



Л. С. Осадчук, В. В. Тисяк

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ ЯЛИЦІ БІЛОЇ (*ABIES ALBA* MILL.) ЗА УМОВ ҐОРґАН

Встановлено, що ялиця біла, як один із найпродуктивніших та екологічно цінних деревних видів в Україні, зростаючи на межі її природного ареалу на північно-східному макросхилі Українських Карпат, періодично зазнає негативного впливу абіотичних чинників. Досліджено особливості формування радіального приросту ялиці білої за умов гірського масиву Ґорґан для оцінювання впливу кліматичних чинників дендрохронологічними і статистичними методами для прогнозування життєздатності ялицевих деревостанів. Визначено ширини радіального приросту дерев, на основі яких побудовано тривалі деревно-кільцеві хронології, що охоплюють значний часовий період циклічності приросту. Досліджено взаємозв'язки між кліматом і ростом ялиці білої (*Abies alba* Mill.) та її часові зміни впродовж життєвого циклу, встановлено статистично значущий від'ємний тренд радіального приросту, який свідчить про системне погіршення екологічних умов для росту дерев на досліджуваній ділянці впродовж останньої чверті століття. З'ясовано, що показник вираженого популяційного сигналу для лісових насаджень підтверджує зниження приросту за останні роки, яке є репрезентативним на 90 % для всієї популяції дерев у цьому регіоні. Визначено екстремальні роки росту, які мають високу синхронність відгуку деревостанів на метеорологічні аномалії набагато частіше зниженням приросту, яке пов'язане із періодами літніх посух та дефіциту вологи у вегетаційний період. Встановлено "оптимальний" період росту 2007-2009 рр., коли дерева демонстрували максимальний приріст, після якого спостерігали згасання амплітуди позитивних відгуків, навіть у сприятливі за опадами роки дерева вже не досягали попередніх показників продуктивності. Виявлено тенденції до зниження індексу приросту, що свідчить про негативний вплив сучасних змін клімату на приріст ялиці, які вказують на втрату адаптаційного потенціалу стиглих і перестійних деревостанів ялиці у гірських лісах Ґорґан.

Ключові слова: кліматичний відгук дерев; перехресне датування річних кілець; кліматичні зміни; популяційний сигнал; динаміка приросту дерев; індекс ширини кільця; деревно-кільцеві хронології; північно-східний макросхил Українських Карпат.

Вступ / Introduction

Комплексне дослідження впливу кліматичних чинників на рослинність створює підґрунтя для глибшого розуміння та прогнозування закономірностей росту й розвитку рослин у різноманітних екосистемах. Особливе значення у цьому контексті мають річні кільця дерев, які виступають надійним індикатором кліматичних змін і стану природного середовища загалом, адже формування деревини зумовлюється інтегрованою дією кліматичних і екологічних чинників. З огляду на це, вагомого наукового потенціалу набувають дендроекологічні дослідження, спрямовані на встановлення взаємозв'язків між характеристиками річних кілець, передусім їх шириною, та умовами навколишнього середовища. Особливо актуальними такі дослідження є у період кліматичних змін, коли клімат стає теплішим і сухішим, а частота та інтенсивність екстремальних кліматичних явищ і пов'язаних з ними режимів порушень змінюються, та побиття багатьох кліматичних рекордів [9, 21].

В Україні ялиця біла займає значні площі (близько 8 %) лісів Українських Карпат і росте як у чистих, так і

мішаних деревостанах разом із буком та ялиною [26] та вважається одним з найпродуктивніших місцевих видів, оскільки є відносно посухостійким видом [7, 12]. Тому вчені рекомендують збільшувати частку ялиці в гірських регіонах як альтернативу ялині, яка за останні десятиліття масово всихає [3]. Збільшення частки ялиці також може сприяти підвищенню стабільності та продуктивності гірських лісів Центральної Європи в контексті подальшої зміни клімату [30]. Водночас, дослідження найстаріших дерев ялиці за умов Ґорґан дадуть змогу не тільки реконструювати динаміку приросту на великих часових інтервалах, а й оцінити адаптивну здатність виду до екстремальних кліматичних режимів.

Об'єкт дослідження – формування радіального приросту та встановлення її динаміки у 80-140-річних деревостанах ялиці білої (*Abies alba* Mill.) під впливом кліматичних та абіотичних чинників.

Предмет дослідження – методи і засоби оцінювання кліматичного відгуку на лімітуючі чинники радіального приросту ялиці білої, які дадуть можливість побудувати стандартизовані хронології індексів ши-

© Copyright 2026 by the author(s)

Осадчук Леонід Семенович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра ботаніки, деревнознавства та недревних ресурсів лісу.

Email: l.osadchuk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-8719-8125>

Тисяк Василь Васильович, аспірант, кафедра ботаніки, деревнознавства та недревних ресурсів лісу.

Email: asp.tusjak@nltu.lviv.ua; <https://orcid.org/0009-0008-4962-8743>

Цитування за ДСТУ: Осадчук Л. С., Тисяк В. В. Дендрохронологічне оцінювання радіального приросту ялиці білої (*Abies alba* Mill.) за умов Ґорґан. Науковий вісник НЛТУ України. 2026, т. 36, № 2. С. 36–43.

Citation APA: Osadchuk, L. S., & Tyśiak, V. V. (2026). Dendrochronological assessment of radial growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Gorgan conditions. *Scientific Bulletin of UNFU*, 36(2), 36–43. <https://doi.org/10.36930/40360204>

рини річних кілець.

Мета роботи – побудувати тривалі деревно-кільцеві хронології, які охоплюють значний часовий період циклічності приросту, що дасть змогу встановити вплив кліматичних чинників на формування радіального приросту ялиці білої за умов гірського масиву Горган, а також спрогнозувати життєздатність ялицевих деревостанів.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- відібрати зразки (керни) деревини ялиці білої за типових лісорослинних умов та підготувати їх для проведення вимірювання ширини річних кілець, що дасть змогу встановити динаміку та кліматичний відгук радіального приросту за тривалий період;
- виконати перехресне датування та детрендування хронологічних серій радіальних приростів, що дасть можливість побудувати стандартизовані хронології індексів ширини річних кілець RWI (англ. *Ring Width Index*);
- встановити чутливість ялиці білої до несприятливих кліматичних чинників (опадів у вегетаційний період та температура повітря) та їх вплив на ріст дерев, що дасть можливість прогнозувати динаміку стану лісів;
- визначити "реперні роки" (pointer years) – періоди різкого пригнічення або стимулювання росту та встановити їхні причини, що дасть можливість проаналізувати адаптивну здатність ялиці білої до сучасних змін клімату.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження ялиці як у межах її природного ареалу [8], так і за його межами [30] демонструє її високу адаптивну здатність до потепління клімату, навіть за мезосередземноморських умов.

