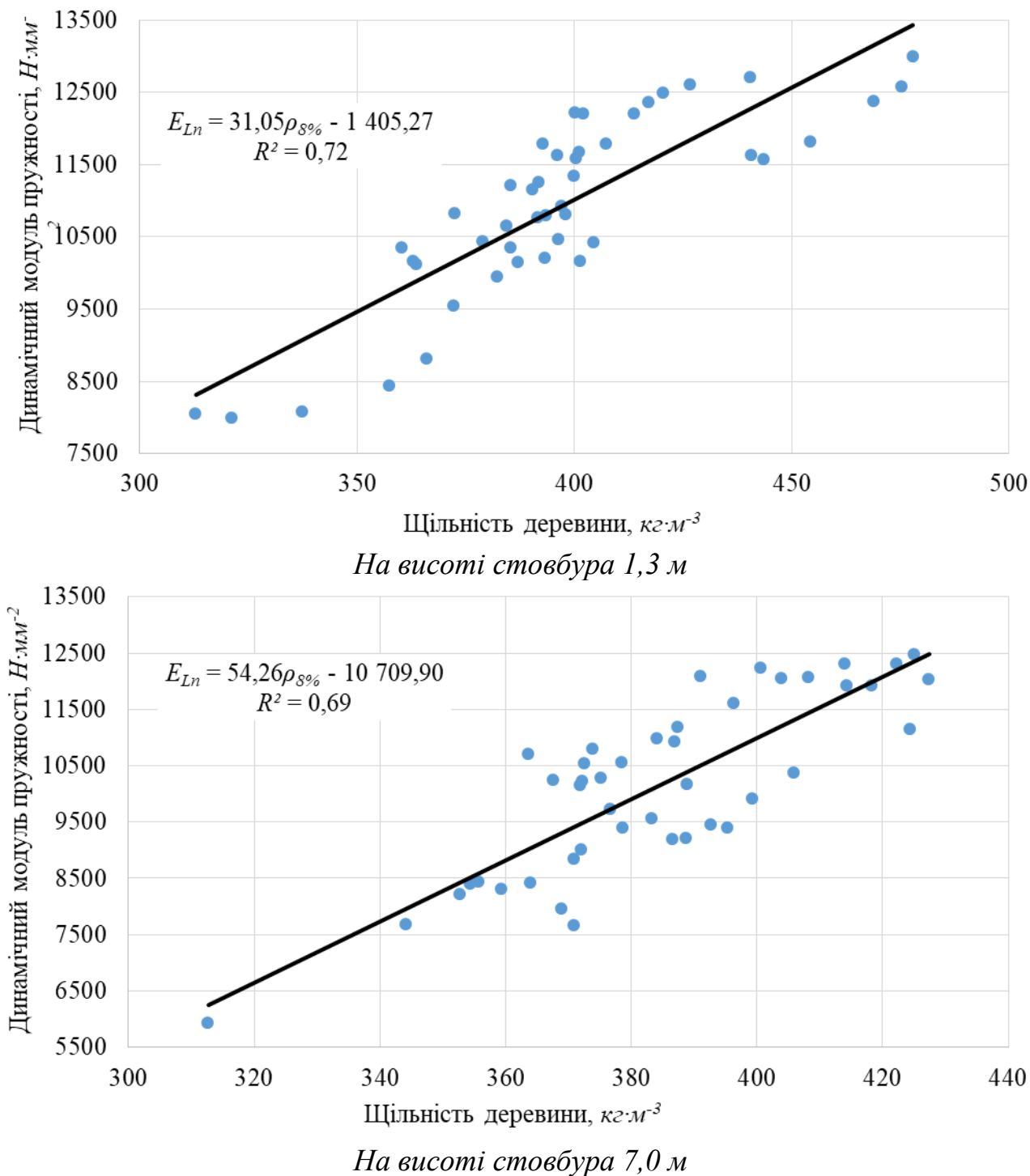
виявлено. Варіабельність значень можна пов'язувати зі зміною щільності деревини в межах радіусу стовбура.



**Рис. 5.4. Кореляційне поле коефіцієнтів затування  
хвилясто-завилькуватої деревини**

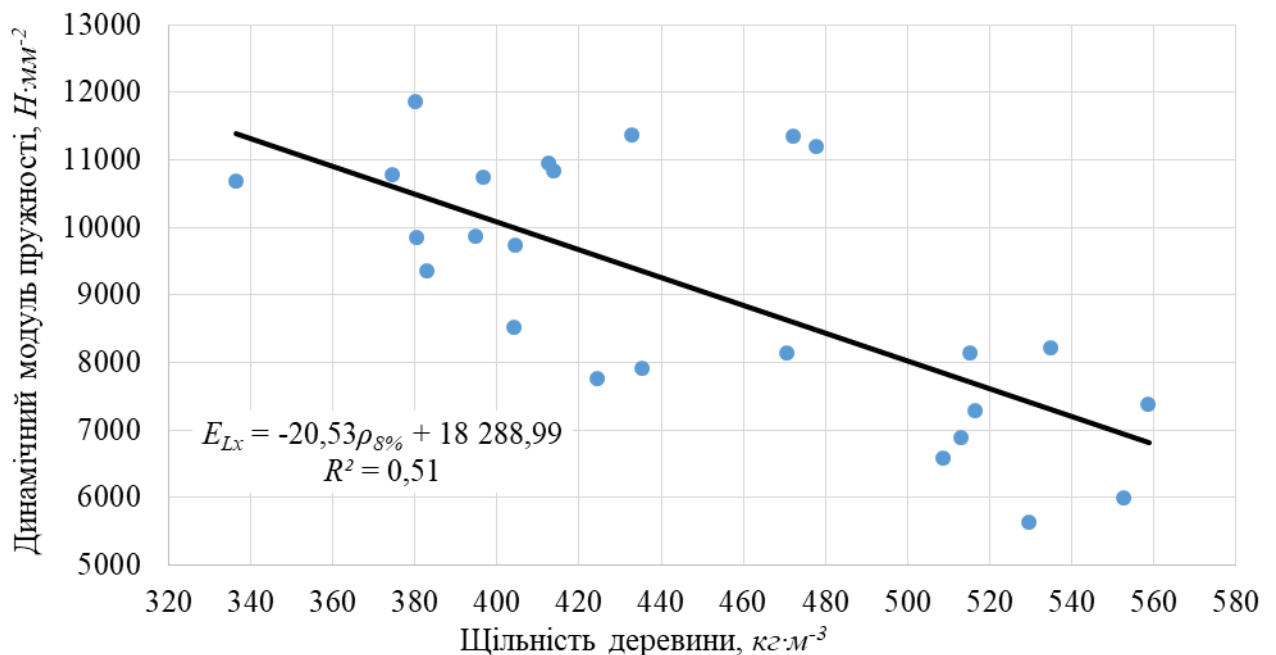
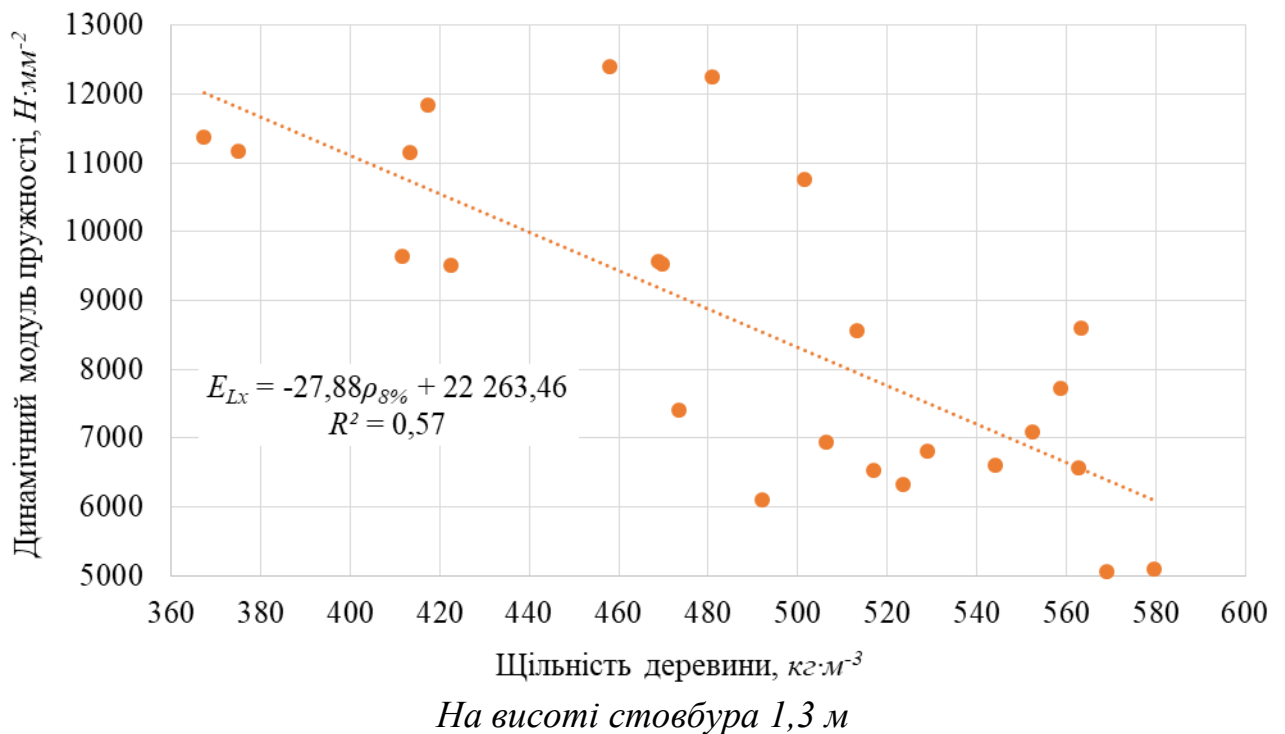
Варіація значень коефіцієнта затування хвилясто-завилькуватої деревини, зокрема в периферійній зоні стовбура ялиці білої, свідчить про його суттєві відмінності порівняно з аналогічним показником для прямоволокнустої деревини. Коефіцієнт затування периферійних взірців деревини №1 та 2, взятих із дерев ялиці білої “хвилясто-завилькувата”, змінюється від 6 до 12, а у дерев із типовою структурою – від 12 до 14, що стверджує про суттєву відмінність в

упорядкуванні деревного волокна відносно осі ростучого дерева. У зв'язку із цим на практиці заслуговує на увагу визначення залежності між динамічним модулем пружності та щільністю деревини ялиці білої з типовою та хвилясто-завилькуватою структурою (рис. 5.5 та 5.6).



**Рис. 5.5. Залежність між щільністю та динамічним модулем пружності прямоволокнутої деревини при  $W_{абс.}=8\%$**

Залежність між об'ємною масою та динамічним модулем пружності деревини ялиці білої з типовою структурою на висоті зрізу 1,3 та 7,0 м описується рівняннями прямої лінії (рис. 5.5). Збільшення щільності деревини при  $W_{абс.}=8\%$  у дерев із типовою структурою описується рівняннями першого порядку на висоті 1,3 м –  $E_{Ln} = 31,05\rho_{8\%} - 1405,27$  ( $R^2 = 0,72$ ) та на висоті 7,0 м –  $E_{Ln} = 54,26\rho_{8\%} - 10709,90$  ( $R^2 = 0,69$ ). Фактичний критерій Фішера при значущості  $p=0,05$  є більшим від його табличного значення  $F_{факт.}=93,48 - 110,57 > F_{табл.}=4,08$ , що підтверджує статистичну надійність регресійної залежності.



*На висоті стовбура 7,0 м*

**Рис. 5.6. Залежність між щільністю та динамічним модулем пружності хвилясто-завилькуватої деревини при  $W_{abc}=8\%$**

Як видно з рис. 5.6, графіки залежності між щільністю та модулем пружності хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої мають протилежний характер у порівнянні з аналогічною регресійною залежністю для дерев із типовою структурою. Збільшення щільності хвилясто-завилькуватої деревини призводить до зменшення її динамічного модуля пружності, що описується рівнянням прямої на висоті зрізу 1,3 м –  $E_{Lx} = -27,88\rho_{8\%} + 22\,263,46$  ( $R^2 = 0,57$ ) та на 7,0 м –  $E_{Lx} = -20,53\rho_{8\%} + 18\,288,99$  ( $R^2 = 0,51$ ). Розрахункові значення критерія Фішера при значущості  $p=0,05$  є більшими від його табличного значення ( $F_{факт.}=23,94-30,49 > F_{табл.}=4,24$ ), що підтверджує статистичну значущість рівнянь регресії.

Загальний аналіз графічних даних залежності між об'ємною масою та динамічним модулем пружності деревини ялиці білої свідчить про значні відхилення структурного впорядкування деревного волокна відносно осі ростучих дерев із хвилясто-завилькуватою структурою у порівнянні з прямоволокнуистою. Така особливість формування інтегральних показників якості деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура дозволяє зробити припущення про відмінність її генетичної природи походження. В деревинознавчому аспекті на особливу увагу заслуговує встановлення обернено пропорційної залежності між щільністю та динамічним модулем пружності деревини в дерев з типовим та хвилясто-завилькуватим розміщенням деревного волокна. Такі відхилення в структурі деревини ялиці білої є передумовою зміни залежностей між її фізичними та механічними властивостями. Отримані нові знання щодо формування якісних характеристик стовбурної деревини є важливим деревинознавчим інструментарієм при відборі та сортуванні круглих лісоматеріалів цільового призначення. В цьому контексті знання про якісні ознаки стовбурної деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” в порівнянні з типовою структурою мають також прикладне значення для технологічних процесів її оброблення.

Статистичне опрацювання значень фізико-механічних властивостей

деревини ялиці білої з прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою деревиною наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

## Якісні ознаки деревини за її структурою

Висота зрізу стовбура	Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Показник точності, %
<i>Прямоволокниста структура деревини</i>					
1,3 м	$E_{Ln} [Н \cdot мм^{-2}]$	7994	$10923^{±191,54}$	12995	1,8
	$K_n$	10,8	$13,3^{±0,17}$	16,2	1,3
	$C_n [м \cdot с^{-1}]$	4858	$5239^{±25,49}$	5524	0,5
	$\rho_{8\%} [кг \cdot м^{-3}]$	313	$397^{±5,24}$	478	1,3
7,0 м	$E_{Ln} [Н \cdot мм^{-2}]$	5921	$10134^{±235,14}$	12471	2,3
	$K_n$	12,1	$13,3^{±0,10}$	14,9	0,8
	$C_n [м \cdot с^{-1}]$	4352	$5118^{±43,70}$	5558	0,9
	$\rho_{8\%} [кг \cdot м^{-3}]$	313	$384^{±3,60}$	427	0,9
<i>Хвилясто-завилькувата структура деревини</i>					
1,3 м	$E_{Lx} [Н \cdot мм^{-2}]$	5053	$8576^{±458,97}$	12393	5,4
	$K_x$	5,1	$8,9^{±0,58}$	15,1	6,5
	$C_x [м \cdot с^{-1}]$	2964	$4196^{±160,39}$	5561	3,8
	$\rho_{8\%} [кг \cdot м^{-3}]$	367	$491^{±12,46}$	580	2,5
7,0 м	$E_{Lx} [Н \cdot мм^{-2}]$	5626	$9071^{±373,34}$	11859	4,1
	$K_x$	6,0	$10,5^{±0,61}$	16,7	5,8
	$C_x [м \cdot с^{-1}]$	3259	$4527^{±145,92}$	5632	3,2
	$\rho_{8\%} [кг \cdot м^{-3}]$	336	$449^{±12,94}$	559	2,9

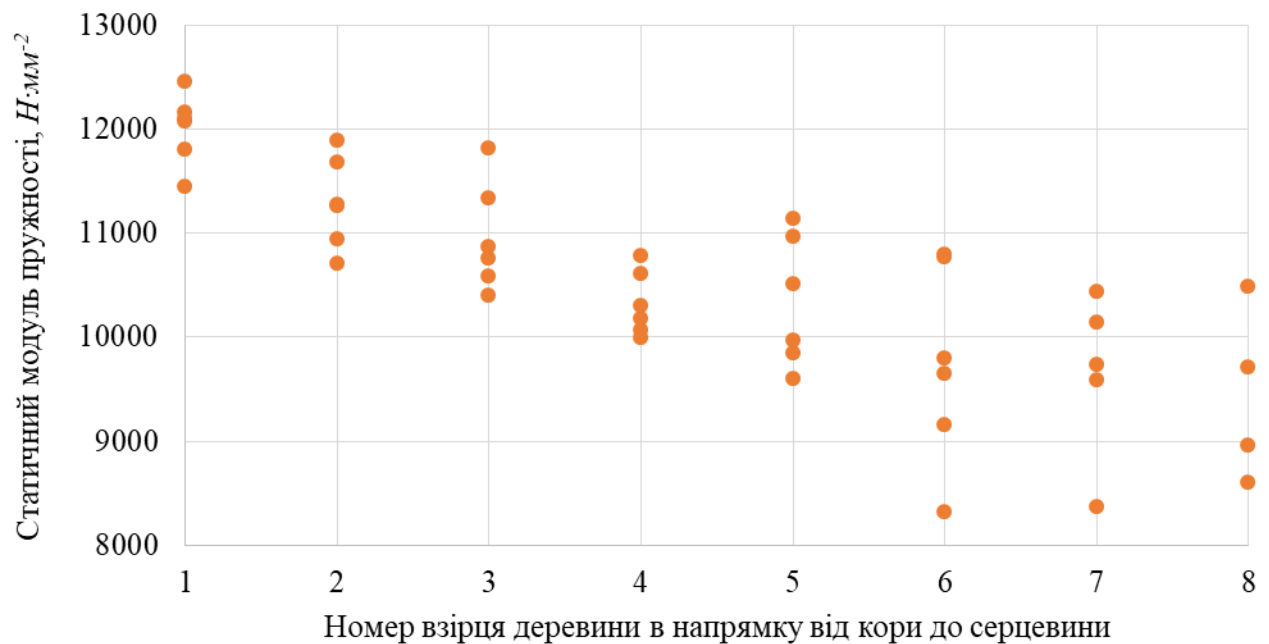
Дані табл. 5.1 свідчать про те, що середні значення показників динамічного модуля пружності, коефіцієнта затухання та швидкості звуку є

більшими в порівнянні з аналогічними показниками ялиці білої з хвилеподібними утворами стовбура. Варіація значень динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини змінюється в межах від 5053 до 12393  $H \cdot мм^{-2}$ , а прямоволокнутої деревини – від 5921 до 12995  $H \cdot мм^{-2}$ . Середні значення динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревиниялиці білої на висоті 1,3 м є на 21,5% меншими від аналогічного показника для прямоволокнутої деревини. Об'ємна маса стовбурної деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами при  $W_{абс.} = 8\%$  характеризується більшими середніми значеннями у порівнянні до дерев із типовою структурою. На висоті 1,3 м щільність хвилясто-завилькуватої деревини на 24% більша від подібного показника для прямоволокнутої деревини. Така особливість формування інтегрального показника фізичної якості деревини дозволяє говорити про внутрішньовидову диференціацію ялиці білої за щільністю стовбурної деревини. Отримані результати досліджень зумовлюють проведення аналізу закономірностей формування інтегральними показниками механічної якості деревини ялиці білої з прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою деревиною.

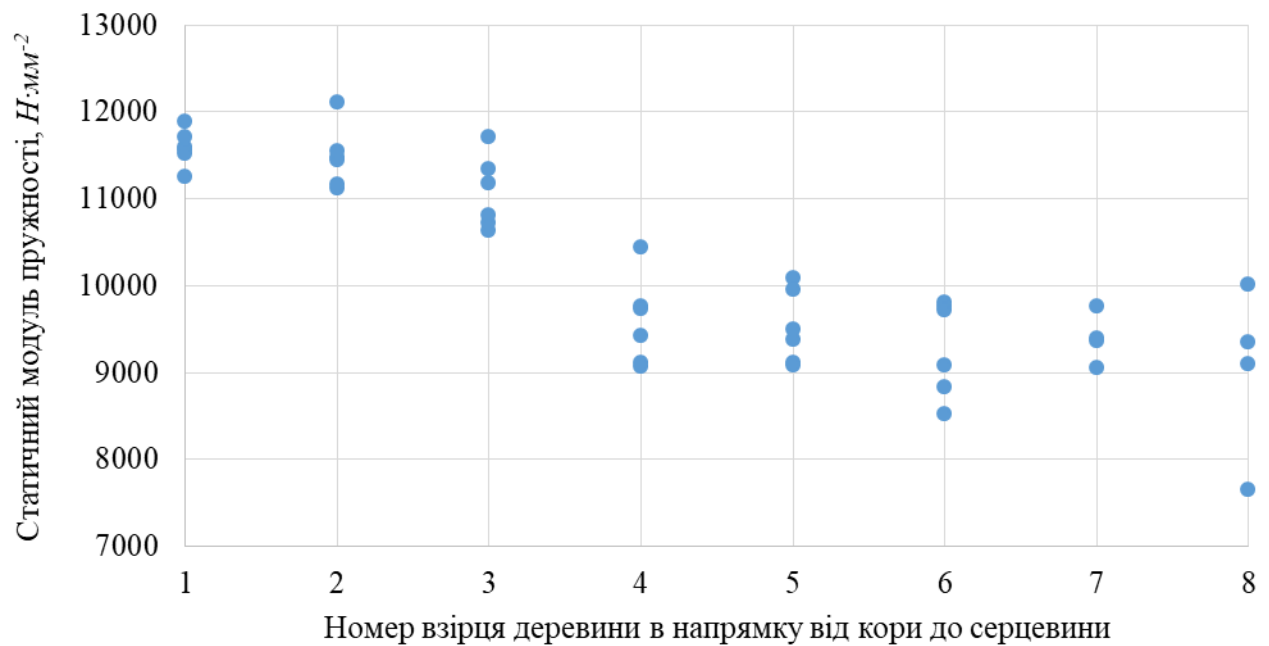
## 5.2. Модуль пружності деревини

Інтегральним показником механічної якості деревини є модуль пружності деревини – основний показник при розрахунку дерев'яних конструкцій, а саме визначенні внутрішніх зусиль від дії зовнішніх навантажень та впливів. Значення внутрішніх зусиль в елементах дерев'яних конструкцій є важливою складовою для розрахунків розмірів поперечних перетинів виробів із деревини, що враховують при проектуванні дерев'яних конструкцій. У зв'язку із цим знання про мінливість модуля пружності деревини ялиці білої з різним упорядкуванням деревного волокна відносно осі ростучого дерева відіграють важливу роль при візуальному та механічному сортуванні деревини за якісно-розмірними характеристиками [109, 112, 118]. Відмінності абсолютних значень статичного модуля пружності стовбурної

деревини ялиці білої з прямоволокнуною та хвилясто-завилькуватою структурою в межах радіуса та висоти стовбура наведено на рис. 5.7 та 5.8.



*На висоті стовбура 1,3 м*

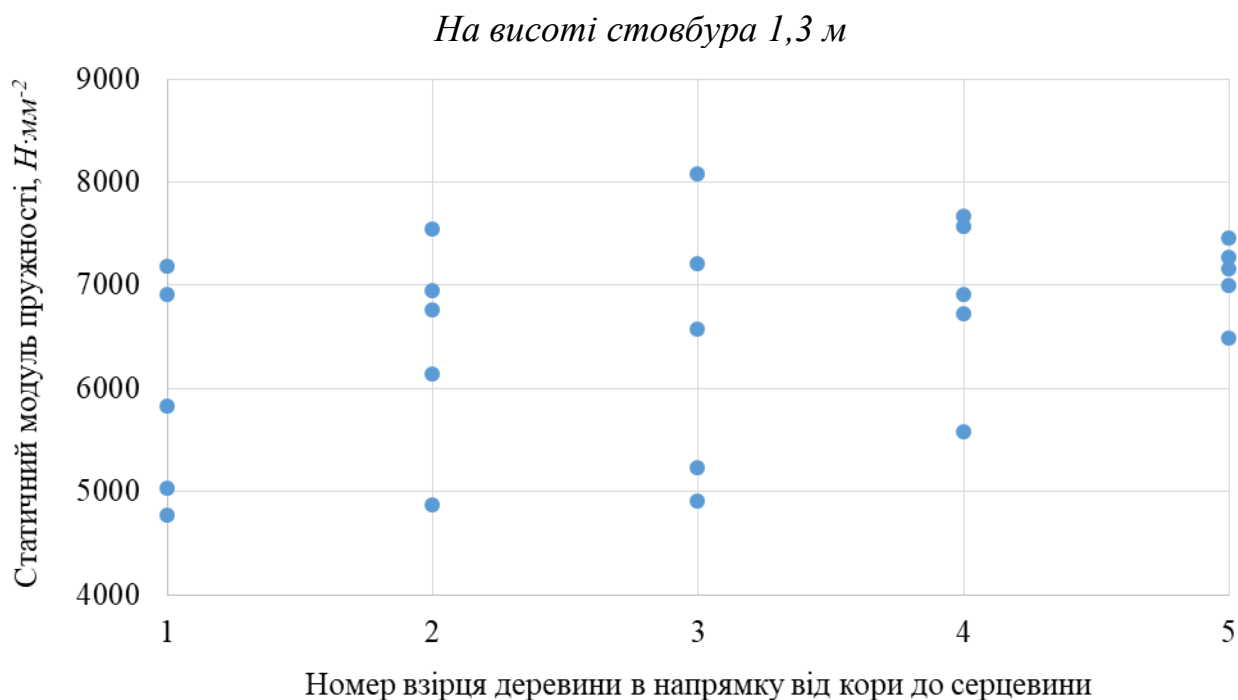
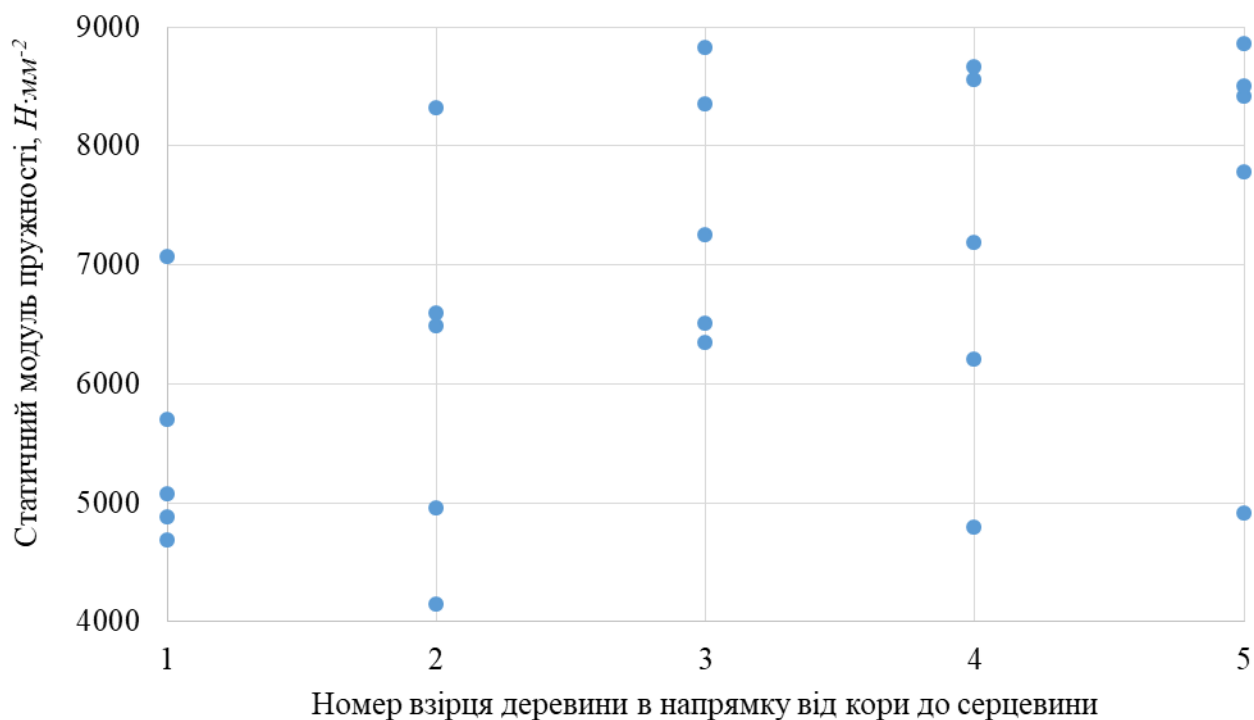


*На висоті стовбура 7,0 м*

**Рис. 5.7. Статичний модуль пружності прямоволокнуної деревини**

Як видно з рис. 5.7, статичний модуль пружності прямоволокнуної деревини ялиці збільшується в напрямку від серцевини до периферії стовбура, що пов'язано з аналогічною тенденцією збільшення об'ємної маси. Доцільно зазначити, що найбільші значення модуля щільності характерні для деревини з

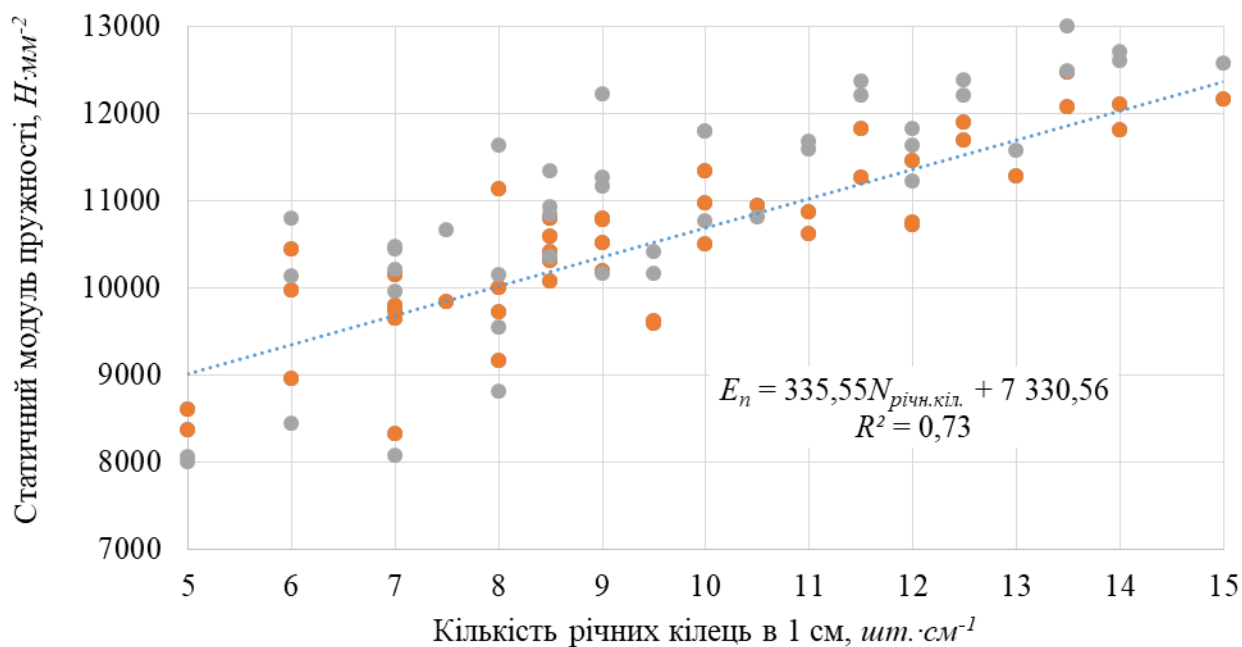
найменшими значеннями ширини річного кліщя.



