

І. М. КОВАЛЬ^{1,2}, канд. с.-г. наук, ст. наук. співр., **В. О. ВОРОНИН²**

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації
імені Г. М. Висоцького

Пушкінська 86, м. Харків, 61024, Україна

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

e-mail: Koval_Iryna@ukr.net
voronin4999@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

ДЕНДРОКЛІМАТОЛОГІЯ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ДЕНДРОХРОНОЛОГІЇ

Як підрозділ дендрохронології, дендрокліматологія оцінює клімат в минулому і для оцінки кліматичних змін в майбутньому використовує шари деревини та метеорологічні дані, в основному опади та температури. Швидкість публікації праць з дендрокліматології була повільною протягом першої половини ХХ століття, але вона зросла експоненціально після 1960 року. Більше 3000 з 12000 наукових публікацій, перелічених зараз в інтернет-бібліографії дендрохронології, містять слово «клімат». Дендрокліматологія зробила великий внесок у вивчення минулого клімату та зміни клімату.

Мета. Розглянути історію дендрокліматології та її основні положення. Американський астроном А.І. Дуглас на початку 20-сторіччя розробив методи та принципи, які лежать в основі дендрохронологічних досліджень, що застосовуються сьогодні.

Основні принципи дендрохронології запозичені із загальної екології. Основними з них є уніформізм, закон лімітуючих факторів, відбір районів і місць місцезростання, перехресне датування, повторність. Розглянуто основні методи в дендрохронології: відбір ділянок досліджень, відбір кернів, перехресне датування, індексація деревно-кільцевих хронологій. Коротко розглянуто статистичні методи для кількісної оцінки даних співвідношення між кільцями дерев і кліматом – кореляційний аналіз і функцію відгуку.

Наведено **приклади дендрокліматологічних досліджень**. Ф. Г. Коліщук запропонував оригінальну методику для дослідження радіального приросту сосни в умовах Карпатських гір. Він виявив, що протягом останніх 200 - 230 років різні види сосни (*Pinus mughus* Scop., *Cembra* L.), які ростуть у високогір'ях та на міжлісових верхових болотах (*P. Sylvestris* L., *P. Mughus* Scop.) Українських Карпат, мають подібний хід приросту за товщиною, що може бути доказом кліматичної обумовленості динаміки приросту та однакової реакції цих видів сосни на зміни клімату. На прикладі дослідження відгуку радіального приросту сосни звичайної (*Pinus Sylvestris* L.) до варіацій клімату в Лісостеповій зоні показано збільшення чутливості насаджень в зв'язку з потеплінням клімату.

Висновки. Дендрокліматологія – міждисциплінарна наука, яка допомагає встановити наскільки схожий клімат сьогодні відносно минулого та продовжує грати надзвичайно важливу роль в дослідженні реакції лісових екосистем на зміни клімату.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: дендрохронологія, дендрокліматологія, перехресне датування, клімат, функція відгуку

Koval I. M.^{1,2}, Voronin V. O.²

¹ Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

² V. N. Karazin Kharkiv National University

DENDROCLIMATOLOGY AS THE PART OF DENDROCHRONOLOGY

As a the branch of dendrochronology, dendroclimatology assesses the climate in the past and uses tree rings and weather data, mainly precipitation and temperatures, to assess future climate change. The rate of publications on

dendroclimatology was slow during the first half of the 20th century, but it has grown exponentially since the 1960s. More than 3,000 of the 12,000 scientific publications now listed in the dendrochronology's online bibliography contain the word "climate".

The purpose of the paper is to review the history of dendro-climatology and its basic provisions. The American astronomer A.I. Douglas at the beginning of the 20th century developed the methods and principles that we use today.

The basic principles of dendrochronology are borrowed from general ecology: the uniformitarian principle, the principle of limiting factors, the principle of aggregate tree growth, the principle of ecological amplitude, the principle of crossdating, the principle of site selection.

The basic methods in dendrochronology are: selection of research sites, selection of cores, cross-dating, indexation of tree-ring chronologies. Statistical methods for quantifying tree to climate ratios are briefly discussed, as well as correlation analysis and response function. Examples of dendroclimatological studies are given. F.G. Kolyshchuk proposed an original technique for the study of radial pine growth in the Carpathian Mountains. He found that during the last 200 - 230 years different species of pine (*Pinus mughus* Scop., *Sembra* L.) growing in the high mountains and inter-forested marshes (*P. Silvestris* L., *P. Mughus* Scop.) In the Ukrainian Carpathians it's revealed a similar growth rate in tree rings, which may be evidence of climatic conditioning of the dynamics of growth and the same response of these pine species to climate change. An example study of the response of pine radial growth to climate variations in the forest-steppe zone shows an increase in the sensitivity of stands due to climate warming.

Conclusions. Dendroclimatology is an interdisciplinary science that helps to determine how similar or not climate is today to the past and continues to play an extremely important role in the study of the response of forest ecosystems to climate change.