Упродовж тривалого часу формації за участю ялиці білої розглядають як екологічно та господарсько доцільну альтернативу похідному смерековому деревостану завдяки їхній високій стійкості, продуктивності та здатності формувати складні багаторусні фітоценози. Водночас, сучасні дослідження [15, 23] засвідчують зростання частоти проявів деградаційних процесів у ялицевих насадженнях, що виявляється у формуванні осередків всихання як у передгірських умовах Прикарпаття, так і у високогірних районах Українських Карпат, із меншою інтенсивністю – на території Закарпаття.

Дослідження температурного режиму та гідротермічних умов [17] сприяють масовому розмноженню фітофагів і поширенню збудників інфекційних хвороб, що значно підвищує вразливість деревостанів й ускладнює реалізацію ефективних стратегій їх збереження та відновлення. У цьому контексті дедалі очевиднішим стає також вплив клімату та забруднення повітря на радіальний ріст, що послаблює природні механізми саморегуляції та відтворення лісових екосистем.

У науковій публікації [2] автори, висвітлюючи трансформацію методів управління ялицевими насадженнями, вказують на необхідність переходу до наближеного до природи лісівництва. Дослідники аргументують, що попри вразливість виду до певних патогенів, ялиця залишається перспективною породою для формування стійких мішаних деревостанів за умов кліматичної нестабільності.

Особливої ваги пов'язані із зміною клімату процеси набувають за гірських умов, де визначальним чинником виступає висотна поясність, яка детермінує структурно-функціональні характеристики всіх компонентів лісових угруповань. Автори досліджень [18] акцентують свою увагу на відновленні ялицевих насаджень у цих

районах, яке має вирішальне значення для українського лісівництва. Тому зараз використовується як природне, так і штучне відновлення лісів з використанням насіння, отриманого з насіннєвих плантацій. Покращення стану лісових насаджень, що переважно складається з однорусних ялинових насаджень, потребує зміни видового складу. Однак відновлення ялицевих лісостанів є трудомістким процесом, що потребує багато часу та праці, і вимагає довготермінової стратегії.

Отже, аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що дендрохронологічні дослідження приросту ялиці білої (*Abies alba* Mill.) є критично важливими для оцінювання стану гірських лісів та їхньої адаптації до глобальних змін клімату. У сучасних наукових працях висвітлено ключові аспекти вивчення радіального приросту цього виду, які охоплюють екологічні, лісівничі та таксаційні особливості росту і розвитку, та свідчать про суперечливі докази щодо стійкості до майбутніх змін клімату.

Матеріали та методи дослідження. Для визначення динаміки радіального приросту на кожній пробній площі було відібрано модельні дерева першого та другого класів Крафта, діаметр яких становив від 30 до 70 см, а висота – від 26 до 32 метрів. Відбір кернів здійснювали на висоті дерева 1,3 м з одного боку за допомогою вікового бурава Haglof. При цьому уникали відбору у дерев із реакційною або компресійною деревиною або деревиною, що містить візуальні вади форми стовбура та будови деревини. Відібрані зразки для запобігання деформації, розлому та розсипанню деревини під час висихання наклеювали на дерев'яні жолобчасті основи (підкладки) за допомогою водорозчинного клею, при цьому особливу увагу приділяли правильній орієнтації трахеїд.

Вимірювання ширини річних кілець проводили у лабораторії дендрохронології кафедри лісівництва за допомогою напіваавтоматичної станції LinTab 6, оснащеної мікроскопом Leica, що забезпечує точність вимірювань до 0,01 мм та дає змогу автоматизувати процес створення дендрохронологічних шкал, мінімізуючи людський чинник та підвищуючи швидкість оброблення зразків деревини.

Перехресне датування здійснювали за допомогою програмного забезпечення TsapWin та Cofecha [11, 20]. Для оброблення первинних вимірів ширини річних кілець ялиці білої та графічного відображення ширини річних кілець використано програму RStudio, пакет DplR у середовищі R. Це дало можливість побудувати хронології, інтерактивно видалити віковий тренд та провести статистичний аналіз отриманої деревно-кільцевої хронології [4, 14, 19].

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Дослідженнями було охоплено ялицеві деревостани у свіжій буковій суяличині гірського масиву Горган (Вигодське надлісництво, Шевченківське лісництво), розташованого на висотах 770-850 м н.р.м (рис. 1). Ділянки розташовані в межах Центральних Горган (басейн річки Свіча) у нижньому гірському лісовому поясі. Клімат помірно континентальний, вологий із середньорічною температурою повітря приблизно +5,0-6,0 °C та річною сумою опадів в межах 800-1100 мм, забезпечуючи високу відносну вологість повітря, необхідну для життєдіяльності ялиці білої [22].

Ділянка на ПП1 (48°49'58.26"Пн, 23°49'53.46"С) розташована на південній експозиції з крутизною схилу 18-22 °, склад деревостану 8Яцб1Ялє1Бкл+Бп, вік 134 років, середні: діаметр – 36,9 см, висота – 31,9 м. Ділянка на ПП2 – (48°49'59.30"Пн, 23°48'46.30"С) розташована на північно-східній експозиції з крутизною схилу 22-25 °. У цьому деревостані 6Бкл1Яцб2Ялє1Яв частка ялиці становила 10 %. Вік найстарших дерев становив 156 років, середні: діаметр – 46,9 см, висота – 30,0 м.

Для дослідження динаміки радіального приросту ялиці білої побудовано графіки індивідуальних деревно-кільцевих серій із двох локальних хронологій у

програмному середовищі TsapWin (рис. 2). Як видно з даних цього рисунку, графіки демонструють значний "розмах" річного приросту в окремих дерев, особливо на ділянці ПП2 після 1940-х років. Це підтверджує значну індивідуальну реакцію кожного дерева на мікроекологічні умови та конкуренцію. Попри розбіжність окремих серій, середнє значення (виділено зеленим кольором) чітко відображає загальну тенденцію. На обох ділянках спостерігаються спільні періоди депресії приросту та його підйому, що свідчить про вплив спільних макрокліматичних чинників.