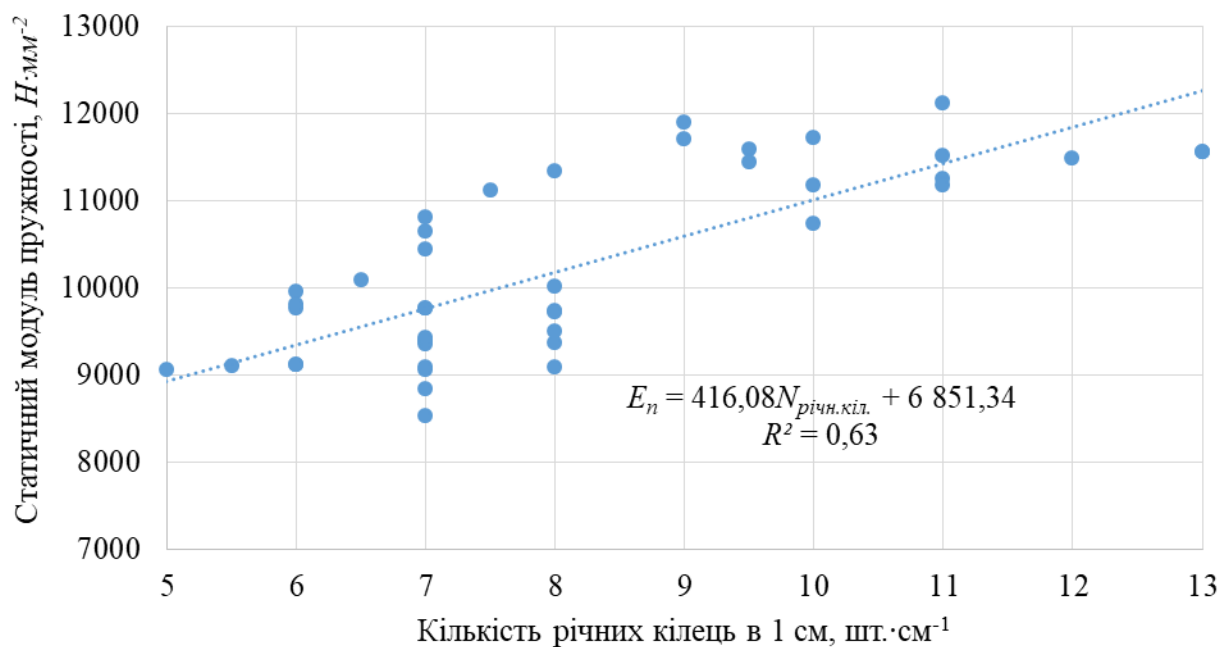
**Рис. 5.8.** Статичний модуль пружності хвилясто-завилькуватої деревини

Отримані дані модуля пружності деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами на висотах 1,3 та 7,0 м свідчать про відсутність вищезгаданої закономірності в межах радіуса (див. рис. 5.7), що властива для стовбурів із прямоволокнустою деревиною. Абсолютні значення змінюються в межах від 3500

до  $9000 \text{ Н}\cdot\text{мм}^{-2}$ . Модуль пружності прямоволокнутої деревини приблизно на 25% більший від аналогічного показника для хвилясто-завилькуватої периферійної зони стовбура. У цьому контексті доцільно проаналізувати залежність між показником макроструктури та модулем пружності, що зображено на рис. 5.9.



*На висоті стовбура 1,3 м*

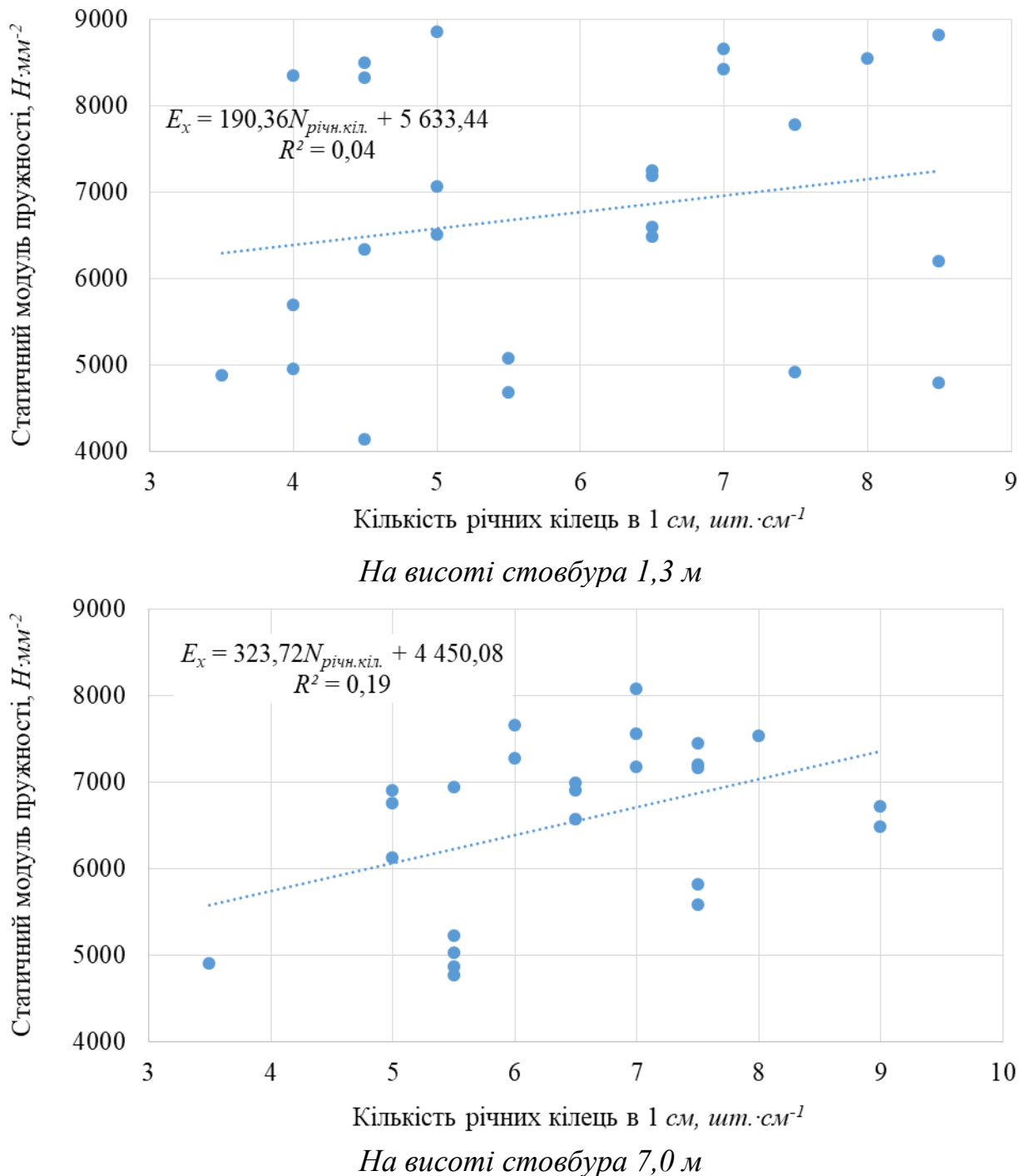


*На висоті стовбура 7,0 м*

**Рис. 5.9. Графік залежності між кількістю річних в 1 см та модулем пружності прямоволокнутої деревини**

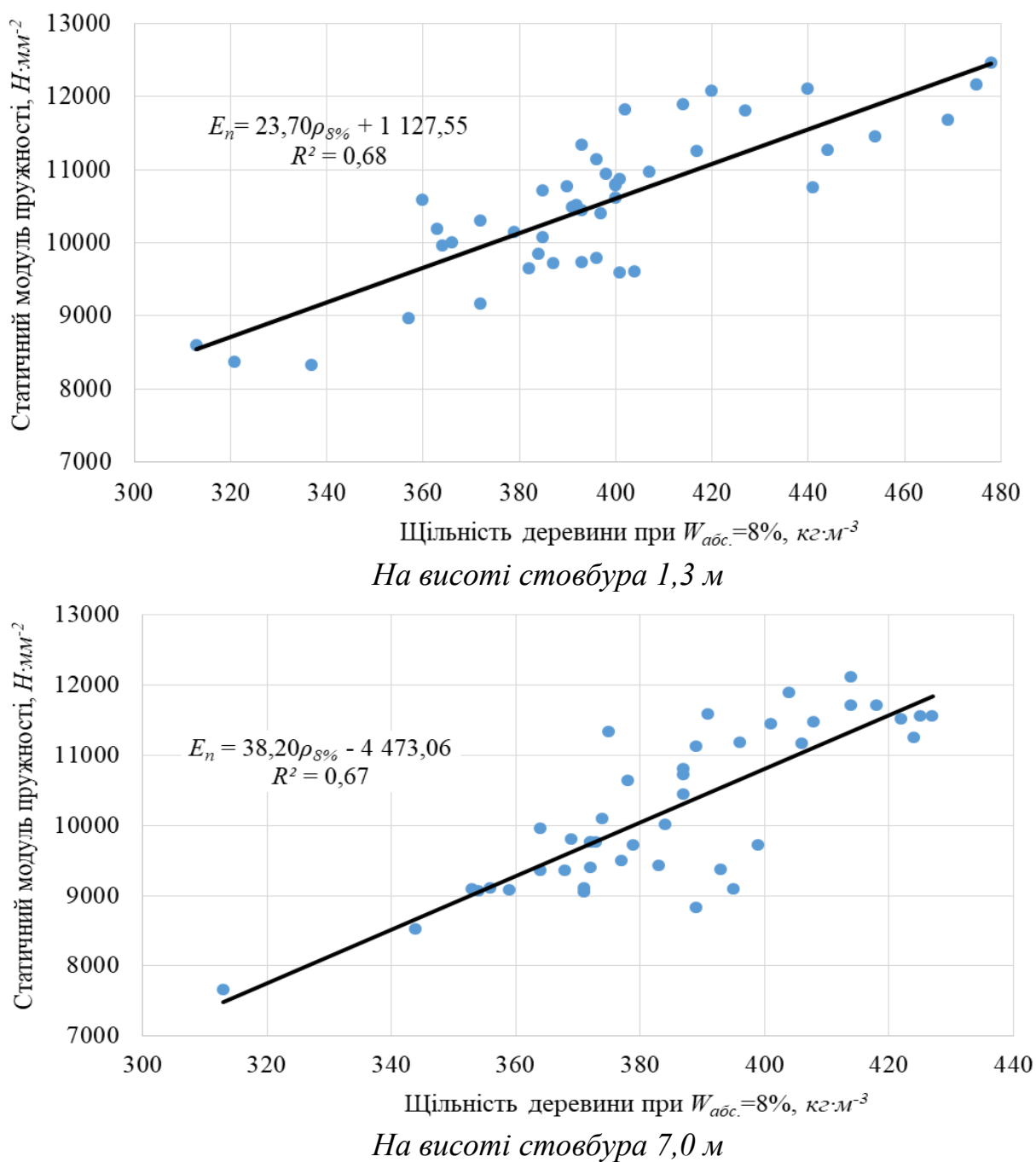
Залежність між кількістю річних в 1 см та статичним модулем пружності

деревини в дерев із типовою структурою описується лінійними рівняннями регресії на висоті зрізу 1,3 м –  $E_n = 335,55N_{річн.кіл.} + 7330,56$  ( $R^2 = 0,73$ ) та на 7,0 м –  $E_n = 416,08N_{річн.кіл.} + 6851,34$  ( $R^2=0,63$ ). Значення критерія Фішера при значущості  $p=0,05$  є більшим від його табличного значення ( $F_{факт.}=71,51-116,26 > F_{табл.}=4,08$ ), що свідчить про статистичну надійність регресійних рівнянь. Аналогічна залежність не властива для хвилясто-завилькуватої деревини ялиці (рис. 5.10).



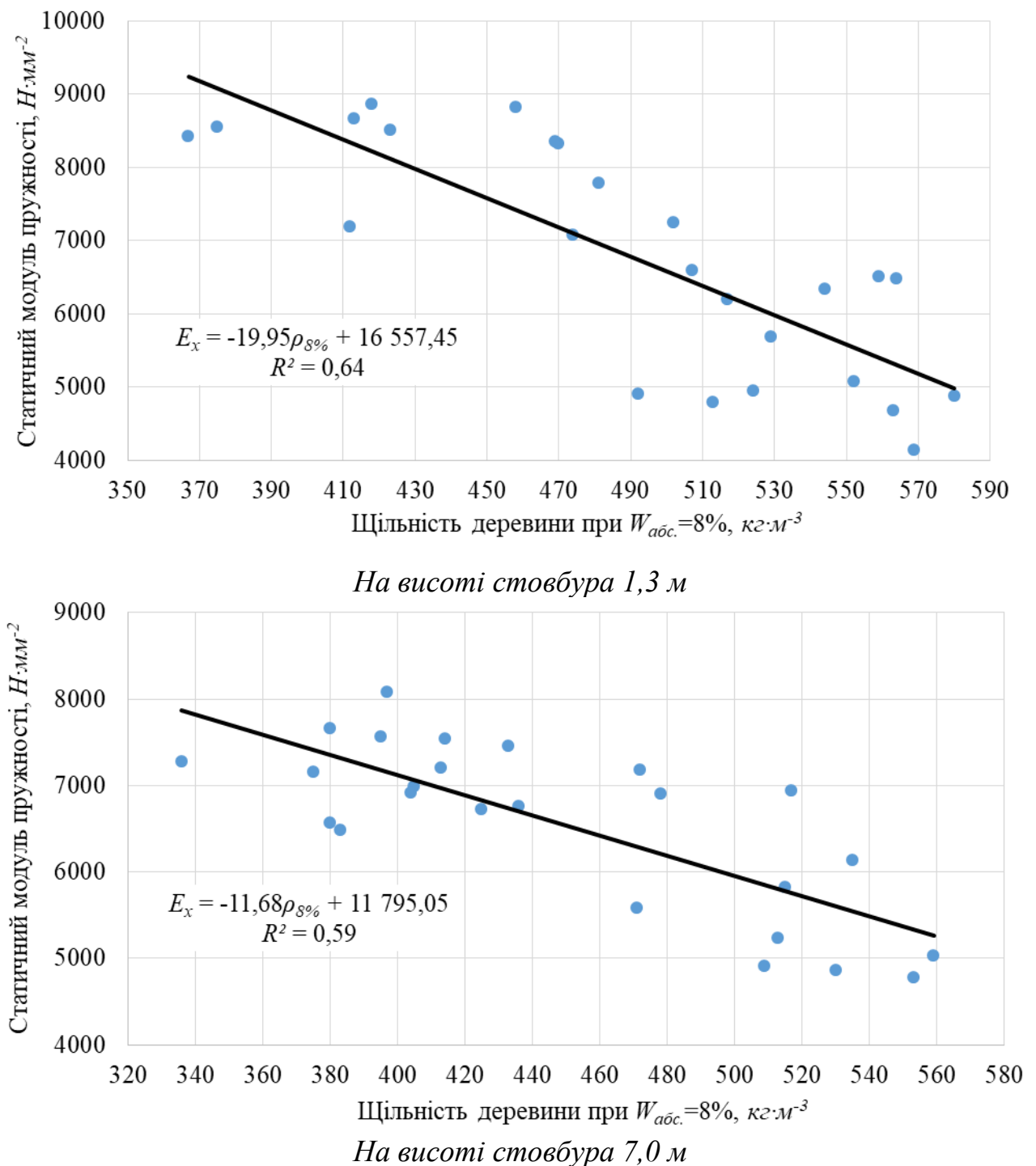
**Рис. 5.10.** Графік залежності між кількістю річних кілець в 1 см та модулем пружності хвилясто-завилькуватої деревини

Відмінності графіків залежності між показником макроструктури та статичним модулем пружності стверджують про суттєві зміни в структурному впорядкуванні деревного волокна в межах річного приросту та за висотою стовбура ялиці білої “хвилясто-завилькувата”. У зв’язку з цим важливо проаналізувати залежність між інтегральними показниками фізичної та механічної якості стовбурної деревини, що показано на рис. 5.11 та 5.12.



**Рис. 5.11. Графік залежності між об’ємною масою та модулем пружності прямоволокнутої деревини**

Графічна залежності між щільністю деревини при  $W_{абс.}=8\%$  та статичним модулем пружності описуються рівнянням першого порядку на висоті зрізу 1,3 м –  $E_n = 23,70\rho_{8\%} + 1127,55$  ( $R^2=0,68$ ) та на 7,0 м –  $E_n = 38,20\rho_{8\%} - 4473,06$  ( $R^2=0,67$ ). Розрахунковий критерій Фішера при  $p=0,05$  є більшим від його табличного значення ( $F_{факт.} = 85,27 - 91,38 > F_{табл.} = 4,08$ ) та підтверджує значущість парної лінійної регресії.



**Рис. 5.12.** Графік залежності між об'ємною масою та модулем пружності хвилясто-завилькуватої деревини

Як видно з рис. 5.12, між об'ємною масою при  $W_{\text{абс.}}=8\%$  та статичним модулем пружності хвилясто-завилькуватої деревини існує прямолінійна залежність, яка є дзеркальним відображенням ідентичної лінійної регресії для прямоволокнутої деревини ялиці білої. Збільшення щільності хвилясто-завилькуватої деревини зумовлює зменшення її модуля пружності, а в прямоволокнустій структурі – прямопропорційне зростання аналогічного показника. Отже, отримані результати дослідження модуля пружності хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини ялиці білої стверджують про її внутрішньовидову диференціацію за структурним упорядкуванням деревного волокна, що суттєво визначає фізичні та механічні властивості деревини.

### **5.3. Кореляційно-регресійний аналіз кваліметричних ознак хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини**

Кваліметричні ознаки деревини є віддзеркаленням генотипу деревного виду, а оцінювання їх відмін за структурою деревини потребує перевірки статистичної значущості кожного із параметрів. При вирощуванні лісових деревних порід із заданою структурою деревини важливим є прогнозування її властивостей, що вимагає детального аналізу залежності якісних ознак між прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою деревиною.

Кореляційний аналіз властивостей стовбурної деревини щодо її фізико-механічної якості констатує факт присутності чи відсутності лінійного зв'язку між досліджуваними показниками, що має практичне значення при неруйнівних методах відбору сортиментів цільового призначення. Висока варіація об'ємної маси деревини є деревинознавчим маркером біологічної продуктивності деревостану, а модуля пружності деревини - технічної якості в деревооброблювальних виробництвах. Деревинознавчий інструментарій є базовим при діагностуванні якості деревини на різних стадіях росту та розвитку відміни деревного виду за структурою деревини.

Для статистичного аналізу парних залежностей між показниками фізико-

механічних властивостей прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої застосували кореляційну матрицю (табл. 5.2, 5.3 та див. додаток Д).

Таблиця 5.2

## Кореляційна матриця показників прямоволокнутої деревини

Показники деревини	$N_{р\dot{ч}н.к\dot{л}}$	$\rho_0$	$\rho_b$	$\rho_{8\%}$	$E_n$	$E_{Ln}$	$K_n$	$C_n$
$N_{р\dot{ч}н.к\dot{л}}$	1	0,764**	0,761**	0,830**	0,818**	0,807**	-0,538**	0,606**
$\rho_0$	0,764**	1	0,996**	0,885**	0,722**	0,732**	-0,695**	0,503**
$\rho_b$	0,761**	0,996**	1	0,890**	0,720**	0,726**	-0,706**	0,491**
$\rho_{8\%}$	0,830**	0,885**	0,890**	1	0,806**	0,817**	-0,803**	0,541**
$E_n$	0,818**	0,722**	0,720**	0,806**	1	0,906**	-0,408**	0,781**
$E_{Ln}$	0,807**	0,732**	0,726**	0,817**	0,906**	1	-0,323**	0,913**
$K_n$	-0,538**	-0,695**	-0,706**	-0,803**	-0,408**	-0,323**	1	0,033
$C_n$	0,606**	0,503**	0,491**	0,541**	0,781**	0,913**	0,033	1

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

Дані табл. 5.2 свідчать про високу тісноту зв'язку між показниками макроструктури, об'ємної маси та модуля пружності прямоволокнутої деревини ялиці білої. Коефіцієнт кореляції між кількістю річних кілець в 1 см і різними видами щільності деревини знаходиться в межах від 0,761 до 0,830 і підтверджує, що величина річного приросту є інтегральним візуальним показником якості прямоволокнутої деревини ялиці білої. Аналогічна кореляція характерна для показника макроструктури (кількості річних кілець в 1 см) та динамічного модуля пружності деревини. При цьому важливо зазначити про те, що дослідження властивостей деревини проведено для стиглої деревини.

Кореляційна залежність між об'ємною масою деревини та іншими фізико-механічними показниками якості характеризується високою тіснотою зв'язку. Найменші коефіцієнти кореляції властиві для залежності між затуханням та

іншими досліджуваними показниками, що свідчить про незначну акустичність прямоволокнутої деревини ялиці білої.

Кореляційна характеристика залежності фізико-механічних показників якості стовбурної деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” в умовах Буковинських Карпат наведена в табл. 5.3.

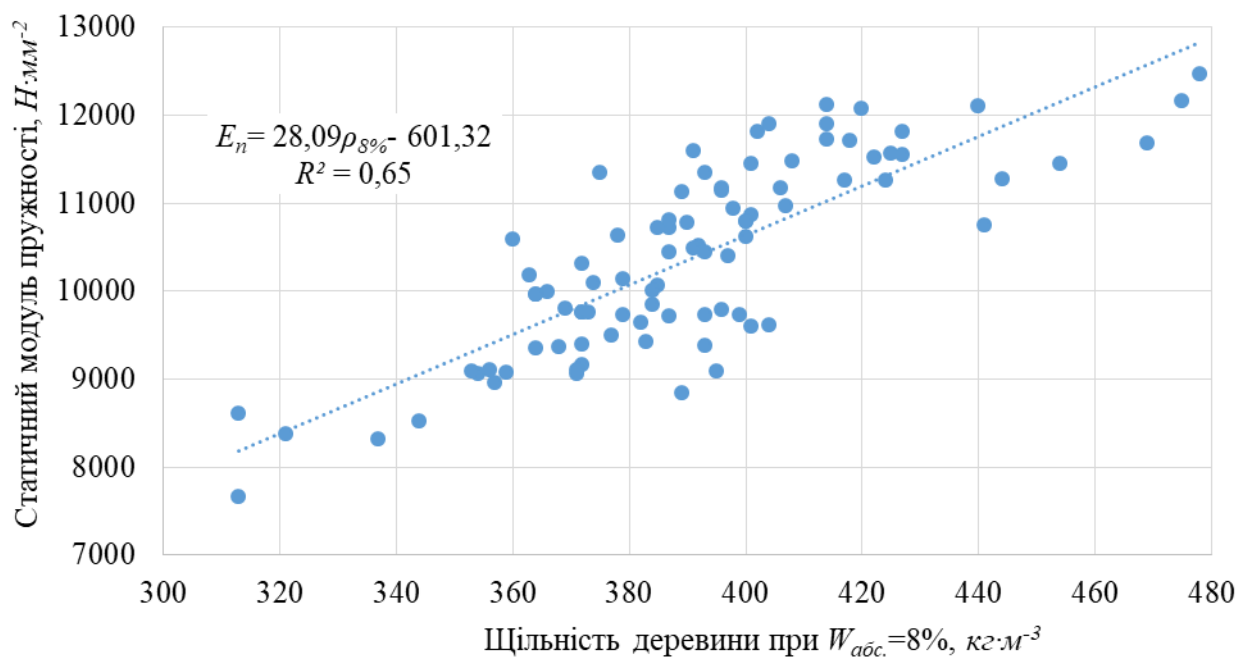
Таблиця 5.3

## Кореляційна матриця показників хвилясто-завилькуватої деревини

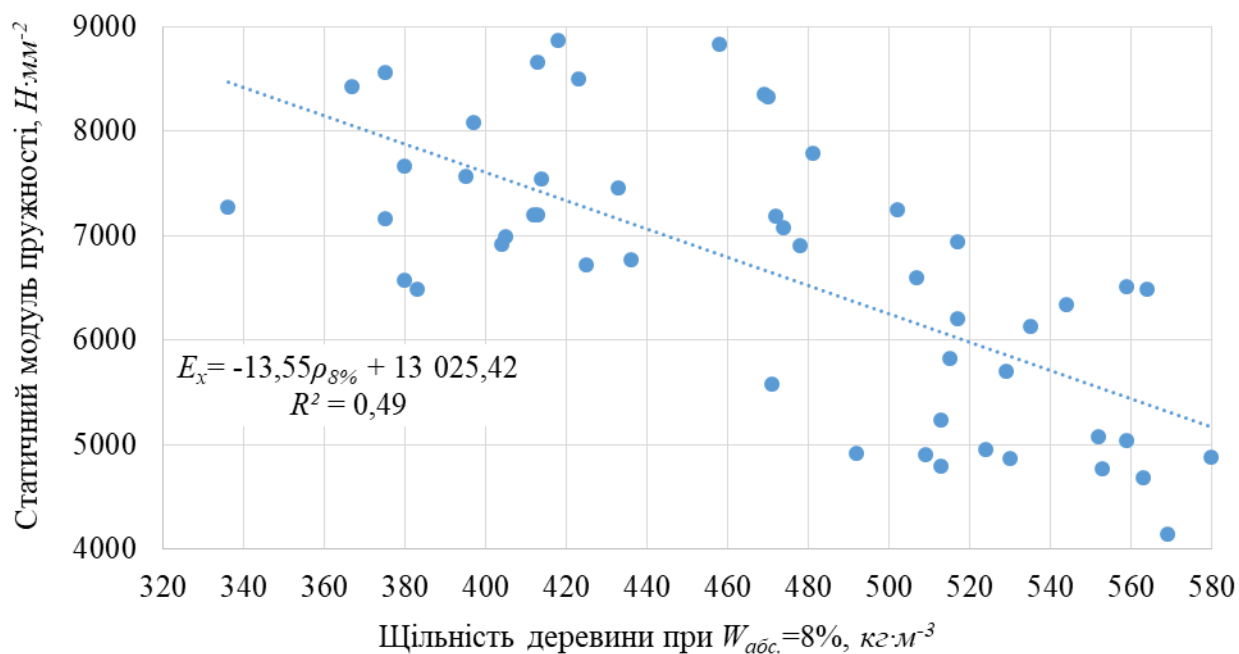
Показники деревини	$N_{річн.кіл.}$	$\rho_0$	$\rho_b$	$\rho_{8\%}$	$E_n$	$E_{Ln}$	$K_n$	$C_n$
$N_{річн.кіл.}$	1	-0,387**	-0,363**	-0,448**	0,253	0,435**	0,447**	0,464**
$\rho_0$	-0,387**	1	0,990**	0,934**	-0,660**	-0,716**	-0,921**	-0,866**
$\rho_b$	-0,363**	0,990**	1	0,919**	-0,674**	-0,711**	-0,911**	-0,857**
$\rho_{8\%}$	-0,448**	0,934**	0,919**	1	-0,697**	-0,726**	-0,967**	-0,898**
$E_n$	0,253	-0,660**	-0,674**	-0,697**	1	0,836**	0,755**	0,830**
$E_{Ln}$	0,435**	-0,716**	-0,711**	-0,726**	0,836**	1	0,844**	0,952**
$K_n$	0,447**	-0,921**	-0,911**	-0,967**	0,755**	0,844**	1	0,967**
$C_n$	0,464**	-0,866**	-0,857**	-0,898**	0,830**	0,952**	0,967**	1

Результати дослідження властивостей хвилясто-завилькуватої деревини стверджують, що найменша тіснота зв'язку характерна для залежності між кількістю річних кілець в 1 см та іншими фізико-механічними показниками (табл. 5.3). Дуже високі коефіцієнти парної кореляції характерні для залежності між об'ємною масою хвилясто-завилькуватої деревини та її коефіцієнтом затухання. Кореляційна матриця залежності між різними видами щільності та модуля пружності деревини ялиці білої з хвилеподібними утворами характеризується коефіцієнтами в межах від -0,660 до -0,726. До кваліметричних маркерів неруйнівного діагностування фізико-механічної якості хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої доцільно віднести швидкість звуку. Парна кореляційна залежність між швидкістю звуку в повздовжньому напрямку та об'ємною масою

хвилясто-завилькуватої деревини характеризується більшою тісністю зв'язку в порівнянні з подібною залежністю для прямоволокнутої деревини. Знання залежності між об'ємною масою та статичним модулем пружності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини відіграють важливу роль в механічному сортуванні пиломатеріалів (рис. 5.13).



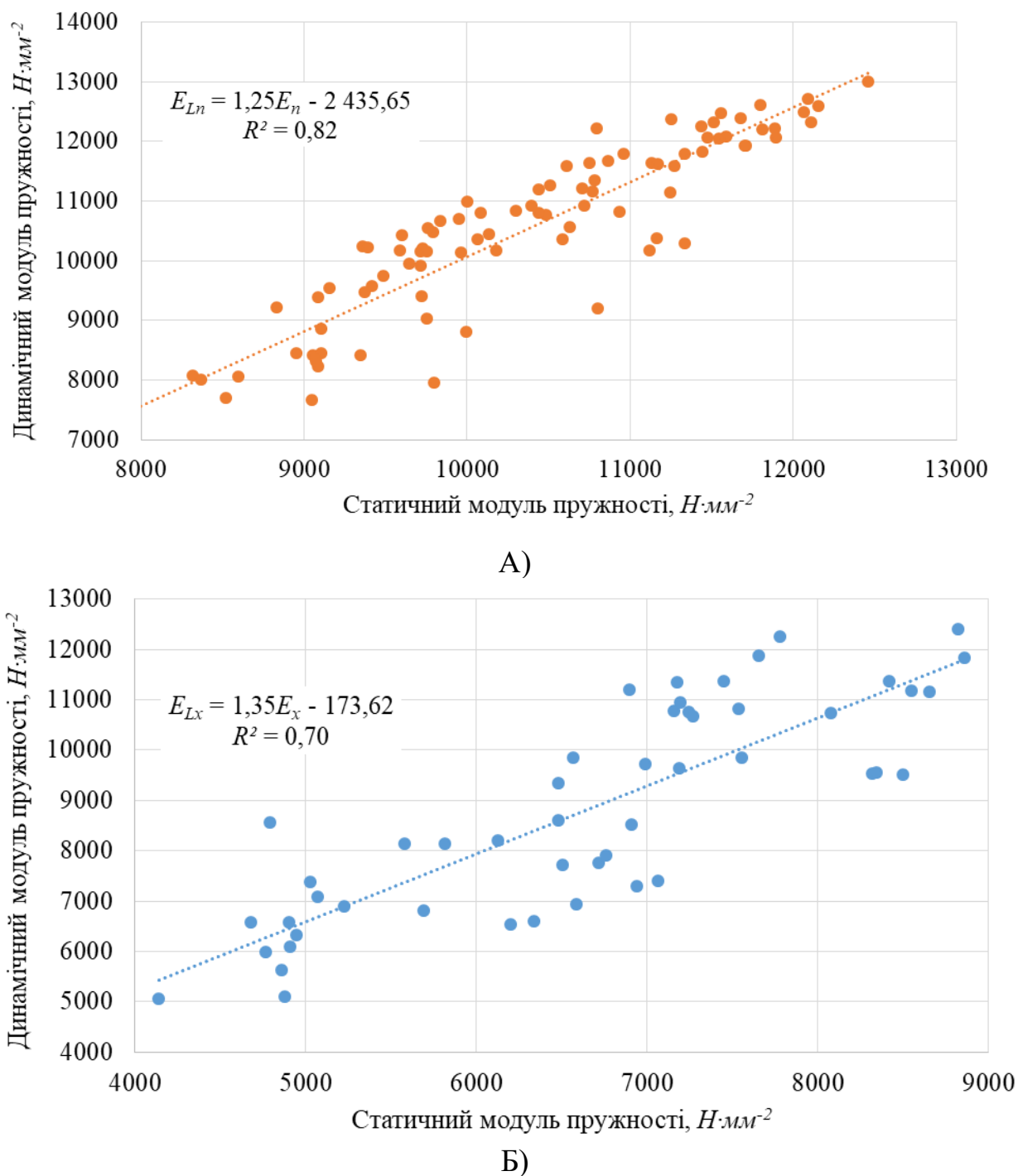
А)



Б)

**Рис. 5.13.** Узагальнений графік залежності між щільністю деревини при  $W_{\text{обс.}}=8\%$  та статичним модулем пружності прямоволокнутої (А) та хвилясто-завилькуватої (Б) деревини

Як видно з рис. 5.13, між щільністю та статичним модулем пружності деревини ялиці білої існує регресійна залежність, яка описується рівняннями першого порядку для прямоволоконистої деревини –  $E_n = 28,09\rho_{8\%} - 601,32$  ( $R^2 = 0,65$ ), а для хвилясто-завилькуватої деревини –  $E_x = -13,55\rho_{8\%} + 13\,025,42$  ( $R^2 = 0,49$ ). Регресійна залежність між статичним та динамічним модулем пружності деревини ялиці білої з типовою та хвилеподібною структурою наведено на рис. 5.14.



