УДК 630\*5 : [630\*174.754](477.43+477.8)

**Лісівничо-таксаційна оцінка плюсових дерев у межах Малополіського округу грабово-дубових та соснових лісів**

**Василь Блистів**

Кандидат сільськогосподарських наук, директор

Державна організація «Український лісовий селекційний центр»

08150, вул. Лісодослідна, 14, м. Боярка*,* Україна

<https://orcid.org/0009-0009-0801-7599>

**Олег****Данчук**

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України

79057, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-2059-5446>

**Андрій Іванюк**

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України

79057, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

**Петро Хомюк**

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент

Національний лісотехнічний університет України

79057, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4409-9180>

**Оксана Ткачук**

Кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії

Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака

76000, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-7569-0523>

**Vasyl Blystiv**

PhD in Agricultural Sciences, Director

State Organization “Ukrainian Forest Breeding Center”

08150, 14 Lisodoslidna Str., Boyarka, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0009-0801-7599>

**Oleh Danchuk**

PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

National Forestry University of Ukraine

79057, 103 General Chuprynky Str., Lviv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2059-5446>

**Andrii Ivaniuk**

PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

National Forestry University of Ukraine

79057, 103 General Chuprynky Str., Lviv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

**Petro Khomiuk**

PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor

National Forestry University of Ukraine

79057, 103 General Chuprynky Str., Lviv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4409-9180>

**Oksana Tkachuk**

PhD in Agricultural Sciences, Head of Laboratory

Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry named after P.S. Pasternak

76000, 31 Hrushevskiy Str., Ivano-Frankivsk, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7569-0523>

**Анотація.** Удосконалення критеріїв добору та подальше випробування плюсових дерев сосни звичайної потребує систематичного оновлення даних обмірів, їх детального аналізу, а також постійного моніторингу створених об’єктів. Важливим завданням є формування нових експериментальних ділянок для дослідження спадкових характеристик дерев, особливо в умовах адаптації лісового господарства до кліматичних змін. Лісівничо-таксаційна оцінка плюсових дерев у межах Малополіського округу грабово-дубових та соснових лісів проведена з метою встановлення залежностей між співвідношенням висоти та діаметра на висоті 1,3 м і віком дерев у різних типах лісу за результатами їх добору. Для встановлення достовірних результатів аналітично-порівняльних висновків використовувалися стандартні статистичні методи. Для проведення аналізу було використано розрахунок двох індексів: І1 – показник зміни віку у співвідношенні A/H/DbH, та І2 – показник зміни співвідношення H/DbH/A залежно від віку. Обчислення цих індексів здійснювалося для плюсових дерев, з урахуванням їх віку (A), висоти (H) та діаметра стовбура на висоті 1,3 м (DbH). Досліджено залежності зміни висоти та діаметра плюсових дерев із віком, визначено особливості цих залежностей для двох найпоширеніших типів лісу, проаналізовано два види індексів зазначених залежностей та узагальнено висновки щодо їх статистично достовірної придатності для моделювання параметрів добору плюсових дерев у межах досліджуваної території. Встановлені у дослідженні параметричні залежності плюсових дерев Малополіського округу соснових лісів даного регіону походження можуть бути використані як додаткові критерії відбору дерев за продуктивністю із забезпеченням достатнього рівня їх біотичної стійкості. У статті узагальнена можливість встановлення регіонів походження лісового репродуктивного матеріалу на основі параметричної оцінки деревостанів і плюсових дерев в межах Малополіського округу на підставі їх приналежності до автохтонних лісостанів за походженням. Актуальність досліджень підсилюється впровадженням підходів до регіоналізації лісового репродуктивного матеріалу що, полягає у визначенні меж регіонів походження та меж відповідного поширення з них лісового репродуктивного матеріалу. Запропонований підхід до впровадження регіоналізації є передумовою отримання і введення в обіг лісового репродуктивного матеріалу на засадах імплементації у нормативну базу лісового насінництва і розсадництва Директиви 1999/105/ЄС від 22 грудня 1999 року «Про маркетинг лісового репродуктивного матеріалу»

**Ключові слова:** плюсові дерева; лісовий репродуктивний матеріал; регіоналізація лісового репродуктивного матеріалу; регіони походження та поширення; таксаційні показники; типи лісу; геоботанічне районування

**ВСТУП**

Питання ідентифікації плюсових дерев сосни звичайної за регіонами походження набуває особливої актуальності в умовах інтенсифікації використання для лісовідтворення селекційно покращеного плантаційного лісового насіння. Такі дослідження динаміки параметрів плюсових дерев з віком поряд з багаторічними випробуваннями їх потомства за відбірними ознаками, дадуть змогу додатково оцінити потенційну передачу потомству біотичної стійкості у регіоні походження. Важливість та своєчасність актуалізації походження плюсових дерев підкріплюється необхідністю адаптації діючих нормативно-правових документів з лісового насінництва і розсадництва до рівня євроінтеграційних вимог у сфері лісових репродуктивних ресурсів.Плюсові дерева становлять основу плантаційного лісового насінництва, а їхнє потомство відіграє важливу роль у процесі відтворення лісів, впливаючи на формування генетично врівноважених популяцій. Визначення меж регіонів походження та ареалів поширення для створення мап-схем регіоналізації лісового репродуктивного матеріалу (ЛРМ) є на сьогодні актуальним і водночас невирішеним завданням. Уточнення меж регіонів походження та поширення на основі доступних лісівничих даних і матеріалів, отриманих під час лісовпорядкувальних робіт, а також атестація об’єктів постійної лісонасінної бази (ПЛНБ), їх моніторинг та інвентаризація, за умови належного аналізу, сприятимуть розв’язанню проблеми в умовах нагальної потреби унормування регіоналізації лісового репродуктивного матеріалу (ЛРМ) основних лісотвірних видів із використанням лісового базового матеріалу (ЛБМ) в Україні. У цій статті за основу було взято аналіз співвідношення між висотою (H) та діаметром на висоті грудей (DbH), позначення якого є загальноприйнятим у зарубіжній науковій літературі. З вищезазначених питань, що стосуються плюсових дерев, у відкритому доступі інформацію не виявлено, проте за іншими напрямами моделювання характеристик дерев і деревостанів на основі залежностей H/DbH спостерігається широке застосування цього підходу. Автори V. Blystiv *et al.* (2021a) вважають залежності співвідношень росту в висоту за діаметром та нарощування габітусу крони дерев органічно пов’язаними процесами розвитку дерев у деревостані, які можуть оцінюватися потенціалом використання деревом життєвого простору. Це розкриває можливість розвивати напрям плюсової селекції щодо підвищення біотичної стійкості окремих дерев і лісосотанів та його верифікації, що також відзначається H. Krynytskyy *et al.* (2023).

Співвідношення H та DbH у процесі росту дерева є складним наслідково-залежним процесом, що також регулюється едафічними та стресовими кліматичними факторами, вважають F. Sağlam and O. Sakici (2024). Проте, на сьогодні ці питання з лісівничої мотивації не достатньо вивчені. Дослідження J. Wang *et al.* (2023) стосуються прогнозування залежності H/DbH на перспективу у зв’язку з впливом кліматичних факторів в умовах багатофакторної невизначеності та часто ув’язуються з розмірами проекції і протяжністю крони (DC). Результати вказують на тісні зв’язки між показниками у динаміці і можливість їх прогнозування за умови обрання конкретних параметрів факторів впливу у окремому регіоні (здебільшого підняття середніх температур та зменшення кількості атмосферних опадів). Також J. Wang *et al.* (2023) встановлюють залежності алометрії H/DbH/DC для корінних і похідних деревостанів в умовах різних едафо-кліматичних умов. Результати, здебільшого, верифіковані за досліджуваними питаннями, проте, перспектива прогнозування для похідних (вторинних) лісів не зовсім визначена та не однозначна, особливо на фоні активізації стресових факторів. Це актуалізує питання відтворення лісів з використанням потенціалу плюсових дерев та ідентифікації їх автохтонності у регіоні походження. З цього питання О. Danchuk *et al.* (2024) пропонується встановлення меж регіонів походження на підставі геоботанічного районування, яке базується на поширенні автохтонного лісового покриву з врахуванням потенціалу лісової типології. Базовим напрямком ідентифікації регіонів походження за основними лісотвірними видами є оцінка особливостей росту провенецій у випробних (географічних) культурах. У працях авторів I. Neyko *et al.* (2020) наводяться результати таких багаторічних випробувань із зазначенням порівняльних характеристик представників різного походження, що є важливим для напрацювання алгоритму встановлення меж місцевих та географічних популяцій. Актуальним напрямком, що досліджується, є вторинний добір плюсових дерев у випробовуваному потомстві плюсових дерев сосни звичайної з мотивів визнання елітних характеристик. V. Voitiuk *et al.* (2020) вказує на вік 38-40 років, у якому можна верифікувати елітність плюсових дерев сосни звичайної в умовах Полісся, тому, якщо на цей час збережено ортет, то динаміка його H/DbH з віком та відповідність типу лісу є значимими для моделювання показників добору у регіоні його походження. Одним з перспективних напрямків визначення життєвості (біотичної стійкості) дерев, за даними H. Krynytskyy *et al.* (2021), вважається визначення їх діелектричних показників, що можливо використати для експрес оцінки плюсових дерев. J. Brichta *et al.* (2023) підкреслює, що важливою формою збереження лісового генетичного фонду є архіви клонів та родин, цільове значення яких полягає у концентрації в одному місці і збереженні у вигляді потомства ознак плюсових дерев. Своєчасне визнання елітних характеристик із врахуванням аналізу динаміки H/DbH з віком, включаючи автохтонність та біотичну стійкість, дає змогу забезпечити їх збереження в архівах лісового генофонду. Одним із ключових завдань сучасного відбору плюсових дерев із визначених пластичних популяцій є створення нових лісонасіннєвих плантацій, здатних забезпечувати врожай генетично поліпшеного насіння. Як зазначають J. Quegwer *et al.* (2024), це сприятиме формуванню адаптаційного потенціалу новостворюваних лісів до кліматичних змін завдяки використанню відповідного лісового репродуктивного матеріалу.

