

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412419>
Article received 2023.12.14
Article accepted 2024.10.18

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Iurii Debryniuk
debrynuk_ju@ukr.net

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*228.7 : 630*524.4

Формування лісівничо-таксаційних показників *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco у штучних насадженнях західного регіону України

Ю. М. Дебринюк¹, С. І. Миклуш², Ю. С. Миклуш³

Насадження за участю *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco досліджували у різних лісорослинних умовах Західного Лісостепу, які представлені різною кількістю ділянок за різною участю у складі деревостану деревного виду – в межах від 5 до 100%. Найширше в умовах регіону представлені насадження за участю псевдотсуги в умовах свіжого ґрунту (D_2), де пробними площами охоплено 30 насаджень. Тому результати досліджень стосуються саме цих лісорослинних умов.

Вивчення вікової зміни середніх показників висоти, діаметра і запасу стовбурової деревини у насадженнях за різної частки у складі *P. menziesii* показало наявність від помірного до дуже тісного зв'язку між віком і згаданими таксаційними показниками. Серед лісостанів за участі *P. menziesii* найбільшим запасом стовбурової деревини відзначаються деревостани за участю деревного виду у складі на рівні 7-9 одиниць.

У віковому діапазоні 25-37 років ріст псевдотсуги у складі мішаного насадження відзначається порівняно невисокою інтенсивністю, і за невисокої початкової участі у складі деревостану становить 10-20% за часткою стовбурової деревини. Зі збільшенням віку інтенсивність росту деревного виду збільшується і його частка у складі насадження зростає.

Варіабельність за діаметром *P. menziesii* у досліджених насадженнях за частки деревного виду в межах 10-100% помітно вища, ніж за висотою. Вірогідно, ступінь конкуренції між псевдотсугою та іншими деревними видами у насадженні значно помітніше відображається на рості за діаметром, ніж за висотою.

Тіснота зв'язку між участю псевдотсуги та запасом деревостану в межах дослідженого вікового діапазону є дуже високою ($> 0,91$) як для насаджень в цілому, так і для частки запасу псевдотсуги в них зокрема. Чим насадження старіше, тим більша участь *P. menziesii* в ньому, тим більший вплив деревного виду на запас деревостану.

¹ Дебринюк Юрій Михайлович – академік Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-235-30-12. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

² Миклуш Степан Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, директор ННІ лісового і садово-паркового господарства, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-237-10-45. E-mail: msi_s@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9762-1190>

³ Миклуш Юрій Степанович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-239-27-46. E-mail: y.myklush@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1940-1045>

Встановлені зміни основних таксаційних показників *P. menziesii* у штучних насадженнях у поєднанні з оптимізацією лісогосподарських заходів дадуть змогу приймати раціональні рішення та визначати пріоритетні напрями ведення лісового господарства у насадженнях псевдотсуґи в умовах свіжого ґрунту.

Ключові слова: висота; діаметр; запас деревини; видове число; моделювання таксаційних показників; тіснота зв'язку.

Вступ (Introduction). Лісові екосистеми як біологічні об'єкти – явище динамічне, формуються під впливом комплексу чинників і в природі часто не просто знайти насадження, яке мало б оптимальні густоту і структуру, відзначалось максимальним запасом деревини та при цьому успішно виконувало би інші корисні функції. Для вибору науково обґрунтованих рішень щодо оптимізації лісівничо-таксаційних показників деревостанів та їхньої структури використовують математичні моделі, які дають змогу проаналізувати різні варіанти та вибрати найдоцільніші з них. Тому важливим завданням під час вивчення продуктивності насаджень штучного походження в експлуатаційних лісах є створення такої моделі, яка б відображала вікові особливості росту досліджуваного деревного виду, динаміку його таксаційних показників під час культивування у різних типах лісорослинних умов.

Проте низкою дослідників (Hall, & Bailey, 2001; Hall, & Clutter, 2004; Кучеренко та ін., 2012) відзначено, що під час вивчення біологічних об'єктів процес моделювання значно ускладнений у зв'язку з необхідністю враховувати складні взаємозв'язки у досліджуваних об'єктах, які виникають в процесі природного росту та внаслідок антропогенного впливу. Необхідність враховувати невизначену кількість факторів суттєво ускладнює процес моделювання, а дуже часто й унеможливорює опрацювання всіх варіантів і вибору оптимального з них. Тому вибір реально можливих варіантів моделювання потрібно здійснювати з урахуванням біології досліджуваного явища та не приймати до уваги нереальні.

Математичні моделі використовують для розроблення підходів до управління лісовими екосистемами, вони простіше відображають реальний об'єкт моделювання, оскільки включають не всі його властивості, а лише важливі для моделювання. Математичні моделі росту і продуктивності деревостанів дають змогу проаналізувати різноманітні варіанти режимів формування та вирощування насаджень і виявити найоптимальніші з них.

Інтенсивне ведення лісового господарства, насамперед – плантаційного напрямку, передбачає необхідність переходу до науково обґрунтованої системи цілеспрямованого формування високопродуктивних насаджень доцільного складу і структури на визначеному віковому проміжку (Фучило, 2011; Цурик, 2008, Myklush et al., 2024). У такому випадку необхідно мати чітко визначені параметри щодо складу, кількості дерев, їх розташування на ділянці та інші лісівничо-таксаційні показники деревостанів на кожному віковому етапі їх вирощування. Такий підхід зумовлює необхідність розроблення

моделей вирощування високопродуктивних насаджень з коротким оборотом рубки та програми їхнього формування з урахуванням віку.

Опрацювання моделей росту швидкорослих деревних видів у насадженнях плантаційного типу ускладнене відсутністю наявних деревостанів різного віку, густоти і технології їх створення, які були б закладені у декількох типах лісорослинних умов за різного поєднання деревних видів та густоти їх створення і могли слугувати основою для розроблення принципів вибору оптимальних варіантів. Такі дослідні дані, зібрані у реальних насадженнях, мають важливе значення для пізнання закономірностей росту деревостанів залежно від типу лісорослинних умов, віку, густоти, складу, виявлення зв'язку між цими показниками та іншими таксаційними характеристиками. Як відомо, на основі аналізу взаємозв'язків між лісівничо-таксаційними показниками деревостанів на підставі середніх висоти та діаметра, густоти і видового числа можна отримати інші показники розрахунковим шляхом. А характер трансформації основних таксаційних показників у динаміці дає змогу прогнозувати їхню зміну з віком.

