

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет (навчально-науковий інститут) Навчально-наукового інституту
екології, зеленої енергетики та сталого розвитку

Кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи

До захисту допущено

*Кафедрою екологічного моніторингу та заповідної справи
протокол № _____ від _____*

завідувач кафедри _____ Надія МАКСИМЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

Кваліфікаційна робота
здобувача Дмитра ОНИСЬКО, студента другого (магістерського) рівня вищої
освіти
(першого (бакалаврського) / другого (магістерського))

Дендроіндикація бука звичайного в заказнику Чорна гора Карпатського
біосферного заповідника

(назва роботи)

Спеціальність (спеціалізація) 101 Екологія
(код та найменування спеціальності; спеціалізації спеціальності - за наявності)

Освітня програма Заповідна справа
(назва освітньої програми)

Виконавець _____ Дмитро ОНИСЬКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник _____ Ірина КОВАЛЬ
(підпис) (ім'я, прізвище)

Харків – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології, зеленої енергетики та сталого розвитку
Кафедра екологічного моніторингу та заповідної справи
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ / проф. Надія МАКСИМЕНКО
підпис ім'я та прізвище

“__” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____ Дмитра ОНИСЬКО
(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Дендроіндикація бука звичайного в заказнику Чорна гора
Карпатського біосферного заповідника

керівник роботи Ірина КОВАЛЬ, доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

2. Строк подання студентом роботи _____ 27.11.2025 р. _____

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. відібрати керни бука звичайного у насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника відповідно до стандартних методик дендрохронологічного відбору;
2. провести вимірювання ширини річних кілець бука звичайного та здійснити попередню перевірку отриманих даних на наявність аномалій, пропущених або двійних кілець;

3. створити індивідуальні деревно-кільцеві хронології для кожного досліджуваного дерева та сформувати на їх основі локальну хронологію насадження;
4. побудувати індексовану деревно-кільцеву хронологію із застосуванням відповідних статистичних методів стандартизації та згладжування.
5. визначити особливості радіального приросту бука звичайного та оцінити його чутливість до основних кліматичних чинників (температури повітря, кількості опадів).

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Аналіз літературних джерел
2	Відбір кернів бука звичайного в насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника. Створення метеорологічних баз даних для Львівської метеостанції
3	Аналіз матеріалу та підготовка публікацій
4	Підготовка публікації та написання кваліфікаційної роботи

5. Дата видачі завдання 04.11.2025 р.

Студент

підпис

Дмитро ОНИСЬКО

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

професор, Ірина КОВАЛЬ

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ
**ДЕНДРОІНДИКАЦІЯ БУКА ЗВИЧАЙНОГО В ЗАКАЗНИКУ «ЧОРНА ГОРА»
КАРПАТСЬКОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА**

Дмитро ОНИСЬКО

Кваліфікаційна робота «Дендроіндикація бука звичайного в заказнику Чорна Гора Карпатського біосферного заповідника» містить 40 сторінок, 3 розділи, 2 таблиці, 9 рисунків, 2 формули, 38 використаних джерел.

Мета роботи: виявлення наслідків впливу зміни клімату на радіальний приріст бука звичайного в заказнику Чорна Гора Карпатського біосферного заповідника.

Актуальність теми. *Fagus sylvatica* L. є ключовим аборигенним видом лісових екосистем Карпат і відіграє важливу роль у підтриманні їх стійкості. У контексті сучасних змін клімату дослідження радіального приросту та його реакції на кліматичні чинники дає змогу оцінити адаптаційний потенціал виду та прогнозувати подальший стан лісових екосистем регіону.

Завдання дослідження передбачали порівняння показників радіального приросту бука звичайного для 1974-2000 та 2001-2025 рр. в умовах зміни клімату.

Методи. Використано методи екологічного порівняння, дендрохронологічні та статистичні методи.

Результати. Відібрано керни бука звичайного у насадженні заказника Чорна Гора Карпатського біосферного заповідника. Визначено, що при порівнянні радіального приросту бука звичайного для двох періодів 1974-2000 та 2001-2025 рр. зниження приросту було на 32% меншим у другому періоді в порівнянні з першим та збільшилась його чутливість до кліматичних факторів. Але водночас упродовж 2013-2025 рр. радіальний приріст дерев стабілізувався, що свідчить про адаптацію букового насадження до зміни клімату на даному етапі.

БУК ЗВИЧАЙНИЙ, ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНІ МЕТОДИ,
РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ, ОПАДИ, ТЕМПЕРАТУРИ, ЗМІНА КЛІМАТУ

ABSTRACT

DENDROINDICATION OF EUROPEAN BEECH IN THE “CHORNA HORA” NATURE RESERVE OF THE CARPATHIAN BIOSPHERE RESERVE

Dmytro ONYSKO

The qualification work “Dendroindication of European beech in the ‘Chorna Hora’ Nature Reserve of the Carpathian Biosphere Reserve” comprises 40 pages and includes 3 chapters, 4 tables, 19 figures, 3 formulas, and 25 references.

Relevance of the topic. *Fagus sylvatica* L. is a key native species of Carpathian forest ecosystems and plays an important role in maintaining their sustainability. In the context of contemporary climate change, studying radial growth and its response to climatic factors allows us to assess the adaptive potential of the species and predict the future state of forest ecosystems in the region.

The aim of the work is to identify the effects of climate change on the radial growth of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the forests of the “Chorna Hora” Nature Reserve of the Carpathian Biosphere Reserve.

Relevance of the topic. *Fagus sylvatica* L. is a key native species of Carpathian forest ecosystems and plays an important role in maintaining their stability. Under ongoing climate change, the assessment of radial growth and tree-ring sensitivity to climatic factors provides essential information on the species’ adaptive potential and enables forecasting of ecosystem dynamics.

Research objectives included a comparative analysis of radial growth indicators of European beech for two time intervals — 1974–2000 and 2001–2025 — to assess their variability under changing climatic conditions.

Methods ecological comparison, dendrochronological, and statistical methods were used.

Results. Beech cores were selected in the Black Mountain reserve of the Carpathian Biosphere Reserve. It was determined that when comparing the radial growth of common beech for two periods, 1974–2000 and 2001–2025, the decrease in growth was 32% less in the second period compared to the first, and its sensitivity to

climatic factors increased. At the same time, however, during 2013-2025, the radial growth of trees stabilized, indicating the adaptation of beech plantations to climate change at this stage.

EUROPEAN BEECH, DENDROCHRONOLOGY, RADIAL GROWTH,
PRECIPITATION, TEMPERATURE, CLIMATE CHANGE.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1	БУК ЗВИЧАЙНИЙ ЯК ОБ'ЄКТ ДЕНДРОКЛІМАТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ
1.1.	Еколого-ценотична роль бука звичайного (<i>Fagus sylvatica</i> L.) в лісових екосистемах Українських Карпат
1.2.	Біоіндикаторна функція радіального приросту в оцінці впливу кліматичних змін на лісові насадження
1.3.	Методологічні основи та принципи дендрохронологічного аналізу в лісівництві.....
РОЗДІЛ 2	ПРОГРАМА, ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....
2.1.	Програма досліджень.....
2.2.	Характеристика об'єкта та району дослідження (територія заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника
2.3.	Польовий етап: методика відбору кернів деревини бука звичайного та первинна обробка зразків
2.4	Лабораторний етап: методи вимірювання, стандартизації та статистичного аналізу дендрохронологічних рядів
РОЗДІЛ 3	ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМІКИ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ БУКА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ
3.1.	Вплив зміни клімату на динаміку радіального приросту бука звичайного
3.2.	Оцінка кореляційних зв'язків радіального приросту бука з основними кліматичними чинниками (температура, опади)
3.3.	Обговорення отриманих результатів у контексті сучасних дендрокліматичних досліджень Карпат
РЕКОМЕНДАЦІЇ	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідження стану букових пралісів, що входять до об'єктів Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, є надзвичайно важливим у контексті сучасних глобальних змін клімату та посилення антропогенного впливу. Заказник «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника є одним із найцінніших осередків букових пралісів, стан яких потребує наукового обґрунтування та постійного моніторингу.

Метод дендроіндикації дозволяє отримати унікальну ретроспективну інформацію про реакцію дерев на зміну кліматичних умов та інші фактори зовнішнього середовища, що є необхідним для розробки науково обґрунтованих критеріїв оцінки стану пралісів, прогнозування їхньої динаміки та планування заходів з охорони.

Отримані результати матимуть важливе значення для виконання міжнародних зобов'язань України щодо моніторингу та збереження об'єктів природної спадщини, а також для вдосконалення системи екологічного моніторингу в межах Карпатського біосферного заповідника»

Метою роботи є дослідження динаміки радіального приросту бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) в насадженні, яке росте в Карпатах та виявити головні кліматичні чинники, які впливають на формування річної деревини в умовах зміни клімату.

Об'єкт дослідження: середньовікове насадження бука звичайного в насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника»

Предмет дослідження: встановлення особливостей динаміки радіального приросту бука звичайного під впливом зміни клімату

Завдання:

1. відібрати керни бука звичайного у насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника відповідно до стандартних методик дендрохронологічного відбору;

2. провести вимірювання ширини річних кілець бука звичайного та здійснити попередню перевірку отриманих даних на наявність аномалій, пропущених або двійних кілець;

3. створити індивідуальні деревно-кільцеві хронології для кожного досліджуваного дерева та сформувати на їх основі локальну хронологію насадження;

4. побудувати індексовану деревно-кільцеву хронологію із застосуванням відповідних статистичних методів стандартизації та згладжування.