Під час добору та атестації плюсових дерев ключовими параметрами виступають діаметр, висота та вік, тому саме їх співвідношення та динаміка стали об’єктом оцінки й аналізу в цій роботі. У цьому контексті дослідження спрямовані на встановлення взаємозв’язків між зазначеними біометричними характеристиками плюсових дерев сосни звичайної, відібраних та атестованих у межах геоботанічного регіону – Малополіського округу грабово-дубових і соснових лісів.

**МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ**

У цій роботі оцінювання охоплює плюсові дерева сосни звичайної, відібрані за фенотипом відповідно до вимог Настанов з лісового насінництва (Los *et al*., 2017). Дерева відібрано у лісових господарствах, території яких розміщені у межах Малополіського геоботанічного округу грабово-дубових та соснових лісів. Переважаюча частина відбору стосується 1973, 1974, 1978 років, а також взято до аналізу добір 2015 року у східній частині округу, де дерева відбору 80-тих років не збереглися. Таксаційні показники окремих дерев та характеристику лісостанів на час відбору отримано з атестаційних паспортів дерев, які ведуться Львівською лісонасінневою лабораторією та уточнено за державним реєстром плюсових дерев у Львівській та Тернопільській областях. Дані наступних періодів отримано за результатами виконаних інвентаризаційних робіт, що наведені у роботі Yu. Debryniuk *et al*. (2021), одночасної інвентаризації об’єктів ПЛНБ у Тернопільській (2022) та Львівській (2024) областях, координованих State Organization “Ukrainian Forest Breeding Center” (SO “UkrFSC”) (n.d.). Дані останніх інвентаризацій верифіковані за допоміжними матеріалами моніторингу та бази електронного обліку SO “UkrFSC”, матеріалів лісовпорядкування філій ДП «Ліси України», інформаційних даних Реляційної бази даних (РБД) та Геоінформаційно-аналітичної системи (ГІАС), Ukrainian State Forest Management Project and Production Association (PA“Ukrderzhisproekt”) (n.d.), а також загальнодоступної карти геоботанічного районування України, пристосованої до регіоналізації ЛРМ. Розміщення плюсових дерев за ділянками, де їх відібрано, наведено у таблиці 1.

**Таблиця 1.** Характеристика ділянок, на яких відібрано плюсові дерева (станом на 2020 рік)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Філія ЛМГ, ЛГ | Лісництво | Квартал | Виділ | Площа,  га | Кількість дерев, шт. | Кількість обмірів, рази |
| Радехівське | Лопатинське | 64 | 13 | 19,0 | 10 | 3 |
| Радехівське | Витківське | 15 | 1 | 4,9 | 6 | 3 |
| Буське | Грабівське | 14 | 1 | 2,4\* | 13 | 2 |
| Бродівське | Берлинське | 83 | 4 | 0,6\* | 4 | 2 |
| Кременецьке | Стіжоцьке | 42 | 2 | 13,0 | 10 | 2 |

**Примітка**: \*площі виділів під час відбору дерев були значно більшими і зменшились внаслідок дроблення виділів під час чергового лісовпорядкування

**Джерело**: Ukrainian State Forest Management Project and Production Association (n.d.)

Під час виконання робіт зі збору та обробки експериментальних, документальних матеріалів та електронних баз даних застосовувалися загально прийнятні лісівничо-таксаційні методи. Для порівняння та моделювання застосовувалися аналітично-порівняльні методи, базою яких слугували модальні характеристики, наведені у дослідженні A. Bilous *et al.* (2022), а також інвентаризаційні дані, відповідні за віком. Основою порівняльного аналізу стали таксаційні залежності між висотами та діаметрами стовбурів дерев і їхнім віком, відповідність між класами бонітету та лісорослинними умовами (типами лісу), усталена динаміка таксаційних показників залежно від віку (хід росту деревостанів), кореляційні зв’язки та встановлення достовірних розбіжностей показників між плюсовими деревами та лісовими ділянками у межах визначених територій лісового фонду. Запропонований дослідний алгоритм передбачає порівняння плюсових ознак із середньостатистичними та модельними показниками, а також оцінку їх відповідності за визначеною територією – регіоном походження.

У роботі застосовано наступний алгоритм аналізу відповідності даних: здійснено відбір ділянок (виділів) у межах регіонів походження (геоботанічних округів), де в середньому було виділено близько п’яти плюсових дерев на площі більше 5 га. Кількість дерев і площу уточнено за даними РБД та ГІАС ВО «Укрдержліспроект». На наступному етапі підготовлено вихідні дані для плюсових дерев на момент їх виділення (атестації), зокрема встановлено висоту, діаметр, вік, бонітет деревостану та середні таксаційні показники на відповідному виділі. Далі отримано аналогічні інвентаризаційні дані для цих дерев у наступні періоди з уточненням геолокації та підтвердженням параметрів за допомогою фотофіксації. У результаті встановлено розрахункові співвідношення для модельних ділянок на момент виділення плюсових дерев (за даними паспортів) та через певний період (за результатами обмірів і таксаційних характеристик), з порівнянням показників для нормальних (повних) деревостанів. Ключовим елементом аналітично-порівняльного методу визначено розрахунок індексів І1 та І2, які обчислювалися як відношення віку (A), висоти (H) та діаметра на висоті 1,3 м (DbH) для плюсових дерев:

І1= А/H/DbH, (1)

І2 = H/DbH/А, (2)

де І1 – індекс зміни віку за відношенням H/DbH;І2 – індекс зміни відношення H/DbH за віком, А – вік дерева, роки, Н – висота дерева, м, DbH – діаметр дерева на висоті 1,3 м, см.

Формули 1 і 2 вважаються базовими. Вони застосовуються також для середніх і модельних показників деревостанів, з метою порівняння відповідних індексів. Індекси використовуються для визначення показників відповідності регіону походження та його ідентифікації в межах регіону поширення. Зокрема, оцінюється кореляція значень індексів H/DbH для плюсових дерев за типами лісу. Запропонована методика індексного аналізу H/DbH розглядається для порівняння таксаційних даних між ділянками різних локальних (місцевих) екопопуляцій. Це дозволяє встановити достовірні відмінності для їх ідентифікації за критеріями походження, типами лісу, а також забезпечити подальший добір плюсових дерев.

**РЕЗУЛЬТАТИ**

Дослідження проведено для плюсових дерев сосни звичайної за запропонованим варіантом вибірки в межах Західноукраїнського лісостепового району широколистяно-мішаних лісів, що належать до Малополіського регіону походження грабово-дубових та соснових лісів. Мотиви та необхідність його виокремлення подано у роботах V. Blystiv *et al*. (2021b). П’ять модельних ділянок було визначено у чистих соснових лісостанах, де кількість плюсових дерев становила чотири й більше на кожній ділянці. У результаті дослідження встановлено залежності алометрії (A/H/DbH) для цих плюсових дерев у корінних і похідних деревостанах за різних едафо-кліматичних умов. Отримані результати наведено для двох типів лісу – С2-г-дС та С3-г-дС, які відрізняються між собою гігротопом місцевиростання.

Наведено результати оцінювання для вологого грабово-дубово-соснового сугрудку (С3-г-дС), подані у таблицях 2, 3, 4 та, відповідно, на рисунках 1, 2, 3 – для ділянок у Радехівській та Буській філіях ДП «Ліси України». Результати для свіжого грабово-дубово-соснового сугрудку (С2-г-дС) наведено у таблицях 4, 5 та на рисунках 3, 4 – для ділянок у Бродівській та Кременецькій філіях. Для кожної ділянки, у розділах обговорення та загальних висновків щодо динаміки таксаційних показників і використання індексу A/H/DbH, відзначено загальні характерні ознаки, специфічні особливості та подано пропозиції.

**Результати оцінювання для вологого грабово-дубово-соснового сугрудку (С3-г-дС).**

Оцінку плюсових дерев за результатами обмірів та аналізу, подано у табл. 2, та відображено на рис. 1.

**Таблиця 2.** Аналіз динаміки параметрів плюсових дерев сосни звичайної на ділянці у філії «Радехівське лісомисливське господарство», Лопатинське лісництво