Природна екосистема є складною за своєю природою, тому на характер зміни таксаційних ознак може мати вплив множина факторів, які не просто виокремити під час формування математичної моделі прогнозу росту деревостанів за окремими таксаційними показниками. Короткочасні спостереження та епізодичні оцінки тих чи інших явищ або ознак фітоценозу є недостатніми, оскільки можуть не охоплювати неминучі вікові зміни, що відбуваються у фітоценозі. Такі спостереження повинні бути достатньо тривалими та охоплювати процеси, які проходять у насадженні впродовж періоду лісовирощування, що вимагає тривалого часу спостережень, але може бути компенсоване достатнім репрезентативним матеріалом.

Під час виконання лісівничих досліджень дослідні дані зазвичай формують вибіркоким методом, а для зручності їх опрацювання групують однорідні вибіркові сукупності на основі типів лісорослинних умов, типів лісу, класів бонітету тощо (Дебринюк, Король, 2011). Насадження за участю *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco в умовах Західного Лісостепу України створені як експериментальні у різних лісорослинних умовах. Вони характеризуються різними віком, часткою деревного виду у складі, різним характером лісогосподарського впливу та, відповідно, різною продуктивністю.

Дослідження таксаційних показників *P. menziesii* залежно від частки деревного виду у складі деревостану в межах конкретного типу лісорослинних

умов дасть змогу встановити особливості зміни середніх висоти та діаметра, запасу стовбурової деревини залежно від віку та частки псевдотсуги, виявити максимальні запаси стовбурової деревини *P. menziesii* за різної участі у складі деревостану.

Мета роботи полягає у моделюванні росту за основними лісівничо-таксаційними показниками псевдотсуги Мензіса у насадженнях штучного походження в умовах свіжого груду (D_2) з урахуванням частки деревного виду у складі лісостану.

Об'єкти та методика (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – особливості росту штучних насаджень за участю псевдотсуги Мензіса різних вікових груп за різної їх частки у складі в умовах свіжого груду Західного Лісостепу. **Предмет досліджень** – зміна основних таксаційних показників насаджень псевдотсуги з віком у найпоширеніших умовах їхнього вирощування.

Насадження псевдотсуги Мензіса досліджували у різних лісорослинних умовах Західного Лісостепу, які представлені різною кількістю ділянок за різною участю у складі деревостану інтродукованого деревного виду в межах від 5 до 100%. Групування даних здійснено за складом у межах типів лісорослинних умов C_2 ; C_3 ; D_2 ; D_3 , яке є реальним відображенням ґрунтово-гідрологічних і природно-кліматичних особливостей, характеризує потенційну продуктивність деревостанів за участю псевдотсуги Мензіса.

Поряд з цим, найширше в умовах регіону представлені насадження за участю псевдотсуги в умовах свіжого груду, де пробними площами охоплено 30 насаджень. Саме тому результати досліджень стосуються лише цього типу лісорослинних умов (D_2).

Основні лісівничо-таксаційні показники насаджень на пробних площах встановлювали загальноприйнятими у лісовій таксації методами (Основи лісогосподарювання, 2022), зокрема розрахунковим шляхом за складною формулою Губера обчислювали об'єм дерев псевдотсуги, а старе видове число – з урахуванням взаємозв'язків між об'ємом дерева та його висотою і площею перерізу на висоті 1,3 м дерева ($f = V/g \times h$).

У зв'язку зі значною варіабельністю частки *P. menziesii* у складі насаджень, їх поділено на чотири групи залежно від участі досліджуваного деревного виду у складі (10-20%; 30-40%; 50-70%; 80-100%). Кількість досліджених насаджень за цими групами становила, відповідно, 12, 5, 4 та 9 штук. Більшість досліджених об'єктів характеризуються часткою *P. menziesii* у складі штучних насаджень до 40%.

Для моделювання росту за висотою, діаметром, запасом стовбурової деревини та видовим числом деревостанів за участю *P. menziesii* було випробувано чотири найбільш розповсюджені функції – лінійну, логарифмічну, поліноміальну і степеневу. Окрім названих, також використано інші функції із пакету «Statistica», випробуваних західноєвропейськими вченими (Pretsch, 1992; Gadow, 1987, 2001; Pretsch, 2001; Gadow, Hui, 1999, 2014). Як оптимальну, було вибрано функцію з найбільшою вели-

чиною достовірності апроксимації (R^2), яка адекватно описує закономірності зміни висоти, діаметра, запасу і видового числа *P. menziesii* у межах досліджуваного вікового діапазону.

Результати (Results). Зміну основних таксаційних показників з віком встановлювали шляхом їх моделювання в межах виділених груп насаджень пробних площ, що дасть змогу вирішити низку задач формування насаджень шляхом створення лісових культур, в т.ч. і ведення плантаційного господарства. Показники росту деревостанів залежно від їхнього складу та структури може бути використано для планування доцільних лісогосподарських заходів.

Відзначимо, що частка *P. menziesii* в складі деревостану зі збільшенням віку зростає, особливо після 40 років, коли відбувається інтенсифікація її росту за висотою та діаметром. У цей період частка *P. menziesii* у складі насаджень може збільшуватися з 10-20 до 30-40%.

За матеріалами пробних площ віковий діапазон насаджень за частки *P. menziesii* у складі 10-20% обмежується 25-37 роками. До віку 25 років елемент лісу – псевдотсуга характеризується середньою висотою майже 15 м. Зміну висоти досліджуваного деревного виду в межах встановленого вікового діапазону показано на рис. 1, з якого видно, що ріст псевдотсуги після 25 років внаслідок невеликої її частки у складі деревостану може відзначатися порівняно невисокою інтенсивністю. У цьому віковому діапазоні *P. menziesii* досягає переважно I-I^a класів бонітету. Вищий клас бонітету деревного виду (I^b) відзначено лише в окремих насадженнях.

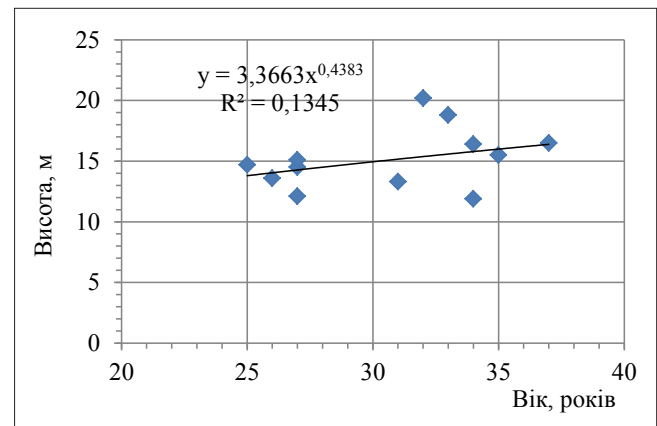


Рис. 1. Зміна висоти *P. menziesii* у штучних лісових насадженнях (участь у складі 10-20%)

Fig. 1. The change in height of *P. menziesii* in artificial forest plantations (the share in stand composition is 10-20%)

Висота псевдотсуги у досліджуваних насадженнях відзначається значною варіабельністю, що зв'язано з підтипом лісорослинних умов, зі структурою та складом насадження (ярусність, співвідношення світлолюбних і тіньовитривалих, швидко- та повільнорослих деревних видів), використаною схемою змішування, густотою самого деревостану

на різних етапах вирощування, ступенем конкуренції між деревними видами.

