ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА НАСАДЖЕННЯ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ: СТАН, ПРОБЛЕМИ, ВИКЛИКИ

В. А. РОМАНЕНКО, здобувач *

<https://orcid.org/0000-0002-0448-3033>, e-mail: romanenko_va@ukr.net

Український центр підготовки, перепідготовки та підвищення
кваліфікації кадрів лісового господарства

Досліджено, що з початку XIX ст. деградація соснових деревостанів набуває величезного масштабу на всіх континентах. В Україні за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України середня річна температура з початку XX ст. зросла більш ніж на 2°C, зокрема на 1,2°C за останні 30 років. Останніми роками кількість днів із максимальними температурами влітку понад 35°C та 40°C зросла майже вдвічі, тобто йдеться про екстремальні погодні явища. На більшій частині України вже спостерігається тенденція до посилення посух, збільшення пожежної небезпеки, повторюваності років, упродовж яких насадження зазнаватимуть водного стресу, ураження шкідниками, а також деградації лісових екосистем загалом унаслідок збільшення кількості та тривалості спекотних періодів.

Визначено, що при дослідженні зв'язку між зміною клімату і радіальним приростом сосни використовують дендрохронологічні методи. Основними методами дослідження радіального приросту є взяття кернів на висоті 1,3 м із двох протилежних радіусів, для унеможливлення впливу на радіальний приріст випадкових факторів. Ширину річних кілець визначають за допомогою установок для дендрохронологічних досліджень, з автоматичною реєстрацією даних. Дані величин річних кілець обробляють за програмами Міжнародного банку даних деревних кілець (ITRDB). Для синхронізації рядів зі встановленням календарного року утворення кожного річного приросту використовують спеціалізовану програму COFECHA. Виявлено, що ріст сосни звичайної лімітується зволоженням клімату та наявністю достатньої кількості вологи у ґрунті, проте у разі екстремальних температур все одно зберігається негативний тренд щодо всихання насаджень.

Ключові слова: дендрохронологія, патологічні процеси лісу, кліматичні зміни, сосна, радіальний приріст.

Актуальність та аналіз останніх досліджень. Найбільшою глобальною проблемою сьогодення є підвищення концентрації парникових газів в атмосфері, зокрема вуглекислого газу, що є основною причиною глобальної зміни

клімату. Внаслідок антропогенного впливу діяльності людини постійно підвищується вплив парникового ефекту, в результаті спалювання викопних видів палива, а також меншого їх поглинання внаслідок знеліснення.

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор С. Б. Ковалевський.

Діяльність людини може істотно змінювати абіотичні фактори, які відіграють ключову роль у формуванні лісових фітоценозів, адже від лімітуючих факторів залежить чисельність, поширення, продуктивність рослинних і тваринних угруповань. З початку ХХІ ст. вже є незаперечним фактом явище нечуваної раніше деградації сонових деревостанів, яке набуває величезного масштабу на усіх континентах. Для того щоб успішно протистояти явищу, потрібно знати не тільки механізм його перебігу, а й чинники та причини його появи у лісових фітоценозах. Бачення найбільш небезпечних проявів, фахове тлумачення сутності процесів дасть змогу визначити механізм впливу на ці фактори, а також принцип ведення лісового господарства, який буде найбільш відповідним до нових трансформованих умов. Специфічною рисою рівнинної частини України є наявність перехідної зони між лісом та степом, в якій уразливість лісів надзвичайно велика, і є висока ймовірність, що зміна клімату може спричинити тут незворотну втрату лісів. Уразливість лісів може бути суттєво зменшено за допомогою розроблення і впровадження системних дій, спрямованих на адаптацію лісів України до змін клімату. Базовим імперативом є розуміння, що Українські ліси – не просто джерело відновлюваного ресурсу, а один із головних чинників нівелювання антропогенного навантаження та створення комфортних умов для людини. Адаптивний потенціал лісів України, так само як і регіональну чутливість лісів, вивчено недостатньо, що актуалізує нагальну потребу дослідження для недопущення порушення балансу екологічних компонентів, втрати екологічної стійкості та руйнування природного середовища.