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  плюсового дерева | | Рік відбору, обстеження,  стан | Вік на період відбору, обстеження | Висота,  м | Діаметр,  см | Індекс А/H/ DbH\*100 | Модельне значення індексу | Різниця з моделлю |
| Модельні дані, 1973 рік | | | 85 | 33,9 | 39,2 |  | 6,396 | 0 |
| 1 | | Плюсові хар. | 84 | 34,0 | 46,0 | 5,371 | 6,396 | -1,025 |
| 2 | | Плюсові хар. | 84 | 39,0 | 50,0 | 4,308 | 6,396 | -2,088 |
| 3 | | Плюсові хар. | 84 | 34,0 | 48,0 | 5,147 | 6,396 | -1,249 |
| 4 | | Плюсові хар. | 84 | 35,0 | 46,0 | 5,217 | 6,396 | -1,179 |
| 5 | | Плюсові хар. | 84 | 34,0 | 44,0 | 5,615 | 6,396 | -0,781 |
| 6 | | Плюсові хар. | 84 | 36,0 | 64,0 | 3,646 | 6,396 | -2,750 |
| 7 | | Плюсові хар. | 84 | 34,0 | 52,0 | 4,751 | 6,396 | -1,645 |
| 8 | | Плюсові хар. | 84 | 35,0 | 43,0 | 5,581 | 6,396 | -0,815 |
| 9 | | Плюсові хар. | 84 | 35,0 | 44,0 | 5,455 | 6,396 | -0,941 |
| 10 | | Плюсові хар. | 84 | 34,0 | 48,0 | 5,147 | 6,396 | -1,249 |
| Середнє | |  |  | 35,0 | 48,5 |  |  |  |
| Модельні дані, 2004 рік | | | 115 | 38,2 | 47,5 |  |  |  |
| 1 | Задов. | | 115 | 36,9 | 52,5 | 6,338 | 6,338 | 0,000 |
| 2 | Задов. | | 115 | 41,0 | 58,0 | 5,936 | 6,338 | -0,402 |
| 3 | Задов. | | 115 | 35,5 | 52,5 | 4,836 | 6,338 | -1,502 |
| 4 | Задов. | | 115 | 40,0 | 49,0 | 6,170 | 6,338 | -0,168 |
| 5 | Задов. | | 115 | 41,5 | 51,5 | 5,867 | 6,338 | -0,471 |
| 6 | Задов. | | 115 | 39,5 | 62,0 | 5,381 | 6,338 | -0,957 |
| 7 | Задов. | | 115 | 38,0 | 62,5 | 4,696 | 6,338 | -1,642 |
| 8 | Задов. | | 115 | 36,0 | 58,0 | 4,842 | 6,338 | -1,496 |
| 9 | Задов. | | 115 | 39,5 | 61,0 | 5,508 | 6,338 | -0,830 |
| 10 | Задов. | | 115 | 36,0 | 67,0 | 4,773 | 6,338 | -1,565 |
| Середнє |  | |  | 38,4 | 57,4 |  |  |  |
| Модельні дані, 2024 рік | | | 135 | 40,1 | 51,1 | 6,588 | 6,588 | 0,000 |
| 1 | Задов. | | 135 | 37,0 | 75,2 | 4,852 | 6,588 | -1,736 |
| 2 | Задов. | | 135 | 40,5 | 68,0 | 6,207 | 6,588 | -1,686 |
| 3 | Задов. | | 135 | 33,5 | 59,2 | 6,807 | 6,588 | 0,219 |
| 4 | Задов. | | 135 | 34,5 | 58,9 | 6,644 | 6,588 | 0,056 |
| 5 | Задов. | | 135 | 37,5 | 63,7 | 5,651 | 6,588 | -0,937 |
| 6 | Всихає | | 135 | 35,5 | 69,1 | 5,503 | 6,588 | -1,085 |
| 7 | Задов. | | 135 | 34,0 | 73,2 | 5,424 | 6,588 | -1,164 |
| 8 | Задов. | | 135 | 33,5 | 66,6 | 6,051 | 6,588 | -0,537 |
| 9 | Задов. | | 135 | 36,5 | 74,8 | 4,945 | 6,588 | -1,643 |
| 10 | Задов. | | 135 | 35,5 | 74,8 | 5,084 | 6,588 | -1,504 |
| Середнє |  | |  | 35,5 | 67,4 |  |  |  |

**Джерело:** розроблено авторами

Дерева розташовані на ділянці у Лопатинському лісництві, кв. 64, вид. 13. Таксаційна характеристика виділу за матеріалами лісовпорядкування станом на 2010 рік наступна: площа – 19,0 га; склад деревостану – 10Сз + Дз, Гз; вік – 113 р.; запас – 400 м3 · га-1; відносна повнота – 0,55; тип лісу – С3-г-дС. За результатами останнього лісовпорядкування, у зв’язку з нерівномірною повнотою (запасами), виділ розділено на кілька ділянок: кв. 64, вид. 19 – площа 4,1 га; склад деревостану – 10Сз; вік – 113 р.; запас – 200 м3 · га-1; відносна повнота – 0,3. Кв. 64, вид. 24 – площа 3,3 га; склад деревостану – 10Сз; вік – 113 р.; запас – 285 м3 · га-1; відносна повнота – 0,4. Кв. 64, вид. 25 – площа 3,3 га; склад деревостану – 10Сз; вік – 113 р.; запас – 260 м3 · га-1; відносна повнота – 0,4. Кв. 64, вид. 26 – площа 15,8 га; склад деревостану – 10Сз + Дз, Гз; вік – 113 р.; запас – 420 м3 · га-1; відносна повнота – 0,55. Для всіх ділянок зберігається той самий тип лісу – С3-г-дС. За останні десять років спостерігається зменшення запасів та зниження повноти деревостанів.

**Рисунок 1.** Різниця значень індексів плюсових дерев порівняно з модальними значеннями (за даними табл. 2)

**Джерело**: розроблено авторами

За результатами аналізу для ділянки, розташованої у Лопатинському лісництві філії «Радехівське лісомисливське господарство», встановлено, що деревостани сосни звичайної є корінними та одновіковими. На пробній площі, у виділі віком 107 років, деревостан мав запас 481 м3 .га-1 за середньої висоти 34 м і діаметра 44,3 см, при повноті 0,55 та належності до Іb класу бонітету. Походження насадження достеменно не встановлене, однак з високою ймовірністю є автохтонним. Локальна популяція сосни звичайної збереглася завдяки належності ділянки до об’єктів постійної лісонасіннєвої бази та природно-заповідного фонду, характеризується незначною участю бука лісового у складі насадження. Ареал поширення – на висотах 220-230 м н.р.м. Аналіз динаміки індексів H/DbH свідчить, що плюсові дерева у процесі росту ефективно використовують лісотипологічний потенціал умов місцезростання. Водночас у віці близько 135 років спостерігається певне відставання від модальних показників Іb класу бонітету, що зумовлено істотним зниженням повноти насадження. Цю тенденцію підтверджують дані для дерев № 1, 2, 5, 7, 8, 9 та 10, які майже не втратили відносних темпів росту за висотою та діаметром. Друга група дерев – № 3, 4 і 6 – демонструє уповільнення росту, причому дерево № 6 ослаблене до IV категорії санітарного стану. Плюсові дерева № 1, 2, 5, 7, 8, 9 та 10 потребують термінового клонування з метою збереження та закріплення їхнього генетичного потенціалу в архівах або на лісонасіннєвих плантаціях у межах регіону походження. Також необхідно уточнити інформацію щодо участі нащадків цих дерев у діючих лісонасіннєвих плантаціях та випробних культурах у межах ареалу поширення.

Загалом можна стверджувати, що біотична стійкість плюсових дерев не завжди зумовлюється початковими фенотиповими ознаками, а значною мірою визначається спадковими факторами та дією взаємозв’язків у межах лісової екосистеми. Отже, корінні деревостани сосни звичайної в умовах С3-г-дС Малого Полісся можуть мати автохтонне походження й, відповідно, потенціал високої біотичної стійкості за умови формування складних різновікових насаджень з домішкою дуба, бука та граба. Оцінювання плюсових дерев за результатами обмірів і проведеного аналізу (табл. 3) подано на рис. 2. Досліджувані дерева розташовані на ділянці Витківського лісництва, кв. 15, вид. 1. Таксаційна характеристика виділу за даними лісовпорядкування станом на 2010 р. наступна: площа – 4,9 га; склад деревостану – 10Сз+Бп, Гз; вік – 113 р.; запас – 391 м3 . га-1; відносна повнота – 0,55; тип лісу – С3-г-дС. Деревостан корінний, одновіковий, достовірно не встановленого походження, з низькою ймовірністю автохтонності. Аналіз динаміки індексів H/DbH свідчить, що у процесі росту плюсові дерева ефективно використовували лісотипологічний потенціал лісорослинних умов до віку 105 років, досягаючи значень, наближених до модальних показників Ia класу бонітету.

**Таблиця 3.** Динаміка морфометричних показників плюсових дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на пробній площі Витківського лісництва філії «Радехівське лісомисливське господарство»

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  плюсового дерева | Рік відбору, обстеження,  стан | Вік на період відбору, обстеження | Висота, м | Діаметр, см | Індекс А/H/ DbH\*100 | Модельне значення індексу | Різниця з моделлю |
| Модельні дані, 1973 рік | | 75 | 31,8 | 35,8 |  | 6,588 |  |
| 1 | Плюсові хар. | 75 | 31,0 | 41,0 | 5,901 | 6,588 | -0,687 |
| 2 | Плюсові хар. | 75 | 31,0 | 43,0 | 5,626 | 6,588 | -0,962 |
| 3 | Плюсові хар. | 75 | 31,0 | 48,0 | 5,040 | 6,588 | -1,548 |
| 4 | Плюсові хар. | 75 | 31,0 | 48,0 | 5,040 | 6,588 | -1,548 |
| 5 | Плюсові хар. | 75 | 32,0 | 43,0 | 5,451 | 6,588 | -1,137 |
| 6 | Плюсові хар. | 75 | 34,0 | 44,0 | 5,013 | 6,588 | -1,575 |
| Середнє |  |  | 31,6 | 44,5 |  |  |  |
| Модельні дані, 2004 рік | | 105 | 33,3 | 40,0 |  |  |  |
| 1 | Задов. | 106 | 38,0 | 51,0 | 5,470 | 7,783 | -2,313 |
| 2 | Задов. | 106 | 31,5 | 54,5 | 6,174 | 7,783 | -1,609 |
| 3 | Задов. | 106 | 36,0 | 60,5 | 4,867 | 7,783 | -2,916 |
| 4 | Задов. | 106 | 38,5 | 61,5 | 4,477 | 7,783 | -3,306 |
| 5 | Задов. | 106 | 34,5 | 51,5 | 5,966 | 7,783 | -1,817 |
| 6 | Задов. | 106 | 34,5 | 54,0 | 5,690 | 7,783 | -2,093 |
| Середнє |  |  | 35,5 | 36,5 |  |  |  |
| Модельні дані, 2024 рік | | 125 | 35,3 | 44,3 |  |  |  |
| 1 | Всихає | 126 | 38,1 | 54,6 | 6,057 | 7,993 | -1,936 |
| 2 | Всихає | 126 | 33,8 | 58,2 | 6,405 | 7,993 | -1,588 |
| 3 | Всихає | 126 | 36,6 | 66,5 | 5,177 | 7,993 | -2,816 |
| 4 | Задов. | 126 | 39,0 | 70,4 | 4,589 | 7,993 | -3,404 |
| 5 | Всихає | 126 | 34,6 | 62,4 | 5,836 | 7,993 | -2,157 |
| 6 | Всихає | 126 | 35,0 | 56,5 | 6,372 | 7,993 | -1,621 |
| Середнє |  |  | 36,2 | 61,4 |  |  |  |