KEYWORDS: dendrochronology, dendroclimatology, cross-dating, climate, response function

Коваль И. М.^{1,2}, Воронин В.О.²

¹Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации имени Г. М. Высоцкого

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

ДЕНДРОКЛИМАТОЛОГИЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЧАСТЬ ДЕНДРОХРОНОЛОГИИ

Как составляющая часть дендрохронологии, дендроклиматология оценивает климат в прошлом и для оценки климатических изменений в будущем использует слои древесины и метеорологические данные, в основном осадки и температуры. Скорость публикаций работ по дендроклиматологии была медленной в течение первой половины XX века, но она выросла экспоненциально после 1960 года. Более 3000 из 12000 научных публикаций, перечисленных сейчас в интернет-библиографии дендрохронологии содержат слово «климат». Дендроклиматология сделала большой вклад в изучение прошлого климата и изменения климата.

Цель. Рассмотреть историю дендроклиматологии и ее основные положения. Американский астроном А.И. Дуглас в начале 20-века разработал методы и принципы, которые лежат в основе дендрохронологических исследований, применяемые сегодня.

Основные принципы дендрохронологии заимствованы из общей экологии. Основными из них являются униформизм, закон лимитирующих факторов, отбор районов и мест произрастания, перекрестная датировка, повторность.

Рассмотрены **основные методы в дендрохронологии:** отбор участков исследований, отбор кернов, перекрестная датировка, индексация древесно-кольцевых хронологий. Кратко рассмотрены статистические методы для количественной оценки связей между древесными кольцами и климатом - корреляционный анализ и функцию отклика.

Приведены **примеры дендроклиматологических исследований.** Ф. И. Колишук предложил оригинальную методику для исследования радиального прироста сосны в условиях Карпатских гор. Он обнаружил, что в течение последних 200-230 лет различные виды сосны (*Pinus mughus* Scop., *Sembra* L.), которые растут в высокогорьях и на мжисловых верховых болотах (*P. Silvestris* L., *P. Mughus* Scop.) Украинских Карпат имеют подобный ход прироста по толщине, что может служить доказательством климатической обусловленности динамики прироста и одинаковой реакции этих видов сосны на изменения климата. На примере исследования отклика радиального прироста сосны обыкновенной к вариациям климата в лесостепной зоне показано увеличение чувствительности насаждений в связи с потеплением климата.

Выводы. Дендроклиматология - междисциплинарная наука, которая помогает установить насколько похож современный климат на климат в прошлом и продолжает играть важнейшую роль в исследовании реакции лесных экосистем на изменения климата.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дендрохронология, дендроклиматология, перекрестная датировка, климат, функция отклика

Головною метою дендрохронології є датування річних кілець дерев, які протягом росту дерева збирають інформацію про явища у природному середовищі (кліматичні варіації, забруднення, пожежі тощо); вивчення впливу екологічних факторів на радіальний приріст дерев; анатомічну структуру деревних кілець та їх хімічний склад, а також аналізом інформації в шарах річної деревини з метою реконструкції умов природного середовища [12].

Як підрозділ дендрохронології, дендрокліматологія оцінює клімат в минулому і для оцінки кліматичних змін в майбутньому використовує шари деревини та метеорологічні дані, в основному опади та температури [18]. Дендрокліматологія відіграє значну роль у міждисциплінарних дослідженнях зміни клімату [28].

Мета роботи – розглянути історію дендрокліматології та її основні положення.

Коротка історія дендрокліматології. Ще з стародавніх часів греки спостерігали, що кільця дерев утворюються здебільшого щорічно, і ширина та інші характеристики шарів деревини, змінюються рік від року [32].

Леонардо да Вінчі асоціював варіацію кільця дерева зі зміною умов середовища в момент утворення деревного кільця. Такі спостереження та міркування можна вважати ранньою дендрохронологією [32].

Протягом тривалого часу вважалося, що американський астроном А.І. Дуглас є першим вченим, який почав вивчення радіального приросту з метою дослідження клімату. Але дати опублікування робіт вказують на те, що професор Одеського університету Ф.Н. Шведов вперше використовував дерева як індикатори змін природного середовища на прикладі акації [6]. Про це свідчить його робота «Дерево как летопись засух», що була опублікована у 1892 р. [11]. Дуглас тільки у 1901 р. почав свою роботу в цьому напрямку. Живучи і працюючи у штаті Арізона, він помітив не лише різницю в ширині кілець дерева, але і те, що ця мінливість була схожа між різними деревами. А. Е. Дуглас припустив, що особливий екологічний чинник, який є причиною подібності мінливості річних кілець дерев цієї місцевості є клімат [16]. Він розробив ме-

тоди та принципи, які лежать в основі дендрохронологічних досліджень, що застосовуються сьогодні. Результати його досліджень висвітлені в 75 працях з дендрохронології, багато з яких можна віднести до дендрокліматології [32].