Зміна клімату, що набула глобального характеру, привернула увагу всього людства, як одна із найнагальніших екологічних проблем. За даними Всесвітньої метеорологічної організації, найтеплішими роками за всю історію спостережень стали останні три. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, наукові дослідження свідчать, що з кінця ХІХ ст. антропогенний вплив на дві третини зумовлений саме діяльністю людини, а саме збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері планети (Ivaniuta et al., 2020). У 2015 році, під час підготовки до підписання Паризької кліматичної угоди (Conference on Climate Change in Paris, 2015) було передбачено обмеження підняття глобальної температури до кінця століття нижче ніж 2°C. Проте наразі, за даними Організації Об'єднаних Націй, світ прямує до потепління на рівні 3,2°C до 2100 р. (UN Environment Programme, 2019).

В Україні за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України середня річна температура з початку ХХ ст. зросла більш ніж на 2°C, зокрема на 1,2°C за останні 30 років (How the climate, 2020). Останніми роками кількість днів із максимальними температурами влітку понад 35°C і 40°C зросла майже вдвічі, тобто йдеться про екстремальні погодні явища. На більшій частині України вже спостерігається тенденція до посилення посух, посилення пожежної небезпеки внаслідок збільшення кількості та тривалості спекотних періодів. Збільшення літніх екстремумів температури призводить до загрози зникнення окремих видів та появи нових та інвазивних видів. Такі зміни несуть у собі загрозу скорочення площ лісів та зміну видового складу. Зокрема у дослідженні наведено прогноз для сосни звичайної

(Buksha et al., 2017). Відповідно до дослідження було визначено, що згідно з прогнозом у період 2080–2100 рр. відбуватиметься значне звуження зони оптимального росту за показником вологості клімату. Через зміну клімату очікують, що до кінця ХХІ ст. з'являться доволі значні площі з несприятливими кліматичними умовами для росту сосни звичайної.

Матеріали і методи дослідження.

За основу дослідження взято аналіз наукових статей, у яких розглянуто вплив регіональних і національних змін клімату на радіальний приріст деревостанів сосни звичайної. Визначено залежність радіального приросту сосни від дії кліматичних факторів, таких як опади, температура, вологість, а також глибоких деформацій і депресій гідрологічного режиму.

Результати дослідження та їх обговорення. Деревя реагують на будь-які коливання зовнішнього середовища, що проявляється у зміні ширини річних кілець – добре виражених і легкодоступних анатомічних ознак. Деревя, які зазнали впливу різних чинників, мають однаковий порядок чергування широких і вузьких річних кілець, причому вузькі кільця вказують на роки посух та інші обмежувальні фактори росту, широкі – на сприятливі роки (Bitvinskas, 1974).

Як зазначає у своїй роботі А. І. Гетьманчук, на основі відомчих матеріалів лісогосподарських підприємств зони Полісся, які перебувають у підпорядкуванні Волинського обласного управління лісового та мисливського господарства (Волинського ОУЛМГ), щодо осередків гострого всихання соснових лісів за останні два роки було висунуто гіпотезу про кліматичне походження його першопричин (Getmanchuk et al., 2017). Для аналізу загальних тенденцій і закономірностей клі-

мату в районі розташування лісів використано архівні дані метеоспостережень метеостанції Ковеля за період із 1946 до 2015 рр. За результатами досліджень було встановлено, що всихання нового типу, в основі яких лежить ураження сосни агресивними стовбуровими шкідниками і патогенними грибами, на території Волинської області у значних розмірах почали проявлятися за останні 2 роки. Станом на 3 жовтня 2016 р., за даними фахівців Волинського ОУЛМГ, було виявлено 8861 осередок характерного гострого всихання загальною площею 3708,7 га. Таку активність агресивних стовбурових шкідників, яка проявилася під час посушливого періоду, згідно з дослідженням, яке провів А. І. Гетьманчук, також можна пов'язати зі зменшенням продуктивної вологи у ґрунті; цей зв'язок описано нижче у матеріалах цього дослідження. Під час обстеження соснових насаджень виявлено, що останнім часом вони функціонують у кардинально змінених лісорослинних умовах. Аналіз комплексу характеристик місцезростань і стану рослинності засвідчив, що в лісових районах наявні нетипово глибокі деформації і депресії гідрологічного режиму. Вони вирізняються гострим характером і потужним негативним впливом на ліси, однак до цього часу деталі механізму їхнього утворення та дії залишались невизначеними. Клімат району розміщення підприємств Волинського ОУЛМГ у матеріалах попередніх лісовпорядкувань описано як помірний, вологий, із м'якою