**Рис. 5.14.** Графік залежності між статичним та динамічним модулем пружності прямоволоконистої (А) та хвилясто-завилькуватої (Б) деревини

Аналіз графіків залежності між статичним та динамічним модулем пружності деревини свідчить про їх високий рівень зв'язку (рис. 5.14), що описується рівняннями першого порядку для ялиці білої з типовою структурою деревини –  $E_{Ln} = 1,25E_n - 2\,435,65$  ( $R^2 = 0,82$ ) та з хвилеподібними утворами стовбура –  $E_{Lx} = 1,35E_x - 173,62$  ( $R^2 = 0,70$ ). Розрахункові значення критерія Фішера при значущості  $p=0,05$  є більшими від табличних значень як для прямоволокнутої деревини –  $F_{факт.} = 112,00 > F_{табл.}(1; 50) = 4,08$ , так і для хвилясто-завилькуватої –  $F_{факт.} = 396,33 > F_{табл.}(1; 89) = 4,00$ , що підтверджує статистичну надійність рівнянь залежностей.

Значні відмінності коефіцієнтів кореляції в прямолінійній залежності між об'ємною масою та статистичним модулем пружності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини дозволяють стверджувати про внутрішньовидову диференціацію ялиці білої за структурою деревини, що суттєво визначає фізико-механічну якість деревини. Аналогічну різницю регресійних залежностей встановлено між показниками макроструктури та об'ємної маси в дерев із прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою деревиною. В той же час доцільно зазначити, що існує різниця абсолютних значень динамічного та статичного модуля пружності деревини ялиці білої. Динамічний модуль пружності в одного й того самого взірця хвилясто-завилькуватої деревини в середньому на 32% більший від статичного модуля пружності. Подібна тенденція не властива для прямоволокнутої деревини, де різниця абсолютних значень модулів пружності може змінюватися приблизно в межах  $\pm 10\%$ , що пов'язано з відсотковим вмістом пізньої деревини в річному кільці.

Кореляційно-регресійний аналіз інтегральних показників фізичної та механічної якості стовбурної деревини ялиці білої дозволяє стверджувати про значущу різницю кваліметричних маркерів хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої структури. У зв'язку із цим статистично достовірні показники фізико-механічних властивостей деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” та з типовою структурою мають важливе значення при діагностування сортиментів цільового призначення. Узагальнена статистична

характеристика результатів дослідження фізико-механічних властивостей стовбурної деревини ялиці білої з типовою та хвилеподібною структурою в умовах Буковинських Карпат подана в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Усереднені значення фізико-механічних показників стовбурної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Буковинських Карпат

Показники	Мінімальне значення	Середнє арифметичне значення та його помилка	Максимальне значення	Коефіцієнт варіації, %	Показник точності, %
1	2	3	4	5	6
Прямоволокниста деревина					
Кількість річних кілець в 1 см, шт.·см <sup>-1</sup>	3,5	8,8 <sup>±0,26</sup>	15,0	28,0	3,0
Щільність в абсолютно сухому стані, кг·м <sup>-3</sup>	280	362 <sup>±3,15</sup>	471	8,2	0,9
Базисна щільність, кг·м <sup>-3</sup>	245	317 <sup>±2,74</sup>	408	8,1	0,9
Щільність деревини при $W_{абс.} = 8\%$ , кг·м <sup>-3</sup>	313	391 <sup>±3,25</sup>	478	7,8	0,8
Щільність у свіжозрубаному стані, кг·м <sup>-3</sup>	899	994 <sup>±0,26</sup>	1066	0,2	0,0
Статичний модуль пружності, Н·мм <sup>-2</sup>	7652	10368 <sup>±113</sup>	12460	10,3	1,1
Динамічний модуль пружності, Н·мм <sup>-2</sup>	5921	10533 <sup>±156</sup>	12995	14,0	1,5
Коефіцієнт затухання	10,8	13,3 <sup>±0,10</sup>	16,2	7,0	0,7
Швидкість звуку, м·с <sup>-1</sup>	4349	5174 <sup>±27</sup>	5558	5,0	0,5
Розбухання деревини в тангентальному напрямку, %	7,5	9,0 <sup>±0,06</sup>	9,9	6,6	0,7
Розбухання деревини в радіальному напрямку, %	3,0	4,2 <sup>±0,03</sup>	5,1	7,8	0,8
Розбухання деревини повздовж волокон, %	0,1	0,6 <sup>±0,02</sup>	1,0	38,4	4,1
Об'ємне розбухання деревини, %	12,3	14,2 <sup>±0,08</sup>	15,5	5,2	0,6
Коефіцієнт тангентального розбухання	0,25	0,30 <sup>±0,002</sup>	0,33	6,8	0,7
Коефіцієнт радіального розбухання	0,10	0,14 <sup>±0,001</sup>	0,17	7,9	0,8
Коефіцієнт об'ємного розбухання	0,41	0,47 <sup>±0,003</sup>	0,52	5,2	0,6
Коефіцієнт анізотропії розбухання	1,6	2,2 <sup>±0,02</sup>	2,9	9,8	1,0

1	2	3	4	5	6
Хвилясто-завилькувата деревина					
Кількість річних кілець в 1 см, шт·см <sup>-1</sup>	3,5	6,2 <sup>±0,21</sup>	9,0	23,8	3,4
Щільність в абсолютно сухому стані, кг·м <sup>-3</sup>	320	436 <sup>±8,23</sup>	553	13,4	1,9
Базисна щільність, кг·м <sup>-3</sup>	292	389 <sup>±7,30</sup>	478	13,3	1,9
Щільність деревини при $W_{абс.} = 8\%$ , кг·м <sup>-3</sup>	336	470 <sup>±9,39</sup>	580	14,1	2,0
Щільність у свіжозрубаному стані, кг·м <sup>-3</sup>	905	1012 <sup>±0,20</sup>	1068	0,1	0,0
Статичний модуль пружності, Н·мм <sup>-2</sup>	4140	6654 <sup>±182</sup>	8860	19,4	2,7
Динамічний модуль пружності, Н·мм <sup>-2</sup>	5053	8824 <sup>±295</sup>	12393	23,6	3,3
Коефіцієнт затухання	5,1	9,7 <sup>±0,43</sup>	16,7	31,3	4,4
Швидкість звуку, м·с <sup>-1</sup>	2964	4362 <sup>±110</sup>	5632	17,8	2,5
Розбухання деревини в тангентальному напрямку, %	3,4	6,7 <sup>±0,21</sup>	9,6	21,7	3,1
Розбухання деревини в радіальному напрямку, %	2,1	3,7 <sup>±0,14</sup>	5,8	26,6	3,8
Розбухання деревини повздовж волокон, %	0,1	1,2 <sup>±0,11</sup>	3,9	64,8	9,2
Об'ємне розбухання деревини, %	8,0	12,0 <sup>±0,30</sup>	16,2	17,6	2,5
Коефіцієнт тангентального розбухання	0,11	0,22 <sup>±0,007</sup>	0,32	21,8	3,1
Коефіцієнт радіального розбухання	0,07	0,12 <sup>±0,005</sup>	0,19	26,7	3,8
Коефіцієнт об'ємного розбухання	0,27	0,40 <sup>±0,010</sup>	0,54	17,6	2,5
Коефіцієнт анізотропії розбухання	1,0	1,9 <sup>±0,07</sup>	2,7	25,6	3,6

Цифрові дані табл. 5.4 свідчать, що середні значення тангентального розбухання, кількості річних кілець в 1 см та статичного модуля пружності прямоволокнутої деревини на 26, 30 та 36% відповідно більші від аналогічних властивостей деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата”. Об'ємна маса прямоволокнутої деревини характеризується меншими середніми значенням. Середнє значення базисної щільності хвилясто-завилькуватої деревини на 23% більше від ідентичного показника у дерев із типовою структурою. Значні

відмінності якісних характеристик хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої зумовлені різкою зміною структури її деревини. Коефіцієнт анізотропії розбухання прямоволокнутої деревини змінюється в межах від 1,6 до 2,9, а його середнє значення є на 14% більшим від подібного показника для ялиці білої “хвилясто-завилькувата”. З огляду на отримані результати дослідження внутрішньовидової диференціації ялиці білої за структурою деревини та вищенаведений аналіз відмінностей фізико-механічних властивостей хвилясто-завилькуватої деревини рекомендуємо при сортуванні круглих лісоматеріалів виокремити клас якості із декоративною деревиною та позначати його “Яц-д”.

#### *Висновки до розділу*

Узагальнюючи отримані результати дослідження кваліметричних ознак хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої можна зробити такі висновки:

1. Динамічний модуль пружності деревини залежить від величини річного приросту та об’ємної маси деревини. У дерев із прямоволокнутою деревиною він збільшується в напрямку від серцевини до периферійної зони стовбура, що не характерно для дерев із хвилеподібними утворами.

2. Збільшення щільності хвилясто-завилькуватої деревини зумовлює прямопропорційне зменшення величини динамічного модуля пружності та описується рівнянням прямої першого порядку. Залежність між щільністю та модулем пружності прямоволокнутої деревини ялиці білої має протилежний характер.

3. Зміна динамічного модуля пружності прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини в межах радіуса та висоти стовбура, а також його залежність від величини річного приросту та об’ємної маси деревини є подібною до закономірностей, властивих динамічному модулю пружності.

4. Залежність між показниками макроструктури, об’ємної маси та модуля пружності прямоволокнутої деревини ялиці білої характеризується високою тісністю зв’язку ( $0,761 < R < 0,830$ ). Для залежності між об’ємною масою та модулем пружності, швидкістю звуку і коефіцієнтом затухання хвилясто-завилькуватої деревини властива значна, висока та дуже висока

від'ємна кореляція ( $-0,967 < R < -0,660$ ).

5. Регресійна залежність між статичним та динамічним модулем пружності описується рівнянням прямої першого порядку. Величина динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини є на 32% більшою від статичного модуля пружності. Різниця абсолютних значень статичного та динамічного модулів пружності прямоволокнистої деревини змінюється в межах  $\pm 10\%$ .

6. Відмінність інтегральних показників фізичної та механічної якості хвилясто-завилькуватої деревини від прямоволокнистої свідчить про внутрішньовидову диференціацію ялиці білої за структурою деревини, що зумовлено хвилеподібним розміщенням деревного волокна відносно осі ростучого дерева.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

У дисертаційній роботі представлено аналіз структурних відмінностей хвилеподібних утворів стовбура, фізико-механічних властивостей хвилясто-завилькуватої та прямоволокнутої деревини та кваліметричних ознак внутрішньовидової диференціації ялиці білої за структурою деревини в умовах Буковинських Карпат. Досліджено морфологічні особливості дерев із хвилеподібними утворами та часовий період початку їх утворення, а також відмінності формування об'ємної маси стовбурної деревини, анізотропії розбухання та пружні деформації прямоволокнутої та хвилясто-завилькуватої деревини.

1. Хвилеподібні утвори стовбура ялиці білої поширені на висоті до 6,0-11,5 м із середнім значенням 8,3 м. Ширина хвилі деревного волокна варіює від 33,7 до 194,2 мм із середнім значенням 86,6 мм, а її глибина - від 4,4 до 24,1 мм із середнім значенням 11,5 мм. Віковий діапазон початку утворення хвилясто-завилькуватої деревини знаходиться у межах 25-45 років.

2. Кількість річних кілець в 1 см у дерев із рельєфними хвилеподібними утворами змінюється в межах від 3,5 до 9,0 шт.·см<sup>-1</sup> із середнім значенням 6,2 шт.·см<sup>-1</sup> і є на 30% меншим від аналогічного показника для прямоволокнутої деревини. Збільшення середніх значень ширини річних кілець в дерев із хвилеподібними утворами досягає 31%, ширини пізньої деревини до 25% та ширини ранньої деревини до 34% у порівнянні з деревами з прямоволокнутою деревиною.

3. Результати однофакторного дисперсійного аналізу річних приростів стверджують про статистично значущу ( $p= 0,000-0,042<0,05$ ) різницю ширини річного кільця в дерев із прямоволокнутою та хвилясто-завилькуватою структурою деревини, що свідчить про внутрішньовидову диференціацію ялиці білої за структурою деревини і є передумовою для виділення форми “хвилясто-завилькувата”.

4. Базисна щільність деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” варіює в межах від 292 до 478 кг·м<sup>-3</sup> із середнім значенням 389 кг·м<sup>-3</sup>, а прямоволокнутої

деревини змінюється від 256 до 408  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , середнє значення якої є на 23% меншим, ніж у дерев із хвилеподібними утворами.

5. Об'ємна маса хвилясто-завилькуватої деревини при  $W_{\text{абс.}}=8\%$  змінюється від 336 до 580  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$  із середнім значенням 470  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ , а у дерев із прямоволокнуистою деревиною – від 313 до 478  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$  із середнім значенням 391  $\text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$ . Середнє значення об'ємної маси стовбурної деревини ялиці білої “хвилясто-завилькувата” при  $W_{\text{абс.}}=8\%$  та в абсолютно сухому стані є на 20% більшим ніж у дерев із типовою структурою.

6. Величина розбухання хвилясто-завилькуватої деревини в тангентальному напрямку знаходиться в межах від 3,4 до 9,6% із середнім значенням 6,7%, а в радіальному напрямку – від 2,1 до 5,8% із середнім значенням 3,7%. Хвилеподібне розміщення деревного волокна в ялиці білої “хвилясто-завилькувата” зумовлює зменшення на 15% середнього значення об'ємного розбухання деревини в порівнянні з аналогічним показником прямоволокнуистої деревини. Коефіцієнт анізотропії розбухання хвилясто-завилькуватої деревини на 22% менший ніж у дерев із типовою структурою.

7. Збільшення кількості річних кілець в 1 см у дерев із прямоволокнуистою деревиною зумовлює прямопропорційне зростання її базисної щільності та описується рівнянням другого порядку на висоті 1,3 м –  $\rho_b = 9,63N_{\text{рiчн.кiл.}} + 235,72$  ( $R^2 = 0,62$ ) та на висоті 7,0 м –  $\rho_b = 8,19N_{\text{рiчн.кiл.}} + 246,82$  ( $R^2 = 0,65$ ), що не є характерним для ялиці білої “хвилясто-завилькувата”.

8. Залежність між динамічним модулем пружності та об'ємною масою деревини описується рівняннями першого порядку для дерев із типовою структурою на висоті 1,3 м –  $E_{Ln} = 31,05\rho_{8\%} - 1405,27$  ( $R^2 = 0,72$ ) та на висоті 7,0 м –  $E_{Ln} = 54,26\rho_{8\%} - 10709,90$  ( $R^2 = 0,69$ ) і в дерев із хвилеподібними утворами на 1,3 м –  $E_{Lx} = -27,88\rho_{8\%} + 22263,46$  ( $R^2 = 0,57$ ) та на 7,0 м –  $E_{Lx} = -20,53\rho_{8\%} + 18\,288,99$  ( $R^2 = 0,51$ ).

9. Збільшення статичного модуля пружності прямоволокнуистої деревини зумовлено зростанням її об'ємної маси і описується рівнянням регресії першого порядку –  $E_n = 28,09\rho_{8\%} - 601,32$  ( $R^2 = 0,65$ ) і зменшення об'ємної маси для хвилясто-

завилькуватої деревини –  $E_x = -13,55\rho_{8\%} + 13\,025,42$  ( $R^2=0,49$ ). Між об'ємною масою, модулем пружності, швидкістю звуку та коефіцієнтом затухання хвилясто-завилькуватої деревини існує значна, висока та дуже висока від'ємна кореляція ( $-0,967 < R < -0,660$ ).

10. Величина динамічного та статичного модулів пружності прямоволокнуватої деревини залежить від збільшення об'ємної маси та кількості річних кілець в 1 см і характеризується високою тісністю зв'язку ( $0,761 < R < 0,830$ ). Залежність між динамічним та статичним модулем пружності описується рівнянням прямої для прямоволокнуватої –  $E_{Ln} = 1,25E_n - 2435,65$  ( $R^2 = 0,82$ ) та хвилясто-завилькуватої –  $E_{Lx} = 1,35E_x - 173,62$  ( $R^2 = 0,70$ ).

11. Середнє значення динамічного модуля пружності хвилясто-завилькуватої деревини є на 32% більшим від статичного модуля пружності. Різниця абсолютних значень статичного та динамічного модулів пружності прямоволокнуватої деревини змінюється в межах  $\pm 10\%$ . Інтегральні показники фізико-механічної якості прямоволокнуватої та хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої підтверджують її внутрішньовидову диференціацію за структурою, що зумовлено хвилеподібним розміщенням деревного волокна відносно осі ростучого дерева.

За результатами проведених наукових досліджень нами рекомендовано лісогосподарським підприємствам наступне:

- використовувати узагальнені статистичні фізико-механічні показники деревини ялиці білої в умовах Буковинських Карпат для заготівлі сортиментів цільового призначення та з декоративною текстурою деревини;

- проводити селективний відбір ялиці білої “хвилясто-завилькувата” для створення лісових деревостанів, які будуть характеризуватися підвищеною об'ємною масою стовбурної деревини;

- використовувати рівняння залежностей між кількістю річних кілець та модулем пружності прямоволокнуватої деревини для визначення механічної якості ялицевих сортиментів на висоті стовбура 1,3 м –  $E_n = 335,55N_{р\dot{ч}н.к\dot{л}} + 7330,56$  ( $R^2 = 0,73$ ) та 7,0 м –  $E_n = 416,08N_{р\dot{ч}н.к\dot{л}} + 6851,34$  ( $R^2 = 0,63$ ).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А.с. №190729. Україна. Назва сорту: БЖ 6. Сосна звичайна *Pinus sylvestris* L., ботанічний таксон / Сбитна М.В., Фучило Я.Д., Осадчук Л.С., Шлончак Г.А. (Україна); Заявка № 17293001, дата держ. реєстрації: 06.04.2017 р., дата реєстрації прав 23.04.2019 р. // Охорона прав на сорти рослин: Бюлетень / Український інститут експертизи сортів рослин. - Вінниця: ФОП Корзун Д. Ю. 2019. Вип. 2. С.359.
2. Андрианов М.С. Клімат. *Природа Українських Карпат*. 1968. С. 87-101.
3. Атлас древесины и волокон для бумаги / Чавчавадзе Е. С. и др.; под ред. Е. С. Чавчавадзе. Москва.: Ключ, 1992. 329 с.
4. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов. Москва : Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
5. Білоус В. І. Лісова селекція : навч. посіб. Умань : Уманське видавничо-поліграфічне п-во, 2003. 534 с.
6. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. Москва: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
7. 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.
8. 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.
9. Ваганов Е. А., Шашкин А. В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск : Наука, 2000. 232 с.
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. Василюшин Р. Д. Моделювання якісних параметрів фітомаси стовбурів дерев ялиці білої в природних лісостанах Карпат. *Наук. вісн. НАУ*. 2006. Вип. 102. С. 206–210.
12. Василюшин Р. Д. Сучасний стан ялицевих деревостанів в Українських Карпатах. *Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем*: матер. 55 наук.-техн. конф. проф.-викл. складу ЛГФ НЛТУ України (19-21 травня 2005 р., м. Львів). Львів, 2005. С. 7–9.
13. Василюшин Р. Д., Лакида П. І. Аналіз продуктивності ялицевих деревостанів Українських Карпат. *Наук. вісн. НАУ*. 2005. Вип. 83. С. 282–287.
14. Василюшин Р. Д., Лакида П. І., Василюшин О. М. Надземна фітомаса дерев ялиці білої (*Abies alba* Mill.) у деревостанах Українських Карпат. *Наук. вісн. НЛТУ*. 2007. Вип. 17.1. С. 28–34.
15. Василюшин 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.
16. Веверис А. Л. Исследование свойств древесины. *Отбор лесных древесных пород*. 1978. С. 110–124.
17. Вихров В. Е. Исследование строения и технических свойств древесины в связи с типами леса. *Вопросы лесоведения и лесоводства*. 1954. С. 317–334.
18. Вінтонів І. С., Сопушинський І. М., Тайшінгер А. Деревинознавство : навч. посіб. Львів : Апріорі, 2007. 312 с.
19. Воропай Л. І., Куниця М. О. Українські Карпати. Фізико-географічний нарис. Київ: В-во «Радянська школа», 1996. 168 с.
20. Генсірук С. А. Ліси України. Львів : НТШ, УкрДЛТУ, 2002. 495 с.
21. Генсірук С. А., Нижник М. С., Копій Л. І. Ліси Західного регіону України. Львів : Атлас, 1998. 408 с.
22. Генсірук С. А., Нижник М. С. Географія лісових ресурсів України. Львів : Світ, 1995. 122 с.

23. Географічна енциклопедія України: В 3-х т. Т. 1. Київ: Укр. енциклопедія ім. М.П. Бажана, 1989. 416 с.
24. Герушинский З. Ю. Определитель типов леса Украинских Карпат : практ. реком. Львов, 1988.164 с.
25. Герушинський З. Ю. Типологія лісів Українських Карпат : навч. посіб. Львів : Піраміда, 1996. 208 с.
26. Гілецький Й. Р. Природно-географічне районування Українських Карпат як основа оптимізації природокористування у регіоні. *Наук. вісн. Чернівецького університету. Географія*. 2012. Вип. 612-613. С.28 – 32.
27. Гниденко В. И. Естественное возобновление и рубки в буково-пихтово-еловых лесах. *Естественное возобновление лесов*. 1971. С. 97–118.
28. Голубец М. А. Пихтовые леса (формация *Abietea*). *Украинские Карпаты. Природа*. Київ : Наук. думка, 1988. С. 86–91.
29. Голубець М. А., Малиновський К. А. Рослинність. *Природа Українських Карпат*. 1968. С. 125–159.
30. Голубець М. А. Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. *Праці НТШ*. 2003. Т. XII. С. 283–292.
31. Голубець М. А. Екологічний потенціал наземних екосистем. Львів: Поллі, 2003. 180 с.
32. Голубець М. А. Екосистемологія. Львів: Поллі, 2000. 316 с.
33. Голубець М. А. Сучасні проблеми лісознавства, лісівництва та лісового господарства. *Наук. праці ЛАНУ*. 2003. Вип. 2. С. 20–26.
34. Голубець М. А. Лісорослинне і лісогосподарське районування Українських Карпат. *Використання лісових багатств*. 1966. С. 40–52.
35. Голубець М. А., Гаврусевич А. Н. , Загайкевич І. К. Природа Українських Карпат. Київ: Наук. думка, 1988. 208 с.
36. Гордієнко М. І., Корецький Г. С., Маурер В. М. Лісові культури: навч. посіб. Київ : Сільгоспосвіта, 1995. С. 294–306.
37. Горошко М. П., Хомюк П. Г. Лісова таксація: навч. посіб. Львів : УкрДЛТУ, 2000. 132 с.

38. Горошко М. П., Нагорняк Б. З. Особливості лісівничо-таксаційної характеристики яличників Закарпаття з урахуванням орографічних умов. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2016. 26(8). С. 54–61.
39. Горошко М. П., Миклуш С. І., Хомюк П. Г. Біометрія : навч. посіб. Львів : Камула, 2004. 236 с.
40. Гриб В.М. Осадчук Л.С., Гриб І.В. Відтворення соснових деревостанів Східного Полісся України: монографія. Київ: ЦП Компрінт, 2016. 234 с.
41. 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.
42. Гриник Г. Г. Ріст та продуктивність головних лісотвірних порід Українських Карпат залежно від особливостей рельєфу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д. с.-г. наук : 06.03.02. Київ, 2013. 40 с.
43. Гром М. М. Лісова таксація : підруч. Львів : РВВ НЛТУ України, 2007. 416 с.
44. 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.
45. Древесина. Метод определения влажности. ГОСТ 16483.7-71. Москва: Изд-во стандартов, 1985. 4 с.
46. Древесина. Метод определения плотности. ГОСТ 16483.1-84. Москва: Изд-во стандартов, 1984. 4 с.
47. Древесина. Метод определения усушки. ГОСТ 16483.37-88. Москва: Изд-во стандартов, 1988. 5 с.
48. Древесина. Метод определения числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое. ГОСТ 16483.18-72. Москва: Изд-во стандартов, 1972. 4 с.
49. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений. ГОСТ 16483.6-80. Москва: Изд-во стандартов, 1980. 4 с.

50. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. ГОСТ 16483.10-73. Москва: Изд-во стандартов, 1973. 7 с.
51. Древесина. Общие требования к физико-механическим испытаниям. ГОСТ 16483.0-89. Москва: Изд-во стандартов, 1989. 12 с.
52. Древесные породы мира / ред.: Г. И. Воробьева. Москва : Лесн. пром-сть, 1982. Т. 2. 352 с.
53. Заячук В.Я. Дендрологія : підруч. Львів : Сполом, 2014. 676 с.
54. Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів. Київ: ДП “Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр”, 2019. 277 с.
55. Карасев В. Н., Карасева М. Н. Влажность древесины хвойных пород в годичной динамике. *Современные проблемы древесиноведения*. 1996. С. 31– 32.
56. Кокорин Д.В., Милютин Л.И. Формовое разнообразие пихты сибирской в южных районах Средней Сибири. *Лесоведение*. 2003. №4. С.32–35.
57. Коліщук В. Г., Сорока М. І., Юськевич Т. В. Ботаніка : навч. посіб. Львів : НЛТУ України, 2011. 507 с.
58. Комплексний атлас України. Київ: ДНВП «Картографія», 2005. 96 с.
59. Копій Л. І. Методологічні основи оптимізації лісистості західного регіону України. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2005. Вип. 15.3. С. 28–35.
60. Копій Л. І. Перспективи розширення лісоресурсного потенціалу Західного регіону України. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 2006. Вип. 32. С. 229–238.
61. Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносов Г.А. Структурные аномалии стебля древесных растений: монография. Москва: МГУЛ, 2003. 280 с.
62. Кравчук Я., Зінько Ю., Брусак В., Гнатюк Р., Кричевська Д. Рекреаційна оцінка рельєфу Українських Карпат. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. 2006. Вип. 2. С. 267–273.
63. Кравчук Я.С. Геоморфологія Полонинсько-Чорногірських Карпат: монографія. Львів: вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2008. 188 с.

64. Крюсман Г. Хвойные породы. Москва : 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. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР / Е. П. Проказин и др. Москва: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
68. Ліси Закарпаття: сучасний стан, використання та охорона / І. Ю. Федурця та ін. Ужгород : Патент, 1997. 53 с.
69. Лісівництво : термінологічний словник / В. Д. Бондаренко та ін. Львів : НЛТУ України, 2006. 84 с.
70. Лісове насінництво : навч. посіб. / Ю. М. Дебрінюк та ін. Львів : Світ, 1998. 432 с.
71. Лісовий кодекс України : Закон України в редакція від 16.01.2020 р. № 3852-ХІІ. *Відомості Верховної Ради України*. 1994. № 17. Ст. 99.
72. Лісові культури : підруч. / Гордієнко М. І. та ін. Львів : Камула, 2005. 608 с.
73. Мазепа В. Г., Тереля І. П. Лісівництво : норм.-дов. матер. Львів : УкрДЛТУ, 2004. 66 с.
74. Мазепа В.Г. Регіональне лісівництво : консп. лекц. Львів : РВВ УкрДЛТУ, 2005. 91 с.
75. Максимчук Р.Т. Анізотропія розбухання прямоволокнустої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.10. С. 106–110.
76. Максимчук Р.Т. Формове різноманіття ялиці білої (*Abies alba* Mill.) за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. *Флористичне і ценотичне різноманіття у відновленні, збереженні та охороні рослинного світу* : тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23–25 квіт. 2018 р.). Київ, 2018. С. 119 – 120.
77. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М. Внутрішньовидова диференціація ялиці білої (*Abies alba* Mill.) за макроскопічними ознаками деревини.

*Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень* : тез. доп. п'ятої міжнар. наук.-практ. конф. (м. Путила, 19 квіт. 2018 р.). Чернівці, 2018. С. 182 – 183.

78. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М. Макроскопічні особливості хвилясто-завилькуватої деревини ялиці білої. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.6. С. 33 – 37.
79. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М. Макроструктура аномальної деревини ялиці білої в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. *Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем* : тези доп. 67-ої наук.-практ. конф. професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2016 р. (м. Львів, 28 лист. 2017 р.). Львів, 2017. С. 89 – 90.
80. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М., Тимочко І.Я. Особливості формування річного кільця та базисної щільності прямоволокнуватої та хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. Вип. 27.9. С. 30 – 33.
81. Максимчук Р.Т., Сопушинський І.М., Кополовець Я. М., Заячук В.Я. Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2018. Вип. 28.7. С. 44–48.
82. Мельник А. В. Українські Карпати: екологічно-ландшафтознавче дослідження. Львів: ЛНУ, 1999. 286 с.
83. Миклуш С. І., Вицега Р. Р., Черни М. Залежність збігу стовбура від його біометричних показників. *Наук. вісн. НАУ*. 2006. Вип. 103. С. 178–185.
84. Некрасова, А. А. Свойства древесины хвойных пород в зависимости от условий произрастания. *Лесное хозяйство и лесозащита*. 1994. № 2. С. 22–24.
85. Осадчук Л.С., Гриб В.М., Юськевич Т.В. Смолопродуктивність соснових насаджень в умовах України: монографія. Київ: В-о "Наукова столиця", 2017. 364 с.