5. визначити особливості радіального приросту бука звичайного та оцінити його чутливість до основних кліматичних чинників (температури повітря, кількості опадів).

Методи дослідження: Використано методи екологічного порівняння, дендрохронологічні та статистичні методи.

РОЗДІЛ 1.

БУК ЗВИЧАЙНИЙ ЯК ОБ'ЄКТ ДЕНДРОКЛІМАТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ: ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ

1.1. Еколого-ценотична роль бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) в лісових екосистемах Українських Карпат

Бук європейський, або бук звичайний (*Fagus sylvatica* L.) є домінуючим видом у Європі. Він росте у чистих і мішаних насадженнях із хвойними породами, поширення яких обмежене переважно територією Альп і Карпат ([19, 36]. Основна площа букових насаджень в Україні (40% від загальної площі регіону [Олійник, 2008]) зосереджена в Карпатах на висоті 250–1400 м над рівнем моря [5].

Бук європейський є важливим видом для підкреслення впливу екологічних обмежень на європейські лісові екосистеми, оскільки він чутливий до коливань клімату. Сучасна зміна клімату негативно впливає на силу його росту через чутливість до дефіциту ґрунтової вологи [34] та впливу тривалих періодів посухи [27].

Зміна клімату протягом останніх десятиліть значно вплинула на умови лісової рослинності Українських Карпат, зміни у складі деревної рослинності призвели до певного зсуву меж лісових рослинних поясів, що спричинило зниження біотичної стійкості окремих видів дерев. При цьому площа, зайнята ялиною, зменшилася, тоді як площа під буковими та ялицевими лісами, навпаки, збільшилася [18]. В. І. Комендар [6], К. А. Маліновський [8] та С. М. Стойко [13] вважали, що меандрувальні пояси ялиново-букових лісів зміщуються вгору.

Необхідно оцінити вразливість букових лісів до впливу зміни клімату та їхню здатність адаптуватися до таких впливів. Для вивчення проблеми адаптації букових лісів до зміни клімату найкраще підходять природні ліси, що охороняються в мережі природно-заповідного фонду.

Бук звичайний (*Fagus sylvatica* L.) є однією з ключових лісоутворюючих порід Українських Карпат і відіграє визначальну роль у формуванні структури та

функціонування гірських лісових екосистем [24]. Цей вид формує широколистяні та мішані деревостани в передгір'ях і середньогір'ї та відзначається високою екологічною пластичністю, здатністю до самопідтримання та домінування в клімакських угрупованнях [10].

Екологічне значення букових лісів. Букові насадження формують унікальний мікроклімат, стабілізують гідрологічний режим та відіграють важливу роль у регуляції водного балансу гірських територій [33]. Густа крона бука зменшує добові температурні коливання, сприяє збереженню вологи та знижує інтенсивність випаровування. Коренева система забезпечує закріплення ґрунтів, що є критичним у запобіганні ерозійним та селевим процесам на крутих схилах [7].

Підстилка букових лісів характеризується швидким розкладанням і високим рівнем гуміфікації, що сприяє формуванню родючих бурих лісових ґрунтів (Ellenberg, 2009; Коцун, 2015). Саме ці властивості визначають важливу ґрунтоутворювальну функцію бука у Карпатському регіоні.

Ценотична роль та взаємодія з іншими компонентами лісу. Бук звичайний формує стійкі клімаксові угруповання з розвиненою вертикальною та горизонтальною структурою [26]. У змішаних лісах він домінує в першому ярусі, конкуруючи з ялиною європейською (*Picea abies*) та ялицею білою (*Abies alba*) [25]. У підліску характерними є ліщина, вовчі ягоди, жимолость темна, а у трав'яному покриві — маренка запашна, копитняк європейський, медунка, папороті [9, 10].

Букові ліси відзначаються високим рівнем біорізноманіття грибів, мохоподібних та безхребетних, значною кількістю мертвої деревини та складними трофічними зв'язками [31]. Різноманіття структурних елементів забезпечує створення численних екологічних ніш, що сприяє високій еколого-ценотичній стійкості лісових екосистем.

Роль бука в екосистемних процесах та стійкості лісів. Бук є важливою породою для підтримання стабільності та регуляції екосистемних процесів. Його довговічність, тіньовитривалість та конкурентоспроможність визначають домінування в природних гірських умовах Карпат [32, 35]. Динаміка радіального приросту бука чутливо реагує на зміни кліматичних умов, що робить його цінним

індикатором екологічних і кліматичних змін [15,17].

Букові праліси Карпат включені до Світової спадщини ЮНЕСКО та становлять значну наукову та природоохоронну цінність [16]. На території Карпатського біосферного заповідника, зокрема в масиві «Чорна Гора», бук формує природні, мало порушені деревостани з високим рівнем структурної різноманітності та унікальним генофондом [11]. Його еколого-ценотична роль проявляється у підтриманні біорізноманіття, регуляції мікроклімату та забезпеченні стабільності гірських екосистем.

1.2 Біоіндикаторна функція радіального приросту в оцінці впливу кліматичних змін на лісові насадження

Радіальний приріст дерев є одним із найважливіших інтегральних показників, що відображає реакцію лісових екосистем на зміну кліматичних і екологічних умов. Дендрохронологічний аналіз річних кілець дозволяє реконструювати динаміку ростових процесів упродовж десятиліть і століть, а також оцінити чутливість лісових насаджень до факторів середовища (Fritts, 1976; Schweingruber, 1996). У гірських лісах, зокрема в Українських Карпатах, де кліматичні зміни проявляються більш виразно внаслідок висотної диференціації температури та вологості, радіальний приріст дерев виступає важливим біоіндикатором екосистемної динаміки [14].

Радіальний приріст як відображення впливу кліматичних факторів. Формування річного кільця залежить від низки зовнішніх чинників, серед яких провідну роль відіграють температура повітря, кількість опадів, ґрунтова волога та інтенсивність сонячної радіації [23]. Для дерев помірного клімату ранньовесняний приріст переважно визначається доступністю вологи та температурними умовами на початку вегетації, тоді як пізньовесняні та літні шари деревини більшою мірою реагують на стреси, спричинені літніми посухами [30]. Таким чином, коливання ширини річних кілець дозволяють фіксувати наслідки екстремальних погодних явищ — надмірних дощів, посух, аномальних холодів чи теплих періодів.

У Карпатському регіоні дослідження радіального приросту продемонстрували, що бук звичайний та інші гірські породи (ялиця біла, ялина європейська) виявляють високу чутливість до літніх дефіцитів вологи та до підвищення температури у другій половині вегетаційного сезону [38]. Зменшення приросту в сухі роки чітко простежується у хронологіях та є індикатором посилення аридизації клімату.

Біоіндикаторна роль дендрохронологічних характеристик. Біоіндикаторна функція радіального приросту ґрунтується на тому, що дерева акумулюють інформацію про середовище у деревині, утворюючи річні кільця зі змінною шириною та структурою [23]. До основних індикаторних параметрів належать: ширина річного кільця, що відображає сумарні умови росту за сезон; щільність деревини, яка є чутливою до температури та вологості; частота та амплітуда реакцій на стресові події, зокрема посухи, вітровали, зниження зимових температур; індекси чутливості та автокореляції, які застосовуються для оцінки впливу кліматичних трендів [3, 5, 23].

Наявність статистично значущих кореляцій між дендрохронологічними параметрами та кліматичними рядами підтверджує високу індикаторну цінність деревини. Такі залежності дозволяють виявляти періоди кліматично зумовлених зниження приросту та прогнозувати напрям екосистемних змін.

Радіальний приріст як індикатор кліматичних змін у гірських лісах. Кліматичні зміни у Карпатському регіоні проявляються у підвищенні середньорічних температур, зростанні частоти та тривалості літніх посух та змінах сезонного розподілу опадів. Дендрологічні дослідження підтверджують, що деревні породи на висотних градієнтах реагують на кліматичні зміни нерівномірно: низькогірні букові насадження демонструють зниження приросту у посушливі роки, тоді як у середньогірних умовах бук може вигравати від подовження теплого періоду [12].

У природних та заповідних букових екосистемах спостерігається: поступове зниження середніх значень річного приросту, зростання міжрічної мінливості, посилення реакцій на тривалі літні посухи, зміна вкладу ранньої та пізньої

деревини у структуру річного кільця [14]. Ці тенденції свідчать про підвищення кліматичної вразливості лісів і підкреслюють значення радіального приросту як інструмента моніторингу.

Застосування радіального приросту в екологічному моніторингу. Дендроекологічні дослідження широко використовуються для оцінки впливу кліматичних трендів, антропогенних навантажень та природних порушень. Радіальний приріст є ефективним біоіндикатором у: аналізі динаміки росту деревостану, виявленні періодів стресу, діагностиці деградаційних процесів, оцінці екосистемної стійкості, прогнозуванні стану лісів під впливом змін клімату.

У заповідних територіях, таких як масив «Чорна Гора», радіальний приріст дозволяє оцінювати реакцію природних букових насаджень на зміну кліматичних умов без впливу лісогосподарських чинників, що підвищує достовірність дендроекологічних моделей.

1.3. Методологічні основи та принципи дендрохронологічного аналізу в лісівництві

Принципи дендрохронології є науковою основою методу, що дозволяє будувати точні та безперервні хронології на основі вивчення річних кілець дерев. Дендрохронологія як науковий метод базується на низці фундаментальних принципів, які забезпечують можливість встановлення абсолютної хронології з точністю до календарного року.