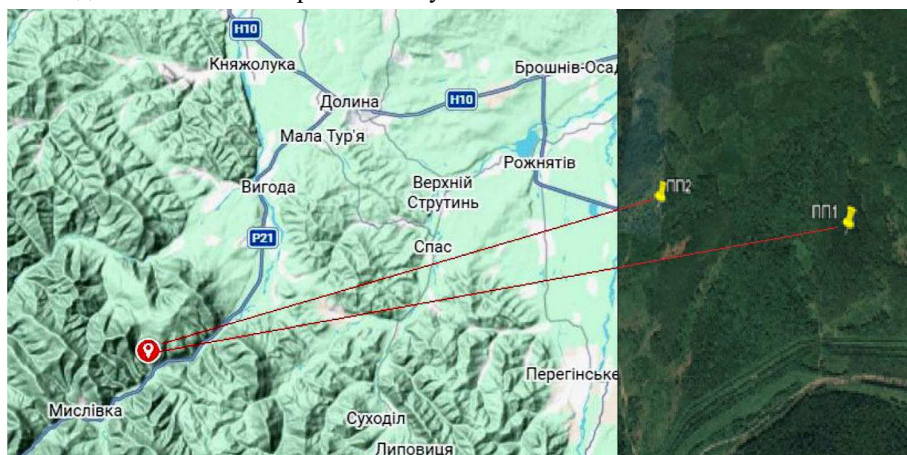


Рис. 1. Місце розташування пробних площ / Location of the sample plots

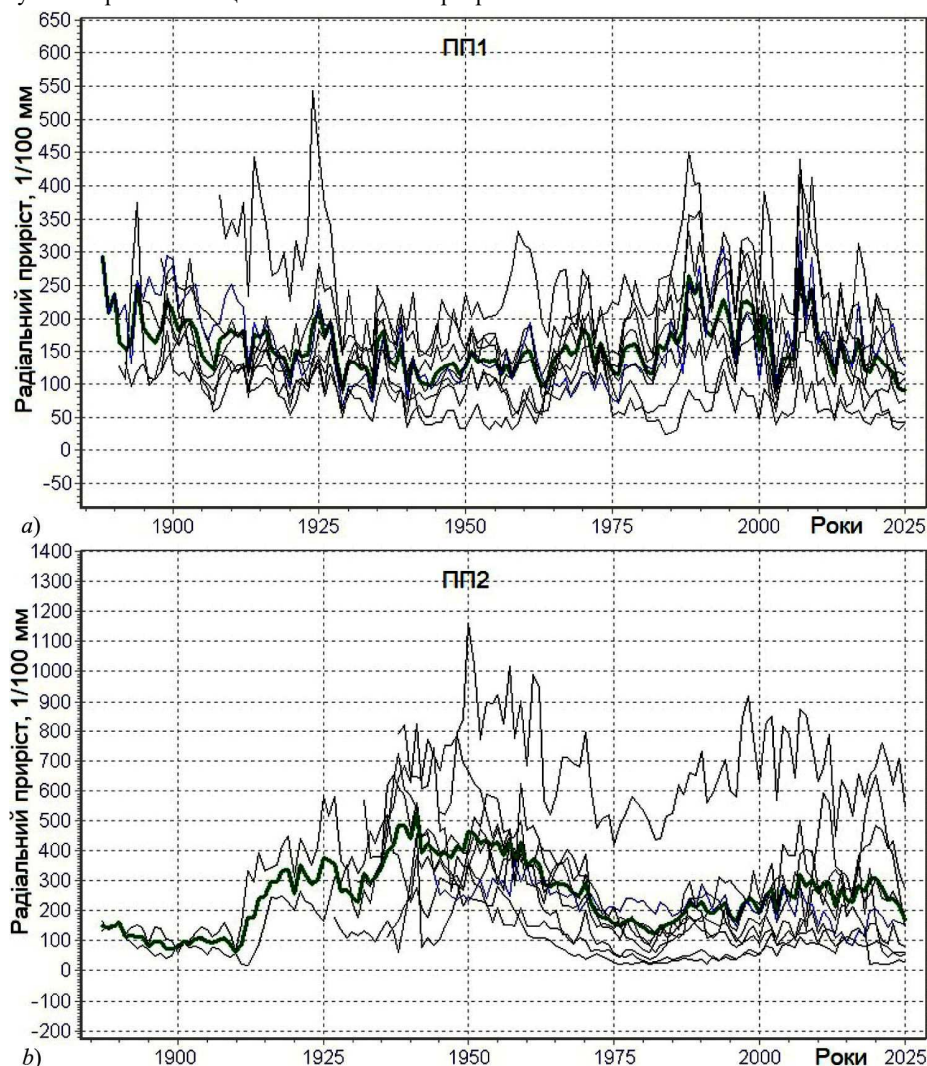


Рис. 2. Серії радіальних приростів у дерев ялиці білої (зеленим кольором виділено зважене середнє значення) / Radial growth series of white fir trees (the weighted mean is highlighted in green)

Дерева ялиці на першій ділянці (ПП1) попри повільніший ріст, є більш "чутливими" до кліматичних сигналів, тоді як ялиця на другій ділянці (ПП2), у складі деревостану якої є тільки одна одиниця, є інертною системою, яка довго відновлюється після сильних стресів. Надійність крос-датування підтверджує аналіз сегментованої кореляції (рис. 3).

