

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

ДЕНДРОХРОНОЛОГІЯ

Методичні рекомендації
для організації роботи аспірантів у закладах вищої освіти
за спеціальністю Е2 «Екологія»

УДК 630*55(072)

Д 33

Рецензенти:

В. П. Ворон – головний науковий співробітник сектору екології лісу відділу лісівництва та економіки лісового господарства Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, доктор с.-г. наук;

Н. В. Максименко – завідувач кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи ННІ екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктор геогр. наук, проф.

*Затверджено до друку рішенням Науково-методичної ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 6 від 19.03.2024 р.)*

Д 33 **Дендрохронологія** : методичні рекомендації для організації роботи аспірантів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» / уклад. І. М. Коваль. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 36 с.

Методичні рекомендації для організації роботи аспірантів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія» забезпечують вивчення модуля «Дендрохронологія» в межах дисципліни «Наукові основи дослідження, моделювання та раціонального використання природних ресурсів». Основну увагу зосереджено на проведенні практичних робіт.

Видання може бути корисним аспірантам, студентам та науковцям, що проводять дослідження в галузі лісознавства.

УДК 630*55(072)

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2024

© Коваль І. М., уклад., 2024

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2024

Навчальне видання

Коваль Ірина Михайлівна

ДЕНДРОХРОНОЛОГІЯ

Методичні рекомендації
для організації роботи аспірантів у закладах вищої освіти за спеціальністю Е2 «Екологія»

Коректор *О. В. Анцибора*

Комп'ютерне верстання *В. В. Савінкова*

Макет обкладинки *І. М. Дончик*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 1,36. Наклад 100 пр. Зам. 43/24.

Видавець і виготовлювач

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009

Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна

ЗМІСТ

Вступ	4
Програма модуля «Дендрохронологія»	5
Перелік компетентностей	5
Основні програмні результати навчання	6
Практичні роботи	6
Практична робота № 1.	
Будова річного шару приросту. Відбір зразків деревини	6
Теоретична частина.....	6
1.1 Будова річного шару приросту дерев	
і фактори, які визначають його величину	6
1.2 Підбір об'єктів досліджень та застосування методів	
в залежності від мети досліджень	8
1.3 Забезпечення достовірності досліджень	9
1.4 Опис ділянки	9
1.5 Відбір зразків деревини.....	10
Практична частина	11
Практична робота № 2.	
Вимірювання ширини річних кілець та перехресне датування.....	12
Теоретична частина	12
2.1 Підготовка зразків до вимірювання	12
2.2 Датування	13
2.3 Вимірювання шарів ранньої та пізньої деревини	15
Практична частина	16
Практична робота № 3.	
Деревно-кільцеві хронології. Стандартизація.....	18
Теоретична частина	18
3.1 Розрахунок середніх значень радіального	
приросту для насаджень	18
3.2 Віковий тренд. Стандартизація	19
Практична частина	20
Практична робота № 4.	
Аналіз деревно-кільцевих хронологій. Дендроіндикація.....	23
Теоретична частина.....	23
Практична частина	25
Список літератури.....	27
Словник термінів.....	29

ВСТУП

Вивченням річних кілець дерев займається дендрохронологія. **Дендрохронологія** – вивчення мінливості ширини річних кілець (річного приросту) дерев для їхньої точної календарної дати формування часу. Як розділ дендрохронології можна розглядати дендрокліматологію. **Дендрокліматологія** – вивчення річних кілець дерев із метою оцінки змін клімату. Рослини (в т. ч. дерева) мають відносно високу чутливість до впливу антропогенних факторів (забруднення атмосфери, рекреація тощо). Їх можна використовувати як індикатори при здійсненні моніторингу стану лісових екосистем. **Дендроіндикація** – виявлення природних коливань природних процесів та екологічно значущих антропогенних змін на основі реакції на них деревних рослин та їх угруповань.

Динаміка річного приросту дерев значною мірою визначається географічною зональністю, лісорослинними умовами, екологічними особливостями деревних порід. Лімітуючим фактором дерев, що ростуть у північних районах (тайга, лісотундра), а також в горах, є температура довкілля. Для дерев південних районів (лісостеп, степ) лімітуючим фактором є кількість атмосферних опадів.

Основні методи та основне обґрунтування для аналізу деревних кілець встановлені та продовжують удосконалюватися. Інформація, яка міститься в багаторічній динаміці приросту деревних порід, широко використовується під час вирішення фундаментальних і прикладних завдань лісознавства, лісівництва, екології та в інших областях природничих наук. Дендрохронологія, зокрема дендрокліматологія, отримали інтенсивний розвиток у зв'язку з використанням результатів та методів цих наук у системі екологічного моніторингу, у тому числі моніторингу лісових екосистем.

Дерева, які ростуть в межах однорідного за кліматичними умовами регіону, однаково реагують на зміни зовнішніх умов і виявляють подібні закономірності коливання величин річного приросту. Більшість дерев мають синхронні зміни величин річних кілець.

Завдяки правильному застосуванню дендрохронологічних методів з'являється можливість вивчити природну змінність природно-кліматичних факторів у минулому та передбачити глобальні зміни довкілля в майбутньому.

ПРОГРАМА МОДУЛЯ «ДЕНДРОХРОНОЛОГІЯ»

в межах дисципліни

**«Наукові основи дослідження, моделювання та раціонального
використання природних ресурсів»**

- Предмет, цілі та задачі дендрохронології.
- Історія розвитку дендрохронології.
- Діяльність камбію.
- Формування ранньої та пізньої деревини.
- Основні принципи дендрохронології.
- Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології.
- Вплив сонячної активності на мінливість приросту дерев.
- Методи вивчення динаміки радіального приросту дерев.
- Індикація антропогенних впливів (забруднення, рекреації тощо)
на лісові екосистеми.
- Дендрохронологія та лісове господарство.
- Обладнання для дендрохронологічних досліджень.
- Банки дендрохронологічних даних.

ПЕРЕЛІК КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ, що формуються при вивченні *модуля та* курсу в цілому

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері екології та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інструменти, електронні інформаційні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності, зокрема для моделювання процесів та прийняття оптимальних рішень у сфері екології, охорони природи та раціонального природокористування.

СК05 Здатність здійснювати комплексну оцінку, моделювання і прогнозування стану природних компонентів і комплексів довкілля та розробляти напрямки і заходи з оптимізації раціонального природокористування.

СК07 Здатність проводити експертизу існуючих промислових виробництв та інших об'єктів господарювання для визначення рівня ефективності і розробки заходів з оптимізації використання природних ресурсів.

ОСНОВНІ ПРОГРАМНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

РН01. Глибоко розуміти концептуальні принципи та методологію природничих наук, формулювати і перевіряти гіпотези, використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання з метою розв'язання значущих наукових та науково-прикладних проблем екології.

РН02. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з екології, охорони довкілля та оптимізації природокористування з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН03. Вільно презентувати та обговорювати державною та іноземною мовами з дотриманням норм академічної етики результати досліджень, наукові та прикладні проблеми з екології, охорони довкілля та оптимізації природокористування, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних вітчизняних та міжнародних наукових виданнях.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти та технології пошуку оброблення й аналізу інформації з проблем екології та дотичних питань, зокрема статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН07. Мати сучасні концептуальні знання та високий методологічний рівень у сфері екології та на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень.

РН08. Визначати та обґрунтовувати допустимі темпи споживання життєво важливих природних ресурсів без суттєвого погіршення стану навколишнього середовища.

ПРАКТИЧНІ РОБОТИ

Практична робота № 1.

Будова річного шару приросту. Відбір зразків деревини

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Будова річного шару приросту дерев і фактори, які визначають його величину

У межах зон помірного та холодного клімату, де виражена зміна пори року, у деревних рослин спостерігається періодична активність камбіального шару. У цих районах у дерев, як правило, формується один шар приросту за вегетаційний період. Під час щорічної камбіальної активності в зоні між деревиною та корою відбуваються процеси поділу клітин, їхнє розширення та диференціювання на флоему та ксилему. Ксилема формується у напрямку до центра дерева і стає деревиною, а флоема – у напрямку до зовнішньої сторони дерева і ястає корою. На початок вегетаційного періоду клітини ксилеми є більшими і тонкостінними і визначаються як рання деревина, тоді як клітини, сформовані наприкінці вегетаційного періоду, невеликі, товстостінні та щільні і визначаються як пізня деревина. Ці дві частини деревини становлять річне кільце. Кільця різних років відрізняються через помітну та різку зміну розміру клітини на межі між пізньою деревиною одного року та ранньою деревиною наступного року в поперечному перерізі стовбура. У межах кожного річного кільця перехід між клітинами ранньої та пізньої деревини зазвичай поступовий, тоді як між сусідніми кільцями спостерігається різкий перехід. Це дозволяє досить легко розрізняти річні кільця.

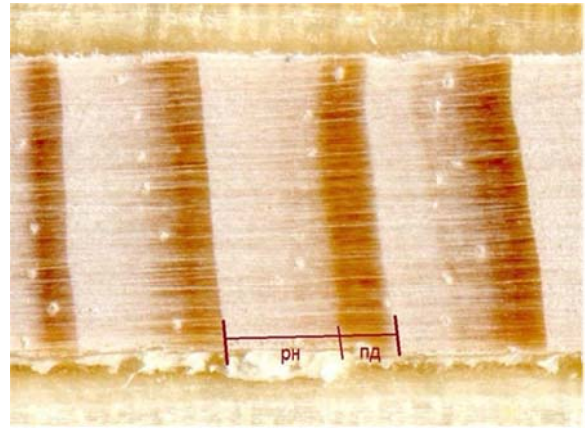


Рис. 1.1. Річні кільця сосни звичайної. Примітка: рн – «рання» («весняна») деревина, пд – «пізня» («літня») деревина

Послідовність і структура річних кілець деревини відображають міжрічну і внутрішньорічну динаміку продуктивного процесу, обумовлену автохтонними (генетичні особливості, вік) і алохтонними (конкурентні відносини, кліматичні, геоморфологічні, гідрологічні та ін.) факторами, які діють у широкому діапазоні просторово-часових масштабів (рис. 1.2).