**Джерело:** розроблено авторами

**Рисунок 2.** Різниця значень індексів плюсових дерев порівняно з модальними значеннями (за даними табл. 3)

**Джерело**: розроблено авторами

У віці 126 років, за незначного зниження повноти деревостану, спостерігається значне ослаблення та всихання кращих (плюсових) дерев, що свідчить про граничне використання потенціалу росту в цих умовах. Для плюсових дерев потребує уточнення інформація щодо участі їх селекційної спадщини у лісонасінних плантаціях та випробних культурах регіону поширення. Загалом можна припустити, що підвищена біотична стійкість цих плюсових дерев не може вважатися встановленою плюсовою спадковою ознакою за даних умов. Отже, високопродуктивні корінні деревостани сосни звичайної в едафо-кліматичних умовах Малого Полісся можуть мати не автохтонне походження, а їх потомство доцільно використовувати для створення лісових культур плантаційного типу з метою прискореного отримання ділових сортиментів. Однак для обґрунтованого підтвердження цього висновку необхідно провести глибше дослідження фактичного стану деревостану на даній ділянці, а також її лісорослинних умов.

Оцінку плюсових дерев за результатами обмірів та аналізу, поданими у табл. 4, відображено на рис. 3. Дерева розташовані на ділянці у Берлинському лісництві, кв. 83, вид. 4, і були відібрані у 1974 році у віці 80 років. Таксаційна характеристика виділу за матеріалами лісовпорядкування станом на 2010 рік: площа – 0,7 га (на час відбору площа була більшою); склад деревостану – 10Сз + Бк, Дз; вік – 117 р.; запас – 390 м3 . га-1; відносна повнота – 0,6; тип лісу – С3-г-дС. Станом на 2024 рік, на суміжному виділі (кв. 83, вид. 4) площею 3,8 га, зі складом деревостану 10Сз + Дз + Гз, віком 113 років, запасом 391 м3 . га-1, відносною повнотою 0,55 та типом лісу В3-дС, було відібрано нові плюсові дерева.

**Таблиця 4.** Динаміка морфометричних показників плюсових дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на пробній площі Берлинського лісництва філії «Бродівське лісове господарство»

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  плюсового дерева | Рік відбору, обстеження,  стан | Вік на період відбору, обстеження | | Висота, м | Діаметр, см | Індекс А/H/ DbH\*100 | Модельне значення індексу | Різниця з моделлю |
| Модельні дані, 1974 рік | | | 80 | 29,4 | 33,4 | 8,147 |  |  |
| 1 | плюсові хар. | 80 | | 29,0 | 44,0 | 6,270 | 8,147 | -1,877 |
| 2 | плюсові хар. | 80 | | 30,0 | 38,0 | 7,018 | 8,147 | -1,129 |
| 3 | плюсові хар. | 80 | | 30,0 | 47,0 | 5,674 | 8,147 | -2,473 |
| 4 | плюсові хар. | 80 | | 30,0 | 41,0 | 6,504 | 8,147 | -1,643 |
| Середнє |  |  | | 29,75 | 42,5 |  |  |  |
| Модельні дані, 2004 рік | | | 110 | 32,6 | 38,9 | 8,674 | 8,674 |  |
| 1 | задов. | 110 | | 32,0 | 46,0 | 7,473 | 8,674 | -1,201 |
| 2 | задов. | 110 | | 32,0 | 40,0 | 8,594 | 8,674 | -0,080 |
| 3 | задов. | 110 | | 30,5 | 49,0 | 7,514 | 8,674 | -1,160 |
| 4 | задов. | 110 | | 31,6 | 46,0 | 7,567 | 8,674 | -1,107 |
| Середнє |  |  | | 31,5 | 45 |  |  |  |

**Джерело:** розроблено авторами

Деревостан був корінний за складом, одновіковий. Лісостан достовірно не встановленого походження, з малою вірогідністю автохтонності. Характер залежності зміни індексів А/ H/DbH дає змогу зробити висновки, що плюсові дерева у процесі росту ефективно використовували лісотипологічний потенціал лісорослинних умов до 110-річного віку, близько до модальних показників Іа бонітету. У віці до 130 років, за умов відносно незначного зниження повноти деревостану відбувається суттєве ослаблення та всихання кращих (плюсових) дерев, що вказує на граничну можливість використання потенціалу росту у цих умовах. У 2020 році дерева були виключені з реєстру плюсових дерев через їх всихання у попередні роки.

**Рисунок 3.** Різниця значень індексів плюсових дерев порівняно з модальними значеннями (за даними табл. 4)

**Джерело**: розроблено авторами

Для плюсових дерев потребує уточнення інформація щодо участі їх спадщини у лісонасіннєвих плантаціях та випробних культурах регіону поширення, оскільки ці дерева не мали виражених плюсових ознак за продуктивністю та виявилися біотично нестійкими. У цілому є підстави вважати, що біотична стійкість плюсових дерев у межах цієї ділянки не проявляється як спадкова ознака, що визначає їх плюсову цінність при досягненні висоти 30 м і більше. Такі корінні деревостани сосни звичайної в едафо-кліматичних умовах Малого Полісся можуть мати не автохтонне походження. У віці 120 років вони не витримують різкої зміни лісорослинних умов (наприклад, появи та розвитку під наметом підросту бука лісового) або зміни функціональних властивостей лісового середовища. Цільове використання плантаційного потомства таких дерев під час лісовідтворення потребує додаткового аналізу їх оцінки у випробних культурах або детальнішого уточнення походження.

**Результати оцінювання для свіжого грабово-дубово-соснового сугрудку (С2-г-дС).**

Оцінку плюсових дерев за результатами обмірів та аналізу, наведеними у табл. 5 і 6, представлено на рисунках 4 і 5. Дані щодо однієї пробної площі на момент відбору дерев подано у двох таблицях з п’ятирічним інтервалом. Дерева були розташовані на ділянці Грабівського лісництва, кв. 18, вид. 3, і відібрані у 1973 та 1978 роках, що зумовило проведення окремого аналізу для кожної групи. Таксаційна характеристика виділу за матеріалами лісовпорядкування станом на 2020 рік: площа – 10,5 га; склад насадження – 10Сз; запас – 400 м3 . га-1; повнота – 0,7; тип лісу – С2-г-дС. Деревостан корінного типу, одновіковий, за складом відповідав лісорослинним умовам ділянки. Походження деревостану достовірно не встановлено, з низькою ймовірністю автохтонності. У період 2018-2020 років дерева були виключені з реєстрів у зв’язку з процесом всихання. За даними, наведеними у табл. 4 і 5 та відображеними на рис. 3 і 4, характер залежності зміни індексів A/H/DbH свідчить про те, що плюсові дерева у свіжому сугруді є більш вразливими до тривалих періодів засухи порівняно з деревами, що зростають у вологих гігротопах. Для цих плюсових дерев потребує уточнення інформація щодо участі їхньої селекційної спадщини у лісонасіннєвих плантаціях регіону поширення, оскільки вони не проходили тестування у випробних культурах. Біотична стійкість зазначених плюсових дерев, імовірно, не є спадковою плюсовою ознакою у цих лісорослинних умовах після досягнення ними 100-річного віку та висоти 30 м і більше.

**Таблиця 5.** Динаміка морфометричних показників плюсових дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на пробній площі Грабівського лісництва філії «Буське лісове господарство» (відбір 1973 р.)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  плюсового дерева | Рік відбору, обстеження,  стан | Вік на період відбору, обстеження | Висота, м | Діаметр, см | Індекс А/H/ DbH\*100 | Модельне значення індексу | Різниця з моделлю |
| Модельні дані, 1973 рік | | 85 | 33,9 | 39,2 |  |  |  |
| 1 | Плюсові хар. | 85 | 34,0 | 57,0 | 4,386 | 6,396 | -2,010 |
| 2 | Плюсові хар. | 85 | 35,0 | 54,0 | 4,497 | 6,396 | -1,899 |
| 3 | Плюсові хар. | 85 | 34,0 | 59,0 | 4,237 | 6,396 | -2,159 |
| 4 | Плюсові хар. | 85 | 33,0 | 55,0 | 4,683 | 6,396 | -1,713 |
| 5 | Плюсові хар. | 85 | 35,0 | 64,0 | 3,795 | 6,396 | -2,601 |
| 6 | Плюсові хар. | 85 | 33,0 | 56,0 | 4,600 | 6,396 | -1,796 |
| 7 | Плюсові хар. | 85 | 33,0 | 50,0 | 5,152 | 6,396 | -1,244 |
| 8 | Плюсові хар. | 85 | 34,0 | 65,0 | 3,846 | 6,396 | -2,550 |
| Середнє |  |  | 33,9 | 55,5 |  |  |  |
| Модельні дані, 2004 рік | | 115 | 38,3 | 47,5 |  |  |  |
| 1 | Задов. | 116 | 35,0 | 63,0 | 5,261 | 6,321 | -1,060 |
| 2 | Задов. | 116 | 35,0 | 60,5 | 5,478 | 6,321 | -0,843 |
| 3 | Задов. | 116 | 30,5 | 51,0 | 7,457 | 6,321 | 1,136 |
| 4 | Задов. | 116 | 38,5 | 62,5 | 4,821 | 6,321 | -1,500 |
| 5 | Задов. | 116 | 36,0 | 67,0 | 4,809 | 6,321 | -1,512 |
| 6 | Задов. | 116 | 37,0 | 67,5 | 4,645 | 6,321 | -1,676 |
| 7 | Задов. | 116 | 37,5 | 58,5 | 5,288 | 6,321 | -1,033 |
| 8 | Задов. | 116 | 35,0 | 73,5 | 4,509 | 6,321 | -1,812 |
| Середнє |  |  | 35,9 | 61,2 |  |  |  |

**Джерело:** розроблено авторами

**Рисунок 4.** Різниця значень індексів плюсових дерев порівняно з модальними значеннями (за даними табл. 5)

**Джерело**: розроблено авторами

Тому, такі корінні деревостани сосни звичайної в едафо-кліматичних умовах Малого Полісся можуть мати як автохтонне, так, здебільшого і не автохтонне походження. З огляду на це, відібрані нові дерева потребують детальнішого моніторингу за станом та динамікою параметричних характеристик плюсових ознак.