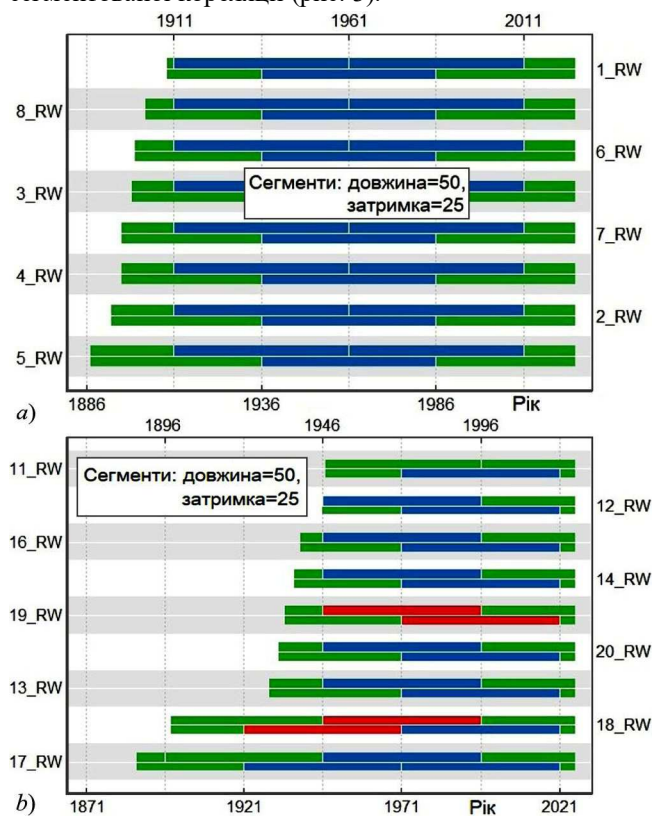


Рис. 3. Крос-датування методом сегментованої кореляції / Cross-dating using the segmented correlation method: а) ПП1; б) ПП2

Зелені та сині сегменти вказують на "ідеальні" ділянки. Дерева ростуть синхронно з іншими, дані – надійні. Усі дерева на першій пробній площі добре синхронізуються між собою. Дві серії радіальних приростів на ПП2 демонстрували локальні відхилення (червоні сегменти). Ці відхилення, ймовірно, зумовлені індивідуальною реакцією дерев на мікроекологічні умови в минулому, які візуально відрізняються від інших десятиліть. Хоча ці серії і демонстрували локальні відхилення від майстер-хронології в окремі періоди (згідно з аналізом сегментованої кореляції рис. 2), вони були залишені у вибірці для збереження максимальної глибини даних.

Певні відмінності в експозиції (південна проти північно-східної) та висоті над рівнем моря, (~80 м) дає змогу мінімізувати вплив загальнокліматичних відмінностей регіону і зосередитися саме на мікрокліматичних та топографічних чинниках впливу на приріст ялиці, які можна помітити у їх хронологіях (таблиця).

Як свідчать результати статистичного аналізу хронологій (див. таблицю), ділянка 2 демонструє вищу інтенсивність росту (на 37 % більше за середню ширину кільця) порівняно із першою ділянкою, що може свідчити про дещо кращі умови росту, а також менший вік у більшості дерев. Обидві хронології мають високу статистичну узгодженість ($GLK > 70\%$), що є вище порогових 60-65 %, але на ділянці північно-східної експозиції (ПП2) вона на 5 % нижча, ніж у першій хронології. Це вказує на те, що дерева на цій ділянці мають трохи більше "індивідуального шуму".

Таблиця. Дендрохронологічні характеристики хронологій ялиці білої (*Abies alba* Mill.) / Dendrochronological characteristics of silver fir (*Abies alba* Mill.) chronologies

Показник	Од. виміру	ПП1	ПП2
Період (тривалість)	роки	138	139
Середня ширина кільця	мм	1,57	2,50
Мінімальний приріст	мм	0,92	0,61
Максимальний приріст	мм	2,94	5,26
Стандартне відхилення (Stdv)	–	0,407	1,084
Коефіцієнт синхронності (Glk)	%	78	73
Автокореляція 1-го порядку (Ac1)	–	0,57	0,93
Середня чутливість (Ms)	%	17	13
Роки 100 % синхронності	шт	36	3
Середня міжсерійна кореляція (Rbar)	–	0,453	0,369
Виразений сигнал популяції (EPS)	–	0,882	0,828
Співвідношення "сигналу до шуму" (SNR)	–	7,464	4,684

Екстремально висока автокореляція (0,93) у хронології ялиці білої, яка займає тільки 10 % у складі деревостану (ПП2) порівняно з автокореляцією хронології (0,75) дерев на ділянці ПП1, вказує на те, що дерева другої групи значно більше залежать від ресурсів, накопичених за попередні роки. Це робить їх менш чутливими до поточних погодних коливань (що підтверджується нижчим показником чутливості – 13 проти 17 %).

Для побудови узагальненої хронології було використано 17 серій вимірювань, після об'єднання яких отримали одну деревно-кільцеву хронологію за шириною річних кілець ялиці білої тривалістю 155 років від 1870 до 2025 років. Після перевірки датування у деревно-кільцевих хронологічних серіях здійснювали вилучення вікового тренду. Оскільки, зі збільшенням віку дерева радіальний приріст закономірно зменшується, тому цей тренд, який не відображає кліматичного сигналу та зазвичай описується негативною експоненційною функцією, підлягає усуненню в процесі дендрохронологічного аналізу [6, 11]. Для оцінювання якості отриманої хронології розраховували середню міжсерійну кореляцію між деревами (Rbt) та виразений популяційний сигнал (EPS) (довжина сегменту становить 30 років, крок зміщення 15 років), який показує ступінь, до якого розмір вибірки є репрезентативним для теоретичної популяції з нескінченною кількістю особин (рис. 4).

Побудований графік надійності вираженого популяційного сигналу хронології (див. рис. 4) впевнено перевищує науковий поріг 0,85 приблизно у 1975-1978 роках. Це означає, що період з кінця 1970-х років і до сьогодні є максимально надійним для кліматичного аналізу. Підсумковий середній показник популяційного сигналу – (0,841) та SNR (5,27) підтверджують високу надійність отриманого сигналу для даної локації.

У період від 1980 до 2025 рр. популяційний сигнал (EPS) стабільно тримається на рівні 0,88-0,90. Це дуже високий показник для лісових насаджень, що дає змогу стверджувати, що зафіксоване нами падіння приросту за останні роки є на 90 % репрезентативним для всієї популяції дерев у цьому регіоні.

У період до 1970-х років популяційний сигнал змінюється в межах 0,70-0,80, що є прийнятним для дендрохронології (особливо для більш як 100-річних рядів), але ці дані мають вищий рівень статистичного "шуму". Зниження EPS у період близько 1940-1950 рр., може свідчити про те, що в цей час дерева реагували на якісь локальні чинники (наприклад, доглядові рубання або пошкодження), що тимчасово знизило їхню синхронність.