Значення коефіцієнта детермінації підтверджує наявність помірної тісноти зв'язку ($r = 0,36$) між віком і висотою *P. menziesii* в межах досліджуваного вікового діапазону.

Деревостани за значної частки *P. menziesii* (80-100%) досліджено впродовж доволі значного вікового діапазону – 25-103 років (рис. 2). У цьому випадку псевдотсуга утворює практично чисті насадження, характерною рисою яких є формування деревостанів різних класів бонітету: деревостани віком 21-40 р. характеризуються класом бонітету в межах I^a-I^b, в 45-50 р. – I^d, в 60-70 р. – I^b-I^c класами бонітету. Чисте 105-річне насадження псевдотсуги характеризується високим I^c класом бонітету. Значення коефіцієнта детермінації підтверджує наявність дуже високої тісноти зв'язку ($r = 0,97$) між висотою *P. menziesii* та її віком.

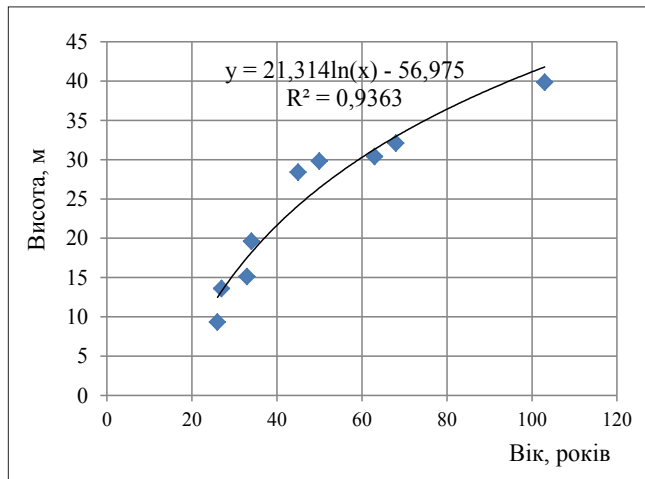


Рис. 2. Зміна висоти *P. menziesii* у штучних лісових насадженнях (участь у складі 80-100%)

Fig. 2. The change in height of *P. menziesii* in artificial forest plantations (the share in stand composition is 80-100%)

Таку ж високу тісноту зв'язку ($r = 0,93$) спостережено між висотою та віком псевдотсуги за різної її участі у складі насадження (10-100%) впродовж усього досліджуваного вікового діапазону (рис. 3). У віковому проміжку 40-60 років *P. menziesii* за висотою росте найбільш інтенсивно.

Коефіцієнт варіації за висотою псевдотсуги в умовах D_2 у всіх вікових групах дуже високий (25-40%), що зумовлено, насамперед, широким віковим діапазоном досліджених насаджень, різною інтенсивністю росту породи у різні вікові періоди та господарським втручанням у природні процеси росту.

Подібні тенденції, залежно від частки у складі деревостану, спостережено і в рості псевдотсуги за діаметром. Так, за частки *P. menziesii* в межах 10-20% у складі деревостану спостережено значну варіабельність деревного виду за діаметром (рис. 4). Як і у випадку з висотою (див. рис. 1), отримані дані стосуються вузького вікового діапазону, а їхня

варіабельність пояснюється тими ж причинами, що і варіабельність за висотою. Значення коефіцієнта детермінації також невисоке, однак воно все ж свідчить про існування помірного зв'язку між діаметром *P. menziesii* та її віком ($r = 0,40$) за 10-20%-ої її частки у складі деревостану.

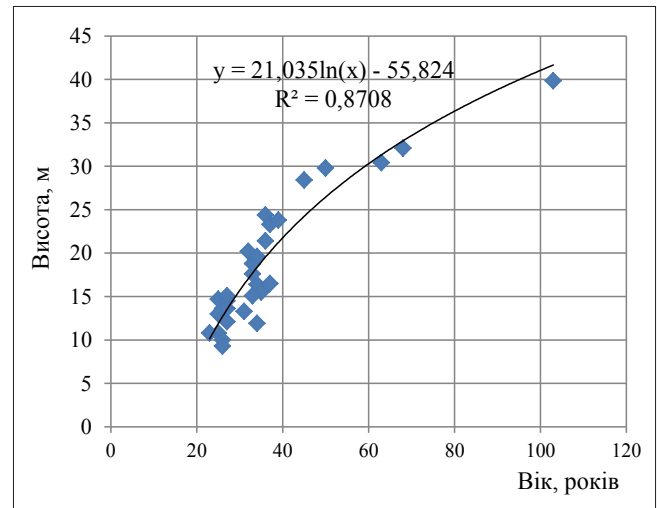


Рис. 3. Зміна висоти *P. menziesii* у штучних лісових насадженнях (участь у складі 10-100%)

Fig. 3. The change in height of *P. menziesii* in artificial forest plantations (the share in stand composition is 10-100%)

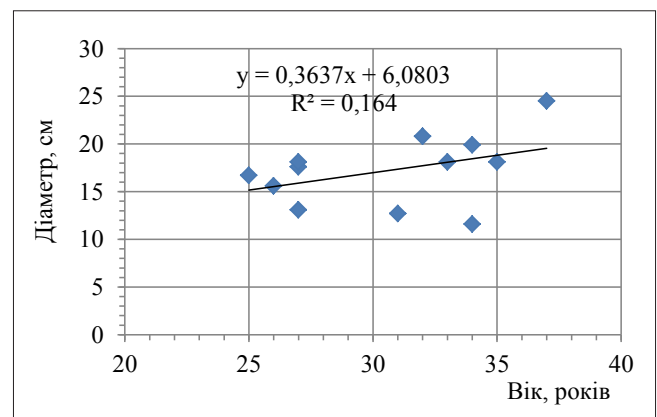


Рис. 4. Зміна діаметра *P. menziesii* у штучних лісових насадженнях (участь у складі 10-20%)

Fig. 4. The change in diameter of *P. menziesii* in artificial forest plantations (the share in stand composition is 10-20%)

Варіабельність за діаметром у всіх досліджених насадженнях псевдотсуги значно вища, ніж за висотою (рис. 5). Тісноту зв'язку між діаметром і віком *P. menziesii* за різної частки деревного виду у складі впродовж досліджуваного вікового діапазону визначено як високу ($r = 0,75$). Тобто, частка псевдотсуги у складі деревостану, густота самого деревостану, характер розташування дерев у лісостані тощо визначають ступінь конкуренції між деревними видами, що значно помітніше відображається на інтенсивності росту *P. menziesii* за діаметром, ніж за висотою.