**Таблиця 6.** Динаміка морфометричних показників плюсових дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на пробній площі Грабівського лісництва філії «Буське лісове господарство» (відбір 1978 р.)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер  плюсового дерева | Рік відбору, обстеження,  стан | Вік на період відбору, обстеження | Висота, м | Діаметр, см | Індекс А/H/ DbH\*100 | Модельне значення індексу | Різниця з моделлю |
| Модельні дані, 1978 рік | | 90 | 34,8 | 40,8 |  | 6,339 |  |
| 1 | Плюсові хар. | 90 | 33,0 | 56,0 | 4,870 | 6,339 | -1,469 |
| 2 | Плюсові хар. | 90 | 32,5 | 50,0 | 5,538 | 6,339 | -0,801 |
| 3 | Плюсові хар. | 92 | 32,0 | 48,0 | 5,990 | 6,339 | -0,349 |
| 4 | Плюсові хар. | 92 | 33,0 | 50,0 | 5,576 | 6,339 | -0,763 |
| 5 | Плюсові хар. | 92 | 32,5 | 48,0 | 5,897 | 6,339 | -0,442 |
| Середнє |  |  | 32,6 | 50,4 |  |  |  |
| Модельні дані, 2004 рік | | 115 | 38,3 | 47,5 |  |  |  |
| 1 | задов. | 116 | 39,5 | 59,0 | 4,977 | 6,321 | -1,344 |
| 2 | задов. | 116 | 38,0 | 60,0 | 5,088 | 6,321 | -1,233 |
| 3 | задов. | 116 | 40,5 | 63,5 | 4,511 | 6,321 | -1,810 |
| 4 | задов. | 116 | 44,0 | 59,0 | 4,468 | 6,321 | -1,853 |
| 5 | задов. | 116 | 42,0 | 61,0 | 4,528 | 6,321 | -1,793 |
| Середнє |  |  | 40,8 | 60,5 |  |  |  |

**Джерело:** розроблено авторами

**Рисунок 5.** Різниця значень індексів плюсових дерев порівняно з модальними значеннями (за даними табл. 6)

**Джерело**: розроблено авторами

Результати оцінки плюсових дерев за даними обмірів та аналізу наведено у табл. 7 і представлено на рис. 6. Дерева розташовані на ділянці площею 13,0 га, що належить філії «Кременецьке лісове господарство», Стіжоцьке лісництво, кв. 42, вид. 2. Відбір дерев здійснено у 2015 році у віці 88 років.

Таксаційна характеристика виділу за матеріалами лісовпорядкування станом на 2018 рік: склад насадження – 10Сз + Гз; вік – 90 років; запас – 382 м3 . га-1; відносна повнота – 0,62; тип лісу – С2-г-дС. Деревостан сосни звичайної є корінним за складом, одновіковим, складним за будовою, з переважанням граба звичайного у другому ярусі. Походження лісостану достовірно не встановлено, однак існує висока ймовірність його автохтонності.

**Таблиця 7.** Динаміка морфометричних показників плюсових дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на пробній площі Стіжоцького лісництва «Кременецьке лісове господарство»

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер плюсового дерева | Рік відбору, обстеження, стан | Вік на період відбору, обстеження | Висота, м | Діаметр,  см | Індекс А/H/ DbH\*100 | Модельне значення індексу | Різниця з моделлю |
| Модельні дані, 2015 рік | | 90 | 31,2 | 36,3 |  | 7,947 |  |
| 1 | Плюсові хар. | 88 | 32 | 52 | 5,288 | 7,947 | -2,659 |
| 2 | Плюсові хар. | 88 | 31 | 45 | 6,308 | 7,947 | -1,639 |
| 3 | Плюсові хар. | 88 | 32 | 52 | 5,288 | 7,947 | -2,659 |
| 4 | Плюсові хар. | 88 | 32 | 52 | 5,288 | 7,947 | -2,659 |
| 5 | Плюсові хар. | 88 | 31 | 52 | 5,459 | 7,947 | -2,488 |
| 6 | Плюсові хар. | 88 | 33 | 52 | 5,128 | 7,947 | -2,819 |
| 7 | Плюсові хар. | 88 | 32 | 44 | 6,250 | 7,947 | -1,697 |
| 8 | Плюсові хар. | 88 | 31 | 46 | 6,171 | 7,947 | -1,776 |
| 9 | Плюсові хар. | 88 | 30 | 44 | 6,667 | 7,947 | -1,280 |
| 10 | Плюсові хар. | 88 | 31 | 54 | 5,257 | 7,947 | -2,690 |
| Середнє |  |  | 31,5 | 49,3 |  |  |  |
| Модельні дані, 2024 рік | |  |  |  |  |  |  |
| 1 | Задов. | 97 | 31 | 62 | 5,047 | 7,886 | -2,839 |
| 2 | Задов. | 97 | 33 | 52 | 5,653 | 7,886 | -2,233 |
| 3 | Задов. | 97 | 33 | 60 | 4,899 | 7,886 | -2,987 |
| 4 | Задов. | 97 | 32 | 62 | 4,889 | 7,886 | -2,997 |
| 5 | Задов. | 97 | 33 | 56 | 5,249 | 7,886 | -2,637 |
| 6 | Задов. | 97 | 33 | 64 | 4,593 | 7,886 | -3,293 |
| 7 | Задов. | 97 | 32 | 52 | 5,829 | 7,886 | -2,057 |
| 8 | Задов. | 97 | 31 | 52 | 6,017 | 7,886 | -1,869 |
| 9 | Задов. | 97 | 33 | 54 | 5,443 | 7,886 | -2,443 |
| 10 | Задов. | 97 | 33 | 62 | 4,741 | 7,886 | -3,145 |
| Середнє |  |  | 32,4 | 57,6 |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

**Джерело:** розроблено авторами

***Рисунок 6.***Різниця значень індексів плюсових дерев порівняно з модальними значеннями (за даними табл. 7)

**Джерело**: розроблено авторами

Характер залежності зміни індексів A/H/DbH дає підстави стверджувати, що плюсові дерева в процесі росту ефективно використовують лісотипологічний потенціал лісорослинних умов у віковому діапазоні 90-100 років, наближаючись до модальних значень Іа класу бонітету. У віці до 98 років, за умов відносно незначного зниження відносної повноти деревостану, спостерігається рівномірна динаміка відхилень показників у порівнянні з модальними значеннями, за винятком дерева № 9.

Для плюсових дерев, наведених у табл. 7 потребує уточнення інформація щодо їхньої спадковості у формуванні лісонасіннєвих плантацій регіону поширення, оскільки потомство цих дерев не проходило тестування у випробних культурах. Загалом можна припустити, що підвищена біотична стійкість цих плюсових дерев не є достовірно встановленою спадковою плюсовою ознакою після досягнення ними 100-річного віку та висоти понад 30 метрів. Водночас подальший моніторинг і випробування їхнього потомства в екстремальніших умовах можуть підтвердити або спростувати це припущення. Таким чином, корінні деревостани сосни звичайної в едафо-кліматичних умовах Малого Полісся можуть мати як автохтонне, так і неавтохтонне походження, що зумовлює необхідність подальшого моніторингу їхнього стану та параметричних характеристик плюсових ознак.

Зведена інформація оцінки розвитку плюсових дерев за ділянками дає змогу обговорити та визначити ключові особливості результатів. Ріст плюсового дерева у висоту і товщину з віком та його стан за певних параметрів, характерних для кожного лісотвірного деревного виду, може служити оцінкою використання лісорослинних умов та одним із показників підтвердження віднесення лісостанів до встановлених типів лісу та типів деревостанів, O. Danchuk *et al.* (2024). Ішим напрямком є порівняння та використання динаміки H/DbH за домінантною висотою, для чого також придатні плюсові дерева і середні таксаційні показники деревостанів модельних ділянок. Такі залежності (моделі) вже використовуються для встановлення прогнозованих запасів деревини через певний період у окремих (різних) лісоекологічних умовах для уточнення даних таблиць ходу росту, описано F. Sağlam *et al.* (2024). Деревну візуалізацію висот і діаметрів дерев з віком представлено на рис. 7. Інформація підтверджує найнижчу кореляцію висот з віком, що вказує на високу залежність цього параметру плюсових дерев сосни звичайної від умов місцезростання та типів лісу та неоднорідність лісостанів сосни звичайної, у яких дерева відібрані за походженням.

**Рисунок 7**. Співвідношення висот і діаметрів плюсових дерев із зростанням віку деревостанів

**Джерело**: розроблено авторами

У табл. 8 представлено кореляційну матрицю між віком, висотою, діаметром та індексами І1 для всього масиву плюсових дерев досліджуваного регіону.