На величину річного приросту дерев (або активність камбіальних клітин) впливає велика кількість як внутрішніх, так і зовнішніх факторів, що діють комплексно. З внутрішніх чинників найбільше впливають на радіальний приріст дерев порода дерева, спадкова індивідуальна мінливість,

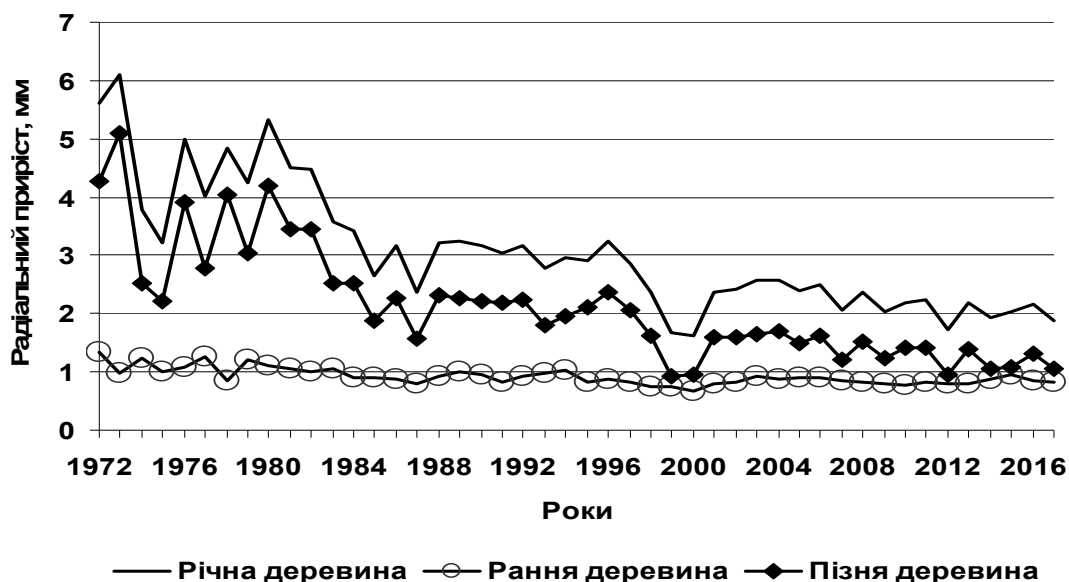


Рис. 1.2. Динаміка радіального приросту ранньої, пізньої та річної деревини ясеня звичайного у вологому сугруді (C₃)

вік і плодоношення. Із зовнішніх факторів на величину приросту впливають кліматичні та ґрунтово-ґрунтові умови, фітоценотичні взаємини, різноманітні катастрофи (пожежі, буреломи, напади комах-шкідників), а також господарська діяльність людини. Радіальний приріст дерев (ширина річного кільця) перебуває під контролем внутрішніх чинників та змінюється під впливом зовнішніх чинників.

1.2 Підбір об'єктів досліджень та застосування методів в залежності від мети досліджень

Об'єкти для дендрохронологічного аналізу підбираються відповідно до поставленої мети і з урахуванням основних принципів, що забезпечують достовірність результатів дослідження (Cook et al., 1990). В залежності від цілей розрізняють дві групи дендрохронологічних досліджень (Битвинскас, 1974):

I група: дендрокліматичні дослідження, метою яких є вивчення впливу кліматичних факторів та сонячної активності на мінливість приросту насаджень, а також роботи зі створення дендрошкал (еталонних таблиць річних індексів приросту насаджень).

II група: дендроіндикація (прикладні дослідження), метою яких є визначення ступеня впливу некліматичних факторів на приріст насаджень (ентомошкідники, лісові пожежі, лісогосподарські заходи, рекреація, техногенне забруднення атмосфери тощо).

Після того, як визначено мету подальшого дослідження, необхідно підібрати об'єкти досліджень.

Для цілей I групи досліджень найбільше підходять старовікові дерево-стани, що ростуть у типових лісорослинних умовах, не порушені лісгосподарськими заходами і не схильні до інших видів антропогенних впливів.

При підборі об'єктів для II групи досліджень можна використовувати різноманітні методичні підходи. Методи, що застосовуються, можна розділити на три групи (Юкніс, 1990):

1. Метод контрольних деревостанів, заснований на порівнянні радіального приросту дерев у пошкоджених та контрольних деревостанах;
2. Метод контрольних дерев, заснований на порівнянні радіального приросту дерев різних класів стану в межах вивченого деревостою або їх сукупності;
3. Метод внутрішньорядного аналізу, заснований на аналізі дендро-хронологічних рядів залежно від природних та антропогенних факторів.

Метод внутрішньорядного аналізу може бути використаний як у поєднанні з двома попередніми методами, так і як самостійний метод аналізу практично для будь-якого обраного об'єкта досліджень, також і для дендрокліматичних досліджень.

1.3 Забезпечення достовірності досліджень

Результати досліджень малої кількості зразків не завжди відображають загальні закономірності мінливості радіального приросту в деревостой. Крім того, мала кількість зразків позбавляє можливості достовірного встановлення кількісних зв'язків між шириною річних кілець та факторами впливу (температура, опади тощо).

Необхідне число зразків для достовірного встановлення середньої ширини річного кільця в деревостані із заданою точністю можна розрахувати за формулою:

$$N = t_{st}^2 \cdot CV^2 / P^2,$$

де N – необхідна кількість зразків (спилів, кернів);

t_{st} – показник надійності (критерій Стюдента), що визначається залежно від встановленого (заданого) порогу ймовірності безпомилкових прогнозів (β) (табл. 1);

CV – коефіцієнт варіювання ширини річних кілець у деревостані;

P – задана припустима помилка (точність дослідження): у екологічних дослідженнях прийнято вважати прийнятною для практичних цілей припустиму помилку, яка не перевищує 10 %.

Таблиця 2

Значення критерію Стюдента відповідно до порогу ймовірності

β	0,68	0,95	0,99	0,999
t_{st}	1	2	2,6	3,3

На підставі низки досліджень, що розглядають це питання (Битвін-скас, 1974; Fritts, 1976), було зазначено, що мінімальною необхідною кількістю зразків задля забезпечення достовірності дендрохронологічних досліджень є 10–25 кернів.

1.4 Опис ділянки

Опис має включати такі характеристики: регіон (Харківська область); лісництво; номер кварталу; номер виділу; вид дерева; висота відбору зразків (кernів, спилів); сторона світу відбору зразків (кernів); дата відбору зразків; кількість зразків; основні представники ґрунтового покриву; лісорослинні умови.

Тип лісорослинних умов (ТЛУ) та тип лісу визначаються за видовим складом компонентів лісового фітоценозу за допомогою викладача.

Для дендрохронологічних досліджень найбільш прийнятними є хвойні породи завдяки своїй довговічності, виразним межам між річними шарами. У сосни звичайної, крім того, насіння слабо впливає на динаміку приросту. Твердолисті породи (дуб, ясен) також придатні для дендрохронологічних досліджень. У м'яколистяних порід (береза, осика) анатомічна будова ускладнює виділення та вимірювання річних кілець.

Матеріалом для дендрохронологічного аналізу є поперечні спилки дерев або відібрані віковим буравом Преслера kernи (зразки) деревини.

1.5 Відбір зразків деревини

Для відбору зразків (кernів) деревини з живих дерев використовується віковий бурав Преслера (Haglof, Suunto), за допомогою якого відбираються kernи деревини діаметром 4–5 мм і завдовжки до 50 см (рис. 2).



Рис. 2. Будова бурава Преслера:

а – ручка повороту (turning handle); б – стовбур з нарізним долотом (core barrel with the threaded bit); в – ложка (spoon)

Зразки деревини відбираються перпендикулярно до поздовжньої осі стовбура дерева на висоті 0,5–1,3 м від поверхні землі (рис. 3).

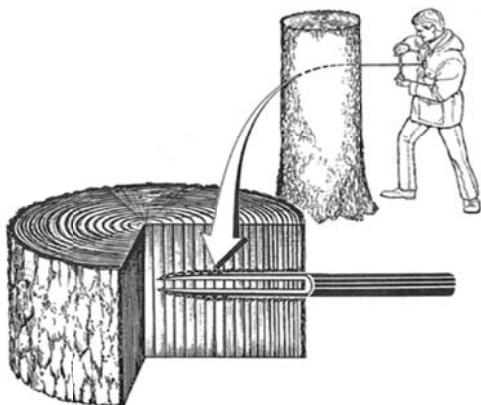


Рис. 1.3. Відбір kernів буравом Преслера

Зазвичай з дерева відбирається по 1–2 керна з західної або східної сторони дерева на висоті 1,3 м від землі.

У порівнянні зі взяттям спилів, відбір кернів дає змогу мінімізувати шкоду, що завдається деревам, і відібрати максимально необхідну кількість зразків (для оцінювання загального сигналу у вибірці) за невеликий інтервал часу.

Керни крихкі, тому необхідно поводитися з ними дуже обережно. Керни можуть бути розміщені в бумажних контейнерах або в пластикових коктейльних трубочках Sötvatten (Ikea), в яких зразки зручно транспортувати, сушити і зберігати для проведення робіт з датування та вимірювання кілець.

Кожному зразку деревини повинен бути присвоєний код, який записується на поверхні зразка або контейнера. Найбільш широко використовуване кодування, що складається з шести символів. Перші три символи являють собою поєднання букв латинського алфавіту, які позначають код місце зростання (наприклад, UDY – річка Уди). Наступні два цифрові символи (від 01 до 99) позначають номер модельного дерева, а останній цифровий символ (від 1 до 9) позначає номер радіуса. Крім того, на зразку або контейнері вказується вид дерева, дані відбору зразків (напрямок сторони світу тощо). Для кожної пробної площі проводиться опис лісорослинних умов зразків деревини.

2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Мета: знайомство з процедурою відбору зразків деревини.

Завдання:

1. Описати ділянку відбору кернів згідно з вимогами.
2. Використовуючи віковий бур, відібрати 10 зразків деревини з дерев хвойних і листяних порід.
3. Упакувати їх згідно з рекомендацією для транспортування.

Обладнання та матеріали: віковий бур та контейнери.

Методичні вказівки: необхідно дотримуватись послідовності дій, наведеної в теоретичній частині.

Контрольні питання:

1. Схарактеризуйте ранню та пізню деревину.
2. Яких умов необхідно дотримуватись при відборі зразків деревини?
3. Вкажіть основні вимоги щодо кодування зразків.
4. Яка кількість зразків є достатньою для побудови узагальненого дендрохронологічного ряду?

Практична робота № 2.

Вимірювання ширини річних кілець та перехресне датування

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Підготовка зразків до вимірювання

Подальша робота зі зразками деревини проводиться в лабораторних умовах. Ряд дослідників пропонує для кращого виявлення структури річних кілець перед виміром їх ширини змочувати поверхню зразків різними речовинами або розчинами. Як «змочувач» найчастіше застосовується вода, також можна використовувати гліцерин, водний розчин гліцерину (Ловеліус, 1979), пропонують у гладко зачищену поверхню зразків втирати дрібний порошок безводного окису кальцію або крейду. Можна також використовувати олію. Для м'яколистяних порід (береза, осика), що викликають великі труднощі при виділенні та вимірі річних кілець, пропонується використовувати такі розчини: розчин марганцівки, соди, параамінофенолу.