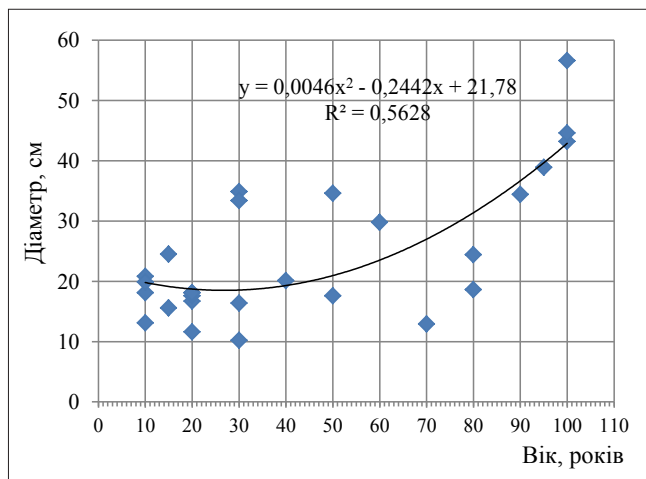


Рис. 5. Зміна діаметра *P. menziesii* у штучних лісових насадженнях (участь у складі 10-100%)

Fig. 5. The change in diameter of *P. menziesii* in artificial forest plantations (the share in stand composition is 10-100%)

Відносно повільний ріст псевдотсуги у молодняках, де її участь не перевищує 10-20%, слабо впливає на зміну загального запасу стовбурової деревини у насадженні (рис. 6). Залежно від інтенсивності впливу абіотичних та антропогенних чинників, запас деревини псевдотсуги змінюється в межах 10-40 м³·га⁻¹. При цьому тісноту зв'язку між запасом деревини та віком псевдотсуги за її участі у складі на рівні 10-20% можна визначити як помірну (0,44). Для насадження в цілому цей показник є дещо вищим (0,50).

Аналіз зміни запасу стовбурової деревини *P. menziesii* впродовж всього дослідженого вікового діапазону за частки хвойного виду у складі на рівні 10-100% підтверджує формування високих запасів деревини (рис. 7). Якщо вплив псевдотсуги у молодому віці (до 40 р.) та за участі на рівні 10-20% на загальний запас деревини у лісостані не високий, то

цей вплив суттєво зростає, починаючи з 45-50-річного віку. Окремі насадження *P. menziesii* 60-70-річного віку, де участь деревного виду сягає 80-100%, нагромаджують 650-850 м³·га⁻¹ стовбурової деревини. Насадження 105-річного віку (склад 10Пд) відзначається значним запасом деревини – близько 1500 м³·га⁻¹. При цьому тіснота зв'язку між запасом стовбурової деревини та віком за частки *P. menziesii* 80-100% є дуже високою (> 0,91) як для деревостанів у цілому, так і для частки запасу псевдотсуги в них зокрема. Чим насадження старше, тим більша участь *P. menziesii* в ньому, тим більший вплив деревного виду на запас деревостану.

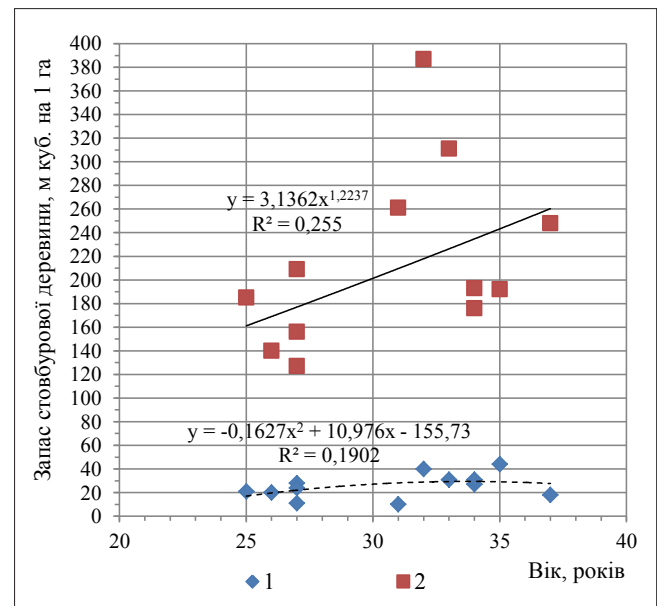


Рис. 6. Зміна запасу стовбурової деревини *P. menziesii* (1) і деревостану загалом (2) за участі хвойного виду в складі на рівні 10-20%

Fig. 6. Change in the stock of stemwood of *P. menziesii* (1) and of the stand as a whole (2) with the inclusion of a coniferous species at a composition share of 10-20%

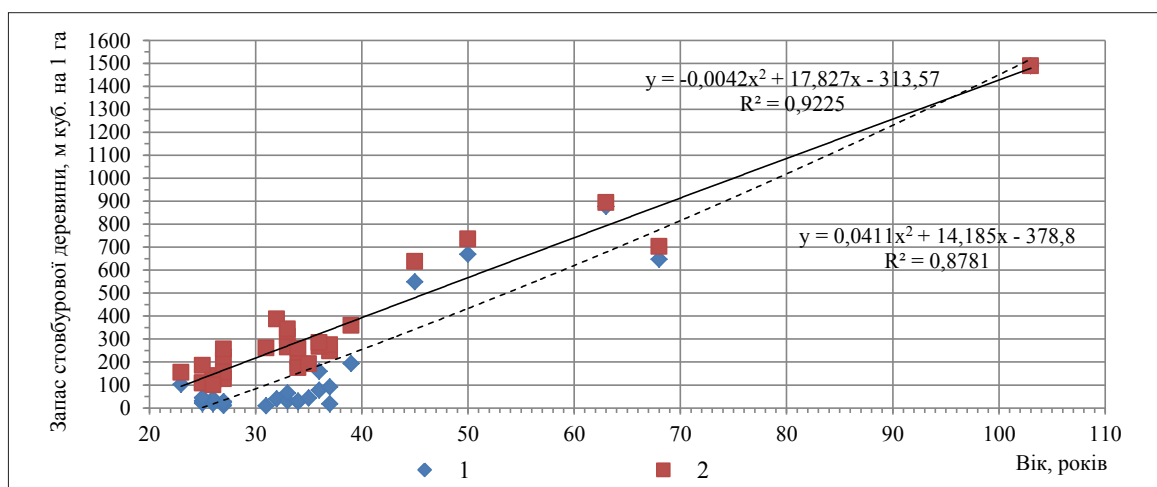


Рис. 7. Зміна запасу стовбурової деревини *P. menziesii* (1) і деревостану загалом (2) за участі хвойного виду в складі на рівні 80-100%