**Таблиця 8.** Кореляційна матриця параметрів плюсових дерев і їх індексів І1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *Кореляційна матриця* | Вік | Висота | Діаметр | Індекс І1 |
| Вік | 1 | 0,554 | 0,769 | 0,136 |
| Висота | 0,554 | 1 | 0,506 | 0,330 |
| Діаметр | 0,769 | 0,769 | 1 | 0,398 |
| Індекс | 0,136 | 0,330 | 0,398 | 1 |

**Джерело**: розроблено авторами

Кореляційний аналіз свідчить, що індекс І₂ має від’ємний зв’язок з віком дерев, із загальним коефіцієнтом кореляції -0,87, що свідчить про наявність зворотної залежності істотного рівня. Для типу лісу С2-г-дС цей показник становить -0,785, а для С3-г-дС – -0,948, що вказує на вищу інформативність індексу І2 щодо параметричних характеристик дерев порівняно з індексом І₁. Індекс І₁, натомість, виявився більш придатним для аналізу процесу росту (динаміки) дерев і був використаний для оцінки біотичної стійкості плюсових дерев. На рис. 8, 9 і 10 представлено дисперсію показників висоти, діаметра, індексу І₁ та віку плюсових дерев із відповідними рівняннями лінійної регресії.

**Рисунок 8.** Позиціювання висот і віку плюсових дерев з віком деревостанів

**Джерело**: розроблено авторами

**Рисунок 9.** Позиціювання діаметрів і віку плюсових дерев з віком деревостанів

**Джерело**: розроблено авторами

**Рисунок 10.** Позиціювання індексів і віку плюсових дерев з віком деревостанів

**Джерело**: розроблено авторами

На рисунках 8, 9, 10 бачимо лінії тренду однофакторної лінійної регресії з відповідними коефіцієнтами детермінації. Для подальшого аналізу зупинимось на рис. 10, де візуалізовано дисперсію індексів і віку та наведено у табл. 8 статистичні показники цих рядів.

**Таблиця 9.** Статистична інформація оцінки віку та індексу І1для плюсових дерев

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Статистичні показники | Вік, роки | Індекс І1 |
| Середнє значення | 102 | 5,425054 |
| Стандартна похибка | 1,8 | 0,084873 |
| Стандартне відхилення | 18,0 | 0,852963 |
| Найбільше значення | 135 | 8,593750 |
| Найменше значення | 75 | 3,645833 |

**Джерело**: розроблено авторами

Дисперсійний аналіз за критерієм Фішера та його значущістю (F = 1,802083; p = 0,182531) при низькому коефіцієнті кореляції не дозволяє запропонувати адекватну модель параметричних показників плюсових дерев за індексом І₁. Це також не має практичного сенсу через варіативність лісотипологічних умов росту деревостанів. Очевидно, що використання індексів є доцільним лише для моделювання в межах окремих типів лісу. У зв’язку з цим у табл. 10 наведено розподіл значень індексу І₁ (A/H/DbH) за типами лісу, а також додано значення індексу І₂ (H/DbH/A), який виявився більш придатним для моделювання параметрів дерев залежно від віку.

**Таблиця 10**.Значення індексів І1 (А/H/DbH) та І2 (H/DbH/А) у різних типах лісу

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Індекс | Типи лісу | Середнє значення за типами лісу | Середнє значення з усіх | Мінімальне з усіх | Максимальне з усіх |
| І1 | С3-г-дС | 5,618 | 5,425 | 3,645 | 8,593 |
| С2-г-дС | 5,182 | 5,425 | 3,645 | 8,593 |
| І2 | С3-г-дС | 0,654 | 0,644 | 0,344 | 1,030 |
| С2-г-дС | 0,632 | 0,644 | 0,344 | 1,030 |

**Джерело**: розроблено авторами

На рис. 11 і 12 представлено регресійні залежності віку дерев від індексу І2 за типами лісу. Отримані порівняно високі коефіцієнти детермінації (R² = 0,617 та R² = 0,897) свідчать про наявність суттєвого зв’язку, що дозволяє пропонувати відповідні моделі для прогнозування параметрів дерев залежно від віку.

**Рисунок 11.** Позиціювання індексів і віку плюсових дерев з віком деревостанів (середній вік дерев – 98 років)

**Джерело**: розроблено авторами

**Рисунок 12**. Позиціювання індексів і віку плюсових дерев з віком деревостанів (середній вік дерев – 106 років)

**Джерело**: розроблено авторами

Отримані рівняння можна використати для формування параметрів плюсових дерев за віком через значення індексу І2. Також на рис. 13, 14 наведено зміну (падіння) індексу І2 з віком окремо за типами лісу.

**Рисунок 13.** Позиціювання падіння індексів зі зростанням віку плюсових дерев в умовах типу лісу С3-г-дС

**Джерело**: розроблено авторами

Отримані рівняння трендових залежностей можуть бути використані для прогнозування параметрів плюсових дерев за їх віком через значення індексу I2. З графіка видно, що зі збільшенням віку дерев у даному типі лісу спостерігається поступове та стабільне зниження індексу I2, що ілюструє процес вікового погіршення показників, пов’язаних із ростом або якістю дерев.

**Рисунок 14.** Позиціювання падіння індексів з зростанням віку плюсових дерев в умовах типу лісу С2-г-дС

**Джерело**: розроблено авторами

Аналізуючи рис. 13 та 14, можна відзначити, що для умов С3-г-дС падіння індексу I2 є більш різким, ніж у випадку типу лісу С2-г-дС, де сосна звичайна зростає в оптимальніших ґрунтових умовах. В обох випадках темп зниження індексу прискорюється після досягнення насадженням віку близько 100 років, коли різко зростає ризик втрати біотичної стійкості, особливо під впливом періодів літніх засух.

Підвищена чутливість до падіння індексу I2 у старовікових насадженнях у свіжих та сухіших умовах пояснюється формуванням більшого дефіциту вологи, що обмежує адаптивні можливості дерев у пізньому віці. Однак навіть у вологих умовах різке зниження індексу I2 є негативним чинником, оскільки може призводити до ослаблення старовікових деревостанів і створювати передумови для активізації стовбурових шкідників.

Таким чином, графічні дані підтверджують необхідність врахування вікового порогу близько 100 років при плануванні лісівничих заходів, спрямованих на підтримання біотичної стійкості соснових насаджень у різних типах лісорослинних умов

**ОБГОВОРЕННЯ**

Обговорення оцінки впливу різких змін едафо-кліматичних умов на стан плюсових дерев чи визначення впливу різниці цих умов на їх подальший ріст за допомогою запропонованих параметричних індексів за динамікою віку не має достатньої інформативності і потребує детальнішої оцінки у комплексі з оцінкою динаміки просторової та вікової структури лісостанів де дерева відібрані. Проте стресових факторів на лісостани сосни звичайної обговорюється широко як актуальне питання, тому дослідження, наведені у роботі, мають лісівничу і селекційну значимість.

На підставі аналізу виявлених відповідностей та відмінностей для ряду ділянок за оцінкою H/DbH плюсових дерев з віком, пропонується один з допоміжних напрямів впровадження регіоналізації лісового репродуктивного матеріалу та його валідації на практиці за таксаційними параметрами дослідних об’єктів. Подібні дослідження за оцінкою таксаційних показників за базовими матеріалами лісовпорядкування пропонуються авторами O. Danchuk *et al.* (2024), проте за комплексним показником – бонітетом, що характеризує динаміку середніх висот з віком. Пропонований нами підхід з використанням відношення H/DbH плюсових дерев доповнює та розширює можливості оцінки життєвого стану та екологічної пластичності, важливих критеріїв автохтонності, лісостану ділянки досліджуваної, за загальними таксаційними показниками. Подібну оцінку з мотивів адаптивності, що базується на зміні дефоліації крон (санітарного стану) окремих дерев для соснових деревостанів у зрілому віці (понад 130 років) наведено за пятирічний період моніторингу у роботі P. Przybylski *et al.* (2020), проте авторами не виявлено залежності величини висот і діаметрів дерев та стану дефоліації їх крон. Отриманий результат пояснюється тим, що під час аналізу не проводилася оцінка взаємозв’язку з віком дерев, що могло вплинути на точність регресійної моделі. Однак у статті наводяться докази, що оцінюваний показник (дефоліація) залежить від вологості ділянок, що відносно підтверджується нашими узагальненими даними щодо гігротопу умов місце виростання, тому що основним стресовим фактором авторами вважається дворічна засуха.

У іншій роботі P. Przybylski *et al.* (2021) оцінюється дефоліація крон залежно від оцінки біорізноманіття, включно з генетичним аналізом, на підставі якого робиться висновок про тісний звязок генотипу з адаптивністю до стресових факторів. Подібний зав'язок прослідковується у висновках роботи R. Matisons *et al.* (2021), де на підставі поєднання дендрохронологічного аналізу дерев та генотипічної оцінки локальних популяцій, що відрізняються за таксаційними показниками, прослідковується реакція на зміну метеорологічних умов. Ці роботи підтверджують важливість фенотипічної оцінки (відбору плюсових дерев) у подальших дослідженнях їх спадкових властивостей для визначення рівня автохтонності лісостанів метапопуляції (місцевої) регіону походження. Тому, обговорюючи результати використання динаміки індексу А/H/DbH в едафо-кліматичних умовах Малого Полісся з позицій встановлення для сосни звичайної Малополіського соснових лісів регіону походження лісового репродуктивного матеріалу, першочерговим завданням зняття дискусійності у цьому питанні є встановлення автохтонності лісостанів, у яких проводиться добір плюсових дерев та відповідно визнання такими місцевих популяцій. Також слід звернути увагу, що в умовах вологих грабово-дубових сугрудків плюсові дерева мають більші висоти при збереженні середнього діаметра: плюсові дерева на ділянках у Буській та Радехівській філіях (С3-г-дС) демонструють вищі значення середньої висоти при меншому відношенні DbH/H у порівнянні з деревами на ділянках у Кременецькій та Бродівській філіях (С2-г-дС). Прослідковуються деякі розбіжності з результатами P. Lakyda *et al.* (2020) та V. Lovynska *et al.* (2021) щодо оцінки біомаси. Порівнюючи Полісся в цілому з Північним Степом, авторами відзначено вищу продуктивність соснових деревостанів для едатопу С2 наПоліссі.Це також може свідчити про особливості умов формування лісостанів Малополіського регіону походження для соснових лісів щодо умов Полісся в цілому.