86. Осадчук Л.С., Тимочко І.Я., Шовган А.Д. До питання формування насаджень сосни звичайної із заданими якісними властивостями деревини. *Перспективи розвитку лісового та садово-паркового господарства* : матер. міжнар. наук.-практ. конф. (Умань, 3-4 жовт. 2019 р.). Умань, 2019. С. 67-70.
87. Охорона природи Українських Карпат та прилеглих територій / С. М. Стойко та ін. Київ: Наук. думка, 1980. 264 с.
88. Парпан Т. В. Біоекологічні особливості ялиці білої (*Abies alba* Mill.) в лісових біогеоценозах Передкарпаття : (генеза, відновлення, прогноз) : : автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.16. Дніпропетровськ, 2004. 20 с.
89. Пастернак В. П. Біопродуктивність лісів північного сходу України в контексті змін клімату : автореф. дис. ... д. с.- г. наук : 06.03.02 та 06.03.03. Київ, 2011. 47 с.
90. Пихта / Г. В. Крылов, и др. Москва: Агропромиздат, 1986. 239 с.
91. Пищик И. И. Критерии подбора древесины для музыкальных инструментов. *Деревообработ. пром.-сть*. 1998. № 1. С. 24–26.
92. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки: ОСТ 56-69-83. Москва : Изд-во стандартов, 1983. 60 с.
93. 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. дисн. НЛТУ України*. 2018. 28.8. С. 9–13.
94. Погрибный О.О., Осадчук, Л.С., Заячук В.Я. Особенности роста и смолопродуктивность реликтовой сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Украинских Карпатах. *Stiinta agricola*. 2017. 2. С. 71-77.
95. Полубояринов О. И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины : учеб. пос. Ленинград: ЛТА, 1974. 96 с.
96. Полубояринов О. И. Квалиметрия древесного сырья в процессе лесовыращивания : автореф. дисс. д. с.-х. наук. Ленинград, 1976. 46 с.
97. Полубояринов О. И. Оценка качества древесины в насаждении : учеб. пос. Ленинград : ЛТА, 1979. 76 с.

98. Полубояринов О. И. Плотность древесины. Москва : Лесн. пром-сть., 1976. 160 с.
99. Порада Т. М. Восстановление пихты белой в Бескидах: автореф. дисс. канд. с.-х. наук: 06.03.01. Харьков, 1990. 19 с.
100. Природа Українських Карпат / за ред. К. І. Геренчук. Львів : Вид-во Львівського ун-ту, 1968. 267 с.
101. Равлюк І. П. Відтворення ялиці білої на генетико-селекційній основі у лісах карпатського регіону. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.1 С. 19–26.
102. Рудько Г.І., Кравчук Я.С. Інженерно-геоморфологічний аналіз Карпатського регіону України. Львів: ЛНУ, 2002. 172 с.
103. Рябчук В. П. Стандартизація і кваліметрія лісової продукції. Львів : УкрДЛТУ, 2001. 45 с.
104. Сабан Я. А. Продуктивность и возобновление леса в горных условиях. Львов: Вища школа, 1988. 144 с.
105. Санников С.Н., Петрова И.В. Дифференциация популяций сосны обыкновенной. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 247 с.
106. Свириденко В. Є., Швиденко А. Й. Лісівництво : підруч. Київ: Сільгоспосвіта, 1995. 364 с.
107. Слепьян Э. И. Проблема патологических новообразований у растений, ее аспекты и их значение для науки, народного хозяйства и медицины. *Пробл. онкол. и тератол. у раст.* 1975. С. 5–16.
108. Смаглюк К. К. Аборигенні хвойні лісоутворювачі. Ужгород : Карпати, 1972. 111 с.
109. Сопушинский И.М., Максимчук Р.Т., Кополовец Я.М. Структурное изменение ствольной древесины пихты белой в Украинских Карпатах. *Știința agricolă*. 2018. 47. С. 470 – 475
110. Сопушинський І. М., Вінтонів І. С., Тайшінгер А., Гриник Г.Г. До питання методики визначення щільності деревини у зв'язку із зміною вологості. *Наук. вісн. УкрДЛТУ*. 2003. Вип. 13.3. С. 14–22.

111. Сопушинський І.М., Маєвський В.О., Вінтонів І.С., Сопушинська М.П., Тайшінгер А., Пер А., Аксельсон Р. Зв'язок властивостей деревини та якості виробів з деревини. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2007. Вип. 17.4. С. 101-108.
112. Сопушинський І.М., Максимчук Р.Т., Рудий Б.Б. Структурні відмінності стовбурної деревини *Abies alba* Mill. в лісорослинних умовах Буковинських Карпат. *Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Івано-Франківськ, 4–5 жовт. 2018 р.). Івано-Франківськ, 2018. С. 238 – 242.
113. Сопушинський І.М., Максимчук Я.М., Кополовець Р.Т. Збереження та використання ялиці білої “хвилясто-завилькувальої”. *Проблеми збереження гірських екосистем та сталого використання біологічних ресурсів України* : тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Рахів, 22–25 жовт. 2018 р.). Івано-Франківськ, 2018. С. 394 – 397.
114. Сопушинський І. М. Внутрішньовидова диференціація клена-явора (*Acer pseudoplatanus* L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.) і ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) за декоративністю деревини [рукопис] : дис. ... доктора с.-г. наук: 06.03.03 / Національний лісотехнічний університет України. Львів, 2014. 402 с.
115. Сопушинський І. М., Вінтонів І. С., Харитон І. І., Осташук Р. В. Особливості кваліметрії дров'яної деревини. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.01. С. 162–166.
116. Сопушинський І. М., Клим Н. М., Харитон І. І. Європейський досвід ціноутворення на ринку круглих лісоматеріалів хвойних порід. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2014. Вип. 24. 10. С. 29–34.
117. Сопушинський І. М., Маєвський В. О., Воляник Г. М., Харитон І. І. Особливості кваліметрії стовбурної деревини. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2014. Вип. 24. 11. С. 150–154.

118. Сопушинський І. М., Мілітц Х., Максимчук Р. Т., Біцікс В. Динамічний модуль пружності хвилясто-завилькуватої деревини *Abies alba* Mill. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2018. Вип.28.3. С. 52–56.
119. Сопушинський І.М., Вінтонів І.С. Практикум з деревинознавства: метод. вказ. Львів: Ліга-Прес, 2014. 144 с.
120. СОУ 02.02-37-476:2006. Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. [Чинний від 2007]. Київ : Мінагрополітики України, 2006. 32 с.
121. Справочное руководство по древесине. Лаборатория лесных продуктов США / пер. с англ. Москва : Лесн. пром-сть, 1979. 544 с.
122. Ступар В. И., Тереля И. П. Влияние происхождения семян на рост пихты белой. *Лесное хозяйство*. 1985. №12. С.29–30.
123. Тереля И. П. Возобновление пихты белой в Украинских Карпатах. *Лесная наука на рубеже XXI века*. 1997. Вып.46. С.152–153.
124. Тереля И. П. К вопросу рубок ухода в пихтовых лесах Карпатю "*Лес - экология и ресурсы*": тезы. доп. междун. научно-технич. конф. (г. Минск, 17-18 нояб. 1998 г.). Минск, 1998. С.117–119.
125. Тереля И. П. Современная структура пихтовых лесов Карпат. *География и природные ресурсы*. 1989. №4. С.140–142.
126. Тереля І. П. Едафічні умови формування ялицевих типів лісу Українських Карпат. *Наук. вісн. УкрДЛТУ*. 1996. Вип. 5. С.184–187.
127. Тереля І. П. Просторове розміщення дерев в стиглих ялицевих деревостанах Українських Карпат. *Наук. вісн. УкрДЛТУ*. 1998. Вип. 9.2. С.163–164.
128. 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.
129. Токарева О. В., Ржепко М. І. Природне поновлення ялиці білої у ДП "Берегометське лісомисливське господарство". *Лісове і садово-паркове господарство*. 2017. №11. 10 с.

130. Трибун П.А. Чума лісів шпилькових і відповідальність лісного. *Галичина*. 1997. № 203. С. 6.
131. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учебн. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. 340 с.
132. Федюков В. И. Научные основы всеобщего обеспечения качества и сертификации лесоматериалов спецназначения : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 08.00.20. Москва, 1998. 40 с.
133. Халафян А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: учебн. Москва : ООО "Бином-Пресс", 2007.– 512 с.
134. Харитон І.І., Максимчук Р.Т., Сенюк А.І., Сопушинський І.М., Жмурко С.В. Утвори ксилеми *Abies alba* Mill. *Лісівнича наука в контексті сталого розвитку*: тези доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 29-30 вер. 2015 р.). Харків, 2015. С. 53–54.
135. Харитон І.І., Максичук Р.Т., Сенюк А.І., Сопушинський І.М., Джурик В.П. Вплив висотно-екологічних умов Українських Карпат на ширину річного кільця *Picea abies* (L.) Karst. *Прагматичні аспекти діяльності національних природних парків у контексті збалансованого розвитку*: тези доп. міжн. наук.-практ. конф. (м. Берегомет, 17–19 вер. 2015 р.). Берегомет, 2015. С. 185 – 188.
136. 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.
137. 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.
138. Черневий Ю.І., Третяк П.Р., Данилів В.С., Савчин А.І., Юхим Р.М. Особливості росту вікових модельних дерев ялиці білої на гірських схилах у верхів'ї басейну ріки лімниці у Карпатах. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.7. С. 21–28.
139. Чернявський М. В. Наближене до природи ведення лісового господарства в Україні. *Лісовий і мисливський журнал*. 2008. № 1. С. 14–17.

140. Чернявський М. В. Наближене до природи лісівництво як стратегія сучасного ведення лісового господарства. *Основні причини знеліснення та деградації лісів в Україні* : тез. доп. міжнар. наук.-практ. конф. (м. Львів, 20–22 вер. 2009 р.). Львів, 2010. С. 22–30.
141. 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.
142. Швиденко А. Й. Пихтовые леса Буковины и их возобновление : автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Киев, 1966. 19 с.
143. Швиденко А. Й., Данілова О. М., Бойко І. Д. Географія типів лісу України. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2003. Вип. 13.3. С. 159–164.
144. Швиденко А. Й., Остапенко Б. Ф. Лісознавство: підруч. Чернівці : Зелена Буковина, 2001. 352 с.
145. Швиденко А. Й., Тереля І. П., Зарубенко Р. Г. Структура пихтовых лесов и их распространение в Закарпатье. *География и природные ресурсы*. 1983. №3. С. 147–150.
146. Швиденко А. Й. Пихта белая на Буковине. Ужгород : Карпати, 1967. 90 с.
147. Швиденко А. Й. Пихтовые леса Украины. Львов : Вища школа, 1980. 192 с.
148. Шевченко С. В. Прикарпатские пихтовые дубравы и пути их восстановления. *Лесное хозяйство*. 1952. № 9. 8 с.
149. Юськевич Т. В., Тереля І. П. Щільність деревини лісових хвойних видів України. *Наук. вісн. НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.16. С. 27–31.
150. Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. Москва – Ленинград : АН СССР, 1954. 337 с.
151. Яцик Р. М., Бродович Р. І., Гаврусевич А. М. Проблеми відновлення та розведення лісів у Карпатському регіоні України і прилеглих територій. Івано-Франківськ, 1997. 46 с.

152. Яцик Р. М., Гайда Ю. І., Случик В. М. Основи генетики й селекції лісових рослин : навч. посіб. Тернопіль : Підручники і посібники, 2012. 287 с.
153. Ajdinaj D., Lato E., Quku D., Cota H. Modification of some Albanian wood properties through chemical treatment. *International Journal of Physical Sciences*. 2013. Vol. 8(9). P. 356–361.
154. Almeida G., Huber F., Perré P. Free shrinkage of wood determined at the cellular level using an environmental scanning electron microscope. *Ciencia y Tecnología*. 2014. 16(2). P. 187–198.
155. Badel E., Perre P. Using a digital X-ray imaging device to measure the swelling coefficients of a group of wood cells. *NDT&E International*. 2001. 34 (5). P. 345–353.
156. Baltunis B.S., Wu H. X., Powell M. B. Inheritance of density, microfibril angle, and modulus of elasticity in juvenile wood of *Pinus radiata* at two locations in Australia. *Can. J. For. Res.* 2007. 37(11). P. 2164–2174.
157. Barnett J., Jeronimidis G. Wood quality and its biological basis. Oxford: Blackwell, 2003. 226 p.
158. Barr J., Tippner J. J.; Rademacher P. Prediction of mechanical properties - Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity - of five tropical species by nondestructive methods. *Maderas-Cienc Tecnol*. 2015. 17(2). P. 239–252.
159. Beaulieu J., Zhang S. Y., Yu Q. B., Rainville A. Comparison between genetic and environmental influences on lumber bending properties in young white spruce. *Wood and Fiber Science*. 2006. N38. P. 553–564.
160. Bendtsen B. A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *For. Prod. J.* 1978. № 28. P. 61–71.
161. Bosshard H. H. Holzkunde. Zur Biologie, Physik, und Chemie des Holzes. Basel-Boston-Studgart : Birkhaeuser Verlag, 1984. Band 2. 312 S.
162. Bosshard H. H. Holzkunde: Mikroskopie und Makroskopie des Holzes. Basel : Birkhaeuser Verlag, 1982. 224 S.
163. Bowyer J. L., Shmulsky R., Haygreen J. G. Products and Wood Science. 5th Ed. Oxford : Blackwell, 2007. 576 p.

164. Carlquist S. J. Wood anatomy of Bruniaceae: Correlations with ecology, phylogeny, and organography. *Journal of Systematic and Evolutionary Botany*. 1978. V.9. N 2. P. 323–364.
165. Chauhan Sh., Sethy A. Differences in dynamic modulus of elasticity determined by three vibration methods and their relationship with static modulus of elasticity Maderas. *Ciencia y tecnología*. 2016. 18(2). P. 373–382.
166. Cho, C.L. 2007. Comparison of three methods for determining Young's modulus of wood. *Taiwan Journal of Forest Science*. 22. P. 297–306.
167. DIN 52184. Prüfung von Holz. Bestimmung der Quellung und Schwindung. Beuth Verlag: Berlin-Koeln, 1979. P. 11.
168. DIN 52186. Prüfung von Holz. Biegeversuch. Beuth Verlag: Berlin-Koeln, 1978. P. 7.
169. Divós F., Tanaka T. Relation Between Static and Dynamic Modulus of Elasticity of Wood. *Acta Silv. Lign. Hung.* 2005. Vol. 1. P. 105–110.
170. 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.
171. Durand-Gillmann M. , Cailleret M., Boivin T., Nageleisen L-M., Davi H. Individual vulnerability factors of Silver fir (*Abies alba* Mill.) to parasitism by two contrasting biotic agents: mistletoe (*Viscum album* L. ssp. *abietis*) and bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) during a decline process. *Annals of Forest Science*. – 2014. 71 (6). P. 659–673.
172. González-Rodrigo B. Estebande L.G., Palacios P., García-Fernández F., Guindeo A. Variation throughout the tree stem in the physical-mechanical properties of the wood of *Abies alba* Mill. from the Spanish Pyrenees. *Madera y Bosques*. 2013. 19(2). P. 87–107.
173. Gryc V., Vavrčík H., Horáček P. Variability in swelling of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) wood with the presence of compression wood. *J. For. Sci.* 2007. 53 (6). P. 243–252.

174. Hapla F., Kubalek S., Bak M., Németh R. Timber grade oriented analysis of *Abies grandis* trees' oven-dry density with different growth rates, part II.: Effect of the trees' social position in the forest on the variability of oven-dry density. *Wood Research*. 2014. 59 (2). P. 273–282.
175. Harris J. M. Spiral Grain and Wave Phenomena in Wood Formation. New York : Springer, 1989. 214 p.
176. Haygreen J. G., Bowyer J. L. Forest products and wood science. 3. ed. Iowa : Iowa State Univ. Pr., 1996. 484 S.
177. Hein S., Weiskittel A. R., Kohnle U. Effect of wide spacing on tree growth, branch and sapwood properties of young Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] in south-western Germany. *Eur. J. For. Res.* 2008. N127. P. 481–493.
178. Holz D., Kluck D. Einfluss von Faserwinkelabweichungen und Jahrringneigung auf akustisch wichtige Eigenschaften von Resonanzholz. *Holz-Zentbl.* 1997. Teil 1. № 123(37/38). P. 564–566.
179. 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.
180. Jaworski A. Hodowla lasu: Charakterystyka hodowlana drzew i krzewów leśnych. Warszawa: PWRiL, 2011. 556 s.
181. Kobal M., Grčman H., Zupan M., Levanič T., Simončič P., Kadunc A., Hladnik D. Influence of soil properties on Silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *Forest Ecology and Management*. 2015. 337. P. 77–87.
182. Kohl F. Furnier – Tradition, Netzwerk und Perspektiven. *Furnier Magazin*. – 2009. P. 32–49.
183. Kollmann F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe: Anatomie u. Pathologie, Chemie, Physik, Elastizität u. Festigkeit. Band 1. 2., Neubearb.. Berlin: Springer, 1982. 1050 S.
184. Köstler J. N., Brückner E., Bibelriether H. Die Wurzeln der Waldbäume. Hamburg-Berlin: Verlag Paul Parey, 1968. 284 S.

185. Krzysik F. Nauka o drewnie. Warszawa : PWN, 1978. 653 s.
186. Kutschera L. Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. Frankfurt/M.: DLG-Verlags-G.m.b.H., 1960. 574 S.
187. Lachenbruch B., Johnson G. R., Downes G. M. Relationships of density, microfibril angle, and sound velocity with stiffness and strength in mature wood of Douglas-fir. *Can. J. For. Res.* 2010. 40. P. 55–64.
188. Larjavaara M., Muller-Landau HC. Rethinking the value of high wood density. *Funct. Ecol.* 2010. 24. P. 701–705.
189. Leban J. M., Duchanois G. Modelling wood quality – new software – SIMQUA. *Ann. For. Sci.* 1990. 47. P. 483–493.
190. Lemieux H., Usenius A. , Samson M. A method for the characterization of knots in logs. *For. Prod. J.* 1997. 47. P. 57–62.
191. Likhanov A. F., Sereda O. V., Gryb V. M., Melnyk V. I., Osadchuk L. S., Yuskevych T. Biochemical markers of vital biodestruction in common oak (*Quercus robur*). *Biosystems Diversity.* 2019. 27(4). P. 314–321.
192. Liu C. M., Zhang S. Y., Cloutier A., Rycabel T. Modeling lumber bending stiffness and strength in natural black spruce stands using stand and tree characteristics. *For. Ecol. Manag.* 2007. 242(2–3). P. 648–655.
193. Longuetaud F. , Mothe F., Fournier M., Dlouha J., Santenoise Ph., Deleuze Ch. Within-stem maps of wood density and water content for characterization of species: a case study on three hardwood and two softwood species. *Annals of Forest Science.* 2016. 73. P. 601–614.
194. Lukašek J., Zeidler A., Barcik S. Shrinkage of grand fir wood and its variability within the stem. *Drvna Industrija.* 2012. 63 (2). P. 121–128.
195. Macdonald E., Hubert Ja. A review of the effects of silviculture on timber quality of Sitka spruce. *Forestry.* 2002. 75 (2). P. 107–138.
196. Machado J. S., Cruz H. P. Within stem variation of maritime pine timber mechanical properties. *Holz Als Roh-und Werkstoff.* 2005. 63. P. 154–159.
197. Muck P., Borchert H., Elling W., Hahn J., Immler T., Konnert M., Walentowski H., Walter A. Die Weisstanne – ein Baum mit Zukunft. *LWF.* 2008. N67. S. 56–58.

198. Mvolo C. S., Koubaa A., Beaulieu J. Cloutier A., Mazerolle M. Variation in Wood Quality in White Spruce (*Picea Glauca* (Moench) Voss). Part I. Defining the juvenile–mature wood transition based on tracheid length. *Forests*. 2015. 6. P. 183–202.
199. Niemz P. *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Stuttgart : DRW, 1993. 243 S.
200. Niemz P., Sonderegger W. Untersuchungen zur Korrelation ausgewählter Holzeigenschaften untereinander und mit der Rohdichte unter Verwendung von 103 Holzarten. *Schweiz. Zeitschr. für Forstw.* 2003. 154(12). P. 489–493.
201. Normen für Holz: DIN-Taschenbuch 31. 8te Aufl. Berlin: Beuth, 2009. 604 S.
202. Noskowiak A., Pajchrowski G., Szumiński G., Jabłoński L. Technical characteristics of Silver fir wood (*Abies alba* Mill.) harvested in the Carpathian natural-forest region. *Forestry and Wood Technology*. 2013. 83. P. 279–282.
203. Osazuwa-Peters OL., Wright SJ., Zanne AE. Radial variation in wood specific gravity of tropical tree species differing in growth–mortality strategies. *Am J Bot.* 2014. 101. P. 803–811.
204. Panshin A. J., Zeeuw De C. *Textbook of wood technology*. New York : McGraw-Hill, 1980. 722 p.
205. Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. Kształtowanie cen oraz metody sprzedaży surowca cennego w Polsce. *Sylwan*. 2015. 159 (4). S. 267–277.
206. Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. Obrót surowcem drzewnym najwyższych klas jakości w Polsce. *Sylwan*. 2015. 159 (2). S. 91–102.
207. Paschalis-Jakubowicz P., Kulik P., Lachowicz H. Potencjalna ilość surowca drzewnego najwyższych klas jakości w Polsce. *Sylwan*. 2015. 159 (3). S. 188 – 200.
208. *Quality Control for Wood and Wood Products: The first conference COST E 53, (Warsaw. 15th–17th Oct., 2007) / Edited by M. Grześkiewicz. Warsaw : University of Life Sciences, 2007. 173 p.*

209. Rafsanjani A., Stiefel M., Jefimovs K., Mokso R., Derome D., Carmeliet J. Hygroscopic swelling and shrinkage of latewood cell wall micropillars reveal ultrastructural anisotropy. *J. R. Soc. Interface*. 2014. N11. P. 1–10.
210. Ross R. J. Nondestructive evaluation of wood: second edition. General Technical Report FPL-GTR-238. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2015. 169 p.
211. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. Wood modification technologies – a review. *iForest*. 2017. 10. P. 895–908.
212. Schütt P., Schuck H., Stimm B. Lexikon der Forstbotanik: Baum und Straucharten, Waldpflanzen, mikroorganismen, Ökosysteme. Landesberg : Ecomed, 1992. 550 S.
213. Schweingruber F. H., Boerner A., Schulze E.-D. Atlas of Wood Plants Stems: Evolution, Structure and Environmental Modifications. 2<sup>nd</sup> Edit. Berlin : Springer, 2008. 229 p.
214. Solla A., Sánchez-Miranda Á., Camarero J. J. Radial-growth and wood anatomical changes in *Abies alba* infected by *Melampsorella caryophyllacearum*: a dendroecological assessment of fungal damage. *Ann. For. Sci.* 2006. 63. P. 293– 300.
215. Sopushynskyy I., Vintoniv I., Teischinger A., Michalak R. The Influence of Site factors on wood density and moisture content of beech in the Ukrainian Carpathians. *Wood Research*. 2005. 50 (1). P. 43–49.
216. Sopushynskyy I., Kharyton I., Teischinger A., Mayevskyy V., Hrynyk H. Wood density and annual growth variability of *Picea abies* (L.) Karst. growing in the Ukrainian Carpathians. *European Journal Wood Products*. 2017. 75 (3). P. 419–428.
217. Sopushynskyy I., Maksymchuk R., Tymochko I., Bardarov N. Some features of timber quality of *Betula pendula* Roth. growing in Carpathian Agroforestry. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design*, 2018. 1. P. 52 – 56

218. Sopushynskyy I., Petkova K., Zayachuk V., Mandzyuk R., **Maksymchuk R.** Silvicultural characteristics of *Eucommia ulmoides* Oliv. growing in Ukrainian Precarpathians. *COST Action FP1403 NNEXT: Intern. conf. non-native tree species for European forests* (Vienna, 12–14 Sept. 2018.). Vienna, 2018. P. 93.
219. Sopushynskyy I., Zayachuk V., Bardarov N., Sopushynskyy M., Maksymchuk R. Some features of timber quality of *Betula pendula* Roth growing in Carpathian agroforestry. *Іновациі в горській промисленості та інженерній дизайні: тез. доп. інтер. научно-техн. конф.* (Софія, 3–5 нояб. 2016.). Sofia, 2016. С. 41.
220. Sopushynskyy I., Ray C. D., Zayachuk V., Zhmurko S., Kharyton I., Sopushynskyy M., Maksymchuk R., Hrymenchuk I. Silvicultural assessment of natural coppice forests: a case study relating to coppice management by rural communities in the Ukrainian Subcarpathians. *Coppice forests in Europe: ecosystem services, protection and nature conservation: intern.conf. within COST Action FP1301 EuroCoppice* (Antwerpen, 16–17 June 2016). Antwerpen, 2016. P. 37.
221. Torelli N., Trajkovic J., Sertic V. Influence of phenolic compounds in heartwood of Silver fir (*Abies alba* Mill.) on the equilibrium moisture content. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 2006. 64. P. 341–342.
222. Valuable broadleaved forests in Europe / Editor H. Spiecker et al. Leiden : Martinus Nijhoff Publisher, 2009. 256 p.
223. 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.
224. Vobolis J., Albrektas D. Comparison of viscous elastic properties in wood of leaf and coniferous tree. *Material Science*. 2007. 13(2). P. 147–151.
225. Wagenführ R. *Holzatlas* 6. Aufl. Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 2007. 816 S.
226. Wasik R., Michalec K., Barszcz A. The variability of certain macrostructural features and the density of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) wood from selected stands in southern Poland. *Drewno*. 2015. 58 (195). P. 45–58.

227. Wheeler E. A., Baas P., Gasson P. E. IAWA of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin*. 1989. V. 10(3). P. 221–332.
228. White T. L., Adams W. T., Neale D. B. *Forest Genetics*. Cambridge : CABI, 2007. 704 p.
229. Wolf H. Technical Guidelines for genetic conservation and use for Silver fir (*Abies alba*). Rome: EUFORGEN, 2003. 6 p.
230. Zhang S. Y. Wood quality: its definition, impact and implications for value-added timber management and end uses. *In timber management toward wood quality and end-product value: proceedings of the CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop. Part I.* (Quebec, August 18-22, 1997). Quebec, 1997. P. 17– 39.
231. Zimmermann MH., Brown C. *Trees: structure and function*. New York : Springer, 1971. 336 p.
232. Zobel B. J. The changing quality of the world wood supply. *Wood Science and Technology*. 1984. 18. P. 1–17.
233. Zobel B. J., van Buijtenen J. P. *Wood variation, its causes and control*. New York : Springer, 1989. 363 p.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

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

1. Лісництво	Долішньо-Шепітське
2. Квартал, літер ділянки	22, 8
3. Номер пробної площі / площа проби	ПП-1 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	750
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	<b>5Яцб3Бкл2Ялє</b> / 107 р. / I / 0,80
7. Підлісок	ліщина звичайна, жимолость чорна, вовче лико, таволга в'язолиста, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий
9. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчук жовтий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	27, 20
3. Номер пробної площі / площа проби	ПП-2 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	866
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	<b>6Яцб2Ялє2Бкл+Яв</b> / 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. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчук жовтий, чорниця, безщитник жіночий, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Долішньо-Шепітське
2. Квартал, літер ділянки	24, 9
3. Номер пробної площі / площа проби	ПП-3 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	865
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	<b>5Яцб3Ялє2Бкл</b> / 107 р. / I / 0,70
7. Підлісок	ліщина звичайна, жимолость чорна, таволга в'язолиста, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надґрунтовий покрив	зеленчук жовтий, чорниця, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	37, 16
3. Номер пробної площі / площа проби	III-4 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	1045
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , 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. Надґрунтовий покрив	зеленчук жовтий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	27, 3
3. Номер пробної площі / площа проби	III-5 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	1000
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , 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. Надґрунтовий покрив	зеленчук жовтий, ожина шорстка, безщитник жіночий, живокіст серцевидний,
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Долішньо-Шепітське
2. Квартал, літер ділянки	24, 10
3. Номер пробної площі / площа проби	III-6 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	922
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб2Ялє2Бкл / 117 р. / I / 0,70
7. Підлісок	ліщина звичайна, жимолость чорна, вовче лико, таволга в'язолиста, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий
9. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчук жовтий, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Долішньо-Шепітське
2. Квартал, літер ділянки	38, 22
3. Номер пробної площі / площа проби	III-7 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	800
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	5Яцб4Ялє1Бкл / 95 р. / I / 0,65
7. Підлісок	бузина чорна, ліщина звичайна, жимолость чорна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий
9. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, переліска багаторічна, зеленчук жовтий, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Гірсько-Кутське
2. Квартал, літер ділянки	3, 3
3. Номер пробної площі / площа проби	III-8 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	825
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	6Яцб3Бкл1Ялє+Яв / 130 р. / I / 0,40
7. Підлісок	вовче лико, таволга в'язолиста, бузина чорна, ліщина звичайна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, зеленчук жовтий, безщитник жіночий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Гірсько-Кутське
2. Квартал, літер ділянки	2, 2
3. Номер пробної площі / площа проби	III-9 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	900
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С <sub>3</sub> , волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	4Яцб3Ялє3Бкл + Яв / I / 0,50
7. Підлісок	жимолость чорна, таволга в'язолиста, бузина чорна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надґрунтовий покрив	переліска багаторічна, зеленчук жовтий, живокіст серцевидний, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Гірсько-Кутське
2. Квартал, літер ділянки	44, 3
3. Номер пробної площі / площа проби	III-10 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	790
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С3, волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	<b>бЯцбЗЯлє1Бкл + Яв</b> / 106 р. / I / 0,65
7. Підлісок	жимолость чорна, бузина чорна, ліщина звичайна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, зеленчук жовтий, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

1. Лісництво	Лопушнянське
2. Квартал, літер ділянки	31, 6
3. Номер пробної площі / площа проби	III-11 / 1,0 га
4. Висота над рівнем моря, м	985
5. Тип лісорослинних умов, тип лісу	С3, волога смереково-букова суяличина
6. Склад насадження / вік / бонітет / повнота	<b>бЯцбЗБкл1Ялє+Яв</b> / 105 р. / I / 0,70
7. Підлісок	таволга в'язолиста, бузина чорна, ліщина звичайна
8. Підріст	ялиця біла, ялина європейська, бук лісовий, клен-явір
9. Надґрунтовий покрив	квасениця звичайна, безщитник жіночий, ожина шорстка
10. Ґрунти	бурі гірсько-піщані