Дендрохронологічні дослідження також були розпочаті в інших місцях, у тому числі у Європі [20], Північній Азії [29], Австралії [25], Південній Америці [26], Південно-Східну Азії [35] та Африці [14]. Деревні кільця рідкісні у всіх тропіках, які є межею для дендрохронологічних досліджень [30, 33].

У різний час у ряді районів України дендрокліматичні дослідження розвивали: Ф.Н. Шведов [11]; В.Е. Рудаков [10]; В.Г. Колишук [Колишук 1966.], А.Д. Шовган [13], П.В. Ковальов, А.І. Попов та інш. [5], В.І. Важов [1], М.В. Ловелиус та Ю.І. Грицан [9] та інші [4, 3, 6, 7].

Значна кількість робіт присвячена впливу пожеж, забруднення, шкідників, меліорації на радіальний приріст з урахуванням кліматичних чинників [2, 6].

Швидкість публікації праць з дендрокліматології була повільною протягом першої половини ХХ століття, але вона зросла експоненціально після 1960 року. Більше 3000 з 12000 наукових публікацій, перелічених зараз в інтернет-бібліографії дендрохронології [21], містять слово «клімат». Дендрокліматологія зробила великий внесок у вивчення минулого клімату та зміни клімату [29].

Принципи дендрохронології. Основні принципи дендрохронології запозичені із загальної екології. Основними з них є уніформізм, закон лімітуючих факторів, відбір районів і місць місцезростання, перехресне датування, повторність.

Принцип уніформізму стосовно дендрохронології стверджує, що фізичні та біологічні процеси, що зумовлюють зміни в зростанні дерева під впливом факторів природного середовища в теперішній час, викликали подібні ж зміни в минулому. Цей принцип є обґрунтуванням широкого використання деревно-кільцевих хронологій для реконструкції минулих умов довкілля. У 1785 р. Джеймс Хаттон заявив, що «сьогодення – це ключ до минулого». Це твер-

дження, в основному, означає, що ті ж процеси, які пов'язали біологічні процеси з умовами навколишнього середовища, також робили це і в минулому. Проте дендрохронологія додає цьому принципу новий «поворот»: «минуле – це ключ до майбутнього».

Суть *принципу лімітуючих факторів* полягає в тому, що біологічні процеси, зокрема зростання деревних рослин, не можуть протікати швидше, ніж це дозволяється зовнішнім або внутрішнім фактором, що знаходиться в мінімумі. У разі, якщо цей фактор в силу будь-яких причин переходить в розряд оптимальних, швидкість росту буде збільшуватися до тих пір, поки інший фактор (або фактори) не стануть лімітуючими. Наприклад, волога часто є лімітуючим ресурсом, особливо в посушливих районах, тоді як температура може бути лімітуючим фактором у районах висотної поясності.

Принцип сукупності складових росту дерев стверджує, що будь-які індивідуальні серії можуть бути розкладені в сукупність факторів довкілля. Обидві групи факторів як природні, так і антропогенні впливають на приріст дерев протягом всього їх життя. Наприклад, ріст кільця влюбий рік є функцією сукупних факторів:

- вікового тренду, який обумовлено процесом старіння дерев;
- погодних умов, які сталися в рік виникнення якогось явища (наприклад, вітровалу, льодолому тощо) в межах лісового масиву, що вплинули на явища, які виникли в середині масиву (наприклад, вітролам);
- виникнення явищ зовні лісового масиву (наприклад, спалах комах, внаслідок чого виникає дефоліація крон і знижується приріст дерев);
- випадкові (помилкові) процеси, які не враховані іншими процесами.

Отже, щоб максимізувати бажаний екологічний сигнал, який вивчається, інші фактори повинні бути зведені до мінімуму. Наприклад, для максимізації кліматичного сигналу слід усунути віковий тренд, а дерева та ділянки обрати такі, щоб мінімізувати можливості внутрішніх та зовнішніх екологічних процесів, що впливають на ріст дерев.

Принцип екологічної амплітуди стверджує, що види можуть рости, розмножуватися та поширюватися в широких,

вузьких чи обмежених ареалах. Цей принцип важливий, оскільки види дерев, корисні для дендрохронології, часто зустрічаються біля меж їх природного ареалу, наприклад, ялини білої ялини (*Picea glauca*) поблизу верхньої широти.

Принцип відбору районів і місць місцезростання. Цей принцип стверджує, що ділянки, які даватимуть корисні для дендрохронології дані, можна вибирати, виходячи з того, що дерева будуть формувати кільця, які відображають екологічні умови, що досліджуються. Наприклад, якщо вивчаються умови посухи в минулому, необхідно відбирати зразки дерев, що ростуть на територіях, які ростуть в посушливих умовах. У сприятливих для росту дерев місцезростання формуються широкі річні кільця. При цьому у таких дерев добре виражені зміни приросту з віком, а величина приросту між сусідніми роками коливається в незначних межах. Подібна послідовність в мінливості ширини річних кілець отримала назву «благодушна». У несприятливих для зростання дерев умовах кільця приросту вузькі, їх ширина значно коливається рік від року, вікова крива росту виражена слабо. Часто спостерігається випадання кілець. Такі серії кілець називаються «чутливими». Чим сильніше річна мінливість величини приросту дерев, тим надійнішим індикатором змін умов середовища вона є.