Часто питання автохтонності лісостанів за походженням залишаються відкритими за умови формування корінних за складом соснових деревостанів і відповідне віднесення такої локальної популяції лісотвірного деревного виду до регіону походження ускладнює визначення його меж. Оцінка геномів таких популяцій за генетично-молекулярними маркерами поки що не доступна в Україні, як і така оцінка плюсових дерев. Перспективність та особливості методів маркерного та геномного відбору, насамперед у парадигмі кліматичних змін та пристосування до них майбутніх лісів, підсумовано у роботі Ch. Li *et al.* (2025). Як зазаначають B. da Silva *et al*. (2021) перспективним вважається комбінування методів геномного тестування, польових випробовувань та відбору. Як нову концепцію, що використовує генетичну оцінку кількох ознак у лісостанах послідовно за віком, пропонують M. Lstiburek *et al.* (2023), що дає можливість розвитку наших підходів динамічної оцінки плюсових ознак за фенотипом у широких екологічних діапазонах. Тому за матеріалами аналізу динаміки росту (зміни таксаційних показників), провененцій у випробних культурах, популяційних плантаціях, плюсових деревостанах, особливо з визначними показниками (наприклад, локальна популяція так званої сосни Лопатинської) з врахуванням генетичних методів, результати оцінки адаптивності потомства як окремих дерев так і популяцій в цілому значно прискоряться.

Також, розглянута у роботі можливість відповідного моделювання параметрів таких плюсових дерев та об’єктів їх відбору (стійких лісостанів) з метою удосконалення їх функціонального призначення щодо відтворення лісів, доповнює результати інших екопопуляційних сучасних досліджень в Україні: V. Voitiuk *et al.* (2020) – оцінка адаптивності локальних популяцій сосни з Волині; I. Neyko *et al*. (2020) – оцінка адаптивності північних локацій сосни звичайної в умовах південної межі ареалу; V. Blystiv *et al.* (2021) – оцінка стійкості формування деревостанів. Відбір плюсових дерев у лісостанах автохтонного походження та з пластичних щодо впливу стресових факторів популяцій, націлює на підвищення ролі плюсової селекції у формуванні стійких лісів майбутнього.

Масове пошкодження деревостанів сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) стовбуровими шкідниками, зокрема короїдами, яке останніми роками набуло широкого розголосу, охопило навіть плюсові дерева, що традиційно вважалися більш стійкими. Це загострило наукову та практичну проблему своєчасної превентивної оцінки фізіологічного стану насаджень та ідентифікації основних причин їх ослаблення до початку масштабних інвазій фітофагів. У роботі K. Davydenko *et al.* (2021) ці питання були детально розглянуті, однак слід наголосити, що ефективність прогнозування чисельності шкідників і розробки системи захисту лісових екосистем значною мірою залежить від інтегрованого впливу комплексу стресових чинників (кліматичних, едафічних, антропогенних) та адаптивної реакції дерев на них.

Встановлено, що оцінка стану деревостанів за різницею змін індексів А/H/DbH (відношення абсолютної висоти, середнього діаметра та інших морфометричних параметрів), проілюстрована на рисунках 1–6, є інформативним індикатором динаміки стійкості. Зокрема, менші значення різниці цих індексів корелюють із підвищеною біотичною стійкістю насаджень, тоді як їх зростання свідчить про поступову втрату стійкості, прискорене всихання навіть плюсових дерев та, відповідно, інтенсивніше заселення їх короїдами.

Отримані результати узгоджуються з висновками попередніх досліджень, зокрема праці Danchuk О. *et al.* (2024), які обґрунтували необхідність виділення Малополіського регіону походження для соснових лісів на основі геоботанічного районування. Це підкреслює важливість регіонально орієнтованих підходів до оцінки стійкості та адаптаційного потенціалу лісових екосистем.

**ВИСНОВКИ**

За результатами регресійного аналізу, проведеного на основі даних обмірів 43 плюсових дерев на п’яти модельних ділянках із загальною кількістю 102 повторностей, встановлено, що між віком дерев (A), їх висотою (H) та діаметром на висоті 1,3 м (DbH) не виявлено прямих статистично значущих зв’язків у динаміці з віком. Встановлено високу зворотну залежність між індексом І2 (H/DbH/А) і типом лісу С2-г-дC – коефіцієнт кореляції становить –0,785, і дуже високу для типу лісу С3-г-дС з коефіцієнтом кореляції -0,948; коефіцієнти детермінації (R2) для лінійних регресійних моделей дорівнюють відповідно 0,617 для С2-г-дС та 0,897 для С3-г-дС. Рівняння лінійних регресійних моделей для типу лісу С2-г-дС – I2 = -0,0064A + 1,2579 (R² = 0,617, P<0,0001) та для С3-г-дС – I2 = -0,0093A + 1,6425, (R² = 0,899, P<0,0001) пропонуються для моделювання параметрів відбору плюсових дерев досліджуваної території Малополіського округу грабово-дубових та соснових лісів.

За підсумком аналізу динаміки росту і стану біотичної стійкості (збереженості) плюсових дерев встановлено, що незважаючи на вищі таксаційні показники у вологих гігротопах вони характеризуються слабшою адаптивністю до різких змін вологості у віці 100 і більше років в порівнянні зі свіжими, де критичніший вплив проявляється за умов довготривалого дефіциту вологи. Ця різниця нівелюється за умови систематичного збільшення впливу росту динаміки і амплітуди кліматичних чинників, що спостерігається за останнє десятиріччя. Підсумовуючи, слід зазначити, що значна частина плюсових дерев потребує термінового клонування та закріплення генетичного потенціалу їх розвитку в архівах клонів і родин або лісонасіннєвих плантаціях.

Результати дослідження плюсових дерев показали високу схожість деревостанів ділянок за продуктивністю, яка в деякій мірі закономірно різниться за гігротопом для грабово-дубово-соснових деревостанів, проте, ці лісостани можуть бути віднесені до одного регіону походження ЛРМ сосни звичайної – Малополіського регіону походження ЛРМ грабово-дубових та соснових лісів для автохтонних лісостанів сосни звичайної. Уточнення меж цього округу є необхідним для формування надійної лісонасінної бази в цьому регіоні, включаючи подальший відбір плюсових дерев для створення плантацій. Доцільність виділення такого округу є очевидною ще й з огляду на те, що в умовах глобальних кліматичних змін за наслідками внутрішньо-видової мінливості формуються місцеві екотипи сосни звичайної, які варто розглядати як найперспективніші для лісовідновлення. Для цього необхідно уточнити кількісні параметри (створити регресійні моделі) для відбору плюсових дерев, які відповідають лісорослинному потенціалу свіжих і вологих соснових типів лісу у цьому регіоні походження, пропонується за індексом І2 (H/DbH/А).

**ACKNOWLEDGEMENTS**

Автори висловлюють подяку фахівцям філій «Буське лісове господарство», «Бродівське лісове господарство», «Радехівське лісомисливське господарство», «Кременецьке лісове господарство» Державного підприємства «Ліси України» (ДП «Ліси України») за уточнення інформації щодо плюсових дерев сосни звичайної у 2024-2025 роках.

**FUNDING**

### None.

**CONFLICT OF INTEREST**

None.