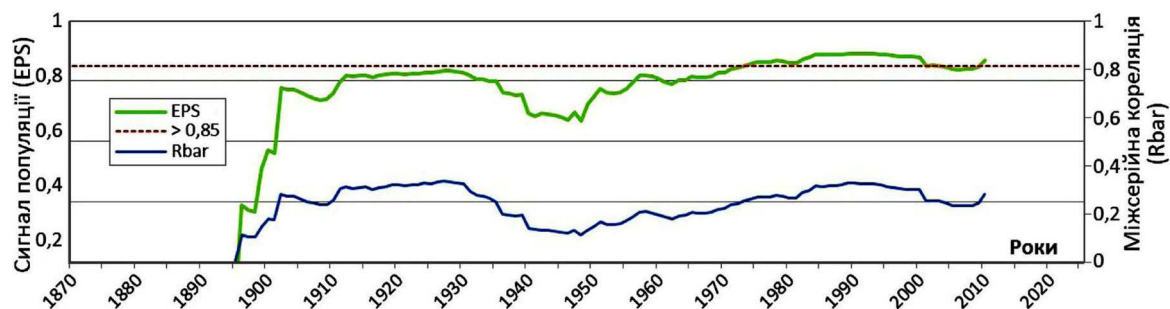


Рис. 4. Динаміка індексу вираженого популяційного сигналу (EPS) та середньої кореляції між усіма серіями (Rbar) / Dynamics of the expressed population signal (EPS) and the mean interseries correlation (Rbar)

Як відомо з літературних джерел [4, 5, 17, 28, 29], основними кліматичними факторами, що впливають на ріст дерев, є кількість атмосферних опадів та температура повітря за вегетаційний період (починаючи від квітня до вересня). Динаміка температури повітря та суми опадів за період 1946-2025 рр. побудована за даними Івано-Франківської та Славської метеостанцій [13], які є найближчими до наших дослідних ділянок (рис. 5).

Аналізуючи кліматичні показники [25] за останні роки росту деревостанів, зокрема за 2003 р., можна стверджувати, що цей рік увійшов в історію як один із найекстремальніших для всієї Європи. Влітку спостерігалися тривалі "хвилі спеки". Температурні рекорди фіксувалися в червні та серпні, коли повітря прогрівалося значно вище за кліматичну норму. Спекса супроводжувалася критичним браком опадів упродовж усього вегетаційного періоду. Для дерев це був подвійний удар: висока температура посилювала випаровування, а су-

хий ґрунт не давав можливості поповнити запаси води. Саме тому хронологія показала найнижче значення – дерева буквально "зупинилися" у рості, щоб вижити.

Також, суха зима та тепле літо, у минулих 2024 та 2025 роках, стали для дерев випробуванням через аномальний розподіл опадів. Зима 2024-2025 рр. на Івано-Франківщині була на 1,8-2,5 °C теплішою за норму, але головною проблемою став дефіцит опадів. Сума опадів за сезон становила тільки 48-61 % від норми. Це означає, що дерева починали весну без достатнього запасу вологи у ґрунті (рис. 5). Метеорологи зафіксували тепле літо (на 1-2 градуси вище від норми) з дефіцитом опадів, особливо в серпні. Поєднання сухої зими та посушливого літа призвело до того, що дерева знову опинилися в зоні сильного стресу. Підтвердженням цього є 2025 р., який став одним із найважчих для росту дерев за останні десятиліття.

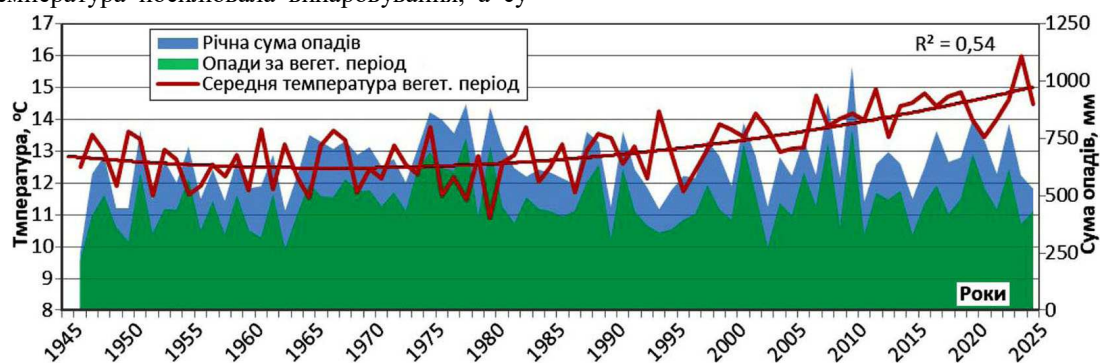


Рис. 5. Динаміка температури повітря та суми опадів за період 1946-2025 рр. / Dynamics of air temperature and total precipitation for the period 1946-2025 [13]

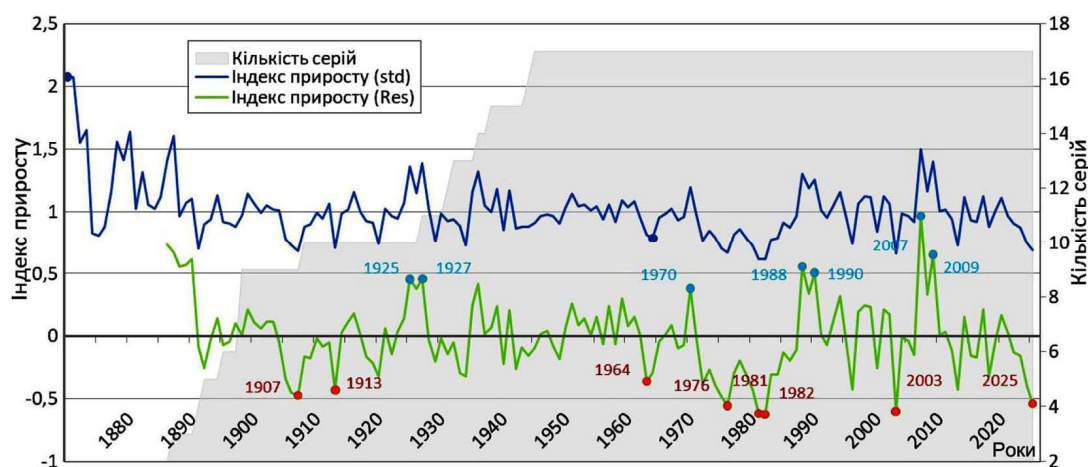


Рис. 6. Стандартна (Std) та залишкова хронології (Res) дерев ялиці білої та глибина вибірки / Standard (Std) and residual chronology (Res) of silver fir and sample depth