Студентам пропонується можливість на наявних зразках (сосна, дуб, ясен, береза) простежити ефективність виявлення структури річних кілець різними речовинами: вода, крейда, олія, розчин марганцівки різної концентрації. Відібрані з різних дерев зразки (керни) деревини, якщо вони протягом 1–2 діб не аналізуються, втрачають натуральну вологість і коротшають у середньому на 3–5 % початкової довжини. Такі зразки перед виміром розмочуються у воді. Тоді вони стають довшими за зразки, що мають натуральну вологість, на 1–2 %. Зміна довжини керна в таких межах не впливає на точність результатів вимірів (Бітвінскас, 1974). Вологі зразки мають яскравіше забарвлення. Їхня поверхня краще зачищається. Зачищення кернів проводиться гострим лезом у напрямку від кори до центру зразка. При обрізанні кернів слід бути дуже уважним і обережним: не застосовувати занадто великого зусилля при тиску на лезо, не заглиблювати лезо занадто сильно в деревину, щоб уникнути зламу леза, порізу пальців, зламу дуже крихких кернів деревини. Зручно використовувати канцелярський ніж-лезо. Поверхню кернів зачищають поперек волокон деревини.

Якщо для вимірювання використовуються спиля дерев, вони зачищаються гостро відточеною стамескою від кори до центру спилу за вибраним напрямом вимірювань або шліфуються на високошвидкісному деревообробному верстаті. Якість очищення гарантує виявлення надзвичайно вузьких кілець, які часто мають всього один або два ряди клітин (рис. 2.3).



А) Дуб



Б) Сосна

Рис. 2.1. Керни дуба звичайного та сосни звичайної

2.2 Датування

Як зазначено вище, формування річного кільця складається з двох етапів: формування ранньої (весінньої) і пізньої (літньої) деревини. Границя між шарами ранньої та пізньої деревини у хвойних легко визначається візуально. У більшості випадків перехід ранньої деревини в пізню досить різко виділяється більш темним коричневим кольором пізньої деревини. Вимірювання, крім загальної ширини річного кільця, окремо ширини шару пізньої деревини дає важливу додаткову інформацію щодо радіального приросту дерев.

Датування та вимірювання річних кілець (шарів) деревини ускладнюють «фальшиві кільця»: розшарування, розмитість шару пізньої деревини; смужки більш щільної деревини, яка є фальшивим кільцем, смужки підгнилої, потемнілої деревини. Це явище пов'язано з несприятливими умовами росту дерев (метеорологічними умовами, антропогенним впливом).

Виявлення «фальшивих кілець» вимагає певних навичок, навіть інколи можливе тільки за допомогою спилів дерев або еталонних дендрошкар. У будь-якому випадку ускладнень при датуванні і вимірюванні ширини річних кілець слід звернутись до викладача.

Для датування та вимірювання ширини річних кілець використовується вимірювальна лупа або мікроскоп (біокулярна лупа) МБС-1, МБС-9 та ін., оснащений окулярмікрометричною шкалою. Можна застосовувати різні методи датування річних кілець: візуальний, побудова скелетних графіків, побудова напівлогарифмічних діаграм (Матвеев, 2001). Найбільш простим і зручним візуальним методом датування є огляд змінності кілець під збільшеним приладом (Шиятов, 1973). Виявляють зразки, в яких є фальшиві кільця та кільця, які випали, і визначають їх розташування. На зачищеній поверхні спилу або керну кільце кожного десятиліття (1990, 1980, 1970 та ін.) маркується однією точкою, кожного п'ятидесятиріччя (1950) – двома, кожного сторіччя (2000) – трьома. Точки зручніше ставити в більш широкій частині річного кільця: у сосні це світла рання деревина, у дуба – темна, щільна пізня деревина. Для маркування можна використовувати

хімічний карандаш, капілярну ручку, шарикову ручку тощо. Якщо відомо рік і місяць взяття зразка (рік формування зовнішнього кільця), то датування решти кілець проводиться за допомогою зворотнього відрахунку (рис. 2.3).

При проведенні перехресного датування екстремальні величини приросту, а також кільця, що містять патологічні структури (морозобійні, світлі та хибні кільця та ін.), використовуються як характерні роки (pointer years), що дозволяють перевіряти правильність перехресного датування. Найбільш значущими є вузькі кільця, які сформувалися в так названі реперні роки, тобто в несприятливі за кліматичними умовами роки у більшості дерев, які зростали одночасно і в однорідному за кліматичними умовами районі.

За наявності фальшивих кілець та тих, що випали, синхронність у мінливості приросту між деякими відрізками, що порівнюються, хронологій порушується, а положення реперних кілець зміщується на один рік і більше.

Фальшиве кільце або флуктуація щільності деревини відрізняється від істинного кільця відсутністю кордону між шарами пізньої та ранньої деревини, а також тим, що воно зазвичай простежується не по всьому колу річного шару приросту, тому з дерева завжди краще брати два і більше кернів. Таке кільце досить легко встановлюється при розгляді зовнішніх меж потемніння при 20-кратному збільшенні.

У особливо несприятливі для життєдіяльності дерев роки відбувається значне зниження діяльності камбію на підставі стволів. У таких випадках говорять про відсутність кільця в певному місці стовбура – це «кільце, що випало». Особливо це виражено у дерев, що ростуть в екстремальних місцях проживання. Наявність фальшивих кілець, що випали, може бути виявлено за допомогою програми TSAPWin, яка дозволяє розглядати на екрані криві зміни показників приросту у великої кількості дерев, зрушувати криві на різне число років, вставляти та видаляти кільця. Якість датування можна оцінити за допомогою Cofecha (Holmes, 1995), пакету dplR (Bunn, 2008).

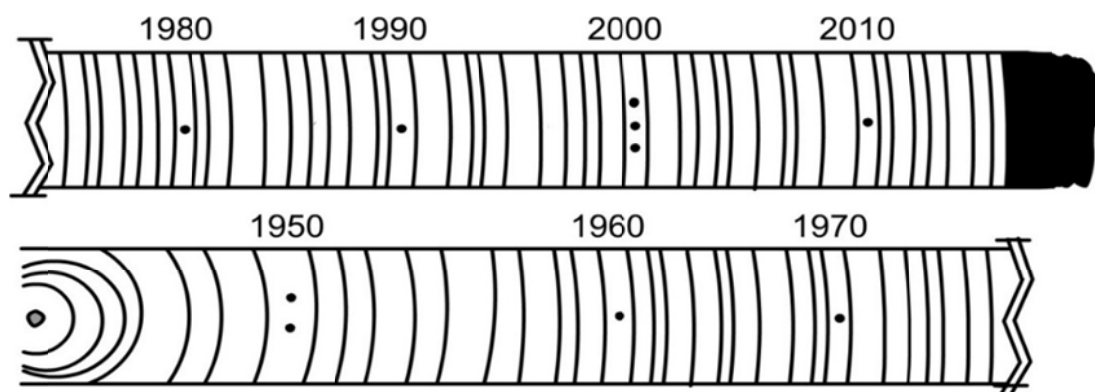


Рис. 2.3. Схема маркування річних кілець на керні, зовнішнє кільце сформувалося у 2017 році

У тому випадку, коли візуальне датування ускладнено внаслідок незначної мінливості або великої кількості фальшивих кілець та тих, які випали, будують і порівнюють графіки ширини річних кілець (рис. 2.4, 2.5).

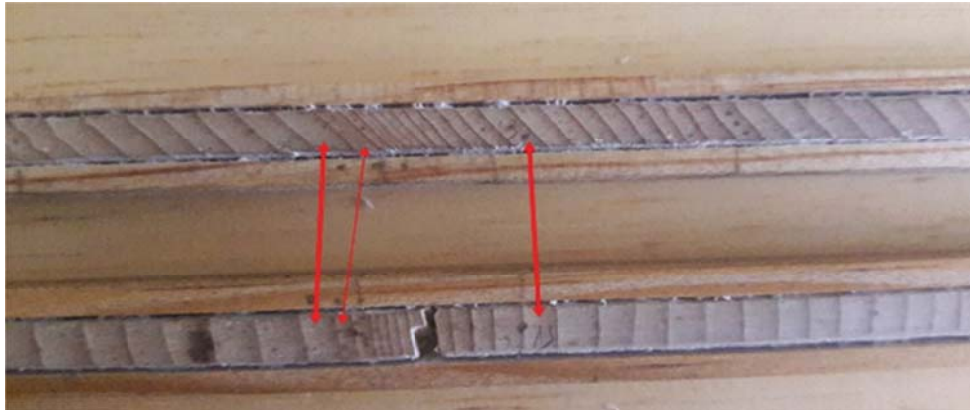


Рис. 2.4 Перехресне датування двох зразків *Tsuga demosa* в Бутані (Джерело: Yeshey Khandu, 2016)