Fig. 7. Change in the stock of stemwood of *P. menziesii* (1) and of the stand as a whole (2) with the inclusion of a coniferous species at a composition share of 80-100%

Загалом вивчення зміни запасу стовбурової деревини псевдотсуги в умовах свіжого груду вказує на значну варіабельність цієї ознаки, подібно до показників середньої висоти та середнього діаметра. Причини цього явища полягають у різній участі *P. menziesii* в складі, широким віковим діапазоном досліджень, різною густотою деревного виду, зокрема у чистих насадженнях та господарським впливом.

Аналізуючи вирівняні значення запасу стовбурової деревини за прийнятими групами частки *P. menziesii* в складі деревостану, найбільший запас притаманний деревостанам з максимальною участю псевдотсуги.

Поряд з висотою, діаметром та запасом деревини, було досліджено зміну видового числа *P. menziesii* залежно від висоти її дерев (рис. 8). Найменшу збіжистість стовбура (0,57-0,64) спостережено у дерев віком 10-15 років, дещо більшу – у 16-22-річних екземплярів. Помітне зниження видового числа зафіксовано у дерев, починаючи з 30-річного віку, хоча цей показник також відзначається значною варіабельністю, і в основному залежить від участі *P. menziesii* в складі та густоти стояння дерев у деревостані. Коефіцієнт детермінації вказує на наявність зв'язку високої тісноти ($r = 0,76$) між видовим числом та висотою псевдотсуги.

За результатами досліджень складено підсумкову таблицю зміни таксаційних показників *P. menziesii* залежно від віку і частки у складі де-

ревостану (табл.). Отже, зі збільшенням частки псевдотсуги у складі лісостану та його віку таксаційні показники деревного виду зростають, особливо інтенсивно – після 40-річного віку. Навіть при досягненні 100-річного віку *P. menziesii* зберігає високу інтенсивність росту за висотою.

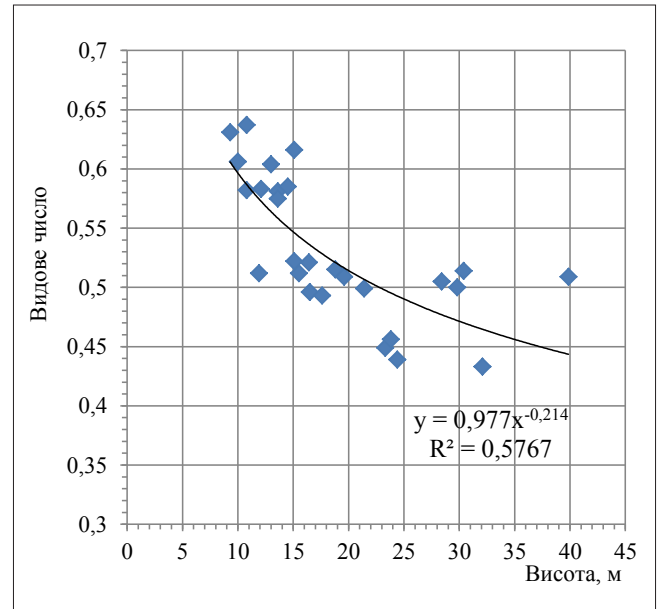


Рис. 8. Зміна видового числа *P. menziesii* у штучних лісових насадженнях залежно від висоти дерев

Fig. 8. The change in form factor of *P. menziesii* in artificial forest plantations depending on tree height

Таблиця. Зміна таксаційних показників *P. menziesii* залежно від віку і частки деревного виду у складі деревостану в умовах D_2 Західного Лісостепу

Table. Changes in the mensuration indices of *P. menziesii* depending on the age and the share of the tree species in the stand composition in the D_2 conditions of the Western Forest-Steppe

Частка у складі, %	Кількість об'єктів, шт.	Досліджуваний віковий діапазон, років	Розмах за:			Видове число	Клас бонітету
			висотою, м	діаметром, см	запасом, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$		
10-20	12	25-37	11,9 ÷ 20,2	11,6 ÷ 24,5	10 ÷ 40	0,585-0,513	I-I ^b
30-40	5	25-38	10,8 ÷ 24,4	10,2 ÷ 34,9	32 ÷ 92	0,589-0,495	I-I ^c
50-70	4	23-39	10,8 ÷ 23,8	12,9 ÷ 34,6	45 ÷ 194	0,589-0,498	I-I ^c
80-100	9	33-105	13,6 ÷ 39,8	15,9 ÷ 56,6	100 ÷ 1490	0,560-0,443	I-I ^c

Розмах значень *P. menziesii* за висотою у насадженнях 25-39-річного віку є доволі подібним. При цьому частка деревного виду у складі деревостану досить різна – від 10-20 до 50-70%. У насадженнях старшого віку (частка псевдотсуги 80-100%) розмах за висотою є помітно більшим. Значний розмах значень за висотою вказує на відсутність застосування практики рубок догляду низовим методом.

За діаметром у *P. menziesii* спостережено ще більший розмах значень.

Запас стовбурової деревини залежить від частки псевдотсуги у складі деревостану. Але навіть у межах конкретного вікового діапазону за конкретної частки *P. menziesii* у складі, запас її стовбурової деревини відзначається значним розмахом, що підтверджує суттєвий вплив лісгосподарських заходів на ростові процеси, що відбуваються у деревостані.

Достовірного зв'язку між видовим числом *P. menziesii* та її часткою у складі не встановлено.

Дискусія (Discussion). В умовах інтенсивного ведення лісового господарства процес штучного лісовирощування не може обмежуватися лише збором та узагальненням експериментальних даних, досвідом практичної діяльності та вивченням стійкості і продуктивності антропогенних екосистем. Під час дослідження фітоценозу перевагу потрібно надавати кількісним методам вивчення, оскільки окомірних оцінок, словесних описів властивостей та особливостей фітоценозу, які широко використовують у ботанічних дослідженнях, для вирішення проблеми успішного функціонування культур-фітоценозів недостатньо. На основі наукового узагальнення вище названих складових потрібне моделювання природних процесів росту і розвитку насаджень.