Узагальнена майстер-хронологія, що отримана шляхом усереднення індивідуальних серій, та залишкова хронологія, з якої видалено автокореляцію (найкраще

підходить для аналізу кліматичного сигналу) послугували основою знаходження зв'язків середніх значень приросту річних кілець зі змінами кліматичних па-

раметрів. Стандартна хронологія (Std) відображає загальний тренд, приросту, який не є стабільним: спостерігаються періоди підйому (1920-ті, 1990-ті роки) та поступове зниження за останні 10 років росту дерев. Залишкова хронологія (Res), яка очищена від біологічного шуму та автокореляції, найкраще демонструє чутливість до клімату, її коливання синхронні зі стандартною хронологією (рис. 6).

На цьому графіку показані "піки" (синій колір) та "провали" (червоний колір), так звані "реперні" роки, у які всі дерева відреагували зниженням або збільшенням приросту. Ці "провали" точно вказують на екстремальні погодні явища (посухи, високі або низькі температури повітря) конкретного року, а не на "втому" дерева. Аналіз екстремальних років росту виявив високу синхронність відгуку деревостанів на метеорологічні аномалії набагато частіше зниженням приросту. Найглибші депресії приросту спостерігали у 1907, 1913, 1964, 1976, 1981, 1982, 2003, та 2025 рр., які чітко корелюють із періодами літніх посух та дефіциту вологи у вегетаційний період. Натомість роки максимуму (1925, 1927, 1970, 1988, 1990, 2007, 2009 рр.) характеризувалися, у більшості випадків, поєднанням аномально теплих лютого-березня (що сприяло ранньому початку вегетації) та оптимального зволоження у першій половині літа.

Для Карпатського регіону, зокрема Ґорґан, упродовж останніх 20 років спостерігається тенденція, коли температура підвищується, а кількість опадів залишається незмінною або спадає. Це створює так звані "ножиці" посушливості. Якщо на початку 2000-х приріст часто був вищим за норму (індекс 1,0), то після 2020 року він жодного разу не піднявся до середніх багаторічних значень (рис. 7).

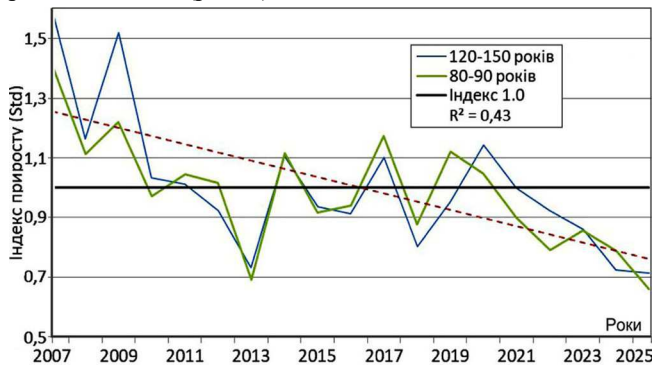


Рис. 7. Реакція приросту ялиці білої різних вікових груп на кліматичні зміни у 2007-2025 рр. / Growth response of silver fir of different age groups to climate change during 2007-2025

Як свідчать дані, наведені на рис. 7, тренд індексу приросту нахилений вниз (червона лінія) до 2025 р., що свідчить про негативний вплив сучасних змін клімату на приріст ялиці у досліджуваному регіоні. Найбільш вражаючим є фінальний відрізок графіка, де ми бачимо безперервне падіння впродовж останніх 5 років. А у 2025 р. індекс приросту був найнижчим. Це свідчить про те, що дерева перебувають у стані глибокого накопичувального стресу і не встигають відновлюватися між посушливими сезонами.

Отже, починаючи з 2010 року, спостерігається стійка тенденція до зниження радіального приросту ялиці білої на тлі зростання амплітуди міжрічних коливань, яке має лінійний характер й охоплює різні вікові групи деревостану. Одночасна деградація приросту як у перестійних дерев (де приріст природно знижений), так і

в екземплярів віком 80-90 років, свідчить про домінуючий вплив екзогенних чинників (дефіцит вологи та температурний стрес) на адаптаційний потенціал наявних дерев, які не продемонстрували високу енергію росту за останні роки.

Обговорення отриманих результатів. У роботі [16] автори виявили вищу стійкість ялиці до екстремальних посух у мішаних деревостанах (наприклад, з буком) порівняно з чистими насадженнями. Встановлено, що основними чинниками, які впливають на коливання ширини річних кілець, є зміна кліматичних умов, зокрема загальної кількості опадів як основної, та середньої температури – як вторинної кліматичної змінної. Так, у теплі та вологі роки можуть виникати сприятливі умови для збільшення річного приросту, тоді як у сухі або холодні періоди, складаються несприятливі умови для росту дерев. Що також було продемонстровано у нашому дослідженні.

У дослідженні [1], де розглянуто ріст бука лісового та ялиці білої у Карпатах, автори відзначають різну реакцію цих видів на кліматичні чинники, що впливатиме на їхню конкурентоспроможність. Відзначено, що більш виражена реакція росту дерев на клімат спостерігалася на східних ділянках Карпат. У цьому дослідженні було показано, що ялиця може показати також різну реакцію залежно від мікрокліматичних і топографічних чинників.

Досліджуючи праліси [24], автори встановили, що за природних умов, де ялиця біла інтегрована в мозаїчну структуру лісу, здатна витримувати тривалі періоди пригнічення без ослаблення життєвої енергії, що є ключовим механізмом її виживання та подальшої участі в процесах зміни поколінь. Ці дані підтверджені нашими дослідженнями, які вказують на здатність ялиці тривалий час перебувати у стані пригнічення, як індивідуальна реакція дерев на зміну мікроекологічних умов.