Принцип перехресного датування є найважливішим в дендрохронології і розроблений з метою абсолютного і відносного датування часу формування деревних кілець з точністю до року. Деревні рослини, які ростуть в межах однорідного в кліматичному відношенні району, величиною приросту схоже реагують на зміни лімітуючих кліматичних факторів. У сприятливих за кліматичними умовами роки у більшій частині дерев формуються широкі кільця, а у несприятливих – вузькі. У зв'язку з цим у таких дерев спостерігається синхронна мінливість величини приросту в часі. Особливо показовими є вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою лімітується тим чи іншим кліматичним фактором (наприклад, в разі гострого дефіциту вологи в посушливі роки). Чергування вузьких, середніх за величиною і широких кілець неповторно в часі.

Тому максимально можлива синхронність в прирості між різними деревами спостерігається лише в тому випадку, якщо графіки зміни приросту будуть суміщені строго хронологічно.

Принцип повторності, тобто використання інформації не з одного, а з певного числа модельних дерев, є неодмінною умовою точного датування кілець, побудови надійних деревно-кільцевих хронологій і створення більш точної реконструкції умов середовища в теперішній час і в минулому [19, 34].

Методи дендрокліматології. Важливим першим кроком у дендрокліматології є

вибір ділянки досліджень. На пробних площах, де спостерігається обмеження доступності вологи для росту дерева, деревні кільця дерев можна використовувати для реконструкції опадів, тоді як у районах обмеження температури для росту дерева, можна використовувати кільця з дерева для відновлення температури. Вибирають ділянку, де відсутнє візуальне пошкодження насадження пожежами, рекреацією, забрудненням [28] тощо, тобто некліматичними процесами.

Другим кроком досліджень є відбір зразків (кернів) з живих дерев за допомогою бурава Преслера (рис. 1).

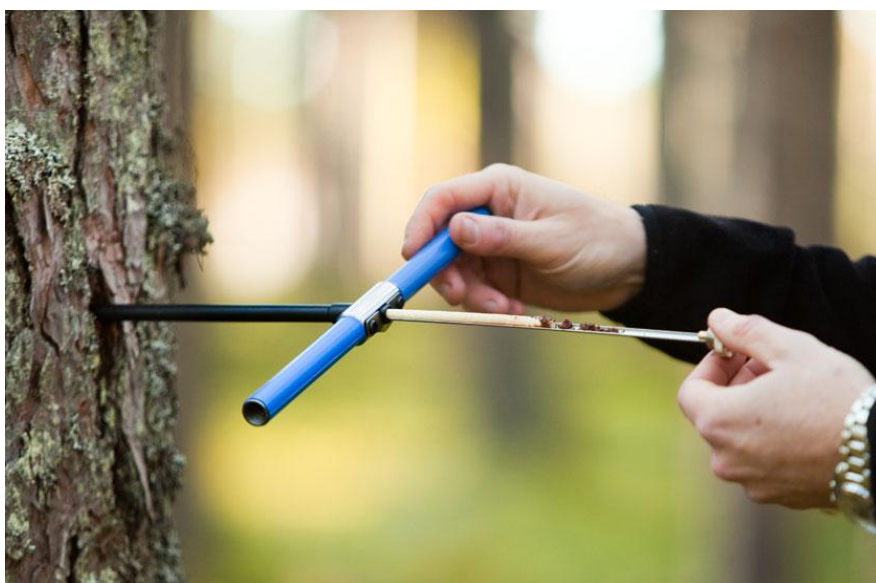


Рис. 1 – Відбір керів буравом Преслера

Найважливішим наступним кроком у дендрохронології є перехресне датування, коли встановлюється дата формування кожного річного кільця дерева. При цьому використовуються відносно широкі і вузькі кільця, які узгоджуються для всіх дерев вибірки. Деякі вибірки таких дерев не можуть бути здатовані. Коли закономірності мінливості росту кільця є синхронними і характерні для багатьох дерев, то впевненість у перехресному датуванні є високою [27]. Фахівці стверджують, що перехресне датування може займати 90% часу всього періоду дендрохронологічних досліджень.

У дендрокліматології вимірюють шари ранньої та пізньої деревини, а також

встановлюють загальну ширину річного кільця. При необхідності вимірюють стійки ізотопи вуглецю та вміст в кільцях дерев кисню. Увагу приділяють морозобійним кільцям, які пошкоджені морозом в період вегетації [18, 23].

Після перевірки датування та вимірювання з деревно-кільцевих хронологічних серій вилучається віковий тренд. З віком радіальний приріст зменшується, тому віковий тренд, який не відображує кліматичний вплив і часто описується негативною експонентою, потребує вилучення [28].