## Додаток Б

## Вимірювання показників макроструктури деревини

РК	1			2			3			4		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	2,00	0,90	1,10	2,10	1,10	1,00	3,00	1,55	1,45	1,30	0,12	1,18
2	2,30	1,04	1,26	1,95	0,90	1,05	2,80	1,13	1,67	1,83	0,51	1,32
3	1,80	0,95	0,85	2,00	1,10	0,90	2,80	1,10	1,70	1,35	0,51	0,84
4	1,00	0,55	0,45	1,30	0,40	0,90	2,20	1,00	1,20	0,98	0,31	0,67
5	2,80	0,93	1,87	2,50	0,61	1,89	3,42	1,00	2,42	2,00	0,35	1,65
6	0,98	0,18	0,80	1,00	0,19	0,81	1,10	0,23	0,87	0,90	0,60	0,30
7	1,70	0,31	1,39	2,10	0,40	1,70	2,70	0,37	2,33	1,82	0,46	1,36
8	1,70	0,50	1,20	1,80	0,50	1,30	2,40	0,70	1,70	1,60	0,30	1,30
9	2,00	0,80	1,20	1,20	0,30	0,90	1,60	0,40	1,20	2,10	0,80	1,30
10	2,70	0,70	2,00	5,30	0,70	4,60	6,00	0,90	5,10	4,60	1,40	3,20
11	4,30	2,90	1,40	1,70	0,50	1,20	2,00	0,80	1,20	1,80	0,60	1,20
12	3,80	2,80	1,00	1,90	0,90	1,00	2,20	1,00	1,20	1,80	0,70	1,10
13	2,70	0,70	2,00	5,30	0,70	4,60	6,00	0,90	5,10	4,60	1,40	3,20
14	3,00	0,30	2,70	2,70	0,80	1,90	2,00	0,43	1,57	2,53	0,50	2,03
15	3,60	1,10	2,50	3,65	1,30	2,35	2,60	1,00	1,60	3,30	1,10	2,20
16	4,30	2,90	1,40	1,70	0,50	1,20	2,00	0,80	1,20	1,80	0,60	1,20
17	2,03	0,90	1,13	2,35	0,41	1,94	1,90	0,72	1,18	1,00	0,52	0,48
18	2,10	1,00	1,10	1,80	0,60	1,20	2,10	1,00	1,10	1,50	0,47	1,03
19	2,70	0,60	2,10	2,65	0,92	1,73	2,00	0,60	1,40	2,30	0,70	1,60
20	3,00	1,10	1,90	2,60	1,23	1,37	2,00	1,00	1,00	2,73	1,00	1,73
21	2,90	1,80	1,10	1,30	0,22	1,08	1,60	0,34	1,26	1,28	0,08	1,20
22	1,90	0,30	1,60	2,90	0,35	2,55	3,00	0,70	2,30	3,90	0,80	3,10
23	1,85	0,80	1,05	1,30	0,60	0,70	1,84	0,35	1,49	4,00	0,90	3,10
24	1,90	0,30	1,60	2,30	0,60	1,70	2,20	0,70	1,50	1,60	0,20	1,40
РК	1			2			3			4		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	1,30	0,30	1,00	1,40	0,30	1,10	2,00	0,50	1,50	1,10	0,30	0,80
2	1,20	0,30	0,90	1,20	0,40	0,80	1,90	0,90	1,00	1,10	0,40	0,70
3	1,40	0,60	0,80	1,70	0,70	1,00	1,90	0,80	1,10	1,20	0,20	1,00
4	1,20	0,50	0,70	1,90	0,60	1,30	1,40	0,50	0,90	2,30	0,60	1,70
5	1,40	0,60	0,80	1,70	0,70	1,00	1,10	0,30	0,80	2,00	0,60	1,40
6	1,30	0,70	0,60	1,40	0,80	0,60	2,60	1,10	1,50	1,00	0,40	0,60
7	1,10	0,40	0,70	1,10	0,60	0,50	2,00	0,90	1,10	1,10	0,50	0,60
8	1,00	0,60	0,40	1,00	0,30	0,70	1,70	0,90	0,80	0,90	0,30	0,60
9	1,20	0,50	0,70	1,90	0,70	1,20	1,10	0,40	0,70	1,40	0,50	0,90
10	1,20	0,50	0,70	1,30	0,50	0,80	1,80	0,60	1,20	1,20	0,40	0,80
11	1,90	0,30	1,60	2,30	0,60	1,70	2,20	0,70	1,50	1,60	0,20	1,40
12	1,63	0,80	0,83	1,20	0,42	0,78	1,30	0,35	0,95	1,20	0,47	0,73
13	1,63	0,80	0,83	1,00	0,21	0,79	1,07	0,50	0,57	1,10	0,43	0,67
14	2,00	0,90	1,10	1,80	0,60	1,20	2,50	1,00	1,50	1,90	0,90	1,00
15	1,40	0,60	0,80	1,70	0,70	1,00	1,10	0,30	0,80	2,00	0,60	1,40
16	1,00	0,30	0,70	1,50	0,60	0,90	1,00	0,20	0,80	1,30	0,60	0,70
17	1,20	0,36	0,84	1,10	0,20	0,90	1,41	0,50	0,91	1,00	0,21	0,79
18	1,20	0,61	0,59	1,50	0,92	0,58	1,71	0,80	0,91	1,52	0,50	1,02
19	1,93	0,90	1,03	1,07	0,40	0,67	1,40	0,30	1,10	0,90	0,37	0,53
20	1,20	0,70	0,50	1,20	0,52	0,68	1,90	0,81	1,09	1,10	0,30	0,80
21	1,80	0,40	1,40	1,75	0,60	1,15	1,10	0,35	0,75	1,70	0,30	1,40
22	1,10	0,20	0,90	1,20	0,15	1,05	1,00	0,23	0,77	1,60	0,30	1,30
23	1,30	0,60	0,70	1,20	0,50	0,70	1,80	0,90	0,90	1,50	0,50	1,00
24	1,90	0,30	1,60	1,30	0,20	1,10	1,00	0,28	0,72	1,50	0,32	1,18

## Продовж. додаток Б

PK	5			6			7			8		
МД	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^x_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^x_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{річн.кіл.}}$	$S^x_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^x_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{річн.кіл.}}$
1	2,50	0,90	1,60	2,10	0,40	1,70	2,30	0,60	1,70	2,90	1,10	1,80
2	2,41	0,90	1,51	2,95	1,07	1,88	2,83	1,00	1,83	2,79	1,00	1,79
3	2,32	1,00	1,32	2,30	0,41	1,89	2,15	0,90	1,25	3,05	1,00	2,05
4	1,80	0,52	1,28	2,15	0,90	1,25	2,40	0,93	1,47	2,31	0,90	1,41
5	2,63	1,00	1,63	2,90	1,00	1,90	3,12	1,53	1,59	3,13	1,38	1,75
6	1,10	0,40	0,70	1,12	0,35	0,77	1,65	0,70	0,95	1,50	0,80	0,70
7	2,15	0,41	1,74	2,73	0,88	1,85	2,61	0,52	2,09	3,00	0,92	2,08
8	2,20	0,70	1,50	2,60	0,60	2,00	2,60	0,90	1,70	2,90	0,60	2,30
9	2,10	0,80	1,30	2,50	0,90	1,60	2,80	0,80	2,00	3,40	1,00	2,40
10	4,80	0,80	4,00	5,90	1,80	4,10	4,90	0,90	4,00	3,10	0,60	2,50
11	2,00	0,90	1,10	1,90	0,80	1,10	1,60	0,70	0,90	2,20	0,70	1,50
12	2,00	0,90	1,10	2,00	1,00	1,00	1,90	0,80	1,10	2,20	0,70	1,50
13	4,80	0,80	4,00	5,90	1,80	4,10	4,90	0,90	4,00	3,10	0,60	2,50
14	4,00	0,80	3,20	3,50	0,70	2,80	3,70	0,80	2,90	4,40	1,00	3,40
15	3,40	1,10	2,30	3,90	1,40	2,50	3,80	1,10	2,70	4,20	1,40	2,80
16	2,00	0,90	1,10	1,90	0,80	1,10	1,60	0,70	0,90	2,20	0,70	1,50
17	1,27	0,50	0,77	1,35	0,48	0,87	1,21	0,37	0,84	1,57	0,60	0,97
18	1,60	0,75	0,85	1,80	0,90	0,90	2,00	0,73	1,27	1,80	0,74	1,06
19	3,00	0,95	2,05	3,12	1,00	2,12	3,00	1,00	2,00	3,80	1,82	1,98
20	3,21	1,20	2,01	4,00	1,30	2,70	2,10	1,70	0,40	4,22	1,80	2,42
21	1,30	0,20	1,10	2,04	0,40	1,64	1,96	0,26	1,70	1,80	0,23	1,57
22	3,10	1,00	2,10	2,70	0,40	2,30	4,00	0,60	3,40	4,10	0,50	3,60
23	3,00	1,00	2,00	3,50	1,57	1,93	2,20	0,75	1,45	3,90	1,20	2,70
24	3,10	0,50	2,60	2,00	0,30	1,70	3,40	0,90	2,50	4,00	0,90	3,10
PK	5			6			7			8		
МД	$S^n_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^n_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^n_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^n_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{річн.кіл.}}$	$\delta^n_{\text{пізн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$
1	1,50	0,50	1,00	1,90	0,50	1,40	1,70	0,40	1,30	2,70	0,60	2,10
2	1,50	0,40	1,10	1,90	0,80	1,10	1,90	1,00	0,90	2,00	1,10	0,90
3	1,90	0,60	1,30	1,80	0,50	1,30	2,10	0,70	1,40	3,10	0,50	2,60
4	2,00	0,50	1,50	2,90	0,80	2,10	1,90	0,70	1,20	2,20	0,50	1,70
5	2,10	0,40	1,70	2,30	0,70	1,60	2,00	0,70	1,30	2,10	0,60	1,50
6	1,90	0,90	1,00	2,00	0,90	1,10	1,80	0,70	1,10	2,20	0,80	1,40
7	1,30	0,50	0,80	2,00	0,90	1,10	2,10	0,90	1,20	2,10	0,70	1,40
8	1,20	0,60	0,60	1,60	0,50	1,10	1,10	0,30	0,80	2,00	0,60	1,40
9	1,60	0,60	1,00	1,30	0,40	0,90	2,20	0,60	1,60	2,00	0,60	1,40
10	1,50	0,50	1,00	1,60	0,50	1,10	1,60	0,70	0,90	2,10	0,80	1,30
11	3,10	0,50	2,60	2,00	0,30	1,70	3,40	0,90	2,50	4,00	0,90	3,10
12	1,75	0,30	1,45	1,80	0,40	1,40	1,45	0,50	0,95	2,10	0,90	1,20
13	1,20	0,95	0,25	2,40	0,93	1,47	2,31	0,90	1,41	2,81	1,00	1,81
14	2,00	1,00	1,00	2,30	1,00	1,30	2,30	1,00	1,30	2,80	1,00	1,80
15	2,10	0,40	1,70	2,30	0,70	1,60	2,00	0,70	1,30	2,10	0,60	1,50
16	1,40	0,30	1,10	1,20	0,40	0,80	1,30	0,40	0,90	1,60	0,80	0,80
17	1,07	0,50	0,57	1,10	0,43	0,67	1,20	0,95	0,25	1,20	0,52	0,68
18	1,63	0,91	0,72	1,81	1,00	0,81	1,21	0,92	0,29	1,60	0,95	0,65
19	1,05	0,50	0,55	1,00	0,42	0,58	1,10	0,50	0,60	1,34	0,61	0,73
20	1,40	0,60	0,80	1,70	0,62	1,08	1,95	0,92	1,03	1,80	0,85	0,95
21	1,26	0,23	1,03	2,00	0,60	1,40	1,70	0,30	1,40	2,00	0,50	1,50
22	1,50	0,30	1,20	1,80	0,80	1,00	2,00	0,75	1,25	1,70	0,50	1,20
23	1,40	0,60	0,80	1,90	0,60	1,30	1,60	0,70	0,90	1,80	0,90	0,90
24	1,10	0,23	0,87	2,10	0,40	1,70	2,00	0,34	1,66	1,40	0,25	1,15

## Продовж. додаток Б

РК	9			10			11			12		
МД	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.
1	3,00	1,00	2,00	4,00	1,90	2,10	2,20	0,98	1,22	2,70	0,70	2,00
2	3,20	1,02	2,18	3,53	1,15	2,38	2,02	0,57	1,45	2,07	0,48	1,59
3	3,00	0,95	2,05	3,12	1,00	2,12	2,40	1,00	1,40	2,10	0,61	1,49
4	2,81	1,00	1,81	2,95	2,22	0,73	2,91	1,00	1,91	2,23	0,81	1,42
5	3,09	1,00	2,09	4,05	1,48	2,57	3,10	1,30	1,80	3,90	1,02	2,88
6	2,00	0,63	1,37	2,80	0,90	1,90	2,60	1,00	1,60	2,90	1,06	1,84
7	3,00	1,00	2,00	3,00	1,21	1,79	4,51	1,00	3,51	3,55	1,00	2,55
8	2,90	0,50	2,40	3,00	0,70	2,30	2,70	0,60	2,10	2,20	0,50	1,70
9	3,10	1,10	2,00	3,10	1,00	2,10	4,20	1,20	3,00	3,20	1,70	1,50
10	4,50	0,90	3,60	4,70	0,80	3,90	4,70	1,00	3,70	2,90	0,50	2,40
11	1,90	0,90	1,00	1,80	0,80	1,00	2,00	1,10	0,90	2,00	1,20	0,80
12	2,00	0,40	1,60	2,40	0,80	1,60	2,40	0,70	1,70	2,50	0,60	1,90
13	4,50	0,90	3,60	4,70	0,80	3,90	4,70	1,00	3,70	2,90	0,50	2,40
14	1,10	0,30	0,80	1,40	0,60	0,80	1,70	0,62	1,08	1,95	0,92	1,03
15	1,00	0,52	0,48	1,27	0,50	0,77	1,35	0,48	0,87	1,21	0,37	0,84
16	1,90	0,90	1,00	1,80	0,80	1,00	2,00	1,10	0,90	2,00	1,20	0,80
17	1,20	0,54	0,66	1,90	0,72	1,18	1,70	0,83	0,87	1,25	0,57	0,68
18	1,42	0,60	0,82	1,80	0,62	1,18	1,30	0,43	0,87	1,10	0,83	0,27
19	2,00	0,35	1,65	2,63	1,00	1,63	2,90	1,00	1,90	3,12	1,53	1,59
20	0,98	0,31	0,67	1,80	0,52	1,28	2,15	0,90	1,25	2,40	0,93	1,47
21	2,20	0,36	1,84	2,12	0,42	1,70	1,70	0,33	1,37	1,34	0,14	1,20
22	1,00	0,21	0,79	1,07	0,50	0,57	1,10	0,43	0,67	1,20	0,95	0,25
23	1,52	0,50	1,02	1,63	0,91	0,72	1,81	1,00	0,81	1,21	0,92	0,29
24	2,30	0,60	1,70	1,40	0,20	1,20	3,90	1,00	2,90	2,80	0,90	1,90
РК	9			10			11			12		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	2,70	0,50	2,20	3,20	0,70	2,50	2,30	0,80	1,50	2,20	0,30	1,90
2	2,80	1,10	1,70	2,00	0,70	1,30	1,90	0,70	1,20	2,60	0,90	1,70
3	2,30	0,60	1,70	3,50	1,00	2,50	2,80	0,90	1,90	3,00	1,00	2,00
4	2,90	0,50	2,40	2,00	0,30	1,70	3,10	0,90	2,20	3,00	0,70	2,30
5	2,30	0,50	1,80	1,50	0,60	0,90	2,40	0,90	1,50	2,20	1,00	1,20
6	2,00	0,80	1,20	2,90	1,00	1,90	1,90	0,90	1,00	2,00	0,90	1,10
7	2,00	0,60	1,40	2,90	0,80	2,10	2,40	0,70	1,70	2,20	0,50	1,70
8	1,90	0,40	1,50	2,70	0,80	1,90	2,00	0,70	1,30	2,10	0,50	1,60
9	2,40	0,90	1,50	2,00	0,90	1,10	2,10	0,90	1,20	2,50	0,70	1,80
10	1,90	0,50	1,40	2,50	0,60	1,90	2,10	0,70	1,40	2,20	0,80	1,40
11	2,30	0,60	1,70	1,40	0,20	1,20	3,90	1,00	2,90	2,80	0,90	1,90
12	2,00	0,50	1,50	2,10	0,65	1,45	2,00	0,40	1,60	2,10	0,70	1,40
13	2,95	2,22	0,73	2,91	1,00	1,91	2,23	0,81	1,42	3,12	1,00	2,12
14	2,20	0,80	1,40	2,60	0,90	1,70	2,50	0,90	1,60	2,70	0,90	1,80
15	2,30	0,50	1,80	1,50	0,60	0,90	2,40	0,90	1,50	2,20	1,00	1,20
16	2,00	0,90	1,10	1,50	0,60	0,90	2,00	0,90	1,10	2,60	0,80	1,80
17	1,40	0,61	0,79	1,60	0,65	0,95	1,61	0,70	0,91	1,40	0,53	0,87
18	1,92	1,00	0,92	1,80	1,00	0,80	1,50	0,62	0,88	1,50	0,80	0,70
19	1,37	0,65	0,72	1,90	1,00	0,90	1,20	0,68	0,52	1,45	0,60	0,85
20	1,65	0,61	1,04	2,00	0,90	1,10	1,70	0,80	0,90	1,82	0,70	1,12
21	1,50	0,50	1,00	1,90	0,45	1,45	1,30	0,20	1,10	1,80	0,30	1,50
22	2,00	0,40	1,60	1,60	0,60	1,00	2,00	0,85	1,15	2,10	0,30	1,80
23	1,70	0,50	1,20	2,00	0,90	1,10	1,80	0,60	1,20	1,60	0,60	1,00
24	1,80	0,42	1,38	1,95	0,38	1,57	1,60	0,27	1,33	1,40	0,50	0,90

## Продовж. додаток Б

PK	13			14			15			16		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	3,00	1,10	1,90	1,40	0,20	1,20	3,10	1,30	1,80	2,95	1,20	1,75
2	2,85	0,63	2,22	1,35	0,31	1,04	3,60	0,85	2,75	3,15	1,10	2,05
3	2,93	0,90	2,03	1,95	0,52	1,43	3,05	1,00	2,05	4,00	1,33	2,67
4	3,12	1,00	2,12	1,81	0,79	1,02	3,09	1,00	2,09	3,25	1,00	2,25
5	6,00	2,32	3,68	2,43	2,00	0,43	3,88	1,80	2,08	3,70	1,46	2,24
6	4,70	1,70	3,00	3,30	1,80	1,50	5,01	2,07	2,94	4,30	1,70	2,60
7	2,46	1,00	1,46	3,93	1,54	2,39	3,10	1,03	2,07	1,97	0,62	1,35
8	2,60	0,30	2,30	1,60	0,40	1,20	2,00	0,60	1,40	2,60	0,60	2,00
9	3,90	1,50	2,40	3,10	1,00	2,10	2,60	0,80	1,80	1,90	0,30	1,60
10	2,60	0,20	2,40	4,00	0,20	3,80	2,50	0,30	2,20	2,20	0,40	1,80
11	2,70	1,20	1,50	2,10	0,80	1,30	3,90	2,00	1,90	3,20	1,30	1,90
12	2,50	1,00	1,50	2,20	0,60	1,60	3,90	2,70	1,20	3,40	1,60	1,80
13	2,60	0,20	2,40	4,00	0,20	3,80	2,50	0,30	2,20	2,20	0,40	1,80
14	1,80	0,85	0,95	1,65	0,61	1,04	2,00	0,90	1,10	1,70	0,80	0,90
15	1,57	0,60	0,97	1,20	0,54	0,66	1,90	0,72	1,18	1,70	0,83	0,87
16	2,70	1,20	1,50	2,10	0,80	1,30	3,90	2,00	1,90	3,20	1,30	1,90
17	2,00	0,60	1,40	1,15	0,32	0,83	2,00	0,67	1,33	2,00	0,91	1,09
18	1,92	0,67	1,25	1,37	0,40	0,97	2,37	1,00	1,37	2,24	1,00	1,24
19	3,13	1,38	1,75	3,09	1,00	2,09	4,05	1,48	2,57	3,10	1,30	1,80
20	2,31	0,90	1,41	2,81	1,00	1,81	2,95	2,22	0,73	2,91	1,00	1,91
21	3,30	1,18	2,12	1,80	0,36	1,44	4,10	1,80	2,30	2,40	1,10	1,30
22	1,20	0,52	0,68	1,40	0,61	0,79	1,60	0,65	0,95	1,61	0,70	0,91
23	1,60	0,95	0,65	1,92	1,00	0,92	1,80	1,00	0,80	1,50	0,62	0,88
24	2,00	0,80	1,20	2,20	0,50							
PK	13			14			15			16		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	2,90	0,40	2,50	1,50	0,30	1,20	2,60	0,60	2,00	2,60	0,50	2,10
2	1,70	0,60	1,10	2,70	0,90	1,80	3,40	1,00	2,40	2,10	0,70	1,40
3	2,90	0,50	2,40	2,00	0,40	1,60	3,70	1,00	2,70	4,10	1,60	2,50
4	1,70	0,30	1,40	1,80	0,30	1,50	2,60	0,50	2,10	1,90	0,40	1,50
5	1,10	0,40	0,70	1,40	0,40	1,00	1,80	0,60	1,20	1,50	0,50	1,00
6	2,50	0,90	1,60	1,90	1,00	0,90	3,10	1,10	2,00	3,00	1,40	1,60
7	2,90	0,90	2,00	1,80	0,80	1,00	2,60	0,80	1,80	2,90	0,80	2,10
8	2,30	0,70	1,60	1,70	0,60	1,10	2,90	1,00	1,90	2,80	1,10	1,70
9	1,40	0,40	1,00	2,20	0,80	1,40	2,40	1,00	1,40	1,20	0,40	0,80
10	2,60	0,70	1,90	1,90	0,30	1,60	3,10	1,00	2,10	3,60	1,00	2,60
11	2,00	0,80	1,20	2,20	0,50	1,70	2,80	0,70	2,10	2,60	0,60	2,00
12	1,70	0,30	1,40	2,90	0,60	2,30	2,50	0,70	1,80	1,80	0,30	1,50
13	1,81	0,79	1,02	5,01	2,07	2,94	4,30	1,70	2,60	2,40	1,13	1,27
14	3,20	1,00	2,20	2,30	0,90	1,40	3,23	1,10	2,13	3,70	1,50	2,20
15	1,10	0,40	0,70	1,40	0,40	1,00	1,80	0,60	1,20	1,50	0,50	1,00
16	1,50	0,50	1,00	2,60	1,00	1,60	2,50	1,10	1,40	1,70	0,50	1,20
17	2,10	0,85	1,25	1,37	0,50	0,87	2,25	1,00	1,25	2,10	1,10	1,00
18	2,10	0,85	1,25	1,20	0,50	0,70	2,20	0,90	1,30	2,00	0,90	1,10
19	1,95	0,70	1,25	1,70	0,68	1,02	3,30	1,20	2,10	2,00	1,00	1,00
20	2,06	0,92	1,14	1,15	0,30	0,85	2,25	1,10	1,15	1,90	1,00	0,90
21	2,20	0,25	1,95	1,40	0,40	1,00	2,70	0,60	2,10	2,30	0,80	1,50
22	1,00	0,20	0,80	2,90	1,00	1,90	2,20	0,70	1,50	2,00	0,60	1,40
23	2,10	0,80	1,30	1,50	0,50	1,00	2,00	1,00	1,00	2,20	1,00	1,20
24	2,10	0,40	1,70	1,80	0,82	0,98	2,80	0,90	1,90	2,40	1,00	1,40

## Продовж. додаток Б

PK	17			18			19			20		
МД	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$
1	1,30	0,20	1,10	2,07	0,40	1,67	2,65	0,30	2,35	2,00	0,90	1,10
2	1,37	0,30	1,07	2,70	1,00	1,70	3,50	1,10	2,40	2,50	1,00	1,50
3	2,10	0,81	1,29	2,30	0,91	1,39	3,00	1,00	2,00	2,00	0,70	1,30
4	2,20	0,78	1,42	2,91	0,52	2,39	3,00	0,90	2,10	2,27	0,95	1,32
5	2,90	0,85	2,05	2,30	0,40	1,90	3,90	1,30	2,60	3,00	1,07	1,93
6	2,40	1,13	1,27	2,20	0,95	1,25	3,40	0,90	2,50	2,47	1,00	1,47
7	2,40	0,86	1,54	3,42	1,01	2,41	2,52	0,95	1,57	2,10	0,88	1,22
8	1,80	0,40	1,40	1,90	0,30	1,60	2,80	0,20	2,60	2,50	0,40	2,10
9	3,30	0,80	2,50	2,70	0,60	2,10	2,10	0,40	1,70	2,70	0,60	2,10
10	1,90	0,30	1,60	1,80	0,20	1,60	1,50	0,20	1,30	1,50	0,20	1,30
11	3,70	2,50	1,20	3,60	1,30	2,30	2,10	0,50	1,60	2,00	1,70	0,30
12	3,00	1,00	2,00	4,00	1,60	2,40	3,10	1,10	2,00	1,40	0,40	1,00
13	1,90	0,30	1,60	1,80	0,20	1,60	1,50	0,20	1,30	1,50	0,20	1,30
14	1,82	0,70	1,12	2,06	0,92	1,14	1,15	0,30	0,85	2,25	1,10	1,15
15	1,25	0,57	0,68	2,00	0,60	1,40	1,15	0,32	0,83	2,00	0,67	1,33
16	3,70	2,50	1,20	3,60	1,30	2,30	2,10	0,50	1,60	2,00	1,70	0,30
17	1,90	0,40	1,50	2,40	0,77	1,63	3,30	1,27	2,03	2,62	1,00	1,62
18	2,00	0,85	1,15	2,00	0,80	1,20	2,45	1,00	1,45	1,63	0,80	0,83
19	3,90	1,02	2,88	6,00	2,32	3,68	2,43	2,00	0,43	3,88	1,80	2,08
20	2,23	0,81	1,42	3,12	1,00	2,12	1,81	0,79	1,02	3,09	1,00	2,09
21	3,20	1,24	1,96	2,10	0,40	1,70	2,05	1,05	1,00	1,92	0,80	1,12
22	1,40	0,53	0,87	2,10	0,85	1,25	1,37	0,50	0,87	2,25	1,00	1,25
23	1,50	0,80	0,70	2,10	0,85	1,25	1,20	0,50	0,70	2,20	0,90	1,30
24												
PK	17			18			19			20		
МД	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$
1	1,10	0,20	0,90	1,70	0,40	1,30	2,10	0,30	1,80	1,80	0,30	1,50
2	2,20	0,70	1,50	3,10	1,20	1,90	2,30	0,90	1,40	1,50	0,50	1,00
3	1,80	0,50	1,30	1,70	0,30	1,40	2,80	0,90	1,90	2,10	0,60	1,50
4	1,20	0,50	0,70	1,80	0,30	1,50	2,40	0,60	1,80	1,80	0,50	1,30
5	1,50	0,40	1,10	1,20	0,60	0,60	1,90	0,70	1,20	1,40	0,70	0,70
6	1,90	0,70	1,20	2,00	0,70	1,30	3,90	0,90	3,00	2,30	0,90	1,40
7	1,40	0,50	0,90	1,30	0,40	0,90	2,50	0,60	1,90	2,40	0,70	1,70
8	1,30	0,30	1,00	1,30	0,40	0,90	2,00	0,50	1,50	1,60	0,20	1,40
9	1,60	0,60	1,00	2,20	0,90	1,30	1,00	0,60	0,40	1,30	0,60	0,70
10	1,70	0,70	1,00	1,70	0,30	1,40	2,40	0,50	1,90	2,10	0,60	1,50
11	2,90	0,50	2,40	3,50	0,90	2,60	3,50	0,40	3,10	4,10	1,30	2,80
12	2,35	0,40	1,95	2,40	0,80	1,60	1,70	0,62	1,08	1,50	0,30	1,20
13	2,20	0,95	1,25	3,40	0,90	2,50	2,47	1,00	1,47	1,90	0,80	1,1
14	2,60	0,70	1,90	3,00	0,70	2,30	3,00	0,90	2,10	2,00	0,30	1,70
15	1,50	0,40	1,10	1,20	0,60	0,60	1,90	0,70	1,20	1,40	0,70	0,70
16	2,60	1,00	1,60	2,50	1,10	1,40	1,70	0,50	1,20	2,00	0,80	1,20
17	1,00	0,87	0,13	1,70	0,84	0,86	2,00	0,90	1,10	2,37	1,00	1,37
18	1,70	0,80	0,90	2,00	0,50	1,50	2,23	1,00	1,23	1,62	0,50	1,12
19	1,90	0,60	1,30	2,40	0,80	1,60	3,40	1,30	2,10	2,00	0,81	1,19
20	1,20	0,52	0,68	2,00	0,90	1,10	2,10	1,00	1,10	1,40	0,35	1,05
21	1,70	0,70	1,00	2,10	0,65	1,45	2,80	0,90	1,90	2,00	0,55	1,45
22	2,50	0,80	1,70	3,40	1,50	1,90	1,30	0,30	1,00	2,60	0,70	1,90
23	1,30	0,50	0,80	2,30	0,90	1,40	2,40	1,00	1,40	1,40	0,50	0,90
24	2,00	0,70	1,30	2,35	0,55	1,80	2,60	0,84	1,76	2,00	0,80	1,20

## Продовж. додаток Б

РК	21			22			23			24		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	1,90	0,40	1,50	3,00	1,00	2,00	3,20	0,40	2,80	3,10	1,30	1,80
2	2,60	0,52	2,08	3,00	1,00	2,00	4,00	1,00	3,00	2,90	1,00	1,90
3	2,00	0,72	1,28	2,40	0,33	2,07	3,16	1,00	2,16	3,25	1,20	2,05
4	1,91	0,46	1,45	2,21	0,85	1,36	2,25	0,90	1,35	2,72	0,95	1,77
5	2,93	1,20	1,73	3,12	1,00	2,12	2,91	1,00	1,91	3,10	1,05	2,05
6	1,90	0,80	1,10	2,03	0,70	1,33	2,93	0,97	1,96	1,80	1,00	0,80
7	2,96	0,95	2,01	3,21	1,00	2,21	3,52	1,00	2,52	4,03	1,00	3,03
8	2,10	0,50	1,60	2,30	0,30	2,00	2,90	0,40	2,50	2,80	0,50	2,30
9	2,40	0,60	1,80	3,10	0,80	2,30	3,50	0,80	2,70	3,60	1,00	2,60
10	2,00	0,30	1,70	2,60	0,60	2,00	3,10	0,60	2,50	3,10	0,20	2,90
11	3,80	1,80	2,00	3,00	1,80	1,20	2,10	0,90	1,20	2,00	0,60	1,40
12	1,80	0,90	0,90	3,20	1,00	2,20	2,20	0,70	1,50	2,30	1,20	1,10
13	2,00	0,30	1,70	2,60	0,60	2,00	3,10	0,60	2,50	3,10	0,20	2,90
14	1,90	1,00	0,90	1,20	0,52	0,68	2,00	0,90	1,10	2,10	1,00	1,10
15	2,00	0,91	1,09	1,90	0,40	1,50	2,40	0,77	1,63	3,30	1,27	2,03
16	3,80	1,80	2,00	3,00	1,80	1,20	2,10	0,90	1,20	2,00	0,60	1,40
17	2,00	0,90	1,10	3,00	0,90	2,10	2,42	0,85	1,57	1,70	0,62	1,08
18	1,34	0,80	0,54	2,40	1,00	1,40	2,20	0,73	1,47	1,72	0,80	0,92
19	3,70	1,46	2,24	2,90	0,85	2,05	2,30	0,40	1,90	3,90	1,30	2,60
20	3,25	1,00	2,25	2,20	0,78	1,42	2,91	0,52	2,39	3,00	0,90	2,10
21	3,00	1,25	1,75	2,10	0,70	1,40	1,60	0,80	0,80	3,00	1,00	2,00
22	2,10	1,10	1,00	1,00	0,87	0,13	1,70	0,84	0,86	2,00	0,90	1,10
23	2,00	0,90	1,10	1,70	0,80	0,90	2,00	0,50	1,50	2,23	1,00	1,23
24												
РК	21			22			23			24		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	1,20	0,30	0,90	1,80	0,40	1,40	2,10	0,40	1,70	1,50	0,50	1,00
2	2,50	0,60	1,90	2,70	0,80	1,90	2,20	0,80	1,40	2,70	1,10	1,60
3	1,30	0,30	1,00	2,10	0,40	1,70	2,50	0,60	1,90	2,00	0,20	1,80
4	2,10	0,60	1,50	1,90	0,30	1,60	2,90	0,50	2,40	3,00	0,30	2,70
5	1,70	0,50	1,20	1,70	0,50	1,20	2,20	0,80	1,40	2,70	0,50	2,20
6	2,20	0,90	1,30	1,40	0,60	0,80	2,00	0,80	1,20	2,40	0,90	1,50
7	2,00	0,60	1,40	2,40	0,70	1,70	2,70	0,70	2,00	2,10	0,80	1,30
8	1,00	0,30	0,70	1,30	0,30	1,00	2,00	0,30	1,70	1,30	0,20	1,10
9	1,40	0,60	0,80	2,00	0,50	1,50	1,50	0,70	0,80	1,40	0,60	0,80
10	1,40	0,40	1,00	2,00	0,40	1,60	2,50	0,60	1,90	1,80	0,50	1,30
11	3,80	0,90	2,90	3,10	0,70	2,40	3,80	1,10	2,70	3,70	1,00	2,70
12	2,10	0,70	1,40	1,90	0,50	1,40	1,30	0,30	1,00	1,30	0,40	0,90
13	2,03	0,70	1,33	3,00	1,07	1,93	2,93	1,20	1,73	3,12	1,00	2,12
14	2,00	0,70	1,30	3,00	1,00	2,00	2,50	0,90	1,60	1,90	0,60	1,30
15	1,70	0,50	1,20	1,70	0,50	1,20	2,20	0,80	1,40	2,70	0,50	2,20
16	2,00	0,70	1,30	1,50	0,50	1,00	1,10	0,60	0,50	1,30	0,50	0,80
17	2,00	0,72	1,28	1,50	0,70	0,80	1,73	0,80	0,93	1,80	0,88	0,92
18	1,70	0,45	1,25	2,60	1,00	1,60	2,20	1,00	1,20	1,90	0,95	0,95
19	1,75	0,90	0,85	2,12	0,80	1,32	2,04	0,80	1,24	1,85	0,80	1,05
20	1,00	0,31	0,69	1,50	0,50	1,00	1,62	0,70	0,92	1,30	0,60	0,70
21	1,90	0,25	1,65	3,20	0,60	2,60	3,00	0,40	2,60	1,20	0,20	1,00
22	3,00	1,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,10	0,80	1,30	2,80	0,70	2,10
23	1,10	0,40	0,70	2,90	2,70	0,20	1,60	0,50	1,10	1,40	0,50	0,90
24	1,90	0,40	1,50	2,90	0,60	2,30	3,30	0,80	2,50	2,90	0,80	2,10