У роботі [27] автори на основі аналізу річних кілець дерев ялиці та бука встановили, що зміна клімату дещо більше сприяє виникненню екстремальних погодних явищ, впливаючи на поширення видів та ріст дерев. Було висловлено припущення, що мішані ліси стійкіші до посухи, ніж відповідні монокультури. З цієї точки зору, в Карпатах не потрібно впроваджувати чисті ялицеві деревостани, які здебільшого можуть втрачати конкурентоспроможність.

У дослідженні [5] встановили, що ялиця добре росте у затінку, однак їй також потрібен відповідний режим зволоження, оскільки вона відзначається високою транспірацією і має вищу потребу у CO₂ та вологості повітря. Тому ялицю можна вважати одним із найчутливіших хвойних дерев до змін кліматичних умов. А у дослідженні [29] автори на основі аналізу даних ширини річного кільця у дерев різного віку, чітко підтвердили, що чутливість росту дерев до мінливості навколишнього середовища передбачувано змінюється з віком дерева.

Отже, отримані результати у нашому дослідженні щодо динаміки радіального приросту ялиці білої підтверджують істотний вплив кліматичних змін на радіальний приріст дерев, через це деревостани можуть втрачати свою стійкість та конкурентоспроможність. Інтеграція отриманих результатів у контексті сучасних наукових підходів підтверджує важливість проведення цього дослідження для гірського регіону Ґорґан. А от-

римані результати дають змогу розширити уявлення про вплив кліматичних змін на ріст дерев і мають важливе практичне значення для прогнозування майбутньої продуктивності та адаптації ялицевих деревостанів до змін клімату.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – удосконалено методику оцінювання адаптаційного потенціалу деревостанів, яка, на відміну від наявних, базується на комплексному аналізі реакції приросту ялиці білої залежно від мікрокліматичних, топографічних умов та складу насаджень, що дало змогу встановити поступову деградацію стійкості стиглих деревостанів у Горганах.

Практична значущість результатів дослідження – можна використати для дендрокліматичного аналізу в регіоні Горган, а також розроблення стратегій та прогностичної моделі для адаптації лісових екосистем до змін клімату.

Висновки / Conclusions

Побудовано тривалі деревно-кільцеві хронології, які охоплюють значний часовий період циклічності приросту, що дало змогу встановити вплив кліматичних чинників на формування радіального приросту ялиці білої за умов гірського масиву Горган, а також підтверджено гіпотезу про прогресуюче ослаблення деревостанів ялиці під впливом сучасних змін клімату. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Встановлено тенденцію до зниження індексу приросту за останні десятиріччя, що свідчить про негативний вплив сучасних змін клімату на приріст ялиці та вказує на втрату адаптаційного потенціалу у стиглих і перестійних деревостанів ялиці гірських лісів Горган.
2. Ялиця біла демонструє індивідуальну реакцію на тривалі пригнічення у рості та показує різний відгук на зміну мікроекологічних умов, що дало можливість побудувати динаміку індексів приросту (Std) річного кільця, враховуючи неоднорідність мікроекологічних чинників та індивідуальну стійкість дерев.
3. Найглибші депресії приросту зафіксовано у 2003 та 2025 роках. Якщо провал 2003 р. мав характер короткочасної екстремальної аномалії, то сучасне падіння (2021-2025 рр.) демонструє ознаки "хронічного" посилення кліматичного стресу.
4. Після "оптимального" періоду 2007-2009 рр., коли дерева демонстрували максимальний приріст, спостерігається згасання амплітуди позитивних відгуків. Навіть у сприятливі за опадами роки дерева вже не досягають попередніх показників продуктивності. Це вказує на втрату адаптаційного потенціалу стиглих і перестійних деревостанів ялиці у гірських лісах Горган.
5. Поєднання кумулятивного дефіциту вологи та зростання температурного режиму протягом року призвело до деградації приросту, що в середньотерміновій перспективі може стати причиною зниження біологічної стійкості деревостанів.

References

1. Adamič, P. C., Levanič, T., Hanzu, M., & Čater, M. (2023). Growth response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver Fir (*Abies alba* Mill.) to climate factors along the Carpathian massive. *Forests*, 14(7), article ID 1318. <https://doi.org/10.3390/f14071318>

2. Bledý, M., et al. (2024). Silver fir (*Abies alba* Mill.): review of ecological insights, forest management strategies, and climate changes impact on European forests. *Forests*, 15(6), article ID 998. <https://doi.org/10.3390/f15060998>

3. Bošela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M., & Büntgen, U. (2018). Contrasting effects of environmental change on the radial growth of cooccurring beech and fir trees across Europe. *Science of the Total Environment*, 615, 1460–1469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>

4. Bunn, A. G. (2008). A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia*, 26(2), 115–124. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2008.01.002>

5. Čater, M. (2021). Response and mortality of beech, fir, spruce and sycamore to rapid light exposure after large-scale disturbance. *Forest Ecology and Management*, 498, article ID 119554. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119554>

6. Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer Netherlands, Dordrecht, the Netherlands, 394 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7879-0>

7. Dinca, L., Marin, M., Radu, V., Murariu, G., Drasovean, R., Cretu, R., & Timiș-Gânsac, V. (2022). Which are the best site and stand conditions for Silver Fir (*Abies alba* Mill.) located in the Carpathian Mountains? *Diversity*, 14(7), 1–23. <https://doi.org/10.3390/d14070547>

8. Dobrowolska, D., & Bolibok, L. (2019). Is climate the key factor limiting the natural regeneration of silver fir beyond the north-eastern border of its distribution range? *Forest Ecology and Management*, 439, 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.040>

9. Forzieri, G., Dakos, V., McDowell, N.G., Ramdane, A., & Cescatti, A. (2022). Emerging signals of declining forest resilience under climate change. *Nature*, 608(7923), 534–539. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04959-9>

10. Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Elsevier. Blackburn Press: Caldwell, 567 p. <https://doi.org/10.1002/jqs.796>

11. Holmes, R. L. (1986). Quality control of crossdating and measuring: A user manual for program COFECHA. In R. L. Holmes, R. K. Adams, & H. C. Fritts (Eds.). *Tree-ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin* (Chronology Series VI, pp. 41–49). University of Arizona. URL: <https://sheppard.ltr.arizona.edu/Raul/GrissinoCOFECHA.pdf>

12. Kempf, M., Zarek, M., & Paluch, Ja. (2020). The Pattern of Genetic Variation, Survival and Growth in the *Abies alba* Mill. Population within the Introgression Zone of Two Refugial Lineages in the Carpathians. *Forests*, 11(8), article ID 849. <https://doi.org/10.3390/f11080849>