Центральним принципом дендрохронології є принцип річних кілець, який стверджує, що в умовах чітко вираженого сезонного клімату кожне дерево щорічно формує одне кільце деревини, що складається з ранньої (світлої) та пізньої (темної) частини [5]. Кількість річних кілець між ядром дерева та його корою дорівнює віку дерева, що створює можливість встановлення точної абсолютної хронології.

Принцип екологічної чутливості полягає в тому, що ширина річних кілець є відображенням сукупності факторів зовнішнього середовища, які впливають на ріст дерева. Найбільш чутливими до таких впливів є дерева, що ростуть на

екологічно граничних позиціях, таких як верхня межа лісу, північна межа поширення виду або посушливі регіони. Саме ці дерева створюють найбільш інформативні хронології, оскільки їх ріст обмежується домінуючим екологічним фактором [5].

Принцип синхронізації річних кілець стверджує, що в межах певної географічної зони та однорідних екологічних умов дерева, які росли одночасно, демонструють подібні патерни коливань ширини річних кілець. Ця синхронність виникає через спільну реакцію дерев на регіональні кліматичні умови і є основою для точного співставлення послідовностей річних кілець між різними зразками.

Принцип обмежуючого фактора уточнює, що в більшості екосистем ріст дерев контролюється одним основним фактором – або вологою в посушливих регіонах, або температурою в холодних регіонах. Ширина річних кілець відображає переважно варіації цього обмежуючого фактора, що забезпечує високу кореляцію між деревами однієї популяції та дозволяє виділити кліматичний сигнал у хронологіях.

Для побудови надійних хронологій необхідно дотримуватися принципу реплікації, який передбачає використання достатньої кількості зразків. Оптимальна кількість дерев для створення хронології становить не менше 10–20 зразків, що дозволяє усереднити локальні впливи та отримати репрезентативний регіональний кліматичний сигнал. Реплікація підвищує статистичну надійність хронології та знижує вплив аномальних зразків.

Принцип перекривання діапазонів є ключовим для створення безперервних довготривалих хронологій. Для точного встановлення відносної хронології між зразками необхідно, щоб між послідовностями річних кілець існували періоди перекривання, які становлять щонайменше 50–100 років. Така тривалість перекривання забезпечує достатню кількість послідовних збігів для статистично обґрунтованого датування.

Синхронність між хронологіями встановлюється за допомогою статистичних методів. Основним інструментом є t-критерій Баума-Штайгера, який кількісно оцінює ступінь збігу між послідовностями річних кілець. Значення цього

показника, що перевищує 3–4, вважається достатнім для надійного встановлення хронологічного співставлення. Додатково застосовуються інші статистичні показники, такі як коефіцієнт кореляції та показник паралельності, які оцінюють подібність графіків ширини річних кілець.

Важливим доповненням до основних принципів є принципи контролю якості та верифікації хронологій. Для оцінки якості хронології використовується показник експресивності популяції [34], значення якого має перевищувати 0,85, що свідчить про достатню репрезентативність хронології для регіону. Верифікація хронологій проводиться за допомогою незалежних статистичних тестів, таких як кореляційний аналіз із метеорологічними даними, суперечлива кореляція та коефіцієнт знаків, які дозволяють перевірити здатність хронології відтворювати відомі кліматичні зміни.

Процес побудови хронологій також включає стандартизацію послідовностей річних кілець, яка має на меті усунення впливу біологічних закономірностей росту, зокрема геометричного приросту, та виділення кліматичного сигналу. Найпоширенішими методами стандартизації є негативна експоненційна крива, сплайн та моделі згладжування.

Таким чином, принципи дендрохронології створюють науково обґрунтовану методологічну основу, яка забезпечує можливість побудови точних і безперервних хронологій, що охоплюють проміжки часу від кількох століть до дванадцяти тисяч років. Поєднання фізіологічних особливостей формування річних кілець, екологічних закономірностей та статистичних методів дозволяє дендрохронології досягати унікальної точності датування, що робить її незамінним методом у багатьох наукових дисциплінах, включаючи археологію, палеокліматологію, історію та екологію.

Завдяки чітко розробленим принципам та методам дендрохронологія стала одним із найважливіших напрямів у сучасному лісознавстві. Вона дозволяє оцінювати динаміку продуктивності насаджень, визначати періоди кліматичних екстремумів, прогнозувати вразливість деревостану до майбутніх змін та виявляти наслідки антропогенного впливу. Отримані дані мають практичне значення для адаптивного лісівництва, планування господарських заходів і моніторингу екосистем.

РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА, ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма досліджень

Програма дослідження:

1) відібрати керни бука звичайного у насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника відповідно до стандартних методик дендрохронологічного відбору;

2) провести вимірювання ширини річних кілець бука звичайного та здійснити попередню перевірку отриманих даних на наявність аномалій, пропущених або двійних кілець, тобто провести перехресне датування

3) створити індивідуальні деревно-кільцеві хронології для кожного досліджуваного дерева та сформувати на їх основі локальну хронологію насадження та побудувати індексовану деревно-кільцеву хронологію із застосуванням відповідних статистичних методів стандартизації та згладжування.

4) порівняння радіального приросту для 1975-2000 та 2001-2025 рр. та визначити особливості його реакції на варіації клімату

2.2 Характеристика об'єкта та району дослідження (територія заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника)

Ботанічний заказник «Чорна Гора», який входить до складу Карпатського біосферного заповідника, був включений до переліку територій Смарагдової мережі України у 2016 році. Офіційний перелік із 271 об'єкта Смарагдової мережі України, що охоплює території особливого природоохоронного значення, був затверджений Секретаріатом Бернської конвенції у 2016 році [16]. Букові ліси визнані як найбільш повний та репрезентативний приклад непорушених, складних помірних лісів, що демонструють екологічні закономірності та процеси чистих насаджень бука звичайного в різних екологічних умовах по всій Європі.

Карпатський біосферний заповідник є ядровим елементом цього транснаціонального об'єкта, що підкреслює глобальне значення збереження букових пралісів.

Заказник розташований у Рахівському районі Закарпатської області на північних та північно-східних схилах гори Чорна Гора, яка є найвищою вершиною Чорногірського хребта (1707 м н.р.м.). У 1997 році ботанічний заказник Чорна Гора увійшов до складу Карпатського біосферного заповідника, що забезпечило посилений режим охорони його природних комплексів. Загальна площа заказника становить 2792 га. Розташований у Виноградівському районі Закарпатської області, між містом Виноградів і селом Мала Копаня, заказник має площу 823 га (тлумачний посібник оселищ.) Територія перебуває у складі державного підприємства «Виноградівське лісове господарство» (Виноградівське лісництво, квартали 16–18, 20–25) [16].

Об'єктом дослідження є деревостан на території заказника «Чорна Гора», що входить до складу Карпатського біосферного заповідника (рис.2.1).

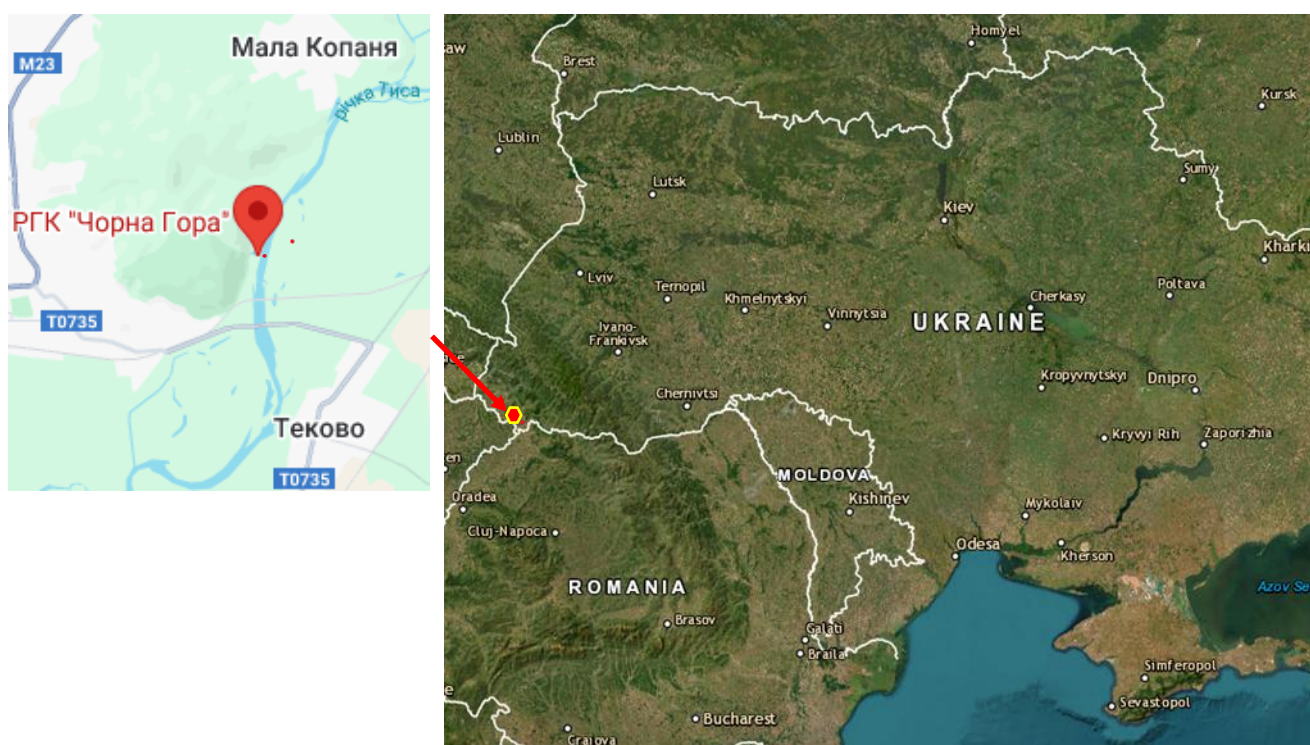


Рис. 2.1 Об'єкт дослідження – деревостан на території заказника «Чорна

Гора», що входить до складу Карпатського біосферного заповідника.