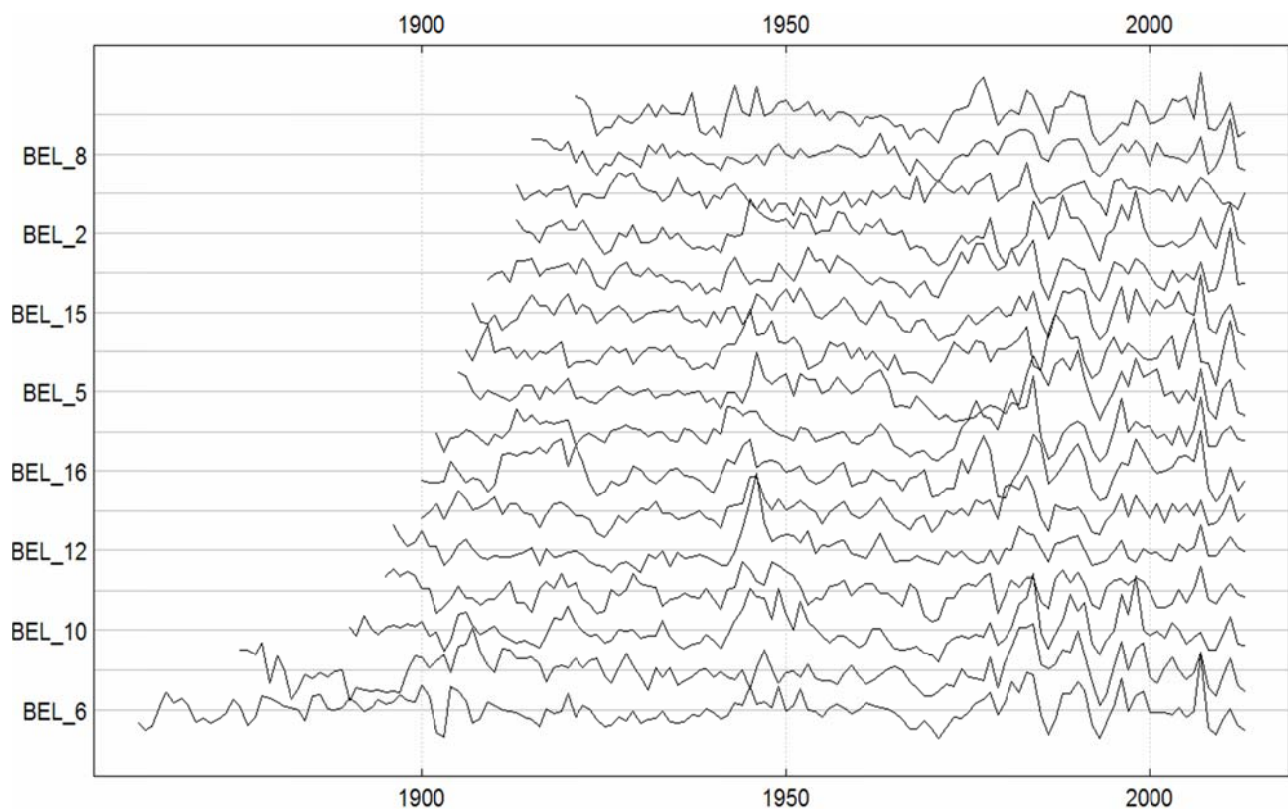


Рис. 2.5 Порівняння 12 деревно-кільцевих хронологій

2.3 Вимірювання шарів ранньої та пізньої деревини

Ширина річних кілець може бути виміряна під біноклярним мікроскопом МБС. Один великий поділ шкали дорівнює 1 мм, один маленький поділ – 0,1 мм. Вимірювання проводиться з точністю до 0,05 мм. Важливо точно визначити межі річного кільця певного року і ранньої та пізньої деревини. Вимірювання слід проводити від периферії до центру зразка, а починати з останнього (зовнішнього) кільця. Якщо зразки відбиралися

протягом вегетаційного періоду (під час формування річного кільця), то останнє кільце вимірюється, але в подальші розрахунки не включається. Ширина річних кілець вимірюється перпендикулярно до річних шарів.

Віковий бур не завжди потрапляє в серцевину дерева, а проходить на деякій відстані від неї. На таких зразках можна використовувати «косі» річні кільця біля центру зразка, обов'язково вимірюючи їх перпендикулярно до річних шарів. Дані вимірювань округляються до десятих часток міліметра і заносяться до таблиці.



Рис. 2.5 Прилад Lintab для вимірювання шарів деревини

Роботи з датування та вимірювання ширини річних кілець можуть проводитись на сучасному вимірювальному обладнанні, сумісному з персональним комп'ютером, з відповідним пакетом прикладних програм – вимірювальний комплекс LINTAB-6 з програмою TsapWin (Rinn, 2011) виробництва німецької фірми Rinntech (рис. 2.5).

Досліджуваний дендрохронологічний зразок розміщують на робочому столі приладу. Пористий матеріал, яким покритий робочий стіл, забезпечує стаціонарне положення зразка на поверхні, перешкоджає його ковзанню та випадковим зсувам. Дослідник спостерігає поверхню зразка у біноклярний мікроскоп. Шкала, нанесена на один із окулярів мікроскопа, дозволяє вести вимірювання зразка. Вимірювання виконуються наступним чином: обертанням рукоятки робочий стіл та розташований на ньому зразок зміщуються щодо очей спостерігача. Щоразу, коли візирна лінія окуляра перетинає межу річного кільця, дослідник натискає клавішу миші, і прилад фіксує ширину річного кільця. Графік мінливості річних кілець відображається на моніторі комп'ютера.

Існують також програми, які дозволяють вимірювати ширину річних кілець на цифрових зображеннях (фотографіях) кернів (Windendro, Coorecorder CDendro та ін.).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Мета роботи: ознайомитись з різними способами виявлення структури річних кілець, освоїти методику підготовки зразків деревини до аналізу, датування та вимірювання ширини річних кілець. Освоїти практичні навички вимірювання загальної ширини річних кілець та пізньої деревини на поперечному зрізі датованих зразків (спилів, кернів) деревини (сосни, дуба).

Обладнання: бурові зразки дерев хвойних та листяних порід, леза, мікроскоп, зразки деревини, мікроскоп, комп'ютер, канцелярські ножі, ємність для води, вимірювальні лупи, мікроскопи МБС-1, МБС-9, ЛНТАБ.

Завдання: Виміряти ширину шарів деревини, використовуючи доступні прилади.

1. Побудувати графіки.
2. Заповнити таблицю.

Форма таблиці для запису дендрохронологічних даних (ширини річних кілець і т. д.)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1910										
1920										
1930										
1940										
1950										
1960										
1970										
1980										
1990										
2000										
2010										

Контрольні питання:

1. Які є способи зачистки поверхні керна?
2. Навіщо роблять контрастування зразків?
3. Які існують прийоми попереднього датування та маркування річних кілець?
4. Які основні засади перехресного датування?
5. У чому відмінність відносного та абсолютного датування?
6. Яка точність виміру ширини річних кілець?
7. Що таке «фальшиве кільце» і «кільце, що випало»?
8. Визначення реперного року.

Практична робота № 3. Деревно-кільцеві хронології. Стандартизація

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок середніх значень радіального приросту для насаджень

Середні значення радіального приросту розраховуються для насаджень однієї породи, однакового віку, одного типу лісорослинних умов. Для розрахунку середніх значень (i_{sr}) застосовується формула (Бітвінський, 1974):

$$i_{sr} = \sum_{j=1}^n i_j / n,$$

де n – кількість зразків,
 i – ширина річних кілець,
 j – календарний рік,

тобто по кожному календарному року підсумовується ширина річних кілець всіх наявних зразків і ділиться на число зразків. Розрахунки проводяться з точністю до 0,01 мм.

Наведено приклад деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної в насадженнях Лівобережного Лісостепу (рис. 3.1). Графіки побудовано в Excel.

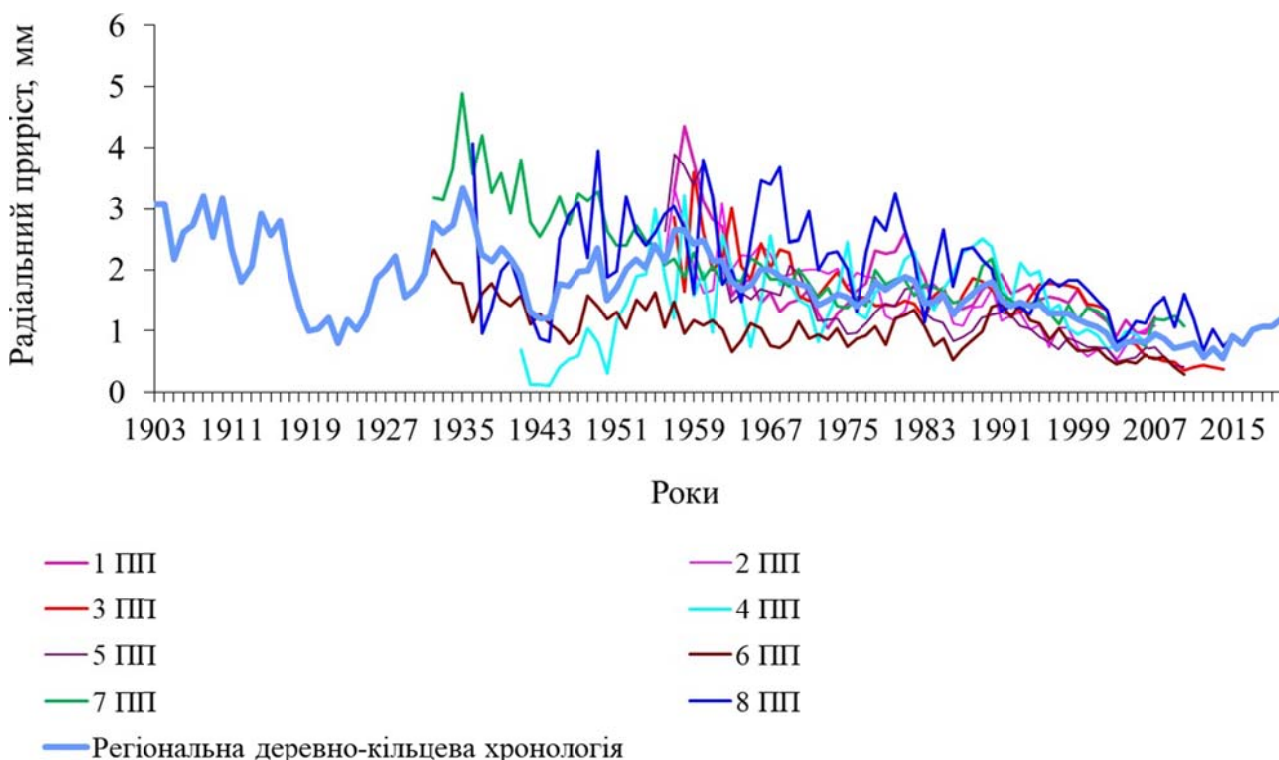


Рис. 3.1. Динаміка локальних і регіональної деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної в насадженнях Лівобережного Лісостепу

Якщо у досліджуваному насадженні є кілька вікових груп дерев, їхні середні багаторічні криві радіального приросту слід розраховувати окремо.

3.2 Віковий тренд. Стандартизація

Ширина річних кілець дерев зменшується з віком. У загальному вигляді залежність радіального приросту дерев від віку часто описується гіперболічною кривою або прямою (рис. 3.2).

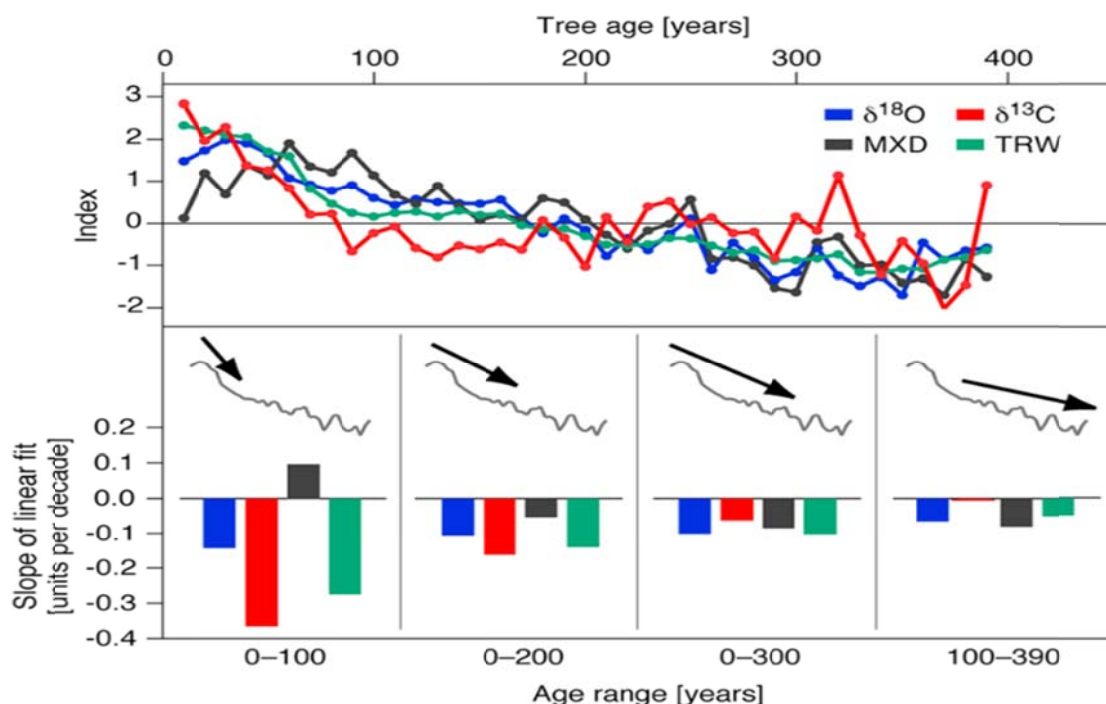


Рис. 3.2. Віковий тренд у деревно-кільцевих хронологіях

Цю лінію зазвичай називають «нормою приросту залежно від віку», «віковою лінією», «лінією вікового тренду» або «віковим трендом» дерева (деревостану). При аналізі динаміки приросту в абсолютних одиницях (мм) слід враховувати наявність вікового тренда.