13. Klein Tank, A. M., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., & Petrovic, P. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22, 1441–1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>

14. Koval, I. M., & Voronin, V. O. (2019). Dendroclimatology as the part of dendrochronology. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 32, 85–94. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-32-07>

15. Kulbanska, I. M. (2024). Sanitary condition of the forest in hutsulshchyna national nature park and the factors for its degradation. *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(3), 45–52. <https://doi.org/10.36930/40340306>

16. Latreille, A., Davi, H., Huard, F., & Pichot, C. (2017). Variability of the climate-radial growth relationship among *Abies alba* Mill. trees and populations along altitudinal gradients. *Forest Ecology and Management*, 396, 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.012>

17. Mikulénka, P., Prokúpková, A., Vacek, Z., Vacek, S., Bulušek, D., Simon, J., Šimůnek, V., & Hájek, V. (2020). Effect of climate and air pollution on radial growth of mixed forests: *Abies alba* Mill. vs. *Picea abies* (L.) Karst. *Central European Forestry Journal*, 66(1), 23–36. <https://doi.org/10.2478/forj-2019-00>

18. Mohytych, V., Sułkowska, M., & Klisz, M. (2019). Reproduction of silver fir (*Abies alba* Mill) forests in the Ukrainian Carpathians. *Forestry*, 61(2), 156–158. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0015>
19. Reynolds, D. J., Edge, D. C., & Black, B. A. (2021). RingdateR: A statistical and graphical tool for crossdating. *Dendrochronologia*, 65, article ID 125797. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2020.125797>
20. Rinn, F. (2012). TSAP-Win: time series analysis and presentation for Dendrochronology and related applications – Version 4.6 x for Microsoft Windows. Heidelberg, 92 p. [User manual]. URL: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4kYAQY69/>
21. Ripple, W. J., Wolf, C., Gregg, J. W., Rockström, J., Mann, M. E., Oreskes, N., Lenton, T. M., Rahmstorf, S., & Newsome, T. M. (2024). The 2024 state of the climate report: Perilous times on planet Earth. *BioScience*, 74(12), 812–824. <https://doi.org/10.1093/biosci/biae087>
22. Shelyag-Sosonko, Yu. R. (2002). The Green Paper of Ukraine: Forests. Kyiv: Naukova Dumka, 448 p. URL: <https://greenbook.land.kiev.ua/>
23. Soroka, M., Woźniak, A., Plikhtiak, P., Goychuk, A., & Kulbanska, I. (2024). Systemic and structural features of the phyto-biota of fir-beech forests in the Pokutsk Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 20–34. <https://doi.org/10.15421/412401>
24. Standovár, T., & Kenderes, K. (2003). A review on natural stand dynamics in Beechwoods of East Central Europe. *Applied Ecology and Environmental Research*, 1(1-2), 19–46. <https://doi.org/10.15666/aecr/01019046>
25. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC Fourth Assessment Report: *Climate Change* 2007. URL: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/xccsc1.html
26. Vasylyshyn, R. D., Lakyda, P. I., & Vasylyshyn, O. M. (2007). Aboveground phytomass of silver fir (*Abies alba* Mill) trees in the stands of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of the UkrSFWU*, 17(1), 28–34. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2007/17_1/28_vasylyshyn_17_1.pdf
27. Versace, S., Gianelle, D., Garfi, V., Battipaglia, G., Lombardi, F., Marchetti, M., & Tognetti, R. (2020). Interannual Radial Growth Sensitivity to Climatic Variations and Extreme Events in Mixed-Species and Pure Forest Stands of Silver Fir and European Beech in the Italian Peninsula. *European Journal of Forest Research*, 139, 627–645. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01274-8>
28. Vitali, V., Büntgen, U., & Bausch, J. (2017). Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Global Change Biology*, 23(12), 5108–5119. <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>
29. Voelker, S. L. (2011). Age-dependent changes in environmental influences on tree growth and their implications for forest responses to climate change. *Tree Physiology*, 4, 455–479. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-007-1242-3_17
30. Walder, D., Krebs, P., Bugmann, H., Manetti, M. C., Pollastrini, M., Anzillotti, S., & Conedera, M. (2021). Silver fir (*Abies alba* Mill.) is able to thrive and prosper under meso-Mediterranean conditions. *Forest Ecology and Management*, 498, article ID 119537. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119537>

L. S. Osadchuk, V. V. Tysiak

Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine

DENDROCHRONOLOGICAL ASSESSMENT OF RADIAL GROWTH OF SILVER FIR (*ABIES ALBA* MILL.) IN GORGAN CONDITIONS

Silver fir is one of the most productive and ecologically valuable tree species in Ukraine; however, it is periodically exposed to adverse abiotic factors, particularly at the boundary of its natural range on the northeastern macroslope of the Ukrainian Carpathians. The aim of this study was to assess the influence of climatic factors on the radial growth formation of white fir in the Gorgan mountain range using dendrochronological and statistical methods. Based on measurements of tree-ring width, long-term chronologies were developed, covering a substantial period of growth variability, which enables the prediction of viability of fir forests. The analysis of the relationship between climate and radial growth of white fir (*Abies alba* Mill.), as well as its temporal dynamics throughout the life cycle, revealed a statistically significant negative trend in radial growth. This indicates a systemic deterioration of environmental conditions for tree growth in the study area over the past 25 years. The high value of the expressed population signal suggests that the observed decline in growth is highly representative (approximately 90 %) of the entire tree population in the region. The analysis of pointer years revealed a high degree of synchronicity in tree growth responses to meteorological anomalies, with growth reductions occurring more frequently and being associated with summer droughts and moisture deficits during the growing season. Following the "optimal" period of 2007-2009, when trees exhibited maximum growth, the amplitude of positive growth responses has declined. Even in years with favorable precipitation conditions, trees no longer reach previously observed productivity levels. A decreasing trend in the growth index was identified, indicating the negative impact of recent climate change on fir growth in the study region. This suggests a decline in the adaptive capacity of mature fir stands in the mountain forests of the Gorgan region.

Keywords: climatic response of trees; tree ring cross-dating; climatic changes; population signal; tree growth dynamics; tree-ring chronologies; northeastern macroslope of the Ukrainian Carpathians.