Після вилучення тренду, формується загальна деревно-кільцева хронологія, яка, як правило, складається з 20 та більше де-

рев. Наступним кроком є встановлення зв'язків між радіальним приростом та кліматом з використанням погодних даних з найближчої до району досліджень метеостанції, або декількох метеостанцій, дані яких осереднено [15].

Існують різні статистичні методи для кількісної оцінки даних співвідношення між кільцями дерев і кліматом. Основні методи дендрокліматології включають кореляцію або аналіз функцій відгуку з визначенням значущості цих взаємозв'язків для кожного часового інтервалу. Наступним кроком є калібровка, тобто перевірка моделі на незалежних даних, або порівняння з реконструйованим кліматом з архівних даних [15].

За допомогою комп'ютерних програм RESPONCE з пакету програм ITRDB, програми PRECON та інш. встановлюються взаємозв'язки між індексними деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками [7, 19].

Приклади. Ф. Г. Коліщук [8] запропонував оригінальну методику для дослідження радіального приросту сосни в умовах Карпатських гір. Він виявив, що протягом останніх 200- 230 років різні види сосни (*Pinus mughus* Scop., *cembra* L.), які ростуть у високогір'ях та на міжлісових верхових болотах (*P. Silvestris* L., *P. Mughus* Scop.) Українських Карпат, мають подібний хід приросту за товщиною, що може бути доказом кліматичної обумовленості динаміки приросту та однакової реакції цих видів сосни на зміни клімату. Індеси радіального приросту сосни мають позитивні зв'язки з температурою та зворотні з опадами в травні – серпні. Ф.Г. Коліщук також виявив, що динаміка приросту є синхронною з циклічністю сонячної активності. Тенденція до покращення росту сосни протягом 2 – 3 століть може вказувати на зниження зволоження та деяку континенталізацію клімату літнього сезону (рис. 2) [5, 8].

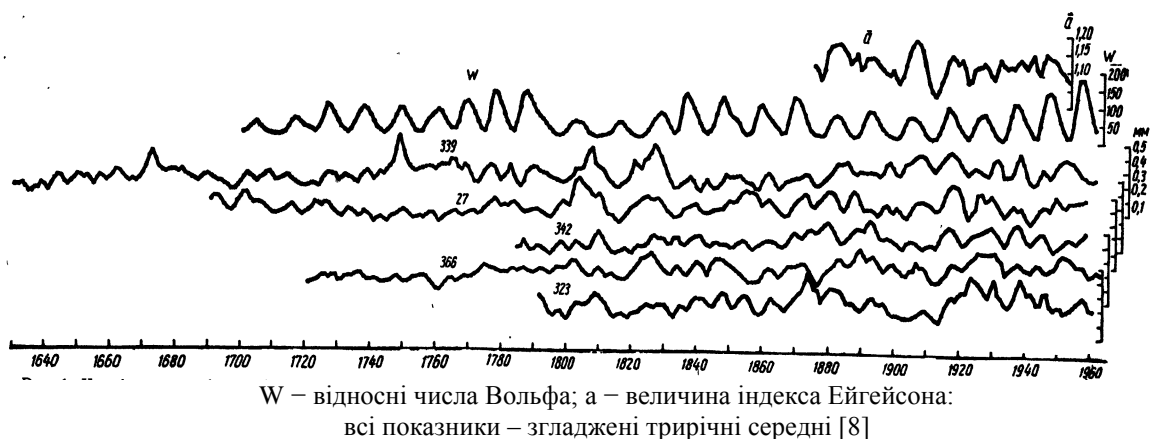
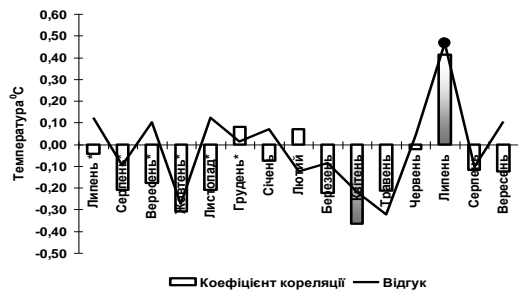


Рис. 2 – Криві ширини річних кілець скелетних осей гірської сосни з високогір'я Чорногори (339, 27, 342), Чивчинських гір (336) і Горган (323) та індесів сонячної активності (а; W)

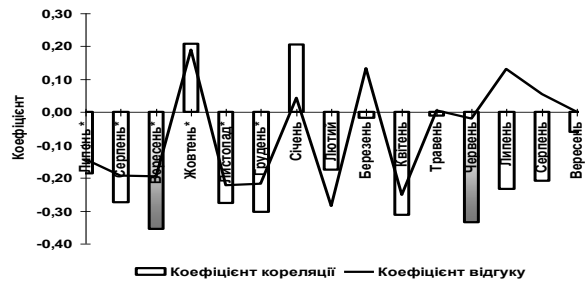
На прикладі дослідження відгуку радіального приросту сосни звичайної до варіацій клімату (рис. 3) показано збільшення чутливості насаджень в зв'язку з потеплінням клімату в Лісостеповій зоні.