Ясно виражений віковий тренд у динаміці приросту, що виражається в абсолютних одиницях (мм), – одна з важливих характеристик здорового деревостану. У соснових деревостоях Центрального лісостепу інтенсивне гіперболічне падіння приросту спостерігається до 30–40-річного віку, потім йде плавне зменшення у вигляді лінії, що прямує до горизонталі.

Стандартизація даних вимірювань виключає віковий тренд дерево-стою, і мінливості приросту, вираженого у відносних індексах (%). Коливання приросту відбуваються навколо середньої лінії 100 %-го приросту.

У дендрохронологічних дослідженнях для усунення різниць у темпах росту дерев (виключення фактора віку), виявлення впливу кліматичних факторів та приведення даних вимірювань радіального приросту різних деревно-кільцевих серій до порівнянних величин застосовують процес стандартизації. Результати вимірів ширини річних кілець виражають у вигляді індексів через відношення кожного виміру до встановленого

значення «норми приросту» для цього року. Під «нормою приросту» розуміють середні багаторічні вікові криві, розраховані різними методами.

Найбільшого поширення (попри низку істотних недоліків) отримав метод ковзного згладжування середніх величин. При розрахунку норми приросту цим методом використовується 3-, 5-, 11-, 21-, 31-річне ковзне згладжування. Чим довше період ковзного опосередкування (m), тим плавнішою кривою буде норма приросту. У загальному вигляді метод ковзного згладжування середніх величин можна виразити наступним чином: ряд $a_1, a_2 \dots a_n$ перетворюється на ряд

$$1/m \sum_{i=1}^m a_i, 1/m \sum_{i=2}^{m+1} a_i, \dots, 1/m \sum_{i=n+1-m}^n a_i \quad \text{при } m < n.$$

Наприклад, для 11-річного згладжування:

$$1/11 \sum_{i=1}^{11} a_i, 1/11 \sum_{i=2}^{12} a_i, \dots, 1/11 \sum_{i=n-10}^n a_i, \quad \text{или} \quad i_{s(n+5)} = \sum_{i=n-10}^{n+10} i / 11,$$

де a_i – фактична ширина річного кільця;

$i_{s(n+5)}$ – згладжена ширина річного кільця;

n – порядковий номер виміру ширини річного кільця для кожного календарного року.

Для 11-річного згладжування сума перших 11 вимірів річних кілець ділиться на 11 і є середньою нормою приросту 6-го року, що входить до розрахунку. Далі товщина 1-го річного кільця із суми 11 річних кілець віднімається і додається 12-те річний кільце, потім віднімається 2-ге і додається 13-те кільце, а середня багаторічна ширина річного кільця відноситься послідовно до 7-го, 8-го року і т. д.

Метод ковзного згладжування можна виразити і таким чином (наприклад, для 5-річного згладжування):

$$i_{s(n+2)} = \sum_{i=n-4}^{n+4} i / 5, \quad \text{или} \quad c_1 = (a + b + c + d + e) / 5, n$$

де a, b, c, d, e – послідовно змінюються виміри річних кілець;

c_1 – згладжена ширина річного кільця.

При розрахунку норми приросту (вікової кривої) методом ковзного згладжування втрачаються перші та останні виміри дендрохронологічного ряду. При використанні 3-річних ковзних – по одному року з кожного боку, 11-річних – по 5 років, 21-річних – по 10 років. Якщо початковими річними кільцями, що знаходяться поблизу серцевини, іноді доцільно знехтувати, то дані останніх вимірів завжди є дуже цінними, їх втрата є одним з серйозних недоліків використовуваного методу. В даному випадку можна, наприклад, обчислити крайні точки середньої багаторічної за меншою кількістю річних кілець (Бітвінскас, 1974).

Універсальна формула для розрахунку відносних індексів приросту:

$$I = i_f / i_s \times 100 \%,$$

де I – відносний індекс, %;

i_f – фактична ширина річного кільця;

i_s – згладжена ширина річного кільця (або норма приросту цього року, розрахована будь-яким коректним способом).

Для прикладу наведено графік, де індекси отримано шляхом 3-річного згладжування деревно-кільцевої хронології гіркокаштана звичайного, який росте в алейних насадженнях у м. Львів (рис. 3.3).

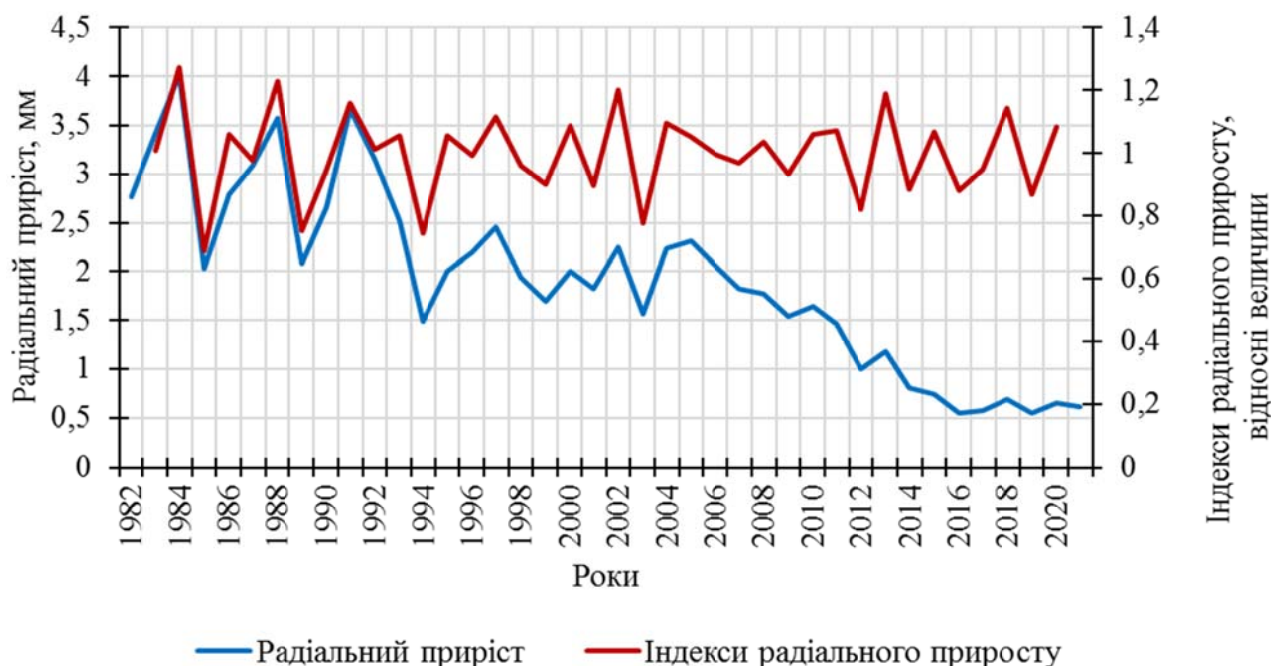


Рис. 3.3. Динаміка радіального приросту та індексів гіркокаштана звичайного в м. Львів

Для розрахунку відносних індексів можна використовувати редактор електронних таблиць MS Excel, а також ряд спеціалізованих програм (ARSTAN, TSAP-Win та ін.).

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Мета роботи: Засвоїти метод ковзного згладжування та розрахунок відносних індексів приросту.

Обладнання: персональні комп'ютери, мікрокалькулятори, редактор електронних таблиць Microsoft Excel.

Завдання: 1. Використовуючи таблицю з різними варіантами, побудувати графіки радіального приросту окремих дерев та обчислених відповідних індексів радіального приросту в програмному пакеті Excel.

2. Визначити роки мінімального та максимального приросту (реперні роки).

Контрольні питання

1. Визначення вікового тренду.
2. Що таке індекс приросту?
3. Які основні методи індексування приросту?

Таблиця 3.1

Варіанти величин шарів деревини, мм

Роки	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	0,43	0,42	0,58	0,44	0,44	0,42	0,36	0,41	0,37	0,65	0,62	0,55	0,62	0,41	0,60
2	0,60	0,58	0,63	0,58	0,40	0,44	0,42	0,49	0,54	0,47	0,70	0,58	0,63	0,59	0,57
3	0,35	0,5	0,525	0,6	0,4	0,35	0,25	0,295	0,31	0,35	0,55	0,275	0,25	0,22	0,32
4	0,55	0,59	0,61	0,61	0,68	0,51	0,53	0,58	0,58	0,76	0,88	0,84	0,81	0,68	0,70
5	0,71	0,69	0,80	0,78	0,70	0,61	0,76	0,65	0,40	0,75	0,85	1,01	0,77	0,74	0,71
6	0,40	0,40	0,68	0,55	0,40	0,50	0,35	0,40	0,30	0,53	0,53	0,60	0,43	0,28	0,38
7	0,5	0,42	1,27	0,64	0,75	1,59	0,49	0,73	1,32	0,74	0,97	1,16	0,63	0,74	0,62
8	2,19	0,45	3,42	4,1	2,18	1,37	1,63	2,85	1,55	1,85	1,85	1,37	1,54	1,73	1,29
9	2,69	0,87	4,69	4,74	2,93	2,96	2,12	3,58	2,87	2,59	2,82	2,53	2,17	2,47	1,91
10	0,47	0,04	0,23	0,5	0,43	0,25	0,52	0,49	0,51	0,41	0,48	0,48	0,47	0,77	0,68
11	1,3	0,65	0,15	0,53	0,52	0,60	0,89	0,65	0,75	0,85	0,84	0,67	0,98	0,92	1,04
12	1,77	0,69	0,38	1,03	0,95	0,85	1,41	1,14	1,26	1,26	1,32	1,15	1,45	1,69	1,72
13	0,9	0,41	0,52	0,64	0,67	0,5	0,83	0,62	0,75	0,52	0,45	0,45	0,62	0,66	0,84
14	0,78	0,72	0,9	0,82	0,96	0,91	1,02	1,12	0,82	0,92	0,64	0,93	0,92	0,9	0,87
15	1,68	1,13	1,42	1,46	1,63	1,41	1,85	1,74	1,57	1,44	1,09	1,38	1,54	1,56	1,71

Практична робота № 4. Аналіз деревно-кільцевих хронологій

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

У дендрохронології прийнята лінійно-агрегована модель, що відображає формування ширини річного кільця:

$$R_t = A_t + C_t + D_1 t + D_2 t + E_t$$

де A – тенденція росту, викликана процесом старіння;
 C – вплив кліматичних факторів;
 D_1 – ендегенні впливи, наприклад, плодоношення;
 D_2 – екзогенні впливи, наприклад, з боку шкідників, забруднення тощо,
 E – випадкова складова.