Рис. 2.2 Букове насадження в заказнику «Чорна Гора»



Рис. 2.3 - Букове насадження в заказнику «Чорна Гора»

Ключовим об'єктом заказника є гора Чорна Гора (565 м), яка являє собою ізольований останець вулканічного походження. Її морфологія типова для «острівних гір» — вона не входить до складу жодного хребта. З півдня, заходу та сходу її обрамляє Закарпатська низовина, а з півночі рельєф поступово підвищується у напрямку масиву Тупий через систему пологих височин. Важливим ландшафтотвірним фактором є річка Тиса, що протікає біля східного підніжжя та формує там ділянки з крутими скелястими обривами.

Геолого-грунтова характеристика: Масив складений вулканічними породами (андезити, ліпарити, туфи), які часто утворюють виходи у вигляді скель. Корисними копалинами не є. На цих породах сформувалися малопотужні буроземи.

Рослинний покрив: найбільш інтактні (незворушені) природні комплекси збереглися у верхній частині гори. Лісовий пояс представлений переважно формаціями дуба та бука, де букові насадження концентруються на північних схилах. Особливу наукову цінність мають реліктові ділянки зростання ясена білоцвітого — виду, рідкісного для України, який приурочений до виходів андезитів. Чагарниковий ярус відрізняється багатим видовим складом теплолюбних чагарників, серед яких: бирючина, бруслина європейська, глід одноматочковий, дерен та лісовий виноград.

Унікальність заказника «Чорна Гора» зумовлена взаємодією специфічного мікроклімату та ізольованого рельєфу. Помірно-континентальний клімат із рясною кількістю опадів (понад 1200 мм/рік) і тривалою зимою створює температурно обмежені умови для рослинності.

Бук звичайний як кліматичний індикатор. На верхній межі свого розповсюдження ця теплолюбна порода займає нижні схили, виконуючи роль маркера перехідної смуги між лісовими поясами. Обмежений низькими температурами вегетаційного сезону, його ріст (ширина річних кілець) стає високочутливим архівом літніх температур, що є ключовим для дендрокліматологічних досліджень.

Ксеротермна флора південних схилів. Прогріті кам'яністі схили стали

рефугіумом для рідкісної теплолюбної флори, зокрема степових (ковила найкрасивіша *Stipa pulcherrima*, костриця борозниста *Festuca rupicola*), скельних і середземноморських видів (зіновать австрійська *Chamaecytisus austriacus*, кукурудзка чубата *Tragopogon orientalis*). Загальне флористичне різноманіття досягає 400 таксонів.

Фауністичний комплекс. Аналоги термофільних видів виявлені й серед тварин, особливо безхребетних. Таким чином, заказник являє собою природну лабораторію, де поєднуються елементи різних біомів — від помірних до субтропічних [16].

2.3 Польовий етап: методика відбору кернів деревини бука звичайного та первинна обробка зразків

Відбір зразків. Відбір кернів деревини є ключовим етапом дендрохронологічних та дендроіндикаційних досліджень, оскільки забезпечує отримання достовірного матеріалу для аналізу радіального приросту дерев. Процес здійснюється безпосередньо у польових умовах із застосуванням спеціалізованих інструментів, що дають змогу мінімізувати пошкодження деревостанів та отримати якісний зразок деревини [3].

Перед початком польових робіт визначається територія дослідження. Ділянка має відповідати цільовим завданням роботи, характеризуватися однорідністю умов зростання, типу лісу та санітарного стану насаджень. Репрезентативність зразків безпосередньо залежить від правильності вибору ділянки та її таксаційних характеристик [3].

Таксаційне обстеження дерев. Перед відбором кернів проводиться детальне обстеження кожного дерева, яке включає визначення діаметра стовбура на висоті 1,3 м ($D_{1,3}$), загальної висоти, санітарного стану та візуальних ознак пошкоджень. Ці дані фіксуються у польовому журналі та використовуються під час інтерпретації кільцевої структури деревини.

Техніка відбору зразків. Керни деревини відбирають за допомогою інкрементного бурава Преслера — спеціального інструмента, який дозволяє отримати вузький циліндричний зразок деревини без суттєвого травмування дерева. Відбір кернів проводять на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту згідно зі стандартами Міжнародної дендрохронологічної школи [31].

Основні етапи техніки відбору: бурав встановлюється перпендикулярно до осі стовбура; обертальними рухами інструмент заглиблюється до серцевини; після проникнення на необхідну глибину спеціальним екстрактором виймають керн (рис. 2.4).



Рис. 2.4 - Відбір кернів [4]

Первинна обробка та маркування кернів. Керни одразу після вилучення розмістили у спеціальних жолобкових касетах, що забезпечують їхнє збереження та рівномірне висихання. На кожному зразку позначають номер ділянки, номер дерева, орієнтацію відбору (наприклад, «N» — північ) та дату. Коректне

маркування є необхідною умовою подальшої камеральної обробки та успішного перехресного датування зразків [5].

У цілому дотримання стандартної методики відбору кернів забезпечує високу точність дендрохронологічних вимірювань та дозволяє надійно реконструювати реакції дерев на зміну екологічних факторів протягом тривалих періодів.

2.4 Лабораторний етап: методи вимірювання, стандартизації та статистичного аналізу дендрохронологічних рядів

Створення бази метеорологічних даних. На основі архівних даних Львівської метеорологічної станції сформовано базу щомісячних значень температури повітря, суми опадів та відносної вологості повітря за період, що охоплює часові ряди деревно-кільцевих хронологій.

Підготовка зразків та вимірювання ширини річних кілець. Після відбору кернів було проведено їхню підготовку до аналізу. Спочатку зразки протягом кількох днів проходили етап природного висушування для стабілізації вологості деревини.

Наступним етапом була безпосередня підготовка поверхні кернів для вимірювань. З метою поліпшення видимості анатомічних структур кожен зразок попередньо замочували у воді на 15–20 хвилин. Після цього за допомогою гострого різального інструменту (скальпеля або спеціального леза) з поверхні керна ретельно знімався тонкий шар деревини для оголення чіткої поперечної структури. Через підвищену крихкість висушених зразків усі маніпуляції проводилися з особливою обережністю [5].

Для оптимізації контрастності меж річних кілець у разі недостатньої чіткості використовувався метод механічного контрастування. Поверхня керна оброблялась втиранням тонкодисперсного абразивного матеріалу — зубного порошку або крейди. Ця процедура дозволяла ефективно виділити межі кілець за рахунок заповнення пор деревини, що істотно підвищувало точність подальших вимірів.

Вимірювання ширини річних кілець проводилось на спеціалізованому вимірювальному комплексі, що включав пристрій для точного позиціонування та руху зразка («Henson») у поєднанні з біноклярним мікроскопом для зручного візуального контролю.

Перехресне датування. Перехресне датування (cross-dating) є ключовим етапом дендрохронологічних досліджень, оскільки дозволяє усунути помилки датування та гарантувати календарну точність кожної хронології. Порівняння індивідуальних серій ширини кілець між собою та з кліматичними факторами проводили графічним і статистичним методами з використанням реперних (мінімального та максимального приростів) років – років із синхронною реакцією більшості дерев (>70 %) на однакові екстремальні кліматичні умови. Завдяки перехресному датуванню отримано верифіковані деревно-кільцеві хронології без зсувів та пропусків/дублювання річних кілець [5].

Побудова локальних хронологій та описова статистика. Індивідуальні часові ряди ширини річних кілець усереднювали за біологічним віком дерев і отримали локальну хронологію для заказника «Чорна Гора». Для хронології розраховували основні описові статистичні показники (середнє, медіана, стандартне відхилення, тощо) [5].

Індексація хронологій. Ширина річних кілець $R(t)$ значно варіює через накладання вікового тренду (максимальний приріст у молодому віці із поступовим зниженням у зрілому та старому) на кліматичний та інші екологічні сигнали. Для послаблення короткострокових флуктуацій та часткового усунення індивідуально-вікового тренду застосовували індексацію шляхом ділення фактичної ширини кільця на 3-річне ковзне середнє:

Значення індексу інтерпретують наступним чином:

Формули:

$$MA_t = (R_{t-1} + R_t + R_{t+1}) / 3 \quad (1)$$

$$I_t = R_t / MA_t \quad (2)$$

де:

I_t — індекс ширини річного кільця у році t ;

R_{t-1} , R_t , R_{t+1} – відповідні виміряні ширини кілець попереднього, поточного та наступного років.

Значення індексу I_t інтерпретуються так:

$I_t > 1$ — рік із відносно більшим приростом (сприятливіші умови росту);

$I_t < 1$ — рік із зниженим приростом (стресові або несприятливі умови).