При порівнянні 1960-1988 та 1988-2016 рр. виявлено, що для першого періоду характерний позитивний вплив літніх температур на радіальний приріст сосни, водночас для другого періоду вони починають

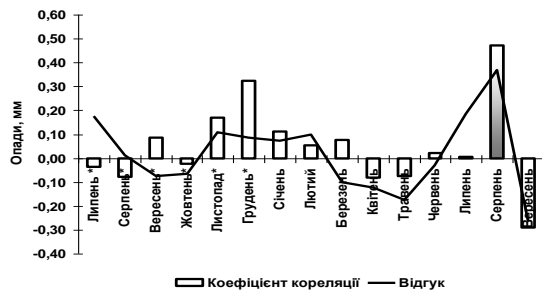
обмежувати приріст. Незначне збільшення кількості опадів за вегетацію не змогло пом'якшити негативний вплив температур на формування шарів деревини. У другому періоді виявлено посилення негативного впливу зимових опадів на приріст, що викликано збільшенням зимових температур та відлиг, що негативно вплинуло на волого накопичення ґрунту та формування річних кілець сосни [22].



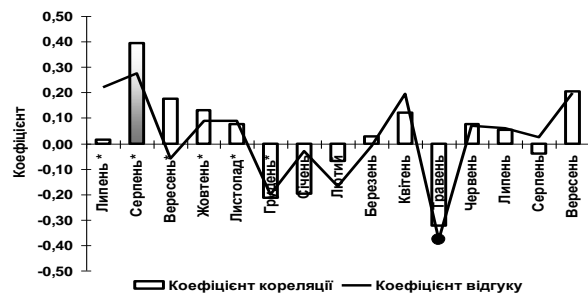
а) Температури за перший період 1960 – 1988 рр.



б) Температури за другий період 1988 – 2016 рр.



г) Опади за перший період 1960 – 1988 рр.



д) Опади за другий період 1988 – 2016 рр.

Значущі кореляції на рівні 0,05 вказані сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом відмічено чорними колами.

Рис. 3 – Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології STANDART для шарів річної деревини

Висновки

Дендрокліматологія – міждисциплінарна наука, яка допомагає встановити наскільки схожий чи ні клімат сьогодні відносно минулого та продовжує грати надзви-

чайно важливу роль в дослідженні реакції лісових екосистем на зміни клімату.

Конфлікт інтересів. Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Література

1. Важов В. І. Влияние осадков и температуры на годичный прирост древесных растений. *Бюллетень Никитского ботанического сада*. 1985. С. 75-79.
2. Ворон В. П., Коваль І. М. Вплив низових пожеж на динаміку радіального приросту сосни в лісостеповій зоні України. *Науковий вісник НЛТУ України*. № 21.7. С. 45-50.
3. Ворон В. П., Коваль І. М. Динаміка радіального приросту сосни як критерій реакції лісових екосистем Волинського Полісся на дію кліматичних та антропогенних факторів. *Збірник Українського Аграрного університету*. 1998. С.44-47.
4. Зборовська О. В., Краснов В. П., Ландін В. П., Захарчук В. А. Радіальний приріст сосни звичайної на моренних відкладах Житомирського Полісся. *Агроєкологічний журнал*. 2018. № 1. С. 7-13.
5. Ковалев П. В., Черкасов П. А., Попов А. И., Иванов В. В., Острянин А. В. Реконструкция метеорологических условий прошлого по годичным кольцам деревьев. *Вестник Харьковского университета*. 1989. № 341. С. 62-67.