Формула ілюструє, що загальний сигнал кожного року t може бути розділений на вплив декількох природних і антропогенних факторів, що впливають на дерево. Всі вони можуть впливати на приріст як позитивно, так і негативно. З аналізу цієї формули стає зрозумілим основне завдання проведення екологічних досліджень – виділити «слід», залишений фактором, який нас цікавить, за допомогою поділу внесків компонент радіального приросту у вимірних величинах річних кілець R_t . Відповідно до цієї моделі індекс приросту відповідає сумі компонент.

Для оцінки мінливості індексів приросту використовуються традиційні статистичні характеристики: середнє, стандартне відхилення, дисперсія, коефіцієнт варіації та ін. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Описова статистика деревно-кільцевої хронології клена сріблястого

Періоди							
1970–1989 рр.				1990–2009 рр.			
m, мм, ±похибка	S _{td.dev}	δ ²	V, %	m, мм, ±похибка	S _{td.dev}	δ ²	V, %
5,66±0,25	1,16	1,35	20,58	3,32±0,23	1,02	1,08	31,38

Під коефіцієнтом чутливості мається на увазі відносна величина міжрічної мінливості приросту в серіях річних кілець індивідуальних хронологій. Він обчислюється шляхом знаходження абсолютного значення різниці сусідніх значень ширини кілець, поділеної на їхню середню величину за формулою. Цей коефіцієнт – один із найважливіших показників, оскільки з його допомогою можна відбирати види деревних рослин та місцеперебування, найбільш придатні для дендрохронологічного аналізу. Чим вище коефіцієнт чутливості, тим сильніший кліматичний сигнал міститься в деревно-кільцевих хронологіях. У природі важко зустріти дві ділянки лісу, однакові за історією виникнення і формування, характером

зростання і розвитку, тому при ідентичній реакції співтовариств рослин, на зміну природного середовища, реакція в кожному конкретному випадку завжди має свої індивідуальні риси.

Порівняно низька синхронність зміни величини радіального приросту свідчить про наявність інтенсивного поділу дерев у межах окремих рангів домінування. Максимальний рівень диференціації та мінливості спостерігається у роки з оптимальним поєднанням факторів середовища. Тим самим підтверджується положення про те, що з поліпшенням умов зростання зростає рівень конкуренції, що призводить до посилення розшарування популяції деревних рослин на цінотично неоднорідні групи.

Для виявлення взаємозв'язків між радіальним приростом і кліматом необхідно, по-перше, методом стандартизації, тобто створенням деревно-кільцевих індексних хронологій за допомогою програми ARSTAN, або методом ковзних (3-річними, 5-річними, або 11-річними ковзними) вилучити вікові тренди з індивідуальних деревно-кільцевих серій, що дає змогу порівняти дерева з насаджень різного віку, знайти відгук радіального приросту на вплив умов довкілля та посилити кліматичний сигнал в деревно-кільцевих хронологіях. По-друге, за допомогою програм RESPO, PRECON або кореляційним аналізом виявити вплив кліматичних чинників на приріст. Аналіз кліматичного відгуку узагальнених хронологій проводиться за допомогою розрахунку коефіцієнтів кореляції (R) між індексами приросту і щомісячними значеннями опадів і температури повітря за період, упродовж якого можливий вплив кліматичних факторів на річний радіальний приріст деревини (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Кореляційні зв'язки між індексними деревно-кільцевими хронологіями для деревостанів із різним рівнем пошкодження викидами Зміївської ТЕС та кліматичними чинниками за десятиліттями (1969–2008 рр.)

Кліматичні показники	Відстань від ЗТЕС, км	1969–1978 рр.	1979–1988 рр.	1989–1998 рр.	1999–2008 рр.
1	2	3	4	5	6
Сума опадів за рік, мм	5,5	0,57	0,55	-0,41	-0,22
Сума опадів за рік, мм	8,5	0,67⁺	0,04	0,05	-0,20
Сума опадів за рік, мм	Контроль	-0,18	-0,11	0,01	-0,56
Сума опадів за III–X місяці, мм	5,5	0,43	0,85*	0,07	-0,20
Сума опадів за III–X місяці, мм	8,5	0,72⁺	0,05	0,20	-0,39
Сума опадів за III–X місяці, мм	Контроль	-0,09	0,13	0,15	-0,69⁺
Середньорічна температура, t°C	5,5	-0,43	0,05	0,18	0,09
Середньорічна температура, t°C	8,5	-0,82*	0,47	0,61	0,28
Середньорічна температура, t°C	Контроль	-0,17	0,14	0,47	0,37

1	2	3	4	5	6
Середні температури за IV–VIII місяці, t°C	5,5	-0,51	0,12	-0,51	0,09
Середні температури за IV–VIII місяці, t°C	8,5	0,79**	0,23	-0,45	-0,10
Середні температури за IV–VIII місяці, t°C	Контроль	-0,13	0,02	-0,52	0,23
Середні температури за III місяць, t°C	5,5	0,51	0,33	0,28	-0,27
Середні температури за III місяць, t°C	8,5	0,24	0,64⁺	0,69⁺	0,27
Середні температури за III місяць, t°C	Контроль	-0,22	0,02	0,70⁺	0,41
Середні температури холодного періоду, t°C ***	5,5	0,06	0,04	0,47	0,02
Середні температури холодного періоду, t°C, ***	8,5	-0,23	0,36	0,79**	0,19
Середні температури холодного періоду, t°C, ***	Контроль	-0,30	0,34	0,78**	0,22

Примітки: ** – тіснота зв'язку вірогідна на 0,001 рівні значущості; **Тіснота** – правильний термін зв'язку вірогідна на 0,01 рівні значущості; ⁺ – тіснота зв'язку вірогідна на 0,05 % рівні значущості; *** – середні температури холодного періоду (за період від попереднього грудня до поточного березня).

Вплив антропогенних факторів на лісові екосистеми відбивається, залежно від інтенсивності та тривалості впливу, на стані всіх її компонентів. Одним з найбільш чутливих індикаторів є радіальний приріст деревостою, особливо хвойних (сосни звичайної). Аналіз антропогенних змін приросту деревини можливий лише за належної вивченості кліматично обумовленої мінливості приросту соснових деревостанів у регіоні. Доцільно вивчити зміни середнього радіального приросту, режим його коливань для отримання цінної інформації про процес функціонування деревостанів у зоні впливу антропогенних факторів

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Мета: провести статистичну обробку даних та виявити вплив кліматичних чинників на приріст дерев.

Обладнання: комп'ютери та пакет програм Excel.

Завдання: 1. Провести статистичний аналіз деревно-кільцевих хронологій, які отримано на попередньому занятті.

2. Виявити кореляційним аналізом зв'язки між індексами радіального приросту, які обчислено на попередньому занятті, та кліматичними чинниками: середньомісячними опадами та середньомісячними температурами,

які наведено нижче в таблицях. Використати метеодані (табл. 4.3, 4.4). Оформити у вигляді таблиці. Приклад наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.3

Середньомісячні температури за даними метеостанції м. Харків

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2005	-0,2	-5,7	-2,2	10,6	17,7	18,0	20,5	20,7	16,0	8,8	2,8	-1,1
2006	-10,1	-9,1	0,2	9,2	15,3	20,6	20,4	22,5	15,2	9,8	2,6	1,0
2007	1,2	-4,1	4,6	8,5	18,3	20,6	22,3	23,0	15,2	9,7	0,5	-1,8
2008	-6,0	-1,4	5,7	11,4	14,1	18,9	21,9	22,2	14,06	10,5	3,4	-2,5
2009	-4,8	-2,1	1,7	7,05	17,2	21,0	23,06	19,03	16,5	10,3	4,5	-3,2
2010	-9,1	-4,1	0,3	10,4	17,7	22,8	24,7	29,1	15,3	5,7	7,3	-2,2
2011	-6,7	-8,5	-0,3	8,6	17,8	21,1	24,1	21,3	15,6	7,8	0,6	1,6
2012	-4,5	-9,9	-0,4	13,8	19,8	21,7	24,7	21,9	16,6	10,8	3,7	-5,1
2013	-3,3	-1,2	-0,8	11,5	20,5	22,2	21,2	21,1	12,3	8,1	5,2	-1,7
2014	-6,9	-1,9	5,2	9,5	18,8	18,6	22,4	22,2	15,3	6,2	0,6	-2,2
2015	-2,8	-2,4	3,3	9,1	16,2	21,4	21,4	21,7	18,6	5,8	4,1	0,7
2016	-7,1	1,0	3,5	12,2	15,6	22,7	20,3	22,3	14,23	6,3	6,3	-4,5
2017	-5,7	-3,8	5,0	8,9	14,6	19,6	21,4	23,4	17,0	8,0	2,2	2,8
2018	-0,7	-4,9	-3,4	11,4	18,5	20,4	22,6	23,1	17,9	10,4	-0,5	-3,2
2019	-5,2	-1,2	3,7	10,4	17,4	23,6	20,7	21,2	16,1	10,6	3,4	1,6