Подальший статистичний аналіз індексованих рядів проводили на стандартизованих індексах відповідно до загальноприйнятих методик.

Коефіцієнти лінійної кореляції Пірсона (між індексами радіального приросту та кліматичними факторами (температурами та опадами) розраховували за допомогою вбудованої функції =КОРРЕЛ() у Microsoft Excel. Рівень статистичної значущості приймали $p < 0,05$ та $p < 0,01$ [1, 20, 21, 22, 28, 37].

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИНАМІКИ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ БУКА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

3.1 Вплив зміни клімату на динаміку радіального приросту бука звичайного

Для аналізу зв'язку між зростанням дерев та кліматичними факторами було побудовано локальну деревно-кільцеву хронологію бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) в насадженні заказника «Чорна Гора». Хронологія розвинута на основі 15 кернів, відібраних з дерев на верхній межі їх вертикального поширення, що забезпечує підвищену чутливість до температурних коливань.

Аналіз хронології дозволив виявити роки з екстремальними значеннями радіального приросту. Періодами мінімального приросту визначені 1980, 1998, 2007, 2012, 2015 та 2022 роки, що, ймовірно, корелює з несприятливими кліматичними умовами (наприклад, літніми посухами або аномально холодними вегетаційними сезонами). Натомість, максимальний приріст спостерігався в 1976, 1983, 1999, 2008 та 2018 роках, що може бути пов'язано із сприятливим поєднанням достатньої вологості та оптимальних температур.

Для оцінки довгострокової динаміки весь досліджуваний період (1974-2025 рр.) було поділено на три характерні інтервали:

1. Період високого приросту (1974-1993 рр.). Для цього етапу характерна найвища середня величина річного кільця – 1.6 мм. Це свідчить про сприятливі стабільні умови для росту бука.

2. Період зниження приросту (1994-2012 рр.). На цьому етапі зафіксовано чіткий негативний тренд із середнім значенням приросту 1.3 мм. Початок цього періоду збігається з посиленням глобальних кліматичних змін.

3. Період стабілізації на низькому рівні (2013-2025 рр.). Середній радіальний приріст стабілізувався на значенні 0.9 мм, що є найнижчим показником за весь час спостережень. Це може свідчити про досягнення деревом нової

рівноваги в умовах стресових факторів (рис. 3.1):

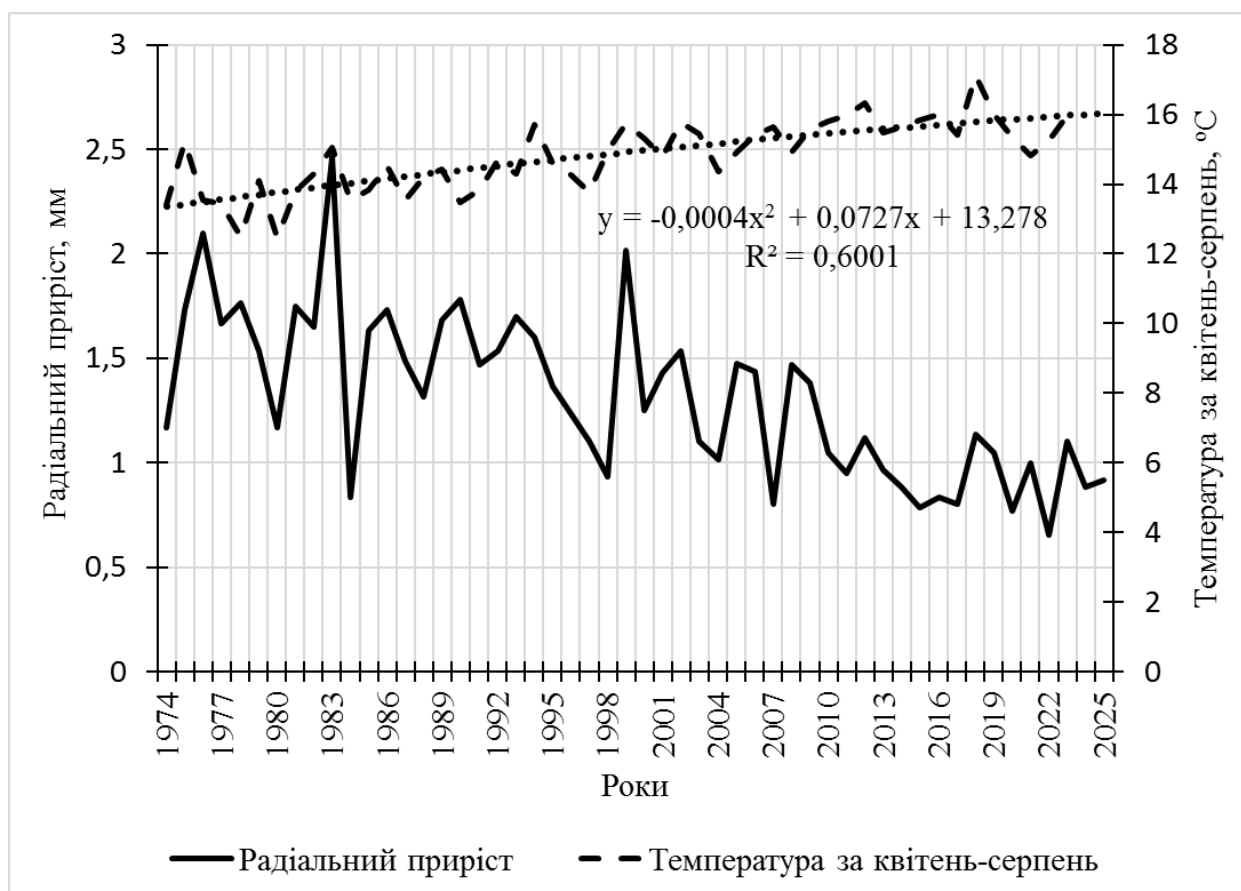


Рис. 3.1 - Динаміка деревно-кільцевої хронології бука звичайного в насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника та середньої температури вегетаційний період (квітень-серпень)

Для кількісної оцінки змін було проведено порівняльний статистичний аналіз двох 25-річних періодів: базового (1975-2000 рр.) та сучасного (2001-2025 рр.). Результати наведені в табл. 3.1 із якої витікає, що:

1. Середній радіальний приріст у сучасному періоді скоротився на 32% (з 1,56 мм до 1,06 мм).
2. Зменшення стандартного відхилення та дисперсії у другому періоді вказує на зниження варіабельності приросту, тобто річні кільця стали більш

однорідними, але меншими.

3. Діапазон між мінімальними та максимальними значеннями значно звужився, що також підтверджує тенденцію до стабілізації приросту на нижчому рівні.

4. Коефіцієнти варіації для обох періодів не перевищують 33% (Атраментова, Утевська, 2008), що свідчить про однорідність вибірок та типовість середніх значень.

Таблиця 3.1.

Статистична характеристика радіального приросту бука звичайного в насадженні заказника «Чорна Гора» Карпатського біосферного заповідника

Статистичні чинники	Роки	
	1975-2000 рр.	2001-2025 рр.
Середнє, мм/похибка	1,56±0,07	1,06±0,05
Стандартне відхилення	0,35	0,26
Дисперсія	0,13	0,06
Мінімальне значення, мм	0,83	0,65
Максимальне значення, мм	2,47	1,53
Коефіцієнт варіації	22,88	24,20

Основним фактором такого суттєвого зниження приросту, окрім природного віку деревостану, є зміна кліматичних параметрів. Аналіз даних Львівської метеостанції підтверджує значне потепління:

1. Середня температура вегетаційного періоду (квітень-серпень) у 2001-2023 рр. зросла на 1.37°C (≈9.7%) порівняно з 1975-2000 рр.

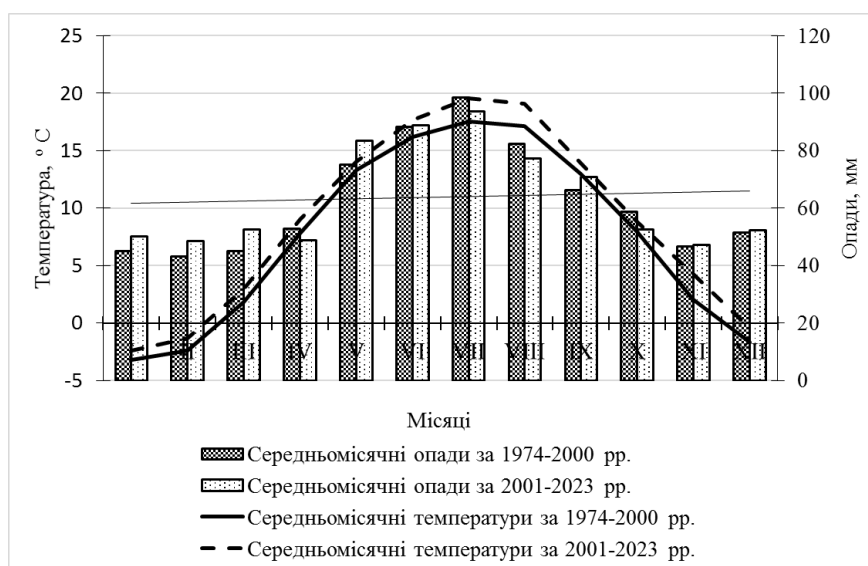
2. Зросли як мінімальні (+13%), так і максимальні (+8%) температури (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Статистична характеристика температури за вегетаційний період (квітень-серпень) за даними Львівської метеостанції

Статистичні чинники	Роки	
	1975-2000 рр.	2001-2023 рр.
Середнє, мм/похибка	14,19±0,17	15,56±0,12
Стандартне відхилення	13,53	14,93
Дисперсія	0,84	0,58
Мінімальне значення, мм	12,45	14,36
Максимальне значення, мм	15,75	17,11
Коефіцієнт варіації	5,95	3,75

Для детальнішого аналізу сезонних змін побудовано кліматограму. Вона наочно демонструє, що потепління відбувається протягом усіх сезонів, але найвираженішим є влітку (червень-серпень), де середня температура зросла на 1.8°C ($\approx 10\%$). Кількість опадів за рік змінилася незначно (+1 мм), проте їх сезонний розподіл став нерівномірним: у зимово-осінній період опадів стало більше, тоді як влітку спостерігається тенденція до їх зменшення. Таке поєднання більш спекотного літа з потенційним дефіцитом опадів створює стресові умови для бука, обмежуючи його радіальний приріст (рис. 3.2).