Виявивши розмірні показники дерев у конкретних типах лісорослинних умов, конкретному віці та в насадженнях певного складу, можна змодельовати такий «ідеальний» деревостан, прямувати до якого необхідно в процесі вирощування насаджень, насамперед – плантаційних з коротким оборотом рубки.

Під час закладання експерименту в рослинних угрупованнях практично складно витримати основний принцип лабораторного досліду – зберегти константність усіх чинників за винятком того, значення якого досліджується, і з цією метою змінюється в певних межах. У природних умовах у випадку вищелення для вивчення того чи іншого показника росту рослини, поряд з різноваріантністю досліджуваного показника в певних межах (хоча і значно менше) варіюють й інші показники, форми взаємодії та умови середовища на різних ділянках. У зв'язку з цим, необхідна постановка додаткових досліджень і широке застосування методів статистичного аналізу результатів досліду.

У наших попередніх роботах (Дебринюк, Король, 2011) за результатами досліджень 44 насаджень *Picea abies* (L.) Karst. у віці 15-88 років також було відзначено високу варіабельність таксаційних показників деревного виду за віковими групами в умовах D_2 Західного Лісостепу. Основна причина – інтенсивна господарська діяльність. Подібні висновки були зроблені дослідниками сосново-букових лісів на Розточчі (Myklush et al., 2022).

Результати досліджень зміни основних таксаційних показників – висоти, діаметра, запасу, площі поперечних січень *Larix decidua* Mill., *Larix leptolepis* Gord, *Larix eurolepis* Henry та *Pinus sylvestris* L. у свіжих і вологих сугрудах Західного Полісся також підтвердили наявність істотної вірогідної різниці в абсолютній величині зазначених таксаційних показників, причиною чого були два основних фактори – обмежена кількість варіантів досліджень в окремих вікових діапазонах та інтенсивна господарська діяльність у деревостанах за участю модрина (Белеля, Каганяк, Дебринюк, 2015).

У напрямі моделювання росту деревостанів є низка результатів досліджень інших авторів. Так, О.П. Бала, Є.Ю. Хань (2016) розробили динамічні бонітетні шкали, придатні для групування експериментальних даних з метою моделювання динаміки ходу росту інших таксаційних показників дуба звичайного у Лісостепу України. Однак ці напрацювання стосуються лише природних паростевих деревостанів. За результатами досліджень (Бала, Хань, 2015), вагомий вплив на ріст дуба звичайного мають його походження і типи лісорослинних умов. Дослідники здійснили групування у кластери для трьох основних таксаційних показників – середньої висоти, середнього діаметра та запасу.

Л.І. Копій та ін. (2018) здійснили моделювання основних лісівничо-таксаційних показників для березово-соснових деревостанів в умовах свіжого соснового бору. Досягнення максимальних біометричних показників дає змогу деревостану найкраще використовувати потенційну родючість ґрунту. Автори здійснили аналіз процесів росту деревостанів у зв'язку з інтенсивністю проведення рубок догляду. Встановлено суттєвий вплив господарських заходів на середні таксаційні показники деревостану, що дає розуміння процесу їхньої високої варіабельності.

П.І. Лакидою, І.С. Приліпком, М.Г. Сорокою (2016), І.С. Приліпком (2016) розроблено комплекс математичних моделей для оцінювання продукції стовбурової деревини та кори деревостанів берези повислої в умовах Чернігівського Полісся. Відзначено їхню високу продуктивність та щорічне забезпечення високого річного приросту продукції стовбурів дерев.

Моделювання таксаційної будови за діаметром модальних ялицевих деревостанів Українських Карпат з використанням шести функцій показало значну мінливість за цим показником (Портах, Король, 2018). На думку авторів, мінливість зумовлена, насамперед, тіньовитривалістю ялиці білої, яка може тривалий час знаходитись під наметом деревостану, а вийшовши в перший ярус, різко збільшує приріст за діаметром. Найпридатнішою функцією щільності розподілу виявився бімодальний розподіл Вейбулла, а найгірші результати показав гамма-розподіл. Ще одним важливим, не названим авторами чинником, є господарська діяльність в яличинах та суяличинах, що впливає, насамперед, на варіабельність насаджень за діаметром.

В.М. Ловинська (2018) здійснила моделювання надземної фітомаси компонентів стовбура сосни звичайної у штучних деревостанах Північного Степу за об'ємом деревини стовбура, об'ємом кори стовбура та об'ємом стовбура в корі. Встановлено, що надземна фітомаса деревини та стовбура в корі сосни збільшується із висотою та діаметром дерева. Водночас фітомаса компонента кори стовбура має тенденцію до зниження з висотою за сталої величини діаметра стовбура.

Отримані результати досліджень щодо зміни таксаційних показників деревних видів у конкретних типах лісорослинних умов можуть бути використані для вирішення конкретних задач в межах обмеженого вікового діапазону з використанням певної кількості основних і допоміжних параметрів залежно від дії природно-кліматичних та антропогенних чинників.

Висновки (Conclusions). Вивчення вікової зміни середніх показників висоти, діаметра і запасу стовбурової деревини у насадженнях за різної частки у складі *P. menziesii* в умовах свіжого грудку показало наявність від помірного до дуже тісного зв'язку між віком і згаданими таксаційними показниками.

У досліджуваних деревостанах встановлено зростання запасу стовбурової деревини зі збільшенням частки *P. menziesii* до 7-9 од. Мішані насадження псевдотсуґи віком 25-27 років та її часткою у складі 10-20% за запасом відзначається порівняно невисокою продуктивністю. Зі збільшенням віку насаджень зростає і частка *P. menziesii* у складі деревостанів, що позначається на їхній продуктивності.

Насадження *P. menziesii* у віці 21-40 років переважно характеризується I^a-I^b, в 45-50 р. – I^d, в 60-70 р. – I^b-I^c класами бонітету. Навіть 105-річне насадження відзначається високою інтенсивністю росту та відповідає I^c класу бонітету.

Варіабельність за діаметром *P. menziesii* у досліджених насадженнях за частки деревного виду в межах 10-100% помітно вища, ніж за висотою. Можна припустити, що ступінь конкуренції між псевдотсуґою та іншими деревними видами у насадженні значно помітніше відображається на рості за діаметром, ніж за висотою.