Таблиця 4.4

Середньомісячні суми опадів за даними метеостанції м. Харків

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2005	60,2	47,7	25,8	13,8	58,4	77,8	116,2	66,0	5,3	60,8	79,1	73,6
2006	44,0	45,9	62,2	19,1	52,7	101,6	36,0	43,5	57,9	29,3	50,7	10,2
2007	62,2	17,6	18,6	75,0	63,1	91,2	34,1	45,5	65,4	30,0	57,3	22,7
2008	24,8	11,4	40,3	80,4	25,4	30,0	49,9	14,5	52,3	19,8	15,7	24,2
2009	29,0	72,1	69,6	4,9	43,4	26,5	49,7	15,4	28,2	77,2	43,1	106,9
2010	63,1	65,5	23,8	13,4	63,0	26,0	102,2	14,7	121,3	72,7	39,9	58,1
2011	31,0	17,0	0,0	48,3	28,3	122,0	131,0	10,9	12,7	27,0	7,6	53,5
2012	49,0	27,9	20,3	10,9	48,3	33,5	19,8	89,2	8,9	116,6	14,7	58,7
2013	51,0	18,0	17,2	7,6	41,2	37,8	84,1	51,1	122,3	49,5	15,7	13,0
2014	46,0	18,3	12,4	39,6	55,1	137,2	40,4	46,2	36,1	16,1	9,4	37,8
2015	27,2	51,8	42,2	61,5	34,1	72,4	99,3	2,0	7,4	4,8	61,5	55,1
2016	75,9	26,2	43,2	46,0	148,1	53,8	87,9	63,2	14,3	44,7	82,8	50,5
2017	36,5	21,4	24,1	37,1	33,0	17,5	38,4	11,2	23,4	49,5	53,1	74,4
2018	45,0	30,0	96,8	13,7	27,9	38,4	50,8	0,0	39,4	20,3	20,6	73,7
2019	57,4	8,9	12,4	39,6	68,1	18,3	64,3	5,1	28,7	72,4	19,8	27,9

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна література

1. Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Ткач О. М., Борисенко В. Г., Тимошук І. В., Бологов О. Ю. Пірогенна трансформація лісів України : монографія. Харків : ТОВ Планет-Прінт, 2021. 286 с.
2. Коваль І. М. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.) Лівобережного Лісостепу // Лісівництво і агролісомеліорація. 2020. № 137. С. 72–81.
3. Коваль І. М. Реакція радіального приросту *Quercus robur* L. на зміни клімату Полісся та Лісостепу // Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2020. № 20. С. 64–73.
4. Коваль І. М., Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Депонування вуглецю в пірогенно пошкоджених соснових молодняках Лівобережного Лісостепу // Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. № 133. С. 78–84.
5. Коваль І. М. Біоіндикація стану насаджень ясена звичайного Західного Лісостепу на прикладі деревостану Ярунського лісництва ДП «Новоград-Волинське ДЛМГ» // Науковий вісник НЛТУ України. 2016. № 26 (8). С. 81–87.
6. Коваль І. М. Дендрохронологічні дослідження в Україні : посібник українського хлібороба // Науково-практичний збірник. 2016. Том. 2. С. 282–284.
7. Коваль І. М. Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України : монографія. Х. : Мачулін, 2023. 252 с.
8. Коваль І. М. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології *Pinus sylvestris* L. у Лівобережному Лісостепу // Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2021. № 22. С. 188–198.
9. Коваль І. М., Бологов О. В., Нусбаум С. А., Юзвинський Г. А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району // Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. № 126. С. 202–211.
10. Коваль І. М., Борисова В. Л. Реакція на зміни клімату радіального приросту ясена звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу // Науковий вісник НЛТУ України. 2019. №29 (2). С. 53–57.
11. Коваль І. М., Воронін В. О. Реакція радіального приросту *Pinus sylvestris* L. на зміну клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу // Лісівництво та агролісомеліорація. 2019. № 135. С. 140–148.
12. Коваль І. М., Костяшкін Д. С. Вплив клімату та рекреації на формування шарів річної деревини ранньої та пізньої форм *Quercus Robur* L. у зеленій зоні м. Харкова // Науковий вісник НЛТУ України. 2015. № 25 (6). С. 52–58.
13. Кошеляєва Я. В., Коваль І. М. Радіальний приріст берези повислої, ураженої бактеріальною водяною, в зеленій зоні м. Харкова // Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. № 130. С. 208–214.
14. Dendrochronology and Climate https://bookdown.org/AndrewA/_book1/laboratory-4-dendrochronology-and-climate.html
15. Dukpa, D., Tenzin, K., Krusic, P. J., Khandu, Y., & Wangchuk, S. (2017). Dendrochronology manual. Ugyen Wangchuk Institute for Conservation and

Environmental Research. https://www.uwice.gov.bt/admin_uwice/publications/publication_files/Books-Manuals/2017/Dendro%20manual.pdf.

16. Koval I., Maksymenko N. (2020): The radial increment of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) under climate change, Ukraine. *J. For. Sci.*, 66: 288-298.

17. Koval I. M., Sydorenko S.V., Sydorenko S. H., Maksymenko Nadiya V., Cherkashyna Nadiya I. (2020). Differences in response of radial growth of pedunculate oak (*Quercus Robur* L.) to climate change in shelterbelt and forest stand in the forest-steppe zone of Ukraine. *Forestry ideas*, vol. 26 (1): 224-235.

18. Koval Iryna, Sydorenko Serhiy (2019). The influence of surface fire on radial and height growth of *Pinus sylvestris* L. in forest-steppe in Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*. vol. 61 (2): 123-134.

19. Kowalski T., Bilanski, P., & Holdenrieder, O. Virulence of *Hymenoscyphus albidus* and *H. fraxineus* on *Fraxinus excelsior* and *F. pennsylvanica*. *Plos One*, 2015. Vol. 10 (10). P. 1–15.

Допоміжна література

20. Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Бологов О. Ю. Рекомендації щодо ведення лісового господарства в умовах антропогенного впливу. Х. : УкрНДІЛГА, 2017. 62 с.

21. Коваль І. М., Воронін В. О. Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2019. № 32. С. 85–94.

22. Dendrochronology: What Tree Rings Tell Us About Past and Present <https://www.environmentalscience.org/dendrochronology-tree-rings-tell-us>.

23. Koval I., Meshkova V., Maksymenko N., Roibu C., and Obolonik I. Assessment of climate change by dendrochronological methods in Polissya. IV International Scientific Congress “Society of Ambient Intelligence – 2021” (ISCASAI 2021). Kryvyi Rih, Ukraine, April 12-16, 2021 Volume 100. Доступ: <https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2021/11/contents/contents.html> https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2021/11/shsconf_iscsai2021_05005.pdf (Web of Science).

24. Koval Iryna. Influence of climate change on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Forest-Steppe, Ukraine. ENVIRO 2021. 25th International scientific conference. June 3-4, 2021. On behalf of the Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia and Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Krakow, Poland.

25. Koval I. M., Bräuning A., Melnik E. E., Voronin V. O. Dendroclimatic research of scots pine in stand of the left-bank forests-steppe of Ukraine // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. № 3–4 (28), 2017. С. 66–73.

26. Lloyd, A.H., Sullivan, P.F., Bunn, A.G. (2017). Integrating dendroecology with other disciplines improves understanding of upper and latitudinal treelines. In: Amoroso, M., Daniels, L., Baker, P., Camarero, J. (eds) *Dendroecology*. Ecological Studies, vol 231. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61669-8_6.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Термін українською	Визначення українською	Термін англійською	Визначення англійською
1	2	3	4
Різка зміна приросту	Зменшення приросту або візуально виділене його різке збільшення в окремо взятій послідовності кілець. Термін вперше введено Швайнгрубером у 1983 році.	abrupt growth change (recent release)	A visually conspicuous reduction of growth or recovery within an individual tree ring sequence.
Абсолютна хронологія	Хронологія, датована в календарних часових одиницях.	absolute chronology	A chronology dated to a calendar date.
Річний приріст	Збільшення об'єму стовбура дерева або запасу стовбурової деревини за один рік.	annual increment	Increase in volume of a tree or a stand during a year.
Осереднена хронологія	Хронологія, усереднена за всіма кривими приросту, отриманими для даного дерева або деревостану.	Averaged growth chronology	Chronology averaged from all the growth curves within a tree or a piece of timber.
Кора	Всі тканини зовні від камбію.	Bark	All the tissues outside the cambium.
Бар'єрна зона	Деревна тканина, продукувана камбієм після поранення дерева. Відрізняється від нормальної ксилеми структурою та хімічним складом.	Barrier zone	Woody tissue formed by the cambium after wounding; it differs from normal xylem as regards structure and chemical composition.
Вибурити керн	Просверлити стовбур дерева і потім витягнути з бурава керн.	Bore (to)	To pierce the stem of a tree with an increment borer, in order to remove an increment core.
Календарна дата	Дата, яка відноситься до земного літочислення.	Calendar date	Date referring to a terrestrial calendar.
Калібрувальний період	Етап дендрокліматичного аналізу, в якому модель взаємозв'язку між річним приростом і кліматичними чинниками будується у вигляді одномірної або багатомірної регресії. Цей тип моделі відомий як функція відгуку.	Calibration	The phase of dendroclimatic analysis in which a model of the relationship between tree rings and climatic factors is constructed typically by some form of simple or multiple linear regression analysis. This type of model is also known as either a transfer function or a response function.

1	2	3	4
Калюсна тканина	Тканина, утворена паренхімними клітинами навколо поранення рослини.	Callous tissue	Concentration of parenchymal cells around a wound
Камбіальна активність	Інтенсивність та тривалість ділення камбіальних клітин.	Cambial activity	Intensity and duration of cambial cell division.
Камбій	Тонкий шар утворювальної (меристематичної) тканини, яка розташована між вторинною ксилемою та вторинною флоемою. Внаслідок клітинного ділення камбію відбувається наростання вторинної ксилеми зсередини і вторинної флоеми зовні від камбію.	Cambium	Thin layer of meristematic tissue that lies between, and gives rise by active division to, secondary xylem on the inside and secondary phloem on the outside.
Хронологія	Характеристики послідовних річних кілець, усереднених за декількома серіями річних кілець, виражені у вигляді функції часу з плаваючим або абсолютним датуванням.	Chronology	Internally consistent tree-ring characteristics averaged from several tree-ring series and expressed as a function of timescale, floating or absolutely dated.
Побудова (створення) хронології	Містить датування та обробку параметрів річних кілець на великій кількості дерев з географічного або екологічного місця, а потім створення хронології на основі отриманих результатів.	Chronology building	The dating and processing of ring characteristics in many trees from a given geographical or ecological unit to produce a chronology.
Ефект освітлення	Різке збільшення приросту при звільненні дерева від конкуренції (після проріджування насаджень).	Clearing effect	Abrupt growth release in a tree which has been freed from competition.
Кліматична діаграма	Графічне представлення середньомісячних кліматичних даних та коротких екстремальних кліматичних явищ.	Climate diagram	Graphic representation of monthly average climatic data and short-term extreme climatic events.
Коренева шийка	Місто з'єднання кореневої системи зі стовбуром, яке відповідає точному розташуванню насіння в момент його проростання.	Collar	Junction point between root system and stem, corresponding to the exact position of the seed when germination occurred.