## Продовж. додаток Б

PK	25			26			27			28		
МД	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$
1	3,30	1,10	2,20	3,20	0,45	2,75	4,30	0,50	3,80	4,10	1,10	3,00
2	2,95	1,05	1,90	2,50	0,21	2,29	4,10	0,47	3,63	3,20	1,00	2,20
3	3,10	1,00	2,10	3,00	0,90	2,10	3,50	1,00	2,50	3,50	1,00	2,50
4	2,81	0,60	2,21	3,00	0,80	2,20	3,00	0,52	2,48	4,00	1,00	3,00
5	4,00	1,22	2,78	3,77	1,30	2,47	3,92	1,00	2,92	3,90	1,00	2,90
6	3,30	1,10	2,20	2,10	1,00	1,10	3,98	0,93	3,05	4,45	1,15	3,30
7	3,60	1,00	2,60	4,50	1,41	3,09	4,02	1,00	3,02	3,80	1,12	2,68
8	3,20	0,40	2,80	3,00	0,60	2,40	3,60	0,70	2,90	3,80	0,60	3,20
9	4,00	1,00	3,00	3,20	1,10	2,10	3,10	1,00	2,10	2,80	0,80	2,00
10	3,50	0,40	3,10	4,10	0,80	3,30	3,30	0,60	2,70	2,80	0,30	2,50
11	2,10	0,70	1,40	2,90	1,50	1,40	4,20	2,10	2,10	3,60	1,40	2,20
12	2,10	0,80	1,30	2,00	0,40	1,60	3,30	1,50	1,80	4,60	2,70	1,90
13	3,50	0,40	3,10	4,10	0,80	3,30	3,30	0,60	2,70	2,80	0,30	2,50
14	1,40	0,35	1,05	1,00	0,31	0,69	1,50	0,50	1,00	1,62	0,70	0,92
15	2,62	1,00	1,62	2,00	0,90	1,10	3,00	0,90	2,10	2,42	0,85	1,57
16	2,10	0,70	1,40	1,30	0,60	0,70	1,40	0,50	0,90	1,60	0,80	0,80
17	2,00	0,70	1,30	2,50	1,00	1,50	3,80	1,72	2,08	2,61	1,00	1,61
18	2,00	1,00	1,00	2,90	1,00	1,90	3,25	1,00	2,25	3,00	1,10	1,90
19	3,00	1,07	1,93	2,93	1,20	1,73	3,12	1,00	2,12	2,91	1,00	1,91
20	2,27	0,95	1,32	1,91	0,46	1,45	2,21	0,85	1,36	2,25	0,90	1,35
21	3,00	1,50	1,50	1,50	0,80	0,70	1,30	0,60	0,70	2,00	0,70	1,30
22	2,37	1,00	1,37	2,00	0,72	1,28	1,50	0,70	0,80	1,73	0,80	0,93
23	1,62	0,50	1,12	1,70	0,45	1,25	2,60	1,00	1,60	2,20	1,00	1,20
24												
PK	25			26			27			28		
МД	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$
1	2,00	0,50	1,50	1,80	0,30	1,50	2,20	0,30	1,90	2,50	0,30	2,20
2	2,60	0,20	2,40	3,00	0,70	2,30	3,30	0,70	2,60	3,50	1,00	2,50
3	2,60	0,20	2,40	2,70	0,20	2,50	2,70	0,40	2,30	3,60	0,80	2,80
4	3,50	0,70	2,80	2,90	0,70	2,20	2,70	0,30	2,40	3,00	0,90	2,10
5	2,20	0,60	1,60	2,00	0,70	1,30	2,10	0,40	1,70	2,60	0,80	1,80
6	1,40	0,60	0,80	2,00	1,00	1,00	1,90	0,80	1,10	2,20	0,80	1,40
7	2,70	0,70	2,00	2,80	0,20	2,60	3,10	0,50	2,60	3,50	0,70	2,80
8	1,60	0,20	1,40	1,90	0,40	1,50	2,20	0,40	1,80	2,70	0,30	2,40
9	1,50	0,30	1,20	2,10	0,70	1,40	2,50	0,40	2,10	2,60	0,70	1,90
10	1,90	0,40	1,50	2,00	0,40	1,60	2,50	0,40	2,10	2,40	0,50	1,90
11	3,20	1,00	2,20	3,00	0,90	2,10	3,10	0,90	2,20	3,00	0,90	2,10
12	1,70	0,50	1,20	1,80	0,70	1,10	1,60	0,50	1,10	1,10	0,30	0,80
13	2,91	1,00	1,91	3,10	1,05	2,05	4,00	1,22	2,78	3,77	1,30	2,47
14	2,20	0,90	1,30	2,15	0,60	1,55	2,80	0,90	1,90	3,00	0,90	2,10
15	2,20	0,60	1,60	2,00	0,70	1,30	2,10	0,40	1,70	2,60	0,80	1,80
16	1,80	0,60	1,20	1,10	0,40	0,70	1,30	0,30	1,00	1,80	0,33	1,47
17	1,10	0,42	0,68	1,27	0,51	0,76	1,90	0,37	1,53	2,00	0,40	1,60
18	1,70	0,80	0,90	2,00	0,90	1,10	1,90	0,85	1,05	2,00	1,00	1,00
19	2,37	0,90	1,47	2,40	1,00	1,40	2,35	1,00	1,35	2,00	0,90	1,10
20	1,82	0,75	1,07	1,71	0,62	1,09	1,90	0,90	1,00	1,73	0,65	1,08
21	2,70	0,70	2,00	2,80	0,20	2,60	3,00	0,30	2,70	2,65	0,70	1,95
22	3,00	0,90	2,10	3,40	0,85	2,55	3,70	1,30	2,40	3,00	1,10	1,90
23	1,50	0,60	0,90	1,40	0,60	0,80	1,70	0,90	0,80	1,80	0,90	0,90
24	2,75	0,83	1,92	2,60	0,60	2,00	3,40	0,90	2,50	4,00	1,00	3,00

## Продовж. додаток Б

PK	29			30			31			32		
МД	$\delta^x$ пізн. дер.	$\delta^x$ ранн. дер.	$S^x$ річн. кіл.	$\delta^x$ пізн. дер.	$\delta^x$ ранн. дер.	$S^x$ річн. кіл.	$S^x$ річн. кіл.	$\delta^x$ пізн. дер.	$\delta^x$ ранн. дер.	$S^x$ річн. кіл.	$\delta^x$ пізн. дер.	$\delta^x$ ранн. дер.
1	4,00	1,10	2,90	4,00	0,90	3,10	3,00	0,90	2,10	2,90	1,30	1,60
2	3,85	1,05	2,80	2,97	1,00	1,97	2,22	0,80	1,42	2,60	0,95	1,65
3	3,60	0,10	3,50	3,00	1,00	2,00	3,81	1,50	2,31	3,32	1,15	2,17
4	3,00	1,00	2,00	2,90	0,80	2,10	3,95	0,82	3,13	4,07	1,00	3,07
5	4,00	1,30	2,70	3,12	1,00	2,12	3,15	1,00	2,15	3,60	1,10	2,50
6	4,15	1,17	2,98	3,00	0,96	2,04	3,90	1,00	2,90	3,60	1,12	2,48
7	3,00	0,67	2,33	3,00	0,90	2,10	3,90	1,21	2,69	3,85	1,00	2,85
8	3,90	0,70	3,20	3,20	0,50	2,70	3,10	0,60	2,50	2,90	0,30	2,60
9	3,10	0,70	2,40	3,40	0,90	2,50	3,00	0,80	2,20	3,00	0,90	2,10
10	2,70	0,30	2,40	3,20	0,50	2,70	2,60	0,50	2,10	2,30	0,30	2,00
11	3,00	1,00	2,00	2,40	1,00	1,40	3,10	1,70	1,40	2,10	1,00	1,10
12	4,20	2,20	2,00	3,80	2,10	1,70	2,70	1,10	1,60	2,80	1,60	1,20
13	2,70	0,30	2,40	3,20	0,50	2,70	2,60	0,50	2,10	2,30	0,30	2,00
14	1,30	0,60	0,70	1,82	0,75	1,07	1,71	0,62	1,09	1,90	0,90	1,00
15	1,70	0,62	1,08	2,00	0,70	1,30	2,50	1,00	1,50	3,80	1,72	2,08
16	1,80	0,70	1,10	1,80	1,10	0,70	1,60	1,10	0,50	1,60	0,90	0,70
17	2,30	1,00	1,30	2,00	0,80	1,20	1,80	0,51	1,29	1,90	0,60	1,30
18	3,70	1,40	2,30	2,81	0,60	2,21	2,90	1,07	1,83	2,42	1,10	1,32
19	3,10	1,05	2,05	4,00	1,22	2,78	3,77	1,30	2,47	3,92	1,00	2,92
20	2,72	0,95	1,77	2,81	0,60	2,21	3,00	0,80	2,20	3,00	0,52	2,48
21	1,10	0,30	0,80	1,90	0,90	1,00	2,13	0,93	1,20	2,40	0,90	1,50
22	1,80	0,88	0,92	1,10	0,42	0,68	1,27	0,51	0,76	1,90	0,37	1,53
23	1,90	0,95	0,95	1,70	0,80	0,90	2,00	0,90	1,10	1,90	0,85	1,05
24												
PK	29			30			31			32		
МД	$S^n$ річн. кіл.	$\delta^n$ пізн. дер.	$\delta^n$ ранн. дер.	$S^n$ річн. кіл.	$\delta^n$ пізн. дер.	$\delta^n$ ранн. дер.	$S^n$ річн. кіл.	$\delta^n$ пізн. дер.	$\delta^n$ ранн. дер.	$S^n$ річн. кіл.	$\delta^n$ пізн. дер.	$\delta^n$ ранн. дер.
1	2,60	0,70	1,90	2,00	0,30	1,70	1,90	0,40	1,50	2,50	0,80	1,70
2	2,90	0,50	2,40	3,00	1,00	2,00	3,20	1,30	1,90	2,90	1,10	1,80
3	3,40	0,70	2,70	2,90	0,70	2,20	3,50	0,90	2,60	4,20	1,90	2,30
4	2,40	0,60	1,80	2,10	0,80	1,30	2,10	0,70	1,40	2,10	0,50	1,60
5	1,80	0,30	1,50	2,00	0,70	1,30	1,80	0,70	1,10	2,00	0,60	1,40
6	2,50	0,30	2,20	2,60	0,80	1,80	1,50	0,20	1,30	2,00	0,50	1,50
7	3,80	1,30	2,50	3,20	0,60	2,60	2,90	0,40	2,50	3,50	0,90	2,60
8	2,40	0,50	1,90	2,00	0,30	1,70	2,10	0,30	1,80	3,00	1,20	1,80
9	2,10	0,50	1,60	1,90	0,60	1,30	2,70	1,00	1,70	1,90	0,60	1,30
10	2,30	1,10	1,20	2,60	0,40	2,20	2,60	0,30	2,30	2,90	0,70	2,20
11	3,60	0,80	2,80	3,80	1,10	2,70	4,20	1,10	3,10	3,90	0,40	3,50
12	0,90	0,20	0,70	0,50	0,15	0,35	0,30	0,10	0,20	0,30	0,15	0,15
13	3,92	1,00	2,92	3,90	1,00	2,90	4,00	1,30	2,70	3,12	1,00	2,12
14	3,20	1,00	2,20	2,30	0,70	1,60	2,00	0,80	1,20	1,30	0,50	0,80
15	1,80	0,30	1,50	2,00	0,70	1,30	1,80	0,70	1,10	2,00	0,60	1,40
16	2,30	0,60	1,70	2,80	0,80	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,10	1,90
17	2,50	1,00	1,50	2,53	0,80	1,73	2,75	1,00	1,75	2,11	1,10	1,01
18	2,40	1,00	1,40	2,33	1,00	1,33	2,35	1,00	1,35	2,30	1,00	1,30
19	2,15	0,90	1,25	1,72	0,80	0,92	1,90	0,55	1,35	2,00	0,60	1,40
20	2,00	0,80	1,20	1,95	0,70	1,25	1,92	0,80	1,12	1,90	0,80	1,10
21	2,80	1,40	1,40	3,20	0,50	2,70	2,90	0,45	2,45	2,7	0,50	2,20
22	2,90	0,80	2,10	3,00	1,00	2,00	2,10	0,90	1,20	1,90	1,00	0,90
23	2,00	0,50	1,50	1,80	0,40	1,40	1,90	0,60	1,30	1,70	0,60	1,10
24	3,10	1,10	2,00	3,30	1,80	1,50	2,60	0,78	1,82	2,00	0,95	1,05

## Продовж. додаток Б

PK	33			34			35			36		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	2,70	1,00	1,70	1,90	0,80	1,10	1,80	1,10	0,70	1,80	0,40	1,40
2	2,00	0,82	1,18	1,80	0,35	1,45	1,07	0,21	0,86	1,55	0,37	1,18
3	3,14	1,00	2,14	3,16	1,00	2,16	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00
4	3,41	1,00	2,41	3,82	1,00	2,82	3,53	0,62	2,91	3,60	1,00	2,60
5	3,10	1,07	2,03	3,30	1,25	2,05	3,20	0,90	2,30	3,20	0,80	2,40
6	3,70	1,08	2,62	3,10	1,00	2,10	3,50	0,90	2,60	3,01	1,00	2,01
7	3,12	1,00	2,12	3,91	1,90	2,01	3,00	1,00	2,00	3,97	1,13	2,84
8	2,70	0,80	1,90	2,90	0,60	2,30	3,00	0,70	2,30	3,20	0,90	2,30
9	3,10	1,00	2,10	3,10	1,00	2,10	3,80	0,80	3,00	3,90	0,90	3,00
10	2,90	0,50	2,40	3,50	0,50	3,00	2,40	0,30	2,10	1,90	0,20	1,70
11	2,10	1,10	1,00	0,70	0,30	0,40	0,60	0,40	0,20	0,50	0,20	0,30
12	1,50	0,60	0,90	1,70	1,00	0,70	0,50	0,20	0,30	0,70	0,30	0,40
13	2,90	0,50	2,40	3,50	0,50	3,00	2,40	0,30	2,10	1,90	0,20	1,70
14	1,73	0,65	1,08	2,00	0,80	1,20	1,95	0,70	1,25	1,92	0,80	1,12
15	2,61	1,00	1,61	2,30	1,00	1,30	2,00	0,80	1,20	1,80	0,51	1,29
16	1,30	1,00	0,30	3,10	1,00	2,10	1,80	0,70	1,10	1,80	1,10	0,70
17	1,92	0,86	1,06	1,26	0,35	0,91	1,20	0,40	0,80	1,00	0,32	0,68
18	2,00	1,00	1,00	1,33	0,90	0,43	1,20	0,36	0,84	1,20	0,42	0,78
19	3,90	1,00	2,90	4,00	1,30	2,70	3,12	1,00	2,12	3,15	1,00	2,15
20	4,00	1,00	3,00	3,00	1,00	2,00	2,90	0,80	2,10	3,95	0,82	3,13
21	1,90	0,50	1,40	1,60	0,70	0,90	2,10	0,95	1,15	2,00	1,10	0,90
22	2,00	0,40	1,60	2,50	1,00	1,50	2,53	0,80	1,73	2,75	1,00	1,75
23	2,00	1,00	1,00	2,40	1,00	1,40	2,33	1,00	1,33	2,35	1,00	1,35
24												
PK	33			34			35			36		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	2,10	0,70	1,40	2,10	0,80	1,30	2,00	0,40	1,60	2,00	0,40	1,60
2	2,70	1,20	1,50	2,40	0,60	1,80	2,20	0,60	1,60	2,00	0,50	1,50
3	3,10	0,50	2,60	3,00	0,90	2,10	2,80	0,90	1,90	2,90	0,80	2,10
4	2,00	0,60	1,40	3,10	0,90	2,20	3,80	1,10	2,70	3,90	0,90	3,00
5	1,80	0,30	1,50	2,10	0,60	1,50	2,90	0,70	2,20	2,70	0,80	1,90
6	2,20	0,80	1,40	1,80	0,60	1,20	1,70	0,70	1,00	1,30	0,60	0,70
7	3,10	0,80	2,30	3,00	0,80	2,20	2,90	0,80	2,10	2,30	0,70	1,60
8	2,10	0,70	1,40	2,00	0,70	1,30	1,80	0,50	1,30	1,80	0,40	1,40
9	2,10	1,20	0,90	1,70	0,70	1,00	2,20	0,60	1,60	1,90	0,60	1,30
10	2,60	0,60	2,00	2,40	0,50	1,90	2,10	0,60	1,50	2,70	0,70	2,00
11	4,00	1,20	2,80	3,90	1,10	2,80	4,00	1,10	2,90	3,20	1,00	2,20
12	0,50	0,20	0,30	0,20	0,07	0,13	0,30	0,10	0,20	0,40	0,20	0,20
13	3,15	1,00	2,15	3,60	1,10	2,50	3,10	1,07	2,03	3,30	1,25	2,05
14	1,10	0,40	0,70	0,70	0,50	0,20	0,60	0,20	0,40	0,50	0,20	0,30
15	1,80	0,30	1,50	2,10	0,60	1,50	2,90	0,70	2,20	2,70	0,80	1,90
16	2,90	0,90	2,00	2,20	0,85	1,35	2,00	0,90	1,10	1,40	0,30	1,10
17	1,88	0,90	0,98	3,40	1,67	1,73	1,00	0,60	0,40	1,48	1,00	0,48
18	2,08	1,00	1,08	1,75	0,90	0,85	1,51	0,62	0,89	1,35	0,71	0,64
19	2,10	1,93	0,17	1,90	0,80	1,10	4,05	0,57	3,48	1,20	0,35	0,85
20	1,74	0,80	0,94	1,45	0,80	0,65	1,10	0,50	0,60	1,30	0,41	0,89
21	2,80	0,80	2,00	2,00	0,90	1,10	1,50	0,50	1,00	1,40	0,30	1,10
22	1,90	0,60	1,30	1,60	0,30	1,30	1,80	0,50	1,30	2,10	0,40	1,70
23	1,50	0,60	0,90	1,20	0,70	0,50	1,30	0,50	0,80	1,30	0,60	0,70
24	1,80	0,50	1,30	1,50	0,20	1,30	2,00	0,40	1,60	2,20	0,32	1,88

## Продовж. додаток Б

PK	37			38			39			40		
МД	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$
1	1,20	0,20	1,00	1,00	0,15	0,85	2,90	1,20	1,70	3,00	1,00	2,00
2	1,07	0,40	0,67	1,20	0,27	0,93	3,45	1,10	2,35	3,81	1,00	2,81
3	3,01	1,00	2,01	3,00	0,98	2,02	4,00	1,60	2,40	4,30	1,75	2,55
4	3,40	0,75	2,65	4,00	1,31	2,69	5,00	2,00	3,00	5,12	2,00	3,12
5	2,40	1,00	1,40	2,90	0,80	2,10	4,00	1,00	3,00	4,18	1,10	3,08
6	3,60	1,02	2,58	4,00	1,10	2,90	4,15	1,20	2,95	5,10	1,90	3,20
7	4,00	1,15	2,85	4,91	1,90	3,01	4,45	1,55	2,90	4,30	1,07	3,23
8	2,90	0,60	2,30	2,90	0,60	2,30	3,70	0,80	2,90	3,40	0,60	2,80
9	4,30	1,10	3,20	4,80	1,20	3,60	4,00	0,40	3,60	4,90	1,00	3,90
10	2,80	0,70	2,10	2,50	0,30	2,20	3,40	0,70	2,70	2,00	0,60	1,40
11	0,80	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,60	0,20	0,40	0,50	0,30	0,20
12	0,60	0,40	0,20	0,80	0,40	0,40	0,50	0,20	0,30	0,70	0,30	0,40
13	2,80	0,70	2,10	2,50	0,30	2,20	3,40	0,70	2,70	2,00	0,60	1,40
14	1,90	0,80	1,10	1,74	0,80	0,94	1,45	0,80	0,65	1,10	0,50	0,60
15	1,90	0,60	1,30	1,92	0,86	1,06	1,26	0,35	0,91	1,20	0,40	0,80
16	1,60	1,10	0,50	1,60	0,90	0,70	1,30	1,00	0,30	3,10	1,00	2,10
17	1,00	0,45	0,55	1,05	0,37	0,68	1,60	0,71	0,89	1,45	0,50	0,95
18	1,10	0,32	0,78	1,51	0,40	1,11	2,00	1,00	1,00	2,70	1,10	1,60
19	3,60	1,10	2,50	3,10	1,07	2,03	3,30	1,25	2,05	3,20	0,90	2,30
20	4,07	1,00	3,07	3,41	1,00	2,41	3,82	1,00	2,82	3,53	0,62	2,91
21	2,90	1,15	1,75	3,00	1,30	1,70	2,20	0,90	1,30	4,10	1,85	2,25
22	2,11	1,10	1,01	1,88	0,90	0,98	3,40	1,67	1,73	1,00	0,60	0,40
23	2,30	1,00	1,30	2,08	1,00	1,08	1,75	0,90	0,85	1,51	0,62	0,89
24												
PK	37			38			39			40		
МД	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$
1	1,90	0,40	1,50	2,50	0,30	2,20	2,90	0,50	2,40	2,90	0,40	2,50
2	2,00	0,40	1,60	2,90	1,00	1,90	3,40	2,20	1,20	2,90	0,40	2,50
3	2,00	0,80	1,20	3,00	0,90	2,10	3,60	0,70	2,90	3,50	0,70	2,80
4	2,70	0,50	2,20	2,70	0,90	1,80	3,90	0,90	3,00	3,20	0,80	2,40
5	2,70	0,60	2,10	2,40	0,50	1,90	2,90	0,90	2,00	2,60	0,60	2,00
6	1,70	0,70	1,00	1,20	0,40	0,80	2,00	0,80	1,20	2,10	0,50	1,60
7	2,10	0,60	1,50	2,50	0,50	2,00	2,80	0,80	2,00	3,10	0,80	2,30
8	1,70	0,20	1,50	2,10	0,20	1,90	2,40	0,40	2,00	2,40	0,30	2,10
9	2,30	0,90	1,40	2,80	1,10	1,70	2,60	1,00	1,60	2,30	0,80	1,50
10	2,50	0,60	1,90	3,20	0,80	2,40	3,10	1,00	2,10	2,80	1,00	1,80
11	3,90	1,10	2,80	4,00	0,90	3,10	4,10	1,00	3,10	3,00	1,00	2,00
12	0,20	0,15	0,05	0,30	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,30	0,10	0,20
13	4,00	1,15	2,85	4,91	1,90	3,01	4,45	1,55	2,9	4,30	1,07	3,23
14	0,50	0,20	0,30	0,50	0,20	0,30	0,70	0,20	0,50	0,90	0,40	0,50
15	2,70	0,60	2,10	2,40	0,50	1,90	2,90	0,90	2,00	2,60	0,60	2,00
16	0,90	0,20	0,70	1,30	0,30	1,00	1,20	0,20	1,00	1,30	0,30	1,00
17	1,90	0,90	1,00	1,90	0,90	1,00	1,90	1,00	0,90	1,10	0,70	0,40
18	1,30	0,65	0,65	1,62	0,57	1,05	2,00	0,95	1,05	2,73	1,00	1,73
19	1,50	0,60	0,90	1,40	0,70	0,70	2,00	0,75	1,25	2,00	0,85	1,15
20	1,47	0,65	0,82	1,90	0,72	1,18	1,92	0,63	1,29	1,90	0,75	1,15
21	1,20	0,15	1,05	1,90	0,30	1,60	2,00	0,20	1,80	2,20	0,50	1,70
22	2,00	0,30	1,70	1,60	0,35	1,25	1,70	0,60	1,10	1,90	0,90	1,00
23	1,40	0,50	0,90	1,60	0,80	0,80	1,80	0,70	1,10	1,80	1,10	0,70
24	2,80	0,40	2,40	2,85	0,75	2,10	2,30	0,80	1,50	2,50	0,70	1,80

## Продовж. додаток Б

PK	41			42			43			44		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	2,30	0,20	2,10	2,70	0,45	2,25	3,00	1,00	2,00	3,00	0,90	2,10
2	3,05	1,00	2,05	3,00	1,00	2,00	3,80	0,90	2,90	2,91	1,00	1,91
3	3,00	0,90	2,10	3,61	1,13	2,48	4,00	1,20	2,80	5,00	1,51	3,49
4	4,05	2,00	2,05	4,25	2,00	2,25	4,20	1,81	2,39	5,00	1,90	3,10
5	4,00	1,15	2,85	4,70	1,40	3,30	4,20	1,80	2,40	4,70	1,60	3,10
6	4,00	1,43	2,57	4,90	2,10	2,80	5,50	2,00	3,50	5,60	2,20	3,40
7	4,00	1,00	3,00	5,00	1,80	3,20	5,60	1,51	4,09	5,52	1,00	4,52
8	3,80	0,20	3,60	3,80	0,80	3,00	4,50	0,90	3,60	4,90	0,90	4,00
9	5,10	1,00	4,10	5,40	0,90	4,50	5,30	0,90	4,40	5,10	1,00	4,10
10	3,60	0,70	2,90	4,00	1,10	2,90	4,80	1,10	3,70	4,00	0,70	3,30
11	0,80	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,60	0,40	0,20	0,50	0,20	0,30
12	0,60	0,40	0,20	0,80	0,40	0,40	0,50	0,20	0,30	0,70	0,30	0,40
13	3,60	0,70	2,90	4,00	1,10	2,90	4,80	1,10	3,70	4,00	0,70	3,30
14	1,30	0,41	0,89	1,47	0,65	0,82	1,90	0,72	1,18	1,92	0,63	1,29
15	1,00	0,32	0,68	1,00	0,45	0,55	1,05	0,37	0,68	1,60	0,71	0,89
16	2,80	0,60	2,20	2,10	0,60	1,50	3,00	1,20	1,80	3,10	1,20	1,90
17	1,57	0,52	1,05	1,48	0,70	0,78	1,64	0,50	1,14	1,30	0,35	0,95
18	1,90	0,44	1,46	1,70	0,36	1,34	1,81	0,75	1,06	1,80	0,50	1,30
19	3,20	0,80	2,40	2,40	1,00	1,40	2,90	0,80	2,10	4,00	1,00	3,00
20	3,60	1,00	2,60	3,40	0,75	2,65	4,00	1,31	2,69	5,00	2,00	3,00
21	3,10	1,30	1,80	3,80	1,70	2,10	3,40	1,30	2,10	3,20	1,10	2,10
22	1,48	1,00	0,48	1,90	0,90	1,00	1,90	0,90	1,00	1,90	1,00	0,90
23	1,35	0,71	0,64	1,30	0,65	0,65	1,62	0,57	1,05	2,00	0,95	1,05
24												
PK	41			42			43			44		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	2,60	0,30	2,30	2,60	0,50	2,10	2,90	0,40	2,50	2,80	0,60	2,20
2	2,70	0,50	2,20	2,90	0,60	2,30	3,00	0,60	2,40	3,00	0,90	2,10
3	3,00	0,30	2,70	3,00	0,90	2,10	2,70	0,70	2,00	2,40	0,80	1,60
4	4,00	1,60	2,40	4,80	1,30	3,50	5,10	1,70	3,40	4,60	1,10	3,50
5	2,10	0,50	1,60	2,90	0,60	2,30	3,10	1,00	2,10	3,00	1,00	2,00
6	2,70	0,70	2,00	2,60	1,10	1,50	2,80	1,10	1,70	3,50	1,00	2,50
7	3,10	0,30	2,80	3,10	0,70	2,40	3,60	1,20	2,40	2,80	0,80	2,00
8	2,50	0,40	2,10	2,30	0,40	1,90	2,90	0,40	2,50	2,50	0,70	1,80
9	2,40	0,80	1,60	3,00	1,00	2,00	2,50	0,80	1,70	2,30	0,90	1,40
10	3,10	0,50	2,60	2,90	0,70	2,20	3,40	0,80	2,60	3,10	0,60	2,50
11	3,30	0,90	2,40	2,90	0,80	2,10	3,70	0,50	3,20	2,10	0,60	1,50
12	0,50	0,20	0,30	0,60	0,30	0,30	1,20	0,30	0,90	2,30	0,90	1,20
13	4,00	1,00	3,00	5,00	1,80	3,2	5,60	1,51	4,09	5,52	1,00	4,52
14	0,80	0,30	0,50	0,80	0,40	0,40	0,90	0,40	0,50	0,90	0,30	0,60
15	2,10	0,50	1,60	2,90	0,60	2,30	3,10	1,00	2,10	3,00	1,00	2,00
16	1,40	0,40	1,00	1,20	0,30	0,90	1,30	0,35	0,95	1,25	0,25	1,00
17	1,10	0,50	0,60	1,10	0,60	0,50	1,50	0,80	0,70	1,80	0,70	1,10
18	1,90	0,78	1,12	1,45	0,58	0,87	1,33	0,61	0,72	1,61	0,50	1,11
19	1,70	0,80	0,90	1,82	0,80	1,02	1,40	0,40	1,00	1,00	0,37	0,63
20	1,70	0,83	0,87	1,15	0,30	0,85	1,30	0,51	0,79	2,00	1,00	1,00
21	2,00	0,40	1,60	2,10	0,35	1,75	1,50	0,40	1,10	2,00	0,60	1,40
22	2,10	0,40	1,70	2,40	0,90	1,50	2,10	0,60	1,50	3,30	0,90	2,40
23	1,60	1,10	0,50	1,60	0,90	0,70	1,30	1,00	0,30	3,10	1,00	2,10
24	2,50	0,55	1,95	2,10	0,50	1,60	2,60	0,80	1,80	3,00	0,90	2,10