**REFERENCES**

1. Bilous, A.M., Kashpor, S.M., Myroniuk, V.V., Svinchuk, V., & Lesnik, O. (2022). Stem volume by height classes of immature, mature and overmature stands of the main forest-forming species of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science,* 13(3), 7-12. [doi: 10.31548/forest.13(3).2022.7-12](https://doi.org/10.31548/forest.13(3).2022.7-12).
2. Blystiv, V., Maliuha, V., Minder, V., & Syrota, O.P. (2021b). Practical approaches to establishing the dynamics of stand stability of breeding facilities. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 12(4), 6-16. [doi: 10.31548/forest2021.04.001](https://doi.org/10.31548/forest2021.04.001).
3. Blystiv, V.I., Yurkiv, Z.M., Neiko, I.S., & Matusiak, M.V. (2021a). Practical aspects of improving forest seed zoning. *Agriculture and Forestry,* 2(21), 140-157. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2021-2-12>.
4. Borges da Silva, É.D., Xavier, A., & Faria, M.V. (2021). Joint modeling of genetics and field variation in plant breeding trials using relationship and different spatial methods: A simulation study of accuracy and bias. *Agronomy*, 11(7), article number 1397. [doi: 10.3390/agronomy11071397](https://doi.org/10.3390/agronomy11071397).
5. Brichta, J., Bílek, L., Linda, R., & Vítámvás, J., (2023). Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century. *Central European Forerstry Journal*, 69(1), 3-20. [doi: 10.2478/forj-2022-0020](https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020).
6. Danchuk, O., Blystiv, V., Yurkiv, Z., & Vovchanskyi, V. (2024). Forestry features of regionalization of forest reproductive material. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*,26, 89-101. [doi: 10.15421/412406](https://doi.org/10.15421/412406).
7. Davydenko, K., Vasaitis, R., Elfstrand, M., Baturkin, D., Meshkova, V., & Menkis, A. (2021). Fungal communities vectored by *Ips sexdentatus* in declining *Pinus sylvestris* in Ukraine: Focus on occurrence and pathogenicity of ophiostomatoid species. *Insects*, 12(12), article number 1119. [doi: 10.3390/insects12121119](https://doi.org/10.3390/insects12121119).
8. Debryniuk, Yu.M., Yavorskyi, M.V., & Myakush, I.I. (2021). [*Selection inventory of objects of the permanent forest seed base of the State Enterprise “Buske Forestry” and ways of reproducing genetic resources of the main forest-forming species: Practical recommendations*](https://manusbook.com/9071_Debruniuk_Selection_Busk/2/). Lviv: Manuscript.
9. Krynytskyy, H., Korol, M., Lavnyy, V., Kovaleva, V., Kramarets, V., Krynytska, O., & Mahuran, V. (2023). Forestry and ecological features of distribution and improvement of biotic stability of pine forests in the conditions of Lviv region. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine,* 25, 87-97. [doi: 10.15421/412306](https://doi.org/10.15421/412306).
10. Krynytskyy, H., Skolsky, I., Krynytska, O., Lutsiv, N., & Yakhnytsky, V. (2021). Biotic stability of Scots pine growing in stands on fairly fertile soil types of the Lviv Roztochya. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 23, 50-57. [doi: 10.15421/412126](https://doi.org/10.15421/412126).
11. Lakyda, P., Sytnyk, S., Lovynska, V., Lakyda, I., & Gritsan, Yu. (2020). [Crown biomass of scots pine and black locust in Northern Steppe of Ukraine.](https://forestry-ideas.info/issues/issues_Index.php?pageNum_rsIssue=2&totalRows_rsIssue=22&journalFilter=67) *Forestry Ideas,* 26(2), 471-484.
12. Li, Ch., Li, B., Zhao, W., Jiang, J., & Tang, J. (2025). Forest tree breeding under the global environmental change: Challenges and opportunities. *Trees,* *Forests and People,* 20, article number 100867.[doi: 10.1016/j.tfp.2025.100867](https://doi.org/10.1016/j.tfp.2025.100867).
13. Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Hayda, Yu.I., Shlonchak, G.A., Mitrochenko, V.V., Shlonchak, G.V., & Danchuk, O.T. (2017). [*Guidelines for forest seed production*](http://ucfb.info/fileadmin/user_upload/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8.pdf). Kharkiv: State Agency of Forest Resources of Ukraine.
14. Lovynska, V., Terentiev, A., Lakyda, P., Sytnyk, S., Bala, O., & Gritzan, Yu. (2021). Comparison of Scots pine growth dynamic within Polissia and Northern Steppe zone of Ukraine. *Journal of Forest Science*, 67(11), 533-543. [doi: 10.17221/93/2021-JFS](https://jfs.agriculturejournals.cz/artkey/jfs-202111-0004_comparison-of-scots-pine-growth-dynamics-in-polissya-and-steppe-zone-of-ukraine.php).
15. Lstiburek, M., Rosario García‐Gil, M., & Stefenrem, A. (2023). Rolling front landscape breeding. *Annals of Forest Science,* 80, article number 36. [doi: 10.1186/s13595-023-01203-w](https://doi.org/10.1186/s13595-023-01203-w).
16. Matisons, R., Schneck, V., Jansone, D., Bāders, E., Dubra, S., Zeltiņš, P., & Jansons, Ā. (2021). South-Eastern baltic provenances of scots pine show heritable weather-growth relationships. *Forests,* 12(8), article number 1101. [doi: 10.3390/f12081101](https://www.mdpi.com/1999-4907/12/8/1101).
17. Neyko, I., Kolchanova, O., Monarkh, V., & Poznyakova, S. (2020). Seed productivity and variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clones of Finnish origin in seed orchard in the central part of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*, 62(1), 1-12. [doi: 10.2478/ffp-2020-0001](https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0001).
18. Przybylski, P., Mohytych, V., Rutkowski, P., Tereba, A., Tyburski, Ł., & Fyalkowska, K. (2021). Relationships between some biodiversity indicators and crown damage of *Pinus sylvestris* L. in natural old growth pine forests. Sustainability, 13(3), article number 1239. [doi: 10.3390/su13031239](https://doi.org/10.3390/su13031239).
19. Przybylski, P., Tyburski, Ł., & Mohytych, V. (2020). The relationship between height and diameter trees of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and the extent of crown defoliation in the Kampinos National Park. *Folia Forestalia Polonica. Series A. – Forestry*, 62(1), 22-30. [doi: 10.2478/ffp-2020-0003](https://sciendo-parsed.s3.eu-central-1.amazonaws.com/6471cece215d2f6c89db1880/10.2478_ffp-2020-0003.pdf?X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Credential=ASIA6AP2G7AKOJSAHR6K%2F20250807%2Feu-central-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20250807T070454Z&X-Amz-Expires=3600&X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEE4aDGV1LWNlbnRyYWwtMSJHMEUCIG5nLLoGeUKZGjlBsphKvJ8hNn%2B0ehijWGOV1JvFQnb3AiEAj3%2B1YvoGkWXkWctv36BtMBxd0acjYhNAlMaK%2BsIKJPAqxQUIiP%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2F%2FARACGgw5NjMxMzQyODk5NDAiDCLfYOvW0CLT4PmPiiqZBQohv25z56PabPK6YdJOWzabaS9fAQXKYtm2WAbG5AxbhdbgxtcLK42itTktPF36YoVqmvOP6kgSfCsSMgkykqKYGi0RTJsBpjuGEC1uyRkNyWrOiEKzE%2BBUavTjAJTciFZrC6SdtdxCWyC45K8EAugIYpExrsmhgWAx1ITch2zu8DAolXyBXFgs5M8tGo78LMGJh%2Bw%2B0yimq532VpcdICKMadfEuZ4nJ4lDBTVeP%2B8H8A8zp7DlOq5XCEKQ7O5EOsh8SR2JKWrKwHXpLkq8bCi7GGOQEPLiABAaUWe5Lu9iGZnHvbJv0Utcl6dzYLHpntjsf9Tov7vsgFgM00VZlzR9Bx7L%2B9vVjhVO9GaG35A6kUZvVmTsoywqrkVhHj1yraEcUBJTegJ%2Bqd8G%2FjQxN%2BgOzWZBUtklQGQv%2BX6GdomXV7PVAP6jEjJHrB%2BCoZoAblJK%2BNTQLfNkPaPte%2FyvjNAC8u33rFJymORbzEWj%2F%2FF53WgaJMA1%2Bm%2BLkdlxXCOJKRVrQsRvHLKAEDqSADjSHbjjEDPG6AMMf8cVR2MqIgOP7KPm6J%2FxEpYoCjlRSqUe%2F5RQLh5vI7Lpm%2FeQY%2FywO1fdGI9RmMNZq0a0kgkJTzfJsZorr0ORLy%2FOBbzaJhGP0dM9c9QOjTJtX4mEv7CIGqxHHbj78wppb6Crx11Ntc0E7cyFzCzTbQp0pIGqFaCm%2Bw9NP20bFDfhM%2FcYZmBjCnVNFaZ3ftr5TjI9UeVx85glm8SBVVU%2FllnTk8lExd%2FggckZlZPlLx%2Bli3Bu5XMMqQJdYcqUHd7m9KAPQ8L7BpyFjrplWLU9OY7geVu9iAiOUgV6XllFSRy%2FfzMIokrUo9BNaUgwwXR0mm%2BhHYr%2FZuxgDKjjA5PhpvmUMLON0cQGOrEBKAFMuXfT4NpKrUNqWZWeLsc1Rm9AuFQisPVd1qe8k8zFjiXZSt9bUP7Fk%2BoWckDPJGNuHIx2l1H%2BnYaVKGQELO%2BovAoL9hPCjUERKUMT9ZxESF%2BQapvpEhTP14hTMLf%2FFJif5GwsyebUttV3i6VpRoIH8Un%2F7OP8cUyHn9k3DKf9lEiUaLBe4jKpPOgEA964UI3asaznIzQ1dgmjM1F%2FuUe5ggUgp8BoiL%2FD7NKUs5pD&X-Amz-Signature=680da0f1fabe0c71b1922690dddcfcb8f2095b5b78f0e0db8a43e774e3ef7ae9&X-Amz-SignedHeaders=host&x-amz-checksum-mode=ENABLED&x-id=GetObject).
20. Quegwer, J., Merbitz, L., Tröber, U., & Meyer, M. (2024). Challenges for a seed orchard programme towards seed availability for future forest composition in Saxony, Germany. In *Proceedings of the seed orchard conference “Seed orchards - the key stage in forest tree breeding and sustainable forest management”* (p. 6). Romania: Public Enterprise Sachsenforst (SBS).
21. Sağlam, F., & Sakici, O.E. (2024). Ecoregional height-diameter models for Scots pine in Turkiye. *Journal of Forestry Research*, 35, article number 103. [doi: 10.1007/s11676-024-01757-z](https://doi.org/10.1007/s11676-024-01757-z).
22. State Organization “Ukrainian Forest Breeding Center”. (n.d.) Retrieved from <https://ucfb.info/>.
23. Ukrainian State Forest Management Project and Production Association. (n.d.). Retrieved from <https://lisproekt.gov.ua/objednannja>.
24. Voitiuk, V., Andreieva, V., Kychyliuk, O., Hetmanchuk, A., Klisz, M., & Mohytych, V. (2020). Application of growth traits and qualitative indices for selection of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) elite trees. A case study from Volyn region, Western Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*, 62(3), 199-209. [doi: 10.2478/ffp-2020-0019](https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0019).
25. Wang, J., Wang, Y., Zhang, Z., Wang, W., & Jiang, L. (2023). Enhanced awareness of height-diameter allometry in response to climate, soil, and competition in secondary forests. [*Forest Ecology and Management*](https://www.sciencedirect.com/journal/forest-ecology-and-management), 548, article number 121386. [doi: 10.1016/j.foreco.2023.121386](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121386).