3.2- Кліматограма за даними Львівської метеостанції

3.2 Оцінка кореляційних зв'язків радіального приросту бука з основними кліматичними чинниками (температура, опади)

Як зазначено у попередньому підрозділі, для виокремлення чистого кліматичного сигналу з деревно-кільцевих даних та усунення низькочастотних вікових трендів була сформована стандартизована індексна хронологія. Її побудова здійснювалася на основі 15 індивідуальних хронологій шляхом застосування методики детрендингу з використанням 3-річної ковзної середньої. Отримана узагальнена хронологія (рис. 3.3) слугувала ключовим інструментом для подальшого дендрокліматичного моделювання та виявлення статистично значущих зв'язків із параметрами температури та опадів.

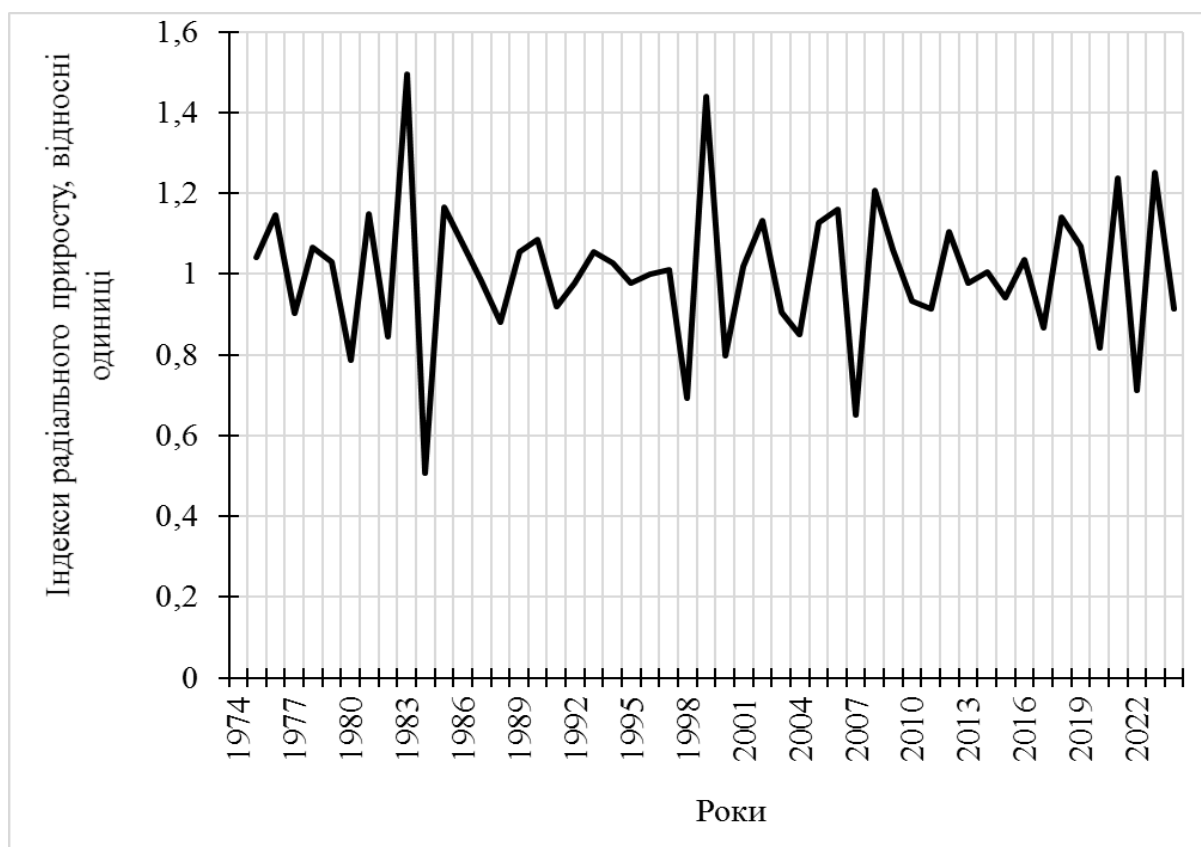


Рис. 3.3 -Локальна деревно-кільцева хронологія бука звичайного

Для кількісної оцінки впливу клімату на ріст дерева проведено кореляційний аналіз між індексною хронологією та щомісячними кліматичними даними (середньомісячна температура та сума опадів) за період із попереднього червня по поточний вересень. Аналіз виконано окремо для двох хронологічних періодів: базового (1975–2000 рр.) та сучасного (2001–2025 рр.), що дозволило оцінити динаміку кліматичної чутливості бука.

Результати аналізу виявили суттєву динаміку температурної чутливості бука звичайного. У базовому періоді (1975–2000 рр.) спостерігався класичний для виду позитивний вплив підвищених літніх температур (липень–серпень) поточного року на ріст, що пов'язано з посиленням фотосинтетичної активності в оптимальних умовах. Однак у сучасному періоді (2001–2025 рр.) цей зв'язок істотно трансформувався:

1. Зменшення позитивного впливу літніх температур: Для липня та серпня кореляція із температурою ослабла або втратила статистичну значимість, що може свідчити про досягнення або перевищення оптимального температурного порогу для фотосинтезу та посилення стресу від посухи.

2. Поява негативного впливу зимових температур: Виявлено статистично значущий негативний зв'язок приросту з температурами грудня (попереднього року) та січня (поточного року). Це може бути пояснено посиленням дихальних витрат дерева під час теплих зим, що призводить до витрачання запасів асимілятів, а також ризиком пошкодження бруньок при різких відлигах з подальшими заморозками.

3. Зміна ролі температур попереднього року: Кореляція із температурами кінця вегетації попереднього року (серпень–вересень) зменшилася, що свідчить про ослаблення впливу умов накопичення резервних речовин на ріст у наступному сезоні (рис. 3.4)

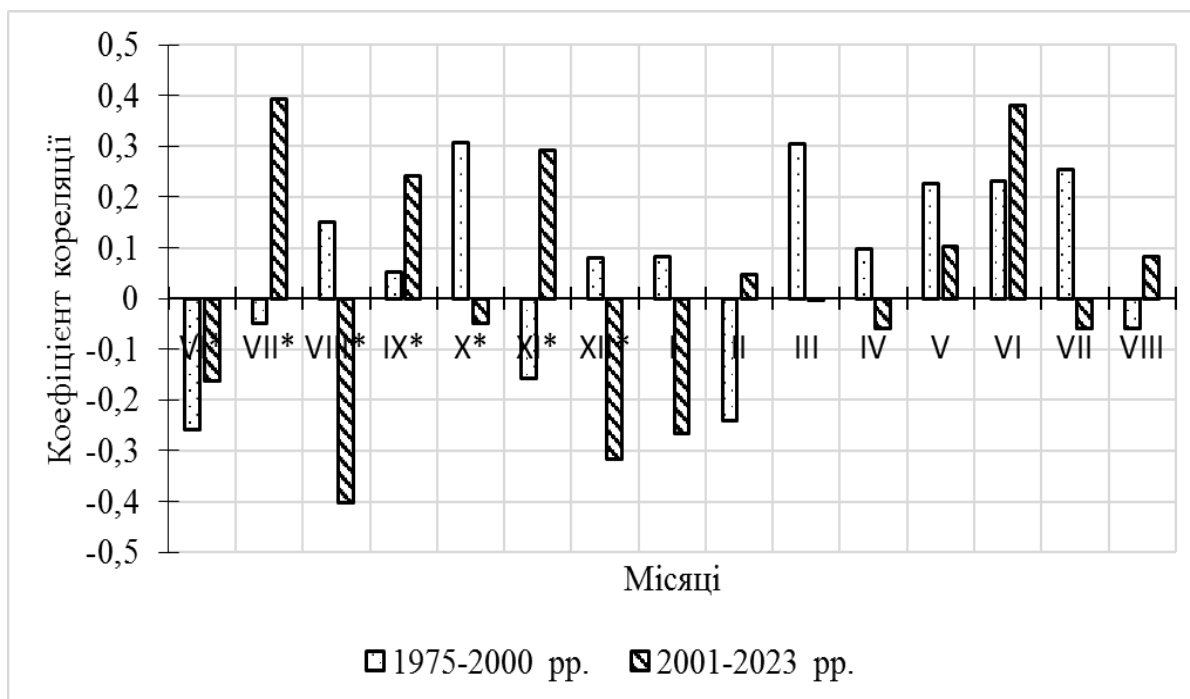


Рис. 3.4 - Коефіцієнти кореляції між індексною хронологією бука звичайного та середньомісячною температурою за періоди 1975–2000 pp. (сірий) та 2001–2025 pp. (чорний). * – кореляція з температурою попереднього року.