## Продовж. додаток Б

PK	45			46			47			48		
МД	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$
1	3,00	0,80	2,20	3,00	1,80	1,20	2,80	1,70	1,10	3,10	1,00	2,10
2	2,50	0,71	1,79	3,00	0,97	2,03	3,52	1,00	2,52	3,40	1,00	2,40
3	3,70	1,08	2,62	3,97	0,95	3,02	4,00	1,41	2,59	3,91	1,45	2,46
4	4,82	1,11	3,71	4,00	1,16	2,84	4,42	1,79	2,63	5,00	1,52	3,48
5	4,00	1,10	2,90	4,00	0,90	3,10	4,60	1,25	3,35	4,60	1,50	3,10
6	5,10	1,70	3,40	5,00	1,20	3,80	5,70	1,50	4,20	6,00	2,20	3,80
7	5,61	1,00	4,61	6,30	1,05	5,25	6,00	2,00	4,00	4,80	0,95	3,85
8	4,30	0,80	3,50	4,70	0,80	3,90	5,40	0,90	4,50	5,70	0,80	4,90
9	6,00	1,20	4,80	6,20	1,60	4,60	4,40	1,10	3,30	5,30	1,10	4,20
10	5,80	1,00	4,80	4,70	1,30	3,40	5,10	1,10	4,00	4,90	1,30	3,60
11	1,00	0,40	0,60	1,00	0,30	0,70	1,10	0,60	0,50	0,50	0,20	0,30
12	0,60	0,40	0,20	0,80	0,20	0,60	1,30	0,40	0,90	0,70	0,30	0,40
13	5,80	1,00	4,80	4,70	1,30	3,40	5,10	1,10	4,00	4,90	1,30	3,60
14	1,90	0,75	1,15	1,70	0,83	0,87	1,15	0,30	0,85	1,30	0,51	0,79
15	1,45	0,50	0,95	1,57	0,52	1,05	1,48	0,70	0,78	1,64	0,50	1,14
16	2,20	1,00	1,20	2,80	1,10	1,70	2,20	0,90	1,30	2,30	1,00	1,30
17	1,00	0,30	0,70	1,80	0,50	1,30	2,00	0,90	1,10	2,00	0,57	1,43
18	1,63	0,70	0,93	2,30	0,90	1,40	2,80	1,00	1,80	2,70	0,60	2,10
19	4,18	1,10	3,08	4,00	1,15	2,85	4,70	1,40	3,30	4,20	1,80	2,40
20	5,12	2,00	3,12	4,05	2,00	2,05	4,25	2,00	2,25	4,20	1,81	2,39
21	2,40	0,85	1,55	2,90	1,45	1,45	4,00	1,60	2,40	3,80	2,20	1,60
22	1,10	0,70	0,40	1,10	0,50	0,60	1,10	0,60	0,50	1,50	0,80	0,70
23	2,73	1,00	1,73	1,90	0,78	1,12	1,45	0,58	0,87	1,33	0,61	0,72
24												
PK	45			46			47			48		
МД	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$
1	2,60	0,40	2,20	2,90	0,40	2,50	3,70	0,80	2,90	3,50	1,00	2,50
2	3,60	1,00	2,60	3,90	1,20	2,70	3,20	0,90	2,30	2,40	0,80	1,60
3	2,10	0,80	1,30	2,90	0,50	2,40	3,20	1,10	2,10	2,70	1,00	1,70
4	3,10	1,00	2,10	4,20	1,70	2,50	4,80	1,90	2,90	4,80	1,20	3,60
5	2,70	1,00	1,70	2,80	1,00	1,80	2,70	0,90	1,80	3,20	0,90	2,30
6	2,80	1,00	1,80	2,20	0,90	1,30	2,10	0,70	1,40	3,30	1,00	2,30
7	2,90	0,90	2,00	3,50	1,00	2,50	4,10	1,80	2,30	3,30	1,30	2,00
8	2,20	0,60	1,60	2,80	0,50	2,30	3,30	0,80	2,50	3,80	1,00	2,80
9	2,90	0,90	2,00	3,80	1,60	2,20	3,20	0,80	2,40	2,20	0,70	1,50
10	3,10	0,90	2,20	3,70	0,70	3,00	4,60	1,30	3,30	4,10	0,60	3,50
11	2,50	0,40	2,10	2,70	0,50	2,20	3,50	0,50	3,00	3,10	0,40	2,70
12	2,30	0,90	1,40	1,20	0,40	0,80	1,70	0,50	1,20	1,20	0,20	1,00
13	5,61	1,00	4,61	6,30	1,05	5,25	6,00	2,00	4	4,80	0,95	3,85
14	1,00	0,40	0,60	1,30	0,40	0,90	2,00	0,90	1,10	1,90	0,60	1,30
15	2,70	1,00	1,70	2,80	1,00	1,80	2,70	0,90	1,80	3,20	0,90	2,30
16	1,10	0,30	0,80	1,70	0,30	1,40	2,20	0,40	1,80	2,10	0,40	1,70
17	2,20	1,00	1,20	2,40	1,10	1,30	2,30	0,72	1,58	2,32	1,00	1,32
18	1,20	0,68	0,52	1,81	0,80	1,01	2,52	1,00	1,52	2,40	1,00	1,40
19	1,20	0,30	0,90	2,10	0,90	1,20	2,10	0,85	1,25	2,00	0,80	1,20
20	2,45	1,00	1,45	3,50	1,80	1,70	2,90	1,00	1,90	3,20	1,30	1,90
21	1,90	0,45	1,45	2,40	0,70	1,70	2,90	0,60	2,30	3,00	0,90	2,10
22	3,10	0,80	2,30	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00	3,00	1,00	2,00
23	2,80	0,60	2,20	2,10	0,60	1,50	3,00	1,20	1,80	3,10	1,20	1,90
24	3,10	1,10	2,00	3,40	1,15	2,25	3,00	1,00	2,00	4,00	1,00	3,00

## Продовж. додаток Б

PK	49			50			51			52		
МД	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.
1	3,00	1,30	1,70	3,90	1,00	2,90	1,90	0,40	1,50	2,00	0,30	1,70
2	3,10	1,90	1,20	4,80	2,10	2,70	3,50	2,50	1,00	4,00	2,20	1,80
3	3,42	1,40	2,02	4,86	1,51	3,35	4,10	1,80	2,30	3,23	1,07	2,16
4	3,80	1,07	2,73	5,00	1,00	4,00	4,51	1,00	3,51	4,20	0,91	3,29
5	4,00	1,03	2,97	4,60	0,70	3,90	4,40	1,60	2,80	4,00	1,00	3,00
6	4,10	1,20	2,90	5,80	1,97	3,83	5,05	1,55	3,50	5,80	1,90	3,90
7	5,51	1,30	4,21	4,50	1,10	3,40	5,68	0,71	4,97	3,11	0,80	2,31
8	4,10	0,70	3,40	5,80	0,90	4,90	5,10	0,60	4,50	5,00	0,60	4,40
9	5,00	1,00	4,00	4,90	1,00	3,90	3,70	0,90	2,80			
10	4,10	0,50	3,60	4,70	0,90	3,80	5,50	0,80	4,70	5,70	1,00	4,70
11	0,80	0,40	0,40	0,70	0,30	0,40	0,60	0,40	0,20	2,00	0,70	1,30
12	0,60	0,40	0,20	0,80	0,40	0,40	0,50	0,20	0,30	0,70	0,30	0,40
13	4,10	0,50	3,60	4,70	0,90	3,80	5,50	0,80	4,70	5,70	1,00	4,70
14	2,00	1,00	1,00	2,45	1,00	1,45	3,50	1,80	1,70	2,90	1,00	1,90
15	1,30	0,35	0,95	1,00	0,30	0,70	1,80	0,50	1,30	2,00	0,90	1,10
16	1,90	0,70	1,20	1,90	0,70	1,20	1,90	0,80	1,10	2,50	0,80	1,70
17	2,15	0,70	1,45	2,10	0,80	1,30	2,00	0,75	1,25	2,12	0,53	1,59
18	2,60	0,30	2,30	3,00	1,00	2,00	2,80	0,85	1,95	2,70	0,60	2,10
19	4,70	1,60	3,10	4,00	1,10	2,90	4,00	0,90	3,10	4,60	1,25	3,35
20	5,00	1,90	3,10	4,82	1,11	3,71	4,00	1,16	2,84	4,42	1,79	2,63
21	4,30	3,00	1,30	4,10	2,30	1,80	4,90	2,80	2,10	5,10	3,60	1,50
22	1,80	0,70	1,10	2,20	1,00	1,20	2,40	1,10	1,30	2,30	0,72	1,58
23	1,61	0,50	1,11	1,20	0,68	0,52	1,81	0,80	1,01	2,52	1,00	1,52
24												
PK	49			50			51			52		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	2,60	0,80	1,80	2,80	0,90	1,90	2,30	0,70	1,60	2,60	0,80	1,80
2	3,10	1,10	2,00	3,10	1,20	1,90	3,90	1,00	2,90	2,20	0,90	1,30
3	2,40	0,60	1,80	2,60	0,60	2,00	2,10	0,80	1,30	2,30	0,80	1,50
4	2,00	0,70	1,30	2,30	0,80	1,50	2,80	0,90	1,90	2,60	0,80	1,80
5	2,10	0,80	1,30	2,30	0,90	1,40	2,10	0,60	1,50	2,90	0,90	2,00
6	3,10	1,00	2,10	2,10	0,90	1,20	3,00	0,90	2,10	2,70	0,80	1,90
7	3,30	1,70	1,60	3,70	1,70	2,00	4,00	1,90	2,10	3,90	1,30	2,60
8	2,60	0,70	1,90	3,20	0,90	2,30	2,00	0,70	1,30	2,20	0,30	1,90
9	2,80	1,10	1,70	2,60	0,80	1,80	3,10	0,60	2,50	2,00	0,80	1,20
10	3,20	1,10	2,10	3,70	1,10	2,60	3,00	1,70	1,30	3,20	0,40	2,80
11	4,00	0,70	3,30	3,40	0,80	2,60	3,20	0,30	2,90	3,80	0,70	3,10
12	1,20	0,40	0,80	2,20	0,60	1,60	1,80	0,60	1,20	2,00	0,40	1,60
13	5,51	1,30	4,21	4,50	1,10	3,4	5,68	0,71	4,97	3,11	0,80	2,31
14	1,90	0,80	1,10	1,80	0,90	0,90	1,40	0,70	0,70	1,40	0,60	0,80
15	2,10	0,80	1,30	2,30	0,90	1,40	2,10	0,60	1,50	2,90	0,90	2,00
16	3,00	1,00	2,00	2,00	0,50	1,50	2,00	0,80	1,20	2,00	0,90	1,10
17	2,50	1,10	1,40	2,90	1,20	1,70	2,30	1,10	1,20	1,80	1,00	0,80
18	1,16	1,10	0,06	1,77	0,80	0,97	1,73	0,73	1,00	1,90	0,73	1,17
19	2,10	0,90	1,20	1,62	0,80	0,82	2,00	0,63	1,37	1,80	0,50	1,30
20	2,37	1,10	1,27	3,20	1,25	1,95	2,80	1,20	1,60	2,30	0,80	1,50
21	3,00	0,40	2,60	3,00	0,90	2,10	2,20	0,60	1,60	2,80	0,65	2,15
22	2,10	0,80	1,30	2,80	0,75	2,05	2,10	0,80	1,30	3,20	1,00	2,20
23	2,20	1,00	1,20	2,80	1,10	1,70	2,20	0,90	1,30	2,30	1,00	1,30
24	3,40	1,20	2,20	4,50	1,30	3,20	3,00	0,90	2,10	4,80	2,20	2,60

## Продовж. додаток Б

PK	53			54			55			56		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	2,80	1,00	1,80	3,10	1,10	2,00	2,80	1,20	1,60	3,00	1,45	1,55
2	2,10	0,80	1,30	2,30	0,90	1,40	2,23	0,95	1,28	3,61	1,70	1,91
3	2,00	1,00	1,00	2,90	1,00	1,90	2,62	0,60	2,02	3,30	1,00	2,30
4	3,00	0,90	2,10	3,00	1,07	1,93	3,00	1,00	2,00	4,00	1,10	2,90
5	2,50	0,53	1,97	3,20	1,10	2,10	3,50	1,05	2,45	4,53	1,25	3,28
6	3,14	1,03	2,11	4,35	1,10	3,25	4,50	1,19	3,31	4,97	1,25	3,72
7	4,00	1,00	3,00	3,83	0,80	3,03	4,10	0,70	3,40	4,80	1,05	3,75
8	3,20	0,50	2,70	3,90	0,50	3,40	4,30	0,90	3,40	3,20	0,70	2,50
9												
10	4,70	0,80	3,90									
11	2,80	0,70	2,10	2,90	0,80	2,10	4,70	2,10	2,60	4,10	1,40	2,70
12	0,60	0,40	0,20	2,00	0,60	1,40	3,40	1,50	1,90	3,30	0,80	2,50
13	4,70	0,80	3,90	2,70	0,80	1,90	3,20	0,90	2,30	1,90	0,70	1,20
14	3,20	1,30	1,90	2,37	1,10	1,27	3,20	1,25	1,95	2,80	1,20	1,60
15	2,00	0,57	1,43	2,15	0,70	1,45	2,10	0,80	1,30	2,00	0,75	1,25
16	3,30	0,90	2,40	2,80	1,10	1,70	2,00	1,80	0,20	2,90	1,00	1,90
17	1,50	0,83	0,67	2,00	0,80	1,20	1,47	0,35	1,12	2,41	0,80	1,61
18	2,00	0,70	1,30	2,00	0,80	1,20	2,10	0,60	1,50	2,70	0,70	2,00
19	4,60	1,50	3,10	4,00	1,03	2,97	4,60	0,70	3,90	4,40	1,60	2,80
20	5,00	1,52	3,48	3,80	1,07	2,73	5,00	1,00	4,00	4,51	1,00	3,51
21	6,00	3,90	2,10	5,00	3,00	2,00	5,40	1,50	3,90	5,90	1,30	4,60
22	2,32	1,00	1,32	2,50	1,10	1,40	2,90	1,20	1,70	2,30	1,10	1,20
23	2,40	1,00	1,40	1,16	1,10	0,06	1,77	0,80	0,97	1,73	0,73	1,00
24												
PK	53			54			55			56		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	1,70	0,50	1,20	1,90	0,40	1,50	2,10	0,70	1,40	3,10	0,90	2,20
2	2,70	0,90	1,80	3,30	1,10	2,20	3,80	1,10	2,70	3,40	0,90	2,50
3	1,20	0,40	0,80	1,20	0,50	0,70	2,80	0,90	1,90	3,10	1,10	2,00
4	2,00	0,30	1,70	2,30	0,80	1,50	1,80	0,60	1,20	1,50	0,60	0,90
5	3,10	0,70	2,40	3,80	1,00	2,80	2,90	0,90	2,00	2,80	0,70	2,10
6	3,20	0,90	2,30	1,90	0,70	1,20	2,00	0,50	1,50	2,40	0,60	1,80
7	2,40	1,00	1,40	2,10	0,70	1,40	3,40	1,20	2,20	4,50	1,60	2,90
8	1,40	0,40	1,00	1,50	0,40	1,10	1,50	0,30	1,20	2,00	0,70	1,30
9	2,10	0,70	1,40	2,10	0,70	1,40	2,80	0,70	2,10	2,90	0,60	2,30
10	2,20	0,70	1,50	2,30	0,70	1,60	2,40	0,70	1,70	3,20	0,80	2,40
11	4,10	0,50	3,60	3,80	0,60	3,20	2,80	0,20	2,60	5,90	1,80	4,10
12	2,00	0,30	1,70	3,00	0,90	2,10	2,90	0,90	2,00	3,40	1,00	2,40
13	4,00	1,00	3	3,83	0,80	3,03	4,10	0,70	3,4	4,80	1,05	3,75
14	2,00	0,80	1,20	2,70	0,90	1,80	2,50	0,90	1,60	4,00	1,50	2,50
15	3,10	0,70	2,40	3,80	1,00	2,80	2,90	0,90	2,00	2,80	0,70	2,10
16	2,60	1,00	1,60	1,50	0,60	0,90	1,90	0,40	1,50	1,30	0,20	1,10
17	1,90	0,80	1,10	2,40	0,80	1,60	1,79	0,82	0,97	2,30	1,00	1,30
18	1,35	0,31	1,04	1,30	0,42	0,88	1,61	0,70	0,91	2,00	1,00	1,00
19	2,00	0,53	1,47	2,35	0,30	2,05	3,10	1,00	2,10	2,51	0,90	1,61
20	2,00	0,90	1,10	1,60	0,85	0,75	2,00	0,60	1,40	2,50	1,00	1,50
21	2,00	0,80	1,20	2,30	0,80	1,50	2,70	0,60	2,10	3,00	0,40	2,60
22	2,80	0,75	2,05	3,10	8,00	-4,90	2,60	0,90	1,70	3,20	1,00	2,20
23	1,90	0,70	1,20	1,90	0,70	1,20	1,90	0,80	1,10	2,50	0,80	1,70
24	3,40	1,30	2,10	3,00	1,00	2,00	4,30	1,80	2,50	5,90	1,90	4,00

## Продовж. додаток Б

PK	57			58			59			60		
	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^x_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^x_{\text{ранн.дер.}}$	$S^x_{\text{рiчн.кiл.}}$
1	1,80	1,48	0,32	2,00	0,40	1,60	1,80	0,38	1,42	2,00	0,43	1,57
2	2,97	1,00	1,97	2,65	1,00	1,65	1,95	0,90	1,05	1,80	1,00	0,80
3	3,00	1,02	1,98	3,15	1,10	2,05	2,94	1,25	1,69	2,97	1,00	1,97
4	3,75	1,00	2,75	3,90	1,72	2,18	2,45	1,00	1,45	3,91	0,90	3,01
5	3,90	1,10	2,80									
6	5,20	1,23	3,97	6,03	1,60	4,43	4,90	1,01	3,89	2,70	1,02	1,68
7												
8												
9												
10												
11	5,50	2,00	3,50	2,90	1,00	1,90	2,40	0,40	2,00	2,30	0,40	1,90
12	4,90	2,60	2,30	3,80	1,00	2,80	4,80	1,40	3,40	2,90	1,10	1,80
13	2,00	0,50	1,50	2,40	0,60	1,80	3,40	0,80	2,60	3,50	0,50	3,00
14	2,30	0,80	1,50	2,00	0,90	1,10	1,60	0,85	0,75	2,00	0,60	1,40
15	2,12	0,53	1,59	1,50	0,83	0,67	2,00	0,80	1,20	1,47	0,35	1,12
16	3,20	0,30	2,90	3,60	0,60	3,00	0,60	2,40	2,10	0,70	1,40	1,30
17	3,00	0,70	2,30	3,10	1,15	1,95	2,80	1,27	1,53	3,00	1,00	2,00
18	3,00	0,90	2,10	3,80	1,30	2,50	2,90	1,00	1,90	3,30	1,35	1,95
19	4,00	1,00	3,00	2,50	0,53	1,97	3,20	1,10	2,10	3,50	1,05	2,45
20	4,20	0,91	3,29	3,00	0,90	2,10	3,00	1,07	1,93	3,00	1,00	2,00
21	6,80	1,00	5,80	4,90	0,40	4,50	5,00	0,60	4,40			
22	1,80	1,00	0,80	1,90	0,80	1,10	2,40	0,80	1,60	1,79	0,82	0,97
23	1,90	0,73	1,17	1,35	0,31	1,04	1,30	0,42	0,88	1,61	0,70	0,91
24												
PK	57			58			59			60		
MD	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$	$S^n_{\text{рiчн.кiл.}}$	$\delta^n_{\text{пiзн.дер.}}$	$\delta^n_{\text{ранн.дер.}}$
1	3,00	0,50	2,50	3,70	0,80	2,90	2,80	0,70	2,10	2,50	0,60	1,90
2	3,90	1,00	2,90	3,30	1,00	2,30	3,20	0,80	2,40	2,80	0,80	2,00
3	2,20	0,70	1,50	3,00	0,90	2,10	2,50	1,00	1,50	2,70	0,80	1,90
4	1,80	1,00	0,80	1,40	0,50	0,90	1,10	0,40	0,70	1,10	0,40	0,70
5	2,70	0,80	1,90	2,50	0,40	2,10	1,60	0,50	1,10	1,40	0,30	1,10
6	3,40	0,80	2,60	3,50	0,50	3,00	4,90	0,70	4,20	4,40	0,80	3,60
7	3,20	0,80	2,40	4,10	1,30	2,80	3,90	1,60	2,30	3,00	0,90	2,10
8	2,00	0,70	1,30	2,20	1,00	1,20	1,80	0,90	0,90	1,90	0,60	1,30
9	3,40	0,80	2,60	2,80	1,00	1,80	2,90	1,00	1,90	2,30	0,90	1,40
10	3,30	0,20	3,10	3,90	0,60	3,30	2,90	0,70	2,20	2,50	0,40	2,10
11	4,90	0,90	4,00	3,10	0,60	2,50	4,50	0,90	3,60	4,70	0,80	3,90
12	2,50	0,90	1,60	2,20	0,40	1,80	2,00	0,90	1,10	2,80	1,00	1,80
13	2,00	0,80	1,20	1,47	0,35	1,12	2,41	0,80	1,61	3,00	0,70	2,30
14	4,50	1,40	3,10	3,20	1,80	1,40	3,00	1,10	1,90	3,80	1,10	2,70
15	2,70	0,80	1,90	2,50	0,40	2,10	1,60	0,50	1,10	1,40	0,30	1,10
16	2,60	0,50	2,10	2,40	0,70	1,70	2,80	0,45	2,35	1,90	0,80	1,10
17	2,00	1,00	1,00	1,63	0,80	0,83	2,00	0,94	1,06	2,36	0,80	1,56
18	3,00	1,20	1,80	2,90	1,12	1,78	2,01	0,80	1,21	2,50	1,11	1,39
19	2,20	0,25	1,95	2,00	0,64	1,36	2,00	0,31	1,69	1,90	0,30	1,60
20	3,10	1,00	2,10	2,90	1,00	1,90	2,00	0,70	1,30	2,40	0,90	1,50
21	3,60	0,60	3,00	3,50	0,90	2,60	2,50	0,50	2,00	3,90	0,80	3,10
22	3,80	1,60	2,20	3,30	0,95	2,35	3,80	1,70	2,10	2,00	0,80	1,20
23	3,30	0,90	2,40	2,80	1,10	1,70	2,00	1,80	0,20	2,90	1,00	1,90
24	4,20	1,70	2,50	5,10	2,40	2,70	6,60	1,80	4,80	5,50	0,20	5,30

## Продовж. додаток Б

PK	61			62			63			64		
МД	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.	$\delta^x$ ранн.дер.	$S^x$ річн.кіл.	$S^x$ річн.кіл.	$\delta^x$ пізн.дер.
1	2,00	1,00	1,00	2,20	1,05	1,15	2,10	1,00	1,10	2,00	0,36	1,64
2	1,51	0,62	0,89	2,03	0,90	1,13	2,20	0,92	1,28	1,70	0,80	0,90
3	1,90	0,80	1,10	2,00	0,61	1,39	2,00	0,65	1,35	1,95	0,70	1,25
4	2,70	0,90	1,80	3,00	0,80	2,20	2,12	0,90	1,22	2,21	0,90	1,31
5												
6	2,40	1,03	1,37	2,82	1,00	1,82	2,10	1,00	1,10	2,15	1,00	1,15
7												
8												
9												
10												
11	2,60	0,30	2,30	2,10	0,50	1,60	2,50	0,60	1,90	2,80	1,30	1,50
12	2,20	0,30	1,90	2,10	0,50	1,60	2,50	0,40	2,10	2,20	0,50	1,70
13			0,00			0,00						
14	2,50	1,00	1,50	3,10	1,00	2,10	2,90	1,00	1,90	2,00	0,70	1,30
15	2,41	0,80	1,61	3,00	0,70	2,30	3,10	1,15	1,95	2,80	1,27	1,53
16	0,60	0,70	1,40			0,00						
17	2,35	0,70	1,65	2,70	0,60	2,10	2,65	0,92	1,73	2,00	0,60	1,40
18	3,10	0,90	2,20	3,00	0,30	2,70	2,70	0,80	1,90	2,00	0,43	1,57
19	4,53	1,25	3,28	3,90	1,10	2,80						
20	4,00	1,10	2,90	3,75	1,00	2,75	3,90	1,72	2,18	2,45	1,00	1,45
21												
22	2,30	1,00	1,30	2,00	1,00	1,00	1,63	0,80	0,83	2,00	0,94	1,06
23	2,00	1,00	1,00	3,00	1,20	1,80	2,90	1,12	1,78	2,01	0,80	1,21
24												
PK	61			62			63			64		
МД	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.	$S^n$ річн.кіл.	$\delta^n$ пізн.дер.	$\delta^n$ ранн.дер.
1	2,40	0,50	1,90	2,30	0,60	1,70	2,00	0,50	1,50	2,10	0,50	1,60
2	2,30	0,30	2,00	1,90	0,60	1,30	2,10	0,70	1,40	2,10	0,70	1,40
3	2,90	1,00	1,90	2,50	0,80	1,70	1,90	0,60	1,30	1,70	0,50	1,20
4			0,00			0,00						
5	2,20	0,60	1,60	2,00	0,50	1,50	2,00	0,60	1,40	1,90	0,60	1,30
6	5,60	0,60	5,00	6,00	0,70	5,30	4,20	0,70	3,50	2,50	0,60	1,90
7	4,00	0,90	3,10	3,30	0,40	2,90	2,90	1,00	1,90			
8	1,60	0,60	1,00	1,70	0,30	1,40	1,20	0,40	0,80	0,90	0,40	0,50
9	2,60	0,40	2,20	1,70	0,70	1,00	1,80	0,70	1,10	2,40	1,00	1,40
10	3,10	0,50	2,60	3,40	0,30	3,10	2,60	0,40	2,20	2,50	0,50	2,00
11	4,70	1,00	3,70	2,90	0,50	2,40	3,90	0,80	3,10	3,10	1,00	2,10
12	2,10	0,50	1,60	2,20	0,50	1,70	2,90	0,60	2,30	3,40	0,70	2,70
13	3,10	1,15	1,95	2,80	1,27	1,53	3,00	1,00	2,00			
14	3,30	1,20	2,10	2,40	0,50	1,90	1,90	0,60	1,30	3,00	1,00	2,00
15	2,20	0,60	1,60	2,00	0,50	1,50	3,30	1,10	2,20	3,40	1,10	2,30
16	2,10	0,30	1,80	2,00	0,45	1,55	2,40	0,30	2,10	2,10	0,60	1,50
17	2,00	0,87	1,13	1,85	0,80	1,05	1,30	0,60	0,70	1,84	0,35	1,49
18	3,00	1,10	1,90	3,00	1,10	1,90	2,60	1,23	1,37	2,00	1,00	1,00
19	1,90	0,70	1,20	1,90	0,30	1,60	2,90	0,35	2,55	3,00	0,70	2,30
20	3,15	1,10	2,05	3,60	1,10	2,50	3,65	1,30	2,35	2,60	1,00	1,60
21	2,60	0,90	1,70	3,50	0,50	3,00	4,00	0,20	3,80			
22	3,00	0,70	2,30	3,10	0,65	2,45	3,50	0,90	2,60	3,00	1,00	2,00
23	3,20	0,30	2,90	3,60	0,60	3,00	3,70	1,00	2,70	2,80	1,00	1,80
24	6,70	1,20	5,50	5,40	1,70	3,70	6,20	2,40	3,80	3,80	0,93	2,87







## Додаток В

## Додаток В. 1. Фізико-механічні показники хвилясто-завилькуватої деревини

№	$N_{\text{річн.кл.}}, \text{шт.} \cdot \text{см}^{-1}$	$\rho_0, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$\rho_b, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$\rho_{8\%}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$\rho_{\text{с.з.с.}}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$E_{\text{ст.}}, \text{Н} \cdot \text{мм}^{-2}$	$E_0, \text{Н} \cdot \text{мм}^{-2}$
1	3,5	553	478	580	1065	4880	5096
2	6,5	479	423	564	1032	6480	8589
3	6,5	473	433	502	1060	7246	10745
4	8,5	503	441	517	1049	6201	6522
5	7,5	440	381	481	1023	7780	12241
6	5,5	525	474	563	1068	4681	6568
7	4,5	523	463	569	1049	4140	5053
8	5,0	523	458	559	1043	6510	7712
9	8,5	459	424	513	1024	4790	8560
10	7,5	456	413	492	1011	4910	6094
11	5,5	500	444	552	1036	5070	7076
12	4,0	501	447	524	920	4950	6312
13	4,5	490	434	544	1044	6340	6600
14	8,0	383	344	375	1048	8554	11168
15	7,0	359	318	367	1030	8420	11361
16	4,0	502	444	529	1014	5692	6807
17	6,5	494	450	507	1035	6590	6924
18	8,5	456	418	458	1053	8824	12393
19	7,0	377	339	413	1029	8660	11148
20	4,5	391	360	423	994	8502	9505
21	5,0	444	401	474	1010	7070	7397
22	4,5	397	344	470	976	8320	9526
23	4,0	446	389	469	1002	8350	9555
24	6,5	376	336	412	981	7190	9637
25	5,0	389	345	418	905	8860	11820
26	5,5	478	423	559	1048	5030	7367
27	5,5	441	395	530	1033	4860	5626
28	5,5	457	412	513	1046	5230	6885
29	9,0	412	360	425	1012	6720	7759
30	7,5	376	340	433	1009	7450	11364
31	5,5	474	431	553	1029	4770	5984
32	5,5	477	410	517	1057	6940	7285
33	3,5	486	426	509	1015	4904	6565
34	7,5	506	463	471	1043	5580	8123
35	6,5	380	351	405	1019	6990	9719
36	7,5	481	433	515	987	5820	8128
37	5,0	465	423	535	1064	6130	8197
38	7,0	364	315	397	982	8080	10732
39	6,0	353	316	380	998	7660	11859
40	9,0	348	309	383	916	6480	9337
41	5,0	438	394	478	1009	6900	11182
42	5,0	409	373	436	997	6760	7893
43	6,5	365	327	380	923	6570	9845
44	7,0	391	351	395	1029	7560	9851
45	7,5	347	308	375	973	7160	10779
46	7,0	415	360	472	1008	7180	11333
47	8,0	405	356	414	998	7540	10821
48	7,5	389	343	413	995	7200	10945
49	6,5	372	335	404	993	6910	8518
50	6,0	320	292	336	924	7270	10673