Тіснота зв'язку між участю псевдотсуґи та запасом деревостану в межах дослідженого вікового діапазону є дуже високою (> 0,91) як для насаджень в цілому, так і для частки запасу псевдотсуґи в них зокрема. Чим насадження старше, тим більша участь *P. menziesii* в ньому, тим більший вплив деревного виду на запас деревостану.

Кінцевих рекомендацій виробництву щодо початкової густоти садіння та наступної оптимальної частки *P. menziesii* в складі деревостану, яка б забезпечувала його максимальну продуктивність, встановити не вдалось. Причини полягають в обмеженій кількості об'єктів для дослідження та господарським втручанням у процеси росту насаджень. Крім того, із збільшенням віку внаслідок інтенсифікації росту частка псевдотсуґи у загальному запасі деревостану зростає, що також необхідно враховувати під час проектування лісокультурних заходів та проведення лісівничих доглядів за насадженнями за участю деревного виду. Оптимальним варіантом повинно стати моделювання основних таксаційних показників *P. menziesii* у віковій динаміці за певної частки

деревного виду у складі в конкретному типі лісорослинних умов.

Встановлені зміни основних таксаційних показників *P. menziesii* у штучних насадженнях у поєднанні з оптимізацією лісгосподарських заходів дають змогу приймати раціональні рішення та визначати пріоритетні напрями ведення лісового господарства у насадженнях псевдотсуґи в умовах свіжого грудку західного регіону України.

Список літератури (References)

- Бала, О.П., Хань, Є.Ю. (2016). Моделювання динаміки середньої висоти модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(5), 22-27. [Bala, O.P., & Han, E.Yu. (2016). The Modeling of Middle Height Dynamic of Vegetative Origin Modal Oak Stands Growth in Ukrainian Forest-Steppe Zone. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(5), 22-27. <https://doi.org/10.15421/40260503>] (in Ukrainian)
- Бала, О.П., Хань, Є.Ю. (2015). Статистичні передумови моделювання росту модальних деревостанів дуба звичайного вегетативного походження Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(9), 19-23. [Bala, O.P., & Khan, E.Yu. (2015). Preliminary Statistical Analysis of Vegetative Origin Oak Stands Growth in Ukrainian Forest-Steppe Zone. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(9), 19-23. <https://doi.org/10.15421/40250903>] (in Ukrainian)
- Белеля, С.О., Каганяк, Ю.Й., Дебринюк, Ю.М. (2015). Динаміка таксаційних показників модрини у лісових насадженнях Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(4), 24-29. [Belelya, S.O., Kaganjak, Yu.Yo., & Debryniuk, Iu.M. (2015). The Dynamics of taxation indicators in larch forest stands of the West Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(4), 24-29. Retrieved from <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1238>] (in Ukrainian)
- Дебринюк, Ю.М., Король, М.М. (2011). До питання про оптимізацію густоти ялинових деревостанів у Західному Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 9, 113-117. [Debryniuk, Iu.M., & Korol, M.M. (2011). Growth and productivity modeling of *Picea abies* [L.] Karst. plantations as forest plantations prototype in the western region of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 9, 113-117. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/379>] (in Ukrainian)
- Копій, Л.І., Фізик, І.В., Баран, С., Каганяк, Ю.Й., Копій, С.Л., Чаплик, О.А., ... Преснер, Р.Б. (2018). Динаміка таксаційних показників березово-соснових деревостанів в умовах свіжого соснового

- бору та їх короткотерміновий прогноз. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(1), 14-19. [Korpiy, L.I., Fyzik, I.V., Baran, S., Kaganiak, Yu.J., Korpiy, S.L., Chaplyk, O.A., ... Presner, R.B. (2018). The dynamics of mensurational indices and their short-term prediction in birch-pine stands under A₂ type conditions (Fresh infertile pine site type). *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28(1), 14-19. <https://doi.org/10.15421/40280102>] (in Ukrainian)
- Кучеренко, Є.І., Кучеренко, В.Є., Глушенкова, І.С., Творошенко, І.С. (2012). *Методи, моделі та інформаційні технології оцінювання станів складних об'єктів*. Харків: Харківська національна академія міського господарства; Харківський національний університет радіоелектроніки. [Kucherenko, E.I., Kucherenko, V.E., Glushenkova, I.S., & Tvoroshenko, I.S. (2012). *Methods, models and information technologies for assessing the state of complex objects*. Kharkiv: Kharkiv National Academy of Urban Economy; Kharkiv National University of Radio Electronics. Retrieved from https://gis.kname.edu.ua/images/Files/Monografya_2012.pdf] (in Ukrainian)
- Лакида, П.І., Приліпко, І.С., Сорока, М.Г. (2016). Особливості моделювання стовбурової продукції деревостанів берези повислої у Чернігівському Поліссі. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(7), 24-30. [Lakyda, P.I., Prilipko, I.S., & Soroka, N.G. (2016). The Features of simulation of stem products of silver birch stands in Chernihiv Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(7), 24-30. <https://doi.org/10.15421/40260703>] (in Ukrainian)
- Ловинська, В.М. (2018). Надземна фітомаса стовбурів *Pinus sylvestris* L. у деревостанах Північного Степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(8), 79-82. [Lovynska, V.M. (2018). Aboveground phytomass of the trunk of *Pinus sylvestris* L. stands within northern steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28(8), 79-82. <https://doi.org/10.15421/40280816>] (in Ukrainian)
- Портах, С.В., Король, М.М. (2018). Порівняння шести функцій щільності розподілу для моделювання таксаційної будови за діаметром модальних ялицевих деревостанів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(6), 39-42. [Portakh, S.V., & Korol, M.M. (2018). Comparison of six probability density functions for modeling diameter distribution structure of modal fir stands of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28(6), 39-42. <https://doi.org/10.15421/40280607>] (in Ukrainian)
- Приліпко, І.С. (2016). Продукція стовбурової деревини та кори дерев берези повислої у деревостанах Чернігівського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(5), 140-146. [Prilipko, I. (2016). The Production of Stemwood and Bark of Birch in Chernigiv Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(5), 140-146. <https://doi.org/10.15421/40260521>] (in Ukrainian)
- Фучило, Я.Д. (2011). *Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи*. Київ: Логос. [Fuchylo, Y.D. (2011). *Plantation forestry: theory, practice, perspectives*. Kyiv: Logos] (in Ukrainian)
- Цурик, Є.І. (2008). *Таксація динаміки деревостанів*. Львів: Вид-во НЛТУ України. [Tsuryk, E.I. (2008). *Taxation of tree stand dynamics*. Lviv: Publishing House of Ukrainian National Forestry University] (in Ukrainian)
- Gadow, v K. (1987). *Untersuchungen zur konstruktion von Wuchsmodellen für schnellwüchsige Plantagenbaumarten*. Forstliche Forschungsberichte. München. Nr 77. [Gadow, v. K (1987). *Studies on the construction of growth models for fast-growing plantation tree species*. Forest Research Reports. Munich. No. 77. Retrieved from <https://www.waldwachstum.wzw.tum.de/fileadmin/publications/257.pdf>] (in German)
- Gadow, v K. (2001). *Waldwachstum*. Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Georg-August-Universität Göttingen. [Gadow, v K. (2001). *Forest growth*. Faculty of Forest Sciences and Forest Ecology. Georg August University of Göttingen] (in German)
- Gadow, v K., & Hui, G.Y. (1999). *Modelling Forest Development*. Kluwer Academic Publishers, Povoedrecht (Boston) London.
- Gadow, v K., & Hui, G. (2014). *Modelling Forest Development*. Part of the book series: *Forestry Sciences*, 57. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-4816-0>
- Hall, D., & Bailey, R. (2001). Modeling and prediction of forest growth variables based on multilevel nonlinear mixed models. *Forest Science*, 47(3), 311-321. <https://doi.org/10.1093/forestscience/47.3.311>
- Hall, D., & Clutter, M. (2004). Multivariate multilevel nonlinear mixed effects models for timber yield predictions. *Biometrics*, 60(1), 16-24. <https://www.jstor.org/stable/3695547>
- Myklush, Yu, Myklush, S., Debryniuk, Iu., & Hayda, Yu. (2022). Formation of European beech stands (*Fagus sylvatica* L.) that involve Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in tree species composition in the Ukrainian Roztochie. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64(2), 83-89. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0008>
- Myklush, S., Myklush, Yu., Debryniuk, Iu., & Prystupa, R. (2024). Change in the productivity of stands of the spruce (*Picea abies* L.) mountain Carpathian forests district over a 70-year period. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 66(2), 61-71. <https://doi.org/10.2478/ffp-2024-0006>
- Pretzsch, H. (1992). *Konzeption und Konstruktion von Wuchsmodellen für Rein- und Mischbestände*. München: Forstliche Forschungsberichte. [Pretzsch, H. (1992). *Conception and construction of growth models for pure and mixed stands*. Munich: Forest Research Reports] (in German)
- Pretzsch, H. (2001). *Modellierung des Waldwachstums*. Berlin: Parey Buchverlag. [Pretzsch, H. (2001). *Modeling of forest growth*. Berlin: Parey Publishing House] (in German)