Кореляційний аналіз з сумами атмосферних опадів також виявив структурні зміни за досліджувані періоди (рис. 3.5). У сучасному періоді спостерігається:

1. Посилення позитивної залежності навесні: Значущість та сила позитивного зв'язку приросту з опадами у березні–травні поточного року суттєво зросли. Це прямо вказує на те, що вологозабезпеченість на початку вегетації стала критичним лімітуючим фактором для бука в умовах потепління, оскільки відновлення тургору та ініціація росту клітин залежать від достатньої вологості ґрунту.
2. Зміна характеру впливу зимових опадів: Виявлено посилення негативного впливу опадів у січні–лютому. Це може бути пов'язано з тим, що рясні опади взимку частіше випадають у вигляді дощу, що сприяє витрачання запасів під час відлиг, а також утворенню настового льоду, який пошкоджує кору та бруньки.
3. Стабілізація впливу літніх опадів: Надійний позитивний зв'язок із

опадями червня–липня зберігся, але не посилювався, що може свідчити про недостатність лише літніх опадів для компенсації стресу від підвищених температур.

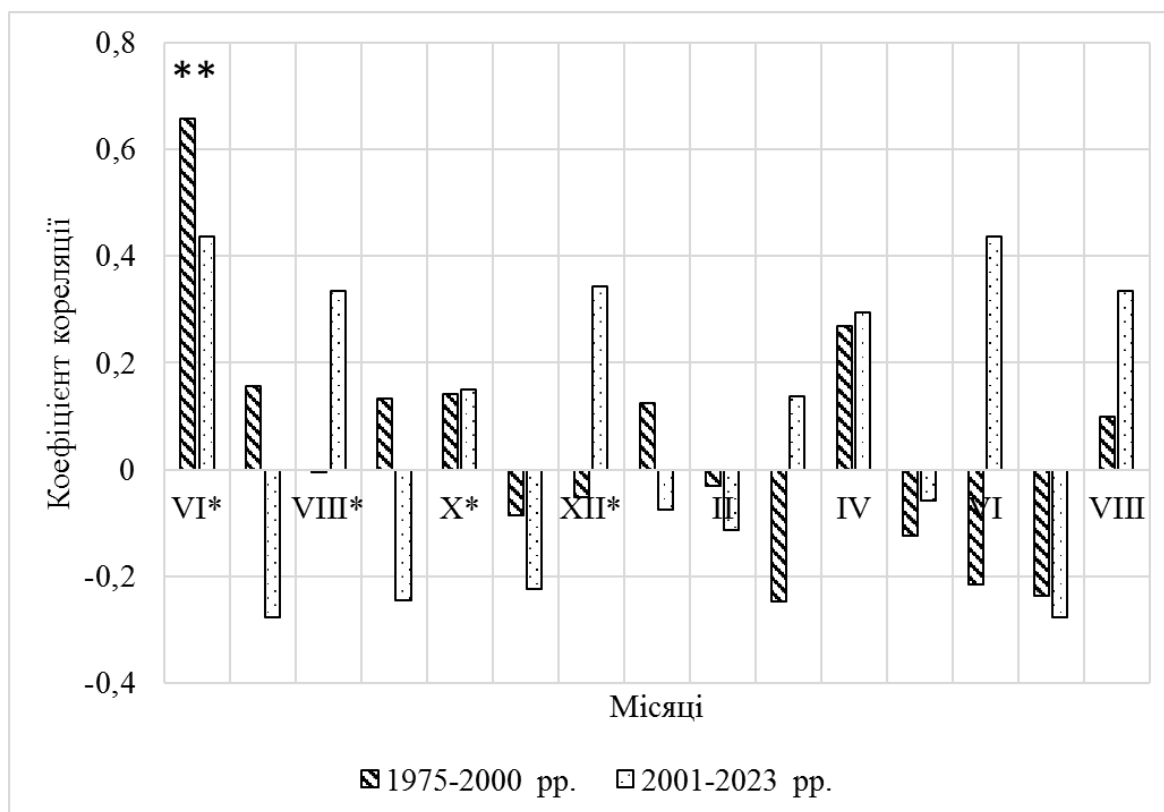


Рис. 3.5 - Коефіцієнти кореляції між індексною хронологією бука звичайного та сумою щомісячних опадів за періоди 1975–2000 pp. та 2001–2025 pp. (*- температури попереднього року, ** - значущість на рівні 0,01)

Отже, кліматична чутливість бука звичайного в умовах заказника «Чорна Гора» зазнала суттєвих структурних змін на тлі глобального потепління.

Температурний сигнал ослаб навесні та влітку, але з'явився сильний негативний зимовий сигнал, що вказує на стресовий вплив теплих зим.

Сигнал вологості різко посилювався навесні, що робить вологозабезпечення ключовим фактором продуктивності деревостану. Паралельно посилювався негативний вплив зимових опадів.

Загалом, спостерігається переорієнтація чутливості з літніх температур на весняну вологозабезпеченість та зимові температурні умови. Це свідчить про

адаптацію росту дерева до нових кліматичних реалій, що характеризуються більш теплою зимою, більш спекотним літом та змінним режимом опадів. Отримані результати мають важливе значення для прогнозування стану букових насаджень Карпатського регіону в умовах подальших кліматичних змін.

Отримані результати свідчать, що відбулося ослаблення позитивної кореляції з літніми температурами та появи негативного зв'язку з зимовими температурами. Виявлений негативний вплив теплих зим на ріст бука є відносно новим явищем у дендрокліматології Карпат. Традиційно вважалося, що для бука, як для листопадної породи, зимові умови не є критичними.

3.3 Обговорення отриманих результатів у контексті сучасних дендрокліматичних досліджень Карпат

Дендрокліматичні дослідження, проведені в Румунії, встановили, що ключовими чинниками, які лімітують радіальний приріст бука звичайного (*Fagus sylvatica*), є високі літні температури, недостатня кількість опадів у квітні-травні [19].

Міжнародна дослідницька група зі Словенії, Чехії та Румунії виявила специфічну реакцію бука в Карпатах: спостерігається кращий радіальний приріст при збільшенні кількості опадів у липні; фіксується уповільнення росту у відповідь на вищі середні та максимальні температури в червні поточного року; бук демонструє чітку негативну кореляцію між радіальним приростом і температурним режимом у літній період [19].

Незважаючи на значну популяційну різноманітність бука, майбутнє виживання цього та інших видів дерев помірного клімату залишається невизначеним, оскільки швидкість, однорідність та інтенсивність кліматичних змін суттєво варіюють залежно від локації. Водночас, популяції бука, що розташовані на межі ареалу, часто володіють високим адаптивним потенціалом, а їхня стійкість є важливим фактором для підтримки загальної стабільності лісових екосистем. Додатково підтверджено, що опади вище середнього рівня в червні та липні

позитивно впливають на формування річних кілець [19].

Слід зазначити, що у Північній Сербії, незважаючи на значні позитивні температурні тренди, не було виявлено кореляційних тенденцій для індексів ширини річних кілець дуба звичайного (*Quercus R.*). Реакція річної деревини дуба була пов'язана виключно з тенденцією опадів, яка залишалася незмінною, а не з тенденцією температури. Це дозволило дослідникам припустити, що в досліджуваних районах підвищення температури внаслідок зміни клімату не чинило суттєвого впливу на лісову рослинність [29].

На основі розширеної мережі європейських дендрохронологічних серій бука було успішно побудовано еколого-географічну модель мінливості ширини кільця, зокрема для Італії [29]. Дендроекологічні дослідження загалом підкреслюють важливість мереж деревних кілець для картування біокліматичних зон та визначення типів лісових насаджень [12].

Для *F. sylvatica* можна зазначити, що підвищення температури вимагає значної компенсації у вигляді збільшення літніх опадів для підтримання його життєздатності. Mette et al. (2013), які припускають, що у цьому регіоні ріст *F. sylvatica* на даний момент не є критично обмеженим виключно через посуху.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Результати роботи свідчать про початок негативного впливу зміни клімату на продуктивність букових насаджень у гірських умовах українських Карпат.
2. Рекомендується включити деревно-кільцеві хронології бука до системи довготермінового моніторингу стану старовікових насаджень Карпатського біосферного заповідника та інших об'єктів ПЗФ Карпатського регіону.
3. Для пом'якшення негативного впливу кліматичних змін доцільно:зберігати максимальну сомкнутість пологів в букових пралісах;уникати надмірного розрідження насаджень під час санітарних рубок;передбачати можливість поступового природного відновлення домішок вологолюбних порід.
4. Отримані дані можуть бути використані органами лісового господарства та природоохоронними установами під час розробки адаптаційних заходів у лісовому господарстві Карпат в умовах зміни клімату.