1	2	3	4
Конкуренція	Активна потреба двох або декількох організмів у ресурсах довкілля (світло, живлення, волога) при дефіциті останніх.	Competition	Active demand by two or more individual organisms for some vital environmental resource in short supply (light, nutrients, water).
Нечуттєвість	Слабка мінливість параметрів послідовності річних кілець, тобто теоретично міжрічні зміни екологічних факторів майже не впливають на ріст окремо взятого дерева.	Complacency	Low variability among consecutive tree-ring parameters (e.g. ring width, maximum density) which theoretically indicates that the growth of a particular tree is relatively unaffected by interannual variations of ecological factors.
Перехресне датування	Процедура відбору подібних змін ширини річного кільця в декількох серіях річних кілець. Дозволяє ідентифікувати точний рік формування кожного річного кільця або географічного місця, звідки було взято дерево.	Crossdating	The procedure of matching variations in ring width or other ring characteristics among several tree-ring series, allowing the identification of the exact year in which each tree ring was formed, or the geographic origin of the tree (in the case of driftwood, traded timber, etc.).
Датувати	(Дендрохронологія). Визначити дату річного кільця візуально, графічним або статистичним методом.	Date (to)	To determine the age of a tree ring, by eye or by graphical or statistical techniques.
Дендро-хронологія	В широкому значенні дендрохронологія – наукова дисципліна щодо датування річних кілець дерев, а також про дослідження інформативного змісту, що міститься в структурі датованих річних кілець. В якості додатків містить проблеми довкілля та проблеми, пов'язані з історією.	Dendro-chronology	In the broadest sense, the science of dating tree rings. It includes investigations of the information content in the structure of dated rings and applications to environmental and historical questions.

1	2	3	4
Дендро-кліматологія	Розділ дендроекології, який використовує здатовані річні кільця для реконструкції та вивчення клімату в минулому та теперішньому часі.	Dendro-climatology	A subfield of dendro-ecology which utilizes dated tree rings to re-construct and study past and present climates.
Дендро-екологія	Розділ дендрохронології, який містить всі розділи науки, які використовують здатовані річні кільця для вивчення екологічних проблем та проблем довкілля: наприклад, для вивчення клімату (дендрокліматологія), водних потоків (дендрогідрологія), геоморфологічних процесів, пожеж, динаміки деревостанів, антропогенних, ізотопних та хімічних впливів (впливу важких металів, дендрохімія) тощо.	Dendro-ecology	A subfield of dendro-chronology which encompasses all the subfields utilizing dated tree rings to study ecological problems and the environment, for example: climate (dendroclimatology), streams (dendrohydrology), geomorphic processes (dendrogeomorphology), glacier movements (dendroglaciology), snow, tectonic processes, fire, forest stand dynamics, anthropogenic inputs, etc.
Дендро-геоморфологія	Розділ дендроекології, який використовує здатовані річні кільця для вивчення процесів геоморфізму, таких як скельні розстріскування, рухомість горних порід, опливні рухи ґрунту тощо.	Dendro-geomorphology	A subfield of dendro-ecology which utilizes dated tree rings to study and *date geomorphic processes such as rock slides, rock movements, soil creep, etc.
Прибрати тренд	Вилучити тренд в серіях параметрів річних кілець, обумовлених будь-яким джерелом, наприклад, довготривалою зміною довкілля, ефектом віку дерев, динамікою деревостану тощо.	Detrend (to)	To remove a trend in a tree-ring series whatever the origin of this trend (long-term environmental change, effects of tree age, stand dynamics, etc.).
Діаметр на висоті грудей	Діаметр дерев, які ростуть, який вимірюється на стандартній висоті від поверхні землі (приблизно 1,3 м).	Diameter at breast height	Diameter of standing trees, taken at a standard height from ground level (approximately 1.30 m).
Викривлення	Деформація та зміщення річних кілець, яке спостерігається на площі перетину зразків деревини з дуже вузькими кільцями та широкими променями.	Distortion	In wood samples with very narrow tree rings and wide rays, deformation and shifting of tree rings which make dating and measurement difficult.

1	2	3	4
Порушення	Зміни умов довкілля, яке обумовлене природними або антропогенними чинниками, такими як пожежа, снігові лавини, грози, спалахи комах, геоморфологічні процеси або лісозаготівлі.	Disturbance	Environmental alterations by natural or anthropogenic factors such as fire, avalanches, storms, insect outbreaks, geomorphic processes or logging.
Сезон покою	Період, коли ріст та розвиток дерев тимчасово зупинено (взимку або у посушливий час).	Dormant season	The period in which growth and development are temporarily suspended in a tree, e.g. in winter or dry periods.
Рання деревина	Частина річного кільця, утвореного клітинами ксилеми на початку сезону росту. Характеризується тонкостінними трахеїдами в деревині голосемінних та багаточисельними крупними сулинами в деревині покрито-семінних.	Earlywood	The xylem cells produced in the tree ring during the early part of the growing season, characterized by large, thin-walled tracheids in Gymnosperms, and numerous large vessels in Angiosperms.
Фальшиве кільце	Додаткова зона приросту з добре помітними межами, яка сформована за один сезон росту. На противагу внутрішньорічній флуктуації щільності, фальшиве кільце не може морфологічно відрізнитися від правильного річного кільця, його можна лише ідентифікувати при перехресному датуванні.	False ring	Additional, apparently complete growth zone with well-marked boundaries, formed within one growing season. Contrary to density fluctuations, false rings cannot be morphologically distinguished from true tree rings, and can only be identified by crossdating.
Реакція приросту	Зміни річного приросту дерев у відповідь на зміни параметрів довкілля.	Growth response	Changes in tree growth in response to environmental parameters.
Ядрова деревина	Внутрішній часто темний шар ксилеми, розташований навколо серцевини дерева, яке росте; в процесі ядроутворення відбувається відмирання живих паренхімних клітин.	Heartwood	The inner, mostly dark layer of xylem which, in the growing tree, has ceased to contain living parenchyma cells.
Аналіз зображення	Використання відео- та комп'ютерної техніки для проведення вимірювань характерних особливостей річних кілець, клітинних характеристик та щільності деревини.	Image analysis	The use of video and computer technology to obtain measurements e.g. of tree-ring features, cell features and wood density.

Продовження

1	2	3	4
Приріст	Збільшення кола, базальної площі, висоти та обсягу стовбура, а також покращення якості та цінності окремих дерев.	Increment	The increase in girth, diameter, basal area, height, volume, quality or value of individual trees.
Віковий бурав	Свердлоподібний інструмент, забезпечений порожнім накопичувачем з ріжучим краєм та екстрактором («ложечкою») для вилучення тонких «вікових» кернів зі стовбура дерева.	Increment borer	An auger-like instrument with a hollow bit and an extractor (spoon), used to extract thin increment cores from tree stems.
Віковий керн	Тонкий циліндричний зразок деревини з віссю, яка направлена по радіусу стовбура, який вилучили із дерев, що ростуть або мертвих, або конструкційної деревини.	Increment core	Thin radial cylinder of wood extracted by an increment borer from living or dead stems or timber.
Індексна крива	Серія ширин річних кілець або інших параметрів, індексована та представлена графічно як функція від часу.	Indexed curve	A series of ring widths or other parameters indexed and plotted as a function of time.
Спалах масового розмноження комах	Різке збільшення розмноження комах.	Insect outbreak	Increase in numbers of insects in a forest or a stand, e.g. <i>Zeiraphera diniana</i> or <i>Choristoneura fumiferana</i> .
Пізня деревина	Щільна, часто темна деревина річного кільця, утворена в пізній час сезону росту, складається із малих товстостінних клітин у голонасінних і являє зону з малими судинами у покритонасінних деревних рослин.	Latewood	Dense and often dark wood produced in the tree ring during the later part of the growing season, characterized by small, thick-walled cells in Gymnosperms, or a zone with few small vessels in Angiosperms.
Світле кільце	Зона пізньої деревини зі слабкою лігніфікацією, зустрічається переважно в деревах біля північної та висотної смуги лісу.	Light ring	Latewood zone with thin-walled cells, usually in trees at northern and subalpine timber lines.
Локальна хронологія	Серія хронологій декількох місць росту зсередини деякої лісової території або ландшафту з різним рельєфом, типом ґрунту, видовим складом рослинності та віком дерев.	Local chronology	Chronology averaged from several site chronologies within a locality, reflecting somewhat different habitats varying in ecological conditions, soil type, species or tree age.

1	2	3	4
Основна хронологія	Регіональна хронологія, яка має важливі опорні (реперні) роки, відображає основний характер поведінки локальних хронологій даної території і використовується для датування нових хронологій.	Master chronology	Chronology averaged from any tree-ring parameter, usually combining site or local chronologies from a given region, and used to date new tree-ring series.
Середня чутливість	Середні зміни у відсотках кожного річного кільця порівняно з наступним, тобто середня відносна різниця між шириною одного річного кільця і шириною наступного, яка розраховується діленням абсолютної різниці між кожною парою вимірювань, а потім усереднення часток від ділення для всіх пар в серіях річних кілець.	Mean sensitivity	Mean percentage change from each measured yearly ring value to the next; that is, the average relative difference from one ring width to the next, calculated by dividing the absolute value of the differences between each pair of measurements by the average of the paired measurements, then averaging the quotients for all pairs in the tree-ring series.
Відсутнє кільце	Кільце приросту, яке в зразку відсутнє у зв'язку з порушенням або відсутністю камбіальної активності. Місце розташування відсутнього кільця можна відновити перехресним датуванням.	Missing ring	A tree ring which in a sample (increment core or stem disc) is absent due to the failure of cambial activity. Missing rings can be located by crossdating.
Серцевина	Центральний стержень у стовбурі та гілках (але часто відсутній в коренях), що складається із запасуючої тканини (паренхіми) з нелігніфікованими клітинними стінками.	Pith	The central core of a stem and of twigs (but often missing in roots), consisting of storage tissue (parenchyma) with unlignified cell walls.
Ширина річного кільця	Ширина річного приросту, яка вимірюється упродовж радіуса стовбура.	Ring width	Width of a tree ring, measured along a radius.
Чутливість	Ступінь відображення одного або декількох факторів серією річних кілець. Серію, яка має помітну високочастотну складову, називають чутливою.	Sensitivity	The degree to which the values of a tree-ring series reflect one or more causal factors. In practice, a tree-ring series exhibiting high-frequency variance is termed sensitive.

Продовження

1	2	3	4
Згладжування	Усереднення річних змін у хронології з використанням ковзного середнього, фільтрів або сплайнів.	Smoothing	Averaging the interannual variations in a chronology using running means, filters or splines.
Стандартизація	Вилучення довготривалих варіацій з часової серії параметрів річного кільця шляхом ділення значень параметрів на згладжувану функцію та перетворення первинної серії в часову серію індексів.	Standardisation	Removing long-term variations from a time series of measured tree-ring parameters by dividing the measurements by a standardising smoothing function, and their conversion to a time series of ring-width indices.