6. Коваль І. М. Дендрохронологія в Україні: ретроспектива і перспективи розвитку. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. Міжвідомчий науково-технічний збірник. 2006. № 31. С. 221-227.
7. Коваль І. М., Борисова В. Л. Реакція на зміни клімату радіального приросту ясен звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів. 2019. №29 (2). Стор. 53 – 57.
8. Колищук В.Г. Динамика прироста горной сосны (*Pinus mughus* Scop.) в связи с солнечной активностью. *Доклады АН СССР*. 1966. № 167. 3. С. 236-242.
9. Ловелиус Н. В., Грицан Ю. И. Лесные экосистемы Украины и тепловлагообеспеченность. Санкт-Петербург: Нева, 1998. 335 с.
10. Рудаков В. Е., Метод изучения влияния колебаний климата на толщину годичных колец деревьев. *Доклады АН Армянской ССР*. т. XII, №3. 1951.
11. Шведов Ф. Дерево, как летопись засух. 1892. *Метеорологический Вестник*. №5. С. 163–178.
12. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Назурбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Красноярск: Изд-во «Севрюга». 2000. 79 с.
13. Шовган А. Д. Динамика, екологічна обумовленість і прогноз прироста сосни обыкновенной в лесных районах Украинской ССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16/ ДГУ. Днепропетровск. 1987. 16 с.
14. Berger A. L., Guiot J, Mathieu L, Munaut A. V. Tree rings and climate in Morocco. *Tree-Ring Bull.* 1979. 39:61. 75 p.
15. Cook E. R., Briffa K. R., Shiyatov S., Mazepa V. Tree ring standardization and growth-trend estimation. In: Cook E. R., Kairiukstis L. A, eds. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Boston: International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers; 1990, 104–123.
16. Douglass A. E. Weather cycles in the growth of big trees. *Mon Weather Rev.* 1909, 37:225 –237.
17. Fritts H. C. Tree rings and climate. L.: Acad. press., 1976. 567 p.
18. Fritts H. C. Dendroclimatology and dendroecology. *Quat Res.* 1971, 1:419–449.
19. Grissino-Mayer, H., Holms, R. & Fritts, H. International tree-ring data bank program library manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona. 1997.
20. Huber B. Die Jahresringe der Baume als Hilfsmittel der Klimatologie und Chronologie [The annual rings of trees as a resource for climatology and chronology]. *Die Naturwissenschaften* 1948, 35:151–154.
21. Kaennel Dobbertin M, Grissino-Mayer H. D. The online bibliography of dendrochronology. *Dendrochronologia*. 2004, 21:85–90.
22. Koval I. M., Bräuning A., Melnik E. E. , Voronin V. O. Dendroclimatological 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.
23. Meko D. M., Baisan C. H. Pilot study of latewood-width of conifers as an indicator of variability of summer rainfall in the North American Monsoon. *Int J Climatol* 2001, 21:697–708.
24. Netsvetov M., Sergeev M., Nikulina V., Korniyenko V., Prokopuk Y. *Dendrochronologia*. 2017. Vol. 44. P. 31–38.
25. Norton D. A. Dendroclimatological studies in the South Island, some preliminary results. *NZ J. Ecol* 1981, 4:127–128.
26. Roig F. A. Dendrocronología y dendroclimatología del bosque de Pilgerodendron uviferum en su area norte de dispersion [Dendrochronology and dendro-climatology of Pilgerodendron uviferum forests in its northern regional range]. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 1991, 27:217–234.
27. Schulman E. Some propositions in tree-ring analysis. *Ecology*, 1941, 22:193–195.
28. Schweingruber F. H., Kairiukstis L. A., Shiyatov S. Sample selection. In: Cook E. R., Kairiukstis L. A , eds. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Boston: International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers. 1990. 23– 35.
29. Sheppard, P. R. Dendroclimatology: extracting climate from trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 2010, 1, 343-352.
30. Shiyatov S. G., Mazepa V. S. Natural fluctuations of climate in the eastern regions of the USSR based on tree-ring series. *Regional Resource Management (Laxenburg, Austria)* 1986, 1:47 – 73.
31. Stahle D. W. Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA J* 1999, 20:249–253.
32. Studhalter R. A. Tree growth: I. Some historical chapters. *Bot. Rev.* 1955, 21:1–72.
33. Webb G. E. Solar physics and the origins of dendrochronology. *Isis* 1986, 77:291–301.

34. William Cardwell, 11/24/2004. Wu X, Zhan X. Tree-ring width and climatic change in China. *Quat Sci Rev.* 1991, 10:545–549.