ВИСНОВКИ

1. Дендрохронологічний аналіз виявив чітку реакцію бука звичайного на зміни клімату в заказнику «Чорна Гора».
2. Упродовж 1974–2025 рр. спостерігається стійке зниження радіального приросту: від 1,6 мм до 0,9 мм.
3. Порівняння двох 25-річних періодів засвідчило зменшення приросту на 32% та зниження його варіабельності. Зменшилася варіабельність приросту, вказує на зниження стійкості дерев до зміни клімату.
4. У другому періоді відбулося суттєве підвищення температур, особливо влітку ($+1,8^{\circ}\text{C}$), та нерівномірний розподіл опадів.
5. Вплив літніх температур на приріст послабився, а зимові температури почали чинити обмежувальний ефект на приріст бука.
6. Весняні опади у другому періоді стали більш важливими для приросту, а зимові — часто негативно впливали на приріст.
7. Відбулося зниження стійкості дерев до зміни клімату, але водночас упродовж 2013–2025 рр. Стабілізувався, що свідчить про адаптацію букового насадження до зміни клімату

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атраментова Л. О., Утєвєвська О. М. *Статистичні методи в біології*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2007. 284 с.
2. Дейнека А. М., Мілкіна Л. І., Приндак В. П. Ліси національного природного парку «Сколівські Бескиди». Львів: Сполом, 2006. 208 с.
3. Коваль І. М. Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України. Харків: Мачулін, 2023. 312 с.
4. Коваль І. М., Максименко Н. В., Шпаківська І. М. Дендрохронологічні дослідження в букових насадженнях НПП «Сколівські Бескиди». *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2024. Вип. 27. С. 33–43. <https://doi.org/10.15421/412411>
5. Коваль І. М., Сербак Р. М., Онисько Д. Ю. Дослідження Карпатських букових деревостанів дендрохронологічними методами. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XXI Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. С. 234–236.
6. Комендар В. І. До питання про динаміку рослинних поясів у Східних Карпатах. *Український ботанічний журнал*. 1957. Т. 14, № 4. С. 15–25.
7. Король М., Токар О., Густі М., Портах С., Нагоряк В., Приндак В., Земан В., Крамарец В. Структура природних насаджень заповідних територій Українських Карпат та оцінка стовбурового запасу вуглецю. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2022. Вип. 24. С. 143–152. <https://doi.org/10.15421/412213>
8. Малиновський К. А. Рослинність високогір'я Українських Карпат. Київ: Наукова думка, 1980. 280 с.
9. Національний природний парк «Сколівські Бескиди»: офіційний сайт. 2024. URL: <http://skole.org.ua/> (дата звернення: 03.12.2025).
10. Олійник В. С. Водоохоронно-захисна роль гірських лісів Українських Карпат, її антропогенні зміни та шляхи оптимізації: дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.03. Львів, 2008. 512 с.

11. Приходько Н. Ф., Парпан Т. В., Голубчак О. І., Приходько М. М., Гудима В. М. Радіальні прирости деревостанів рекреаційно-оздоровчих лісів Придністровського Передкарпаття (Івано-Франківська область). *Науковий вісник НЛТУ України*. 2022. Т. 32, № 5. С. 42–49. <https://doi.org/10.36930/40320506>
12. Свириденко В. Є., Бабіч О. Г., Киричок Л. С. Лісівництво. Київ: Арістей, 2004. 448 с.
13. Стойко С. М. Вплив глобальної зміни клімату на лісові формації Карпат. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2011. Вип. 9. С. 21–29. URL: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/360> (дата звернення: 03.12.2025).
14. Стойко С. М. Потенційні екологічні наслідки глобального потепління клімату в лісових формаціях українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2009. Вип. 19.5. С. 214–224. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potentsiyni-ekologichni-naslidki-globalnogo-poteplinnya-klimatu-v-lisovih-formatsiyah-ukrayinskih-karpat> (дата звернення: 03.12.2025).
15. Тлумачний посібник оселищ Резолюції № 4 Бернської конвенції, що знаходяться під загрозою і потребують спеціальних заходів охорони: третій проект версії 2015 року: адаптований неофіційний переклад з англійської / уклад.: А. Куземко, С. Садогурська, К. Борисенко, О. Василюк. Київ, 2017. 124 с.
16. Троцюк В. І., Миклуш С. І., Коммармот Б. М., Хобі М. Л. Особливості росту за діаметром дерев букового пралісу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Вип. 23.1. С. 62–68. URL: https://forestry-ideas.info/issues/issues_Download.php?download=375 (дата звернення: 03.12.2025).
17. Шишканець І. Ф., Мазепа В. Г. Вплив клімату на радіальний приріст бука в середньовікових деревостанах у верхів'ї басейну річки Латориця. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. Вип. 133. С. 112–118. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.112>
18. Шпарик Ю. С., Криницький Г. Т., Дебринюк Ю. М. Тенденції динаміки типів лісорослинних умов і породного складу деревостанів Українських Карпат у

зв'язку зі змінами клімату. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2020. Вип. 20. С. 82–92. <https://doi.org/10.15421/412008>

19. Adamič P. C., Levanič T., Hanzu M., Čater M. Growth Response of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver Fir (*Abies alba* Mill.) to Climate Factors along the Carpathian Massive. *Forests*. 2023. Vol. 14, iss. 7. P. 1318. <https://doi.org/10.3390/f14071318>

20. Alley W. J. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1984. Vol. 23, № 7. P. 1100–1109. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1100:TPDSIL>2.0.CO;2)

21. Arora V. K. The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff. *Journal of Hydrology*. 2002. Vol. 265. P. 164–177. URL: https://imedeia.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101604/Modulo_2_03/Puigdefabregas/Arora.pdf (дата звернення: 03.12.2025).

22. Baltas E. Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Applications*. 2007. Vol. 14. P. 69–78. <https://doi.org/10.1002/met.7>

23. Cook E. R., Kairiukstis L. A. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 394 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0>

24. Croitoru A.-E., Piticar A., Imbroane A. M., Burada D. C. Spatiotemporal distribution of aridity indices based on temperature and precipitation in the extra-Carpathian regions of Romania. *Theoretical and Applied Climatology*. 2013. Vol. 112. P. 597–607. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0755-2>

25. Diaz H. F., Bradley R., Eischeid J. K. Precipitation fluctuation over global land areas since the late 1800s. *Journal of Geophysical Research*. 1989. Vol. 94. P. 1195–1210. URL: <http://www.geo.umass.edu/faculty/bradley/diaz1989.pdf> (дата звернення: 03.12.2025).

26. Dittmar C., Zech W., Elling W. Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe – a

dendroecological study. *Forest Ecology and Management*. 2003. Vol. 173, iss. 1-3. P. 1–3. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00816-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00816-7)

27. Fotelli N. M., Geßler A., Peuke A. D., Rennenberg H. Drought affects the competitive interaction between *Fagus sylvatica* seedlings and an early successional species, *Rubus fruticosus*: responses of growth, water status and $\delta^{13}\text{C}$ composition. *New Phytologist*. 2001. Vol. 151. P. 427–435.

28. Führer E., Horvath L., Jagodics A., Machon A., Szabados I. Application of new aridity index in Hungarian forestry practice. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 2011. Vol. 115, № 3. P. 205–216. URL: <https://www.met.hu/downloads.php?fn=/metadmin/newspaper/2012/04/115-3-5-fuhrer.pdf> (дата звернення: 03.12.2025).

29. Gavrilov M. B., An W., Xu C., Radaković M. G., Hao Q., Yang F., Guo Z., Perić Z., Gavrilov G., Marković S. B. Independent Aridity and Drought Pieces of Evidence Based on Meteorological Data and Tree Ring Data in Southeast Banat, Vojvodina, Serbia. *Atmosphere*. 2019. Vol. 10, iss. 10. P. 586. <https://doi.org/10.3390/atmos10100586>

30. Jetschke G., van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M. Towards the extremes: A critical analysis of pointer year detection methods. *Dendrochronologia*. 2019. Vol. 53. P. 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.11.004>

31. Lavnyy V., Mazepa V. G., Shyshkanynets I. F. Radial Increment of Beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Ukrainian Carpathians. *Forestry Ideas*. 2020. Vol. 26, № 2. P. 394–403. URL: https://forestry-ideas.info/issues/issues_Download.php?download=375 (дата звернення: 03.12.2025).

32. Mette T., Dolos K., Meinardus C., Bräuning A., Reineking B., Blaschke M., Pretzsch H., Beierkuhnlein C., Gohlke A., Wellstein C. Climatic turning point for beech and oak under climate change in Central Europe. *Ecosphere*. 2013. Vol. 4, art. 145. <https://doi.org/10.1890/ES13-00115.1>

33. Piovesan G., Biondi F., Bernabei M., Di Filippo A., Schirone B. Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus*

sylvatica L.) tree-ring network. *Acta Oecologica*. 2005. Vol. 27, iss. 3. P. 197–210.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.01.001>

34. Roibu C., Popa I., Kirchhefer A. J., Palaghianu C. Growth responses to climate in a tree-ring network of European beech (*Fagus sylvatica* L.) from the eastern limit of its natural distribution area. *Dendrochronologia*. 2017. Vol. 42. P. 104–116.
<https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.02.003>

35. Team H., Lee J., Romero J. Summary for Policymakers. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2023. P. 1–34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

36. Walentowski H., Falk W., Mette T., Kunz J., Bräuning A., Meinardus C. et al. Assessing Future Suitability of Tree Species under Climate Change by Multiple Methods: A Case Study in Southern Germany. *Annals of Forest Research*. 2017. Vol. 60. P. 101–126. <https://doi.org/10.15287/afr.2016.789>

37. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. Geneva: World Meteorological Organization, 2017. 48 p. URL: https://library.wmo.int/viewer/55797/download?file=1203_en.pdf&type=pdf&navigator=1 (дата звернення: 03.12.2025).