Formation of forest mensuration indicators of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco in artificial plantations of the western region of Ukraine

Iu. Debryniuk¹, S. Myklush², Yu. Myklush³

The plantations involving *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco were studied in various forest-growth conditions of the Western Forest-Steppe, represented by different numbers of plots with varying participation of the studied tree species in the stand composition, ranging from 5% to 100%. The most widely represented in the conditions of the region are plantations with the participation of Douglas fir (*Pseudotsuga*) in the conditions of fresh fertile site type (D_2), where 30 plantations were sampled. Therefore, the research results specifically pertain to these forest-growth conditions.

Due to the significant variability of the share of *P. menziesii* in the stand composition, the plantations were divided into four groups based on the share percentage of the tree species (10-20%; 30-40%; 50-70%; 80-100%). The number of studied plantations within these groups was 12, 5, 4, and 9, respectively. Most of the studied plots are characterised by the share of the tree species in the stand composition of artificial plantations up to 40%.

The study of age-related changes in the average height, diameter, and volume of stemwood in plantations with varying shares of *P. menziesii* in fresh fertile site types revealed a moderate to very close relationship between age and the aforementioned forest mensuration indices. Among the stands involving *P. menziesii*, the highest volume of stemwood is found in stands where the tree species composition is at the level of 7-9 units.

In the age range of 25-37 years, the growth of Douglas fir in mixed plantations is characterised by a relatively low intensity, and with a low initial share

in the stand composition, it constitutes 10-20% of the stemwood volume. As age increases, the growth intensity of the tree species rises, along with its proportion in the composition of the plantation.

In young stands (21-40 years old), the site index of *P. menziesii* is within classes I^a-I^b; at the age of 45-50 years, it has class I^d; and at the age of 60-70 years, it is within classes I^b-I^c. Even in a plantation aged 105 years, the tree species maintains a high growth intensity (site index class I^c).

The observed variability in diameter change of *Pseudotsuga menziesii* across plantations, where the species' share ranges from 10 to 100%, significantly exceeds the variability in height growth. This suggests that interspecific competition within the plantation is much more noticeably reflected in diameter increment than in height growth.

Furthermore, the correlation between *Pseudotsuga menziesii* presence and the stand growing stock within the studied age range demonstrates a notably high value (> 0.91) applying both to the plantations as a whole and specifically to the proportion of growing stock of Douglas fir within them. As stand age increases, the relative presence of *Pseudotsuga menziesii* consistently rises, thereby amplifying its impact on the total stand volume.

It was not possible to establish final recommendations regarding optimising the initial planting density and the subsequent optimal proportion of *Pseudotsuga menziesii* within stand composition, which would ensure its maximum productivity. This limitation arises from the restricted sample size (limited number of objects for studies) and economic interventions impacting the growth dynamics of the plantations. Moreover, as *Pseudotsuga* matures, its growth rate intensifies, leading to an increasing share of the species within the total stand volume over time, which also needs to be taken into account when designing afforestation strategies and forest management practices to support sustainable stand development and productivity in mixed-species plantations.

The optimal strategy for *Pseudotsuga menziesii* plantation management involves modelling key measurement parameters, such as height, diameter, and stemwood volume, as they evolve with age, considering specific proportions of the species within distinct forest-growth conditions.

The documented age-related trends in *Pseudotsuga menziesii* measurement parameters within artificial plantations, combined with the optimization of forestry activities, will facilitate informed decision-making and allow for making rational decisions and determining priority directions for management strategies for *Pseudotsuga* plantations in fresh fertile site types in the western region of Ukraine.

Key words: tree height; tree diameter; stemwood volume; form factor, modelling mensuration indices; correlation strength.

¹ Iurii Debryniuk – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician-Secretary of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forest Crops and Forest Selection, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-235-30-12. E-mail: debryniuk_ju@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

² Stepan Myklush – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Director of Educational and Research Institute of Forestry and Park Gardening, Professor at the Department of the Forest Inventory and Forest Management, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-237-10-45. E-mail: msi_s@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9762-1190>

³ Yuriy Myklush – PhD in Agricultural Sciences, associate professor at the Department of Forest Inventory and Forest Management, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-239-27-46. E-mail: y.myklush@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1940-1045>