References

1. Vazhov, V. I. (1985). The effect of precipitation and temperature on the annual growth of woody plants. *Bulletin of the Nikitsky Botanical Garden*, 75-79. (in Russian).
2. Voron, V. P., Koval, I. M. Influence of fires on the dynamics of pine radial growth ne in the forest-steppe zone of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(7), 45-50. (in Ukrainian).
3. Voron, V. P., Koval, I. M. (1998). Dynamics of radial pine growth as a criterion for the response of forest ecosystems of Volyn Polissya to the effect of climatic and anthropogenic factors. *Bulletin of Ukrainian Agrarian University*, 44-47. (in Ukrainian).
4. Zborovskaya, O. V., Krasnov, V. P., Landin, V. P., Zakharchuk, V. A. (2018). Radial growth of common pine on moraine sediments of Zhytomyr Polissya. *Agroecological journal*, 2, 7-13. (in Ukrainian).
5. Kovalev, P. V., Cherkasov, P. A., Popov, A. I., Ivanov, V. V., Ostryanin, A. V. (1989). Reconstruction of meteorological conditions of the past along tree rings. *Bulletin of Kharkov University*, 341, 62-67. (in Russian).
6. Koval, I. M. (2006). Dendrochronology in Ukraine: a retrospective and prospects for development. *Forestry, forestry, paper and wood industry. Interagency Scientific and Technical Bulletin*. 31, 221-227. (in Ukrainian).
7. Koval, I. M., Borisova, V. L. (2019). Reaction to climate change of radial growth of common ash in stands of the Left Bank Forest Steppe. *Scientific Bulletin of UNFU of Ukraine*, 29 (2), 53 - 57. (in Ukrainian).
8. Kolischuk, V.G. (1966). Dynamics of growth of mountain pine (*Pinus mughus* Scop.) due to solar activity. *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 167, 236-242. (in Russian).
9. Lovelius, N. V., Gritsan, Yu. I. (1998). Ukraine's forest ecosystems and heat supply. St. Petersburg: Neva, 335 p. (in Russian).
10. Rudakov, V. E. (1951). A method of studying the effect of climate fluctuations on the thickness of annual rings of trees. *Reports of the Academy of Sciences of the Armenian SSR*. Vol. XII, 3. (in Russian).
11. Shvedov, F. (1892). "The tree as a record of drought", *Meteorological Herald*, 5, 163–178. (in Russian).
12. Shiatov, S.G., Vaganov, E.A., Kirdyanov, A.V., Kruglov, V. B, Mazepa, V. S., Nazurbaev, M. M., Khantemirov, R. M. *Methods of dendrochronology*. Krasnoyarsk: Sevruga Publishing House, 2000 – 79. (in Russian).
13. Shovgan, A. D. (1987). Dynamics, ecological conditionality and prognosis of growth of common pine in forest areas of the Ukrainian USSR: Author's abstract. diss. ... Cand. biol. Sciences: 03.00.16 / DSU. - Dnepropetrovsk, 16 p. (in Russian).
14. Berger, A. L, Guiot, J., Mathieu, L., Munaut, A. V. (1979). Tree rings and climate in Morocco. *Tree-Ring Bull.*, 39:61–75.
15. Cook, E. R., Briffa, K. R., Shiyatov, S., Mazepa, V. (1990). Tree ring standardization and growth-trend estimation. In: Cook E. R., Kairiukstis L. A., (Eds). *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Boston: International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers, 104–123.
16. Douglass, A. E. (1909). Weather cycles in the growth of big trees. *Mon Weather Rev.*, 37:225–237.
17. Fritts, H. C. (1976). Tree rings and climate L.: Acad. press., 567.
18. Fritts, H. C.(1971). Dendroclimatology and dendroecology. *Quat Res.* 1:419–449.
19. Grissino-Mayer, H., Holms, R. & Fritts, H. (1997). International tree-ring data bank program library manual. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona.
20. Huber, B. (1948). Die Jahresringe der Baume als Hilfsmittel der Klimatologie und Chronologie. *The annual rings of trees as a resource for climatology and chronology. Die Naturwissenschaften*, (35), 151–154. (in Germany).
21. Kaennel Dobberty, M., Grissino-Mayer, H. D. (2004). The online bibliography of dendrochronology. *Dendrochronologia*, (21), 85–90.
22. Koval, I. M., Bräuning, A., Melnik, E. E., Voronin, V. O. (2017). Dendroclimatological research of scots pine in stand of the left-bank forests-steppe of Ukraine. *Man and the environment. Issues of neoecology*, (28), 66-73.
23. Meko, D. M., Baisan, C. H. (2001). Pilot study of latewood-width of conifers as an indicator of variability of summer rainfall in the North American Monsoon. *Int J Climatol*, (21), 697–708.

24. Netsvetov, M., Sergeyev, M., Nikulina, V., Korniyenko, V., Prokopuk, Y. (2017). *Dendrochronologia*, (44), 31–38.
25. Norton, D. A. (1981). Dendroclimatological studies in the South Island, some preliminary results. *NZ J. Ecol.*, 4, 127–128.
26. Roig, F. A. (1991). Dendrochronology and dendro - climatology of *Pilgerodendron uviferum* forests in its northern regional range. *Bol. Soc. Argent Bot.*, 27, 217–234. (in Spanish).
27. Schulman, E. (1941). Some propositions in tree-ring analysis. *Ecology*, 22, 193–195.
28. Schweingruber, F. H., Kairiukstis, L. A., Shiyatov, S. (1990). Sample selection. In: Cook E. R., Kairiukstis L. A, eds. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Boston. International Institute for Applied Systems Analysis: Kluwer Academic Publishers, 23–35.
29. Sheppard, P. R. (2010). Dendroclimatology: extracting climate from trees. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*. 1, 343–352.
30. Shiyatov, S. G., Mazepa, V. S. (1986). Natural fluctuations of climate in the eastern regions of the USSR based on tree-ring series. *Regional Resource Management (Laxenburg, Austria)*, 1, 47–73.
31. Stahle, D. W. (1999). Useful strategies for the development of tropical tree-ring chronologies. *IAWA J*, 20, 249–253.
32. Studhalter, R. A. (1955). Tree growth: I. *Some historical chapters*. *Bot. Rev.* 21, 1–72.
33. Webb, G. E. (1986). Solar physics and the origins of dendrochronology. *Isis.*, 77, 291–301.
34. Wu, X., Zhan, X. (1991) Tree-ring width and climatic change in China. *Quatern Sci Rev.*, 10, 545–549.

Надійшла до редколегії 24.08.2019

Прийнята 25.09.2019