## Продовж. додаток В.1

№	$\alpha_t, \%$	$\alpha_r, \%$	$\alpha_v, \%$	$\alpha_b, \%$	$K_{at}$	$K_{ar}$	$K_{av}$	$\alpha_v/\alpha_r$	$C, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$K$
1	7,6	3,5	15,7	3,9	0,25	0,12	0,52	2,2	2964	5,1
2	7,1	4,9	13,4	0,9	0,24	0,16	0,45	1,4	3904	6,9
3	5,9	2,6	9,4	0,7	0,20	0,09	0,31	2,3	4629	9,2
4	8,8	4,0	14,1	0,8	0,29	0,13	0,47	2,2	3551	6,9
5	9,6	4,0	15,4	1,2	0,32	0,13	0,51	2,4	5044	10,5
6	6,4	3,2	10,9	1,0	0,21	0,11	0,36	2,0	3416	6,1
7	6,1	5,7	12,9	0,7	0,20	0,19	0,43	1,1	2980	5,2
8	6,6	5,6	14,2	1,5	0,22	0,19	0,47	1,2	3714	6,6
9	3,7	2,2	8,2	2,2	0,12	0,07	0,27	1,7	4084	8,0
10	4,9	2,9	10,4	2,2	0,16	0,10	0,35	1,7	3518	7,1
11	6,8	3,3	12,5	2,0	0,23	0,11	0,42	2,0	3579	6,5
12	7,5	3,4	12,1	0,9	0,25	0,11	0,40	2,2	3472	6,6
13	7,9	3,3	12,7	1,0	0,26	0,11	0,42	2,4	3482	6,4
14	5,3	4,4	11,2	1,2	0,18	0,15	0,37	1,2	5456	14,5
15	7,5	3,2	12,8	1,6	0,25	0,11	0,43	2,3	5561	15,1
16	5,8	5,6	13,1	1,2	0,19	0,19	0,44	1,0	3587	6,8
17	3,4	3,5	9,6	2,5	0,11	0,12	0,32	1,0	3697	7,3
18	5,3	2,8	8,9	0,6	0,18	0,09	0,30	1,9	5202	11,4
19	6,8	3,7	11,5	0,7	0,23	0,12	0,38	1,8	5193	12,6
20	4,8	3,2	8,6	0,5	0,16	0,11	0,29	1,5	4742	11,2
21	4,3	3,7	10,6	2,3	0,14	0,12	0,35	1,2	3952	8,3
22	8,2	3,9	15,3	2,6	0,27	0,13	0,51	2,1	4503	9,6
23	7,9	5,0	14,5	1,1	0,26	0,17	0,48	1,6	4514	9,6
24	8,1	3,2	11,7	0,2	0,27	0,11	0,39	2,6	4838	11,8
25	7,7	4,0	12,7	0,7	0,26	0,13	0,42	1,9	5320	12,7
26	6,9	5,0	13,1	0,7	0,23	0,17	0,44	1,4	3631	6,5
27	7,5	2,9	11,8	1,1	0,25	0,10	0,39	2,6	3259	6,2
28	7,1	2,7	10,8	0,7	0,24	0,09	0,36	2,6	3664	7,1
29	8,9	4,5	14,4	0,5	0,30	0,15	0,48	2,0	4275	10,1
30	7,1	2,6	10,6	0,6	0,24	0,09	0,35	2,7	5123	11,8
31	5,7	2,8	9,8	1,0	0,19	0,09	0,33	2,0	3291	6,0
32	8,6	5,8	16,2	1,1	0,29	0,19	0,54	1,5	3755	7,3
33	6,2	5,8	14,0	1,4	0,21	0,19	0,47	1,1	3593	7,1
34	5,2	2,5	9,3	1,4	0,17	0,08	0,31	2,1	4154	8,8
35	5,4	2,1	8,0	0,4	0,18	0,07	0,27	2,6	4901	12,1
36	6,4	3,7	11,0	0,6	0,21	0,12	0,37	1,7	3971	7,7
37	6,2	3,2	10,0	0,4	0,21	0,11	0,33	2,0	3914	7,3
38	8,9	4,4	15,3	1,5	0,30	0,15	0,51	2,0	5201	13,1
39	4,9	4,0	11,9	2,6	0,16	0,13	0,40	1,2	5585	14,7
40	7,2	3,9	12,5	1,0	0,24	0,13	0,42	1,8	4938	12,9
41	6,2	3,6	11,0	1,0	0,21	0,12	0,37	1,7	4838	10,1
42	5,1	2,1	9,7	2,2	0,17	0,07	0,32	2,4	4257	9,8
43	5,3	4,5	11,7	1,5	0,18	0,15	0,39	1,2	5087	13,4
44	7,5	3,1	11,2	0,4	0,25	0,10	0,37	2,4	4995	12,7
45	8,2	4,3	12,9	0,1	0,27	0,14	0,43	1,9	5365	14,3
46	9,4	4,4	15,2	0,9	0,31	0,15	0,51	2,2	4898	10,4
47	8,4	4,8	14,0	0,3	0,28	0,16	0,47	1,8	5113	12,4
48	7,9	3,3	13,3	1,6	0,26	0,11	0,44	2,4	5149	12,5
49	7,1	2,8	10,9	0,8	0,24	0,09	0,36	2,5	4590	11,4
50	6,0	3,0	9,7	0,5	0,20	0,10	0,32	2,0	5632	16,7

## Додаток В. 2. Фізико-механічні показники хвилясто-завилькуватої деревини

№	$N_{\text{річн.кіль. шт.}\cdot\text{см}^{-1}}$	$\rho_0, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	$\rho_6, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	$\rho_{8\%}, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	$\rho_{\text{с.з.с.}}, \text{кг}\cdot\text{м}^{-3}$	$E_{\text{ст.}}, \text{Н}\cdot\text{мм}^{-2}$	$E_0, \text{Н}\cdot\text{мм}^{-2}$
1	14,0	403	351	427	1042	11802	12597
2	11,5	391	342	417	996	11256	12362
3	11,0	388	337	401	1023	10868	11668
4	8,5	365	317	385	970	10064	10353
5	9,0	385	335	392	1022	10512	11255
6	9,0	363	318	390	1026	10770	11158
7	7,0	366	321	393	998	9733	10203
8	8,0	363	316	387	978	9715	10149
9	15,0	442	392	475	1023	12160	12575
10	13,0	425	369	444	1024	11271	11570
11	8,5	351	306	397	1012	10400	10919
12	8,5	380	334	400	1015	10784	11339
13	10,0	366	319	407	1017	10960	11788
14	7,0	364	317	382	1022	9645	9945
15	9,5	346	302	401	972	9589	10160
16	10,0	362	316	391	996	10488	10758
17	12,0	389	345	454	995	11445	11813
18	10,5	366	320	398	1036	10936	10808
19	8,5	321	281	360	1005	10586	10342
20	8,0	342	304	366	989	9995	8803
21	7,5	334	294	384	954	9840	10650
22	8,0	347	304	372	954	9156	9535
23	7,0	344	303	379	972	10140	10432
24	6,0	342	304	357	990	8956	8434
25	14,0	419	364	440	1014	12096	12707
26	12,5	377	329	414	977	11890	12206
27	10,0	396	347	393	1025	11340	11785
28	8,5	352	309	372	976	10304	10827
29	8,0	364	315	396	980	11134	11624
30	9,0	370	325	400	991	10795	12213
31	6,0	359	314	393	1001	10439	10794
32	5,0	298	263	313	1025	8600	8051
33	13,5	358	312	420	1001	12068	12487
34	12,0	353	311	385	976	10710	11209
35	11,5	337	294	402	943	11815	12198
36	9,0	349	303	363	960	10180	10160
37	6,0	335	294	364	960	9963	10122
38	7,0	335	296	337	941	8320	8071
39	5,0	293	256	321	992	8368	7994
40	13,5	471	408	478	1066	12460	12995
41	12,5	410	360	469	1012	11680	12377
42	12,0	416	363	441	1040	10752	11631
43	11,0	349	303	400	975	10612	11577
44	9,5	359	312	404	994	9605	10412
45	7,0	355	313	396	960	9792	10465
46	13,0	399	355	425	1014	11557	12471
47	12,0	386	336	408	1039	11475	12059
48	10,0	370	325	396	1028	11175	11614
49	7,0	329	290	372	952	9758	10145
50	6,5	330	292	374	975	10088	10786

## Продовж. додаток В.2

№	$N_{р\dot{и}чн.к\dot{л}л.}, шт.:см^{-1}$	$\rho_0, кг:м^{-3}$	$\rho_6, кг:м^{-3}$	$\rho_{8\%}, кг:м^{-3}$	$\rho_{с.з.с.}, кг:м^{-3}$	$E_{ст.}, Н:мм^{-2}$	$E_0, Н:мм^{-2}$
51	6,0	351	307	372	1008	9757	9013
52	7,0	344	299	373	994	9763	10531
53	7,0	350	304	364	998	9352	8411
54	9,5	381	331	391	1000	11590	12080
55	7,5	376	331	389	1004	11120	10168
56	7,0	365	320	378	985	10635	10557
57	7,0	341	299	354	929	9060	8406
58	6,0	357	310	364	1006	9954	10694
59	7,0	326	285	344	1007	8524	7686
60	8,0	368	322	368	1020	9360	10238
61	3,5	280	245	313	959	7652	5921
62	11,0	391	341	422	1053	11514	12304
63	9,5	376	329	401	1020	11440	12236
64	10,0	368	320	387	979	10724	10918
65	6,0	328	285	356	979	9107	8441
66	8,0	331	289	359	951	9078	8298
67	7,0	328	287	353	989	9088	8218
68	7,0	344	300	372	974	9392	10215
69	8,0	351	308	384	1017	10005	10984
70	11,0	398	351	424	1010	11250	11138
71	11,0	373	327	406	1026	11166	10366
72	10,0	383	340	414	1007	11715	11924
73	8,0	365	319	379	990	9724	9398
74	7,0	356	314	393	950	9372	9457
75	7,0	365	321	389	975	8833	9205
76	5,0	362	316	371	949	9050	7657
77	5,5	372	324	395	1022	9090	9386
78	9,0	361	314	404	984	11895	12049
79	11,0	380	331	414	1006	12112	12308
80	8,0	361	315	375	993	11339	10286
81	7,0	361	317	387	962	10440	11190
82	8,0	371	323	377	998	9490	9734
83	6,0	331	289	369	1012	9800	7950
84	9,0	358	316	418	954	11704	11922
85	13,0	398	348	427	1003	11550	12036
86	7,0	340	301	387	899	10806	9186
87	7,0	338	295	383	977	9420	9558
88	6,0	341	301	371	985	9107	8845
89	8,0	365	324	399	1041	9720	9911

## Продовж. додаток В.2

№	$\alpha_n, \%$	$\alpha_r, \%$	$\alpha_v, \%$	$\alpha_b, \%$	$K_{at}$	$K_{ar}$	$K_{av}$	$\alpha_v/\alpha_r$	$C, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$K$
1	9,4	4,2	14,9	0,7	0,31	0,14	0,50	2,3	5434	12,7
2	8,8	4,2	14,2	0,7	0,29	0,14	0,47	2,1	5444	13,1
3	9,5	4,3	15,4	1,0	0,32	0,14	0,51	2,2	5393	13,4
4	9,6	4,5	15,4	0,7	0,32	0,15	0,51	2,2	5183	13,4
5	9,5	4,1	15,1	1,0	0,32	0,14	0,50	2,3	5360	13,7
6	9,1	4,0	14,2	0,6	0,30	0,13	0,47	2,3	5347	13,7
7	8,8	3,9	13,8	0,7	0,29	0,13	0,46	2,3	5095	13,0
8	9,1	4,5	14,8	0,7	0,30	0,15	0,49	2,0	5121	13,2
9	8,4	3,7	13,0	0,5	0,28	0,12	0,43	2,2	5344	10,8
10	9,8	4,3	15,1	0,6	0,33	0,14	0,50	2,3	5107	11,5
11	9,0	4,3	14,7	0,9	0,30	0,14	0,49	2,1	5244	13,2
12	8,9	3,9	13,8	0,6	0,30	0,13	0,46	2,3	5324	13,3
13	9,1	4,2	14,5	0,7	0,30	0,14	0,48	2,2	5379	13,2
14	9,3	4,5	14,9	0,6	0,31	0,15	0,50	2,1	5101	13,3
15	8,9	4,4	14,5	0,7	0,30	0,15	0,48	2,0	5032	12,5
16	8,9	4,5	14,5	0,6	0,30	0,15	0,48	2,0	5242	13,4
17	7,8	3,9	12,8	0,8	0,26	0,13	0,43	2,0	5100	11,2
18	9,7	3,9	14,5	0,5	0,32	0,13	0,48	2,5	5211	13,1
19	8,9	3,9	14,2	0,9	0,30	0,13	0,47	2,3	5358	14,9
20	8,9	3,0	12,8	0,5	0,30	0,10	0,43	2,9	4905	13,4
21	8,3	3,9	13,6	0,9	0,28	0,13	0,45	2,1	5264	13,7
22	7,9	4,9	14,2	0,9	0,26	0,16	0,47	1,6	5062	13,6
23	8,2	4,1	13,5	0,8	0,27	0,14	0,45	2,0	5247	13,9
24	8,1	4,1	12,6	0,1	0,27	0,14	0,42	2,0	4758	13,6
25	9,5	4,5	15,2	0,7	0,32	0,15	0,51	2,1	5372	12,2
26	9,0	4,3	14,6	0,8	0,30	0,14	0,49	2,1	5431	13,1
27	9,5	3,6	14,0	0,4	0,32	0,12	0,47	2,6	5478	13,9
28	9,4	3,3	13,7	0,6	0,31	0,11	0,46	2,8	5391	14,5
29	9,2	5,1	15,3	0,5	0,31	0,17	0,51	1,8	5417	13,7
30	9,2	4,1	13,9	0,2	0,31	0,14	0,46	2,2	5524	13,8
31	8,8	4,4	14,3	0,6	0,29	0,15	0,48	2,0	5238	13,3
32	7,8	4,5	13,4	0,6	0,26	0,15	0,45	1,7	4721	16,2
33	9,2	4,3	14,6	0,6	0,31	0,14	0,49	2,2	5450	13,0
34	8,2	4,1	13,3	0,6	0,27	0,14	0,44	2,0	5393	14,0
35	9,6	4,3	14,7	0,3	0,32	0,14	0,49	2,2	5507	13,7
36	9,3	4,6	15,3	0,8	0,31	0,15	0,51	2,0	5291	14,6
37	9,2	3,9	13,9	0,4	0,31	0,13	0,46	2,4	5276	14,5
38	8,1	4,2	13,4	0,6	0,27	0,14	0,45	1,9	4722	14,5
39	9,0	4,2	14,3	0,7	0,30	0,14	0,48	2,1	4731	15,5
40	9,6	4,7	15,5	0,7	0,32	0,16	0,52	2,0	5414	10,9
41	8,4	4,1	13,8	0,8	0,28	0,14	0,46	2,0	5138	11,0
42	9,2	4,5	14,4	0,3	0,31	0,15	0,48	2,1	5137	11,7
43	9,4	4,8	15,0	0,4	0,31	0,16	0,50	2,0	5377	13,4
44	9,6	4,3	15,3	0,9	0,32	0,14	0,51	2,2	5074	12,5
45	8,1	4,2	13,4	0,6	0,27	0,14	0,45	1,9	5138	13,0

46	7,5	3,7	12,3	0,7	0,25	0,12	0,41	2,0	5417	12,7
47	9,2	4,5	14,7	0,5	0,31	0,15	0,49	2,0	5437	13,3

*Продовж. додаток В.2*

№	$\alpha_n, \%$	$\alpha_r, \%$	$\alpha_v, \%$	$\alpha_i, \%$	$K_{at}$	$K_{ar}$	$K_{av}$	$\alpha_v/\alpha_r$	$C, \text{м}\cdot\text{с}^{-1}$	$K$
48	8,9	3,8	14,0	0,9	0,30	0,13	0,47	2,3	5416	13,7
49	8,2	4,2	13,6	0,8	0,27	0,14	0,45	2,0	5222	14,0
50	8,1	3,9	13,2	0,8	0,27	0,13	0,44	2,1	5370	14,4
51	9,0	3,6	14,1	1,0	0,30	0,12	0,47	2,5	4922	13,2
52	9,6	4,4	14,9	0,4	0,32	0,15	0,50	2,2	5313	14,3
53	9,6	4,2	15,2	0,9	0,32	0,14	0,51	2,3	4807	13,2
54	9,8	4,0	15,1	0,8	0,33	0,13	0,50	2,4	5558	14,2
55	8,3	4,1	13,5	0,8	0,28	0,14	0,45	2,0	5113	13,1
56	8,9	4,1	13,8	0,3	0,30	0,14	0,46	2,2	5285	14,0
57	9,1	4,0	14,1	0,5	0,30	0,13	0,47	2,3	4873	13,7
58	9,5	4,1	15,1	0,9	0,32	0,14	0,50	2,3	5420	14,9
59	9,3	4,1	14,3	0,5	0,31	0,14	0,48	2,3	4727	13,7
60	9,3	4,0	14,1	0,3	0,31	0,13	0,47	2,3	5275	14,4
61	8,6	4,2	14,1	0,9	0,29	0,14	0,47	2,1	4349	13,9
62	9,3	4,8	14,7	0,1	0,31	0,16	0,49	2,0	5400	12,8
63	9,8	3,9	14,3	0,3	0,33	0,13	0,48	2,5	5524	13,8
64	9,8	4,2	15,0	0,5	0,33	0,14	0,50	2,3	5311	13,7
65	9,8	4,3	15,2	0,6	0,33	0,14	0,51	2,3	4869	13,7
66	9,4	4,5	14,5	0,2	0,31	0,15	0,48	2,1	4808	13,4
67	8,9	4,6	14,2	0,3	0,30	0,15	0,47	1,9	4825	13,7
68	9,4	4,4	14,9	0,7	0,31	0,15	0,50	2,1	5240	14,1
69	8,5	4,6	14,1	0,4	0,28	0,15	0,47	1,9	5348	13,9
70	8,5	4,2	13,4	0,3	0,28	0,14	0,45	2,0	5125	12,1
71	9,0	4,5	14,2	0,2	0,30	0,15	0,47	2,0	5053	12,4
72	7,9	3,9	12,9	0,6	0,26	0,13	0,43	2,0	5367	12,9
73	9,6	4,2	14,7	0,4	0,32	0,14	0,49	2,3	4980	13,2
74	8,5	4,0	13,3	0,5	0,28	0,13	0,44	2,1	4905	12,5
75	8,4	4,0	13,6	0,8	0,28	0,13	0,45	2,1	4864	12,5
76	8,8	4,6	14,5	0,6	0,29	0,15	0,48	1,9	4543	12,3
77	8,8	4,5	14,8	0,9	0,29	0,15	0,49	2,0	4875	12,3
78	9,9	4,4	15,1	0,3	0,33	0,15	0,50	2,2	5461	13,5
79	9,9	4,1	14,8	0,4	0,33	0,14	0,49	2,4	5452	13,2
80	9,7	4,2	14,8	0,4	0,32	0,14	0,49	2,3	5237	14,0
81	8,4	4,4	14,1	0,9	0,28	0,15	0,47	1,9	5377	13,9
82	9,7	4,4	14,8	0,2	0,32	0,15	0,49	2,2	5081	13,5
83	9,0	4,4	14,6	0,7	0,30	0,15	0,49	2,1	4642	12,6
84	8,4	4,1	13,4	0,4	0,28	0,14	0,45	2,0	5341	12,8
85	9,5	4,2	14,5	0,4	0,32	0,14	0,48	2,3	5309	12,4
86	8,2	4,2	13,1	0,3	0,27	0,14	0,44	1,9	4872	12,6
87	9,6	3,9	14,6	0,6	0,32	0,13	0,49	2,5	4996	13,0
88	8,8	3,9	13,5	0,5	0,29	0,13	0,45	2,3	4883	13,2
89	8,0	4,1	12,7	0,3	0,27	0,14	0,42	2,0	4984	12,5

Додаток Д  
Однофакторний дисперсійний аналіз ширини річного кільця  
за допомогою програми SPSS

Незалежні змінні	Залежні змінні	Кількість вимірювань	Середнє	Стандартна помилка середнього	95% довірчий інтервал	
					нижня межа	верхня межа
1	2	3	4	5	6	7
1	2	,53323	,26230	,941	-,5931	1,6595
	3	-,07185	,25841	1,000	-1,1815	1,0378
	4	-,18203	,24313	1,000	-1,2260	,8620
	5	,90456	,24854	,213	-,1627	1,9718
	6	,32339	,25156	,998	-,7568	1,4036
	7	,29022	,24230	,999	-,7502	1,3307
	8	-,10740	,24484	1,000	-1,1588	,9440
	9	,01203	,25600	1,000	-1,0872	1,1113
	10x	-1,84338*	,25600	,000	-2,9426	-,7441
	11x	-1,20954*	,25718	,016	-2,3139	-,1052
2	1	-,53323	,26230	,941	-1,6595	,5931
	3	-,60508	,27863	,909	-1,8015	,5914
	4	-,71526	,26452	,695	-1,8511	,4206
	5	,37133	,26950	,997	-,7859	1,5286
	6	-,20984	,27230	1,000	-1,3791	,9594
	7	-,24301	,26376	1,000	-1,3756	,8896
	8	-,64063	,26610	,831	-1,7833	,5020
	9	-,52120	,27640	,965	-1,7081	,6657
	10x	-2,37661*	,27640	,000	-3,5635	-1,1897
	11x	-1,74277*	,27750	,000	-2,9344	-,5512
3	1	,07185	,25841	1,000	-1,0378	1,1815
	2	,60508	,27863	,909	-,5914	1,8015
	4	-,11017	,26067	1,000	-1,2295	1,0092
	5	,97642	,26572	,200	-,1646	2,1174
	6	,39524	,26855	,995	-,7579	1,5484
	7	,36207	,25990	,997	-,7539	1,4781
	8	-,03555	,26227	1,000	-1,1618	1,0906
	9	,08388	,27271	1,000	-1,0872	1,2549
	10x	-1,77153*	,27271	,000	-2,9426	-,6005
	11x	-1,13769*	,27383	,017	-2,3135	,0381
4	1	,18203	,24313	1,000	-,8620	1,2260
	2	,71526	,26452	,695	-,4206	1,8511
	3	,11017	,26067	1,000	-1,0092	1,2295
	5	1,08659	,25089	,054	,0093	2,1639
	6	,50542	,25389	,949	-,5848	1,5956
	7	,47225	,24471	,958	-,5785	1,5230
	8	,07462	,24723	1,000	-,9870	1,1362
	9	,19406	,25828	1,000	-,9150	1,3031
	10x	-1,66135*	,25828	,000	-2,7704	-,5523
	11x	-1,02752*	,25946	,012	-2,1416	,0866

## Продовж. додаток Б

1	2	3	4	5	6	7
5	1	-,90456	,24854	,213	-1,9718	,1627
	2	-,37133	,26950	,997	-1,5286	,7859
	3	-,97642	,26572	,200	-2,1174	,1646
	4	-1,08659	,25089	,054	-2,1639	-,0093
	6	-,58117	,25907	,888	-1,6936	,5313
	7	-,61434	,25008	,812	-1,6882	,4595
	8	-1,01197	,25255	,101	-2,0964	,0725
	9	-,89253	,26338	,323	-2,0235	,2384
	10x	-2,74794*	,26338	,000	-3,8789	-1,6170
	11x	-2,11411*	,26453	,000	-3,2500	-,9782
6	1	-,32339	,25156	,998	-1,4036	,7568
	2	,20984	,27230	1,000	-,9594	1,3791
	3	-,39524	,26855	,995	-1,5484	,7579
	4	-,50542	,25389	,949	-1,5956	,5848
	5	,58117	,25907	,888	-,5313	1,6936
	7	-,03317	,25309	1,000	-1,1200	1,0536
	8	-,43080	,25553	,985	-1,5281	,6665
	9	-,31136	,26624	,999	-1,4546	,8319
	10x	-2,16677*	,26624	,000	-3,3100	-1,0235
	11x	-1,53294*	,26738	,000	-2,6811	-,3848
7	1	-,29022	,24230	,999	-1,3307	,7502
	2	,24301	,26376	1,000	-,8896	1,3756
	3	-,36207	,25990	,997	-1,4781	,7539
	4	-,47225	,24471	,958	-1,5230	,5785
	5	,61434	,25008	,812	-,4595	1,6882
	6	,03317	,25309	1,000	-1,0536	1,1200
	8	-,39763	,24641	,989	-1,4557	,6605
	9	-,27819	,25750	1,000	-1,3839	,8275
	10x	-2,13360*	,25750	,000	-3,2393	-1,0279
	11x	-1,49977*	,25868	,000	-2,6106	-,3890
8	1	,10740	,24484	1,000	-,9440	1,1588
	2	,64063	,26610	,831	-,5020	1,7833
	3	,03555	,26227	1,000	-1,0906	1,1618
	4	-,07462	,24723	1,000	-1,1362	,9870
	5	1,01197	,25255	,101	-,0725	2,0964
	6	,43080	,25553	,985	-,6665	1,5281
	7	,39763	,24641	,989	-,6605	1,4557
	9	,11944	,25990	1,000	-,9966	1,2354
	10x	-1,73597*	,25990	,000	-2,8520	-,6200
	11x	-1,10214*	,26107	,046	-2,2232	,0189
9	1	-,01203	,25600	1,000	-1,1113	1,0872
	2	,52120	,27640	,965	-,6657	1,7081
	3	-,08388	,27271	1,000	-1,2549	1,0872
	4	-,19406	,25828	1,000	-1,3031	,9150
	5	,89253	,26338	,323	-,2384	2,0235
	6	,31136	,26624	,999	-,8319	1,4546
	7	,27819	,25750	1,000	-,8275	1,3839

## Продовж. додаток Б


1	2	34	4	5	6	7
	8	-,11944	,25990	1,000	-1,2354	,9966
	10x	-1,85541*	,27043	,000	-3,0167	-,6942
	11x	-1,22158*	,27155	,029	-2,3876	-,0555
10x	1	1,84338*	,25600	,000	,7441	2,9426
	2	2,37661*	,27640	,000	1,1897	3,5635
	3	1,77153*	,27271	,000	,6005	2,9426
	4	1,66135*	,25828	,000	,5523	2,7704
	5	2,74794*	,26338	,000	1,6170	3,8789
	6	2,16677*	,26624	,000	1,0235	3,3100
	7	2,13360*	,25750	,000	1,0279	3,2393
	8	1,73597*	,25990	,000	,6200	2,8520
	9	1,85541*	,27043	,000	,6942	3,0167
	11x	,63383	,27155	,859	-,5322	1,7999
11x	1	1,20954*	,25718	,016	,1052	2,3139
	2	1,74277*	,27750	,000	,5512	2,9344
	3	1,13769*	,27383	,017	-,0381	2,3135
	4	1,02752*	,25946	,012	-,0866	2,1416
	5	2,11411*	,26453	,000	,9782	3,2500
	6	1,53294*	,26738	,000	,3848	2,6811
	7	1,49977*	,25868	,000	,3890	2,6106
	8	1,10214*	,26107	,046	-,0189	2,2232
	9	1,22158*	,27155	,029	,0555	2,3876
	10x	-,63383	,27155	,859	-1,7999	,5322

Додаток Е

Акти впровадження

Додаток Е. 1

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Головний лісничий ДП «Берегометське  
 лісомисливське господарство»  
 Ф. С. Акришора  
 12 лютого 2020 р.



### АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО

результатів дисертаційної роботи Максимчука Р. Т.

**“Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою  
 деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат”**

**на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
 за спеціальністю 205 – Лісове господарство**

12.02.2020

сmt. 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 внутрішньовидової диференціації *Abies alba* Mill. за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат” використовуються у практичній діяльності підприємства: вирощується садивний матеріал для створення плантацій ялиці білої “хвилясто-завилькувата” з підвищеною фітомасою стовбурної деревини в Лопушнянському лісництві.

Начальник лісового відділу



Я. Й. Лазоряк

Інженер лісового господарства



В. Д. Рощебак

Лісничий Лопушнянського лісництва



Ю.М Сергій

## Додаток Е. 2

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Головний лісничий

ДП «Перечинське лісове господарство»

І. О. Абаза

7 травня 2020 р.

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО**

результатів дисертаційної роботи Максимчука Р. Т.

**“Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою  
деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат”****на здобуття наукового ступеня доктора філософії****за спеціальністю 205 – Лісове господарство**

07.05.2020

с. Сімер

Комісія у складі провідного інженера по захисту лісу ДП «Перечинське лісове господарство» Зизич Вадима Андрійовича, провідного інженера лісового господарства ДП «Перечинське лісове господарство» Павлич Володимира Павловича, лісничого Турицького лісництва Лакатош Михайла Михайловича, склали цей акт на підтвердження того, що результати досліджень внутрішньовидової диференціації *Abies alba* Mill. за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат використовуються у практичній діяльності підприємства для створення плантацій ялиці білої “хвилясто-завилькувата” з підвищеною фітомасою стовбурної деревини в Турицькому лісництві.

Провідний інженер по захисту лісу

В. А. Зизич

Провідний інженер лісового господарства

В. П. Павлич

Лісничий Турицького лісництва

М. М. Лакатош

## Додаток Е. 3

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ  
Державний вищий навчальний заклад  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор  
з науково-педагогічної роботи

  
М.Г. Адамовський  
«27» \_\_\_\_\_ 2020 р.



25 лютого 2020 р.  
м. Львів

## АКТ

про встановлення факту використання результатів дисертаційної роботи Максимчука Р.Т. у навчальному процесі ДВНЗ «Національний лісотехнічний університет України» (НЛТУ України)

**Підстава:** Рішення Вченої ради Навчально-наукового інституту деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну (ННІ ДКТД) від 20.02.2020 р. (протокол № 1) про впровадження результатів дисертаційної роботи аспіранта кафедри ботаніки, деревинознавства та недеревних ресурсів лісу Максимчука Руслана Тарасовича 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:** керівник навчально-методичного відділу, канд. техн. наук, доцент Салабай Р.Г.; завідувач кафедри ботаніки, деревинознавства та недеревних ресурсів лісу докт. с.-г. наук, професор Осадчук Л.С.; заступник директора ННІ ДКТД з навчальної роботи, канд. техн. наук, доцент Крошній І.М.

25 лютого 2020 року комісія провела роботу зі встановлення факту використання результатів дисертаційної роботи Максимчука Р.Т. на тему «Внутрішньовидова диференціація *Abies alba* Mill. за структурою деревини в лісорослинних умовах Буковинських Карпат» у навчальному процесі НЛТУ України.

Комісія встановила, що у робочих програмах навчальної дисципліни «Деревинознавство» для підготовки бакалаврів спеціальностей 187 «Деревообробні та меблеві технології» (освітньо-професійна програма «Деревообробні та меблеві технології») та 161 «Хімічні технології та інженерія» (освітньо-професійна програма «Технології деревинних композиційних матеріалів і модифікування деревини») використовуються окремі результати дисертаційної роботи Максимчука Р.Т.

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 Максимчуку Р. Т.

Голова комісії



В.О. Маєвський

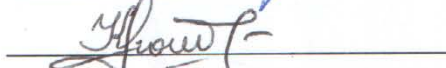
Члени комісії:



Р.Г. Салабай



Л.С. Осадчук



І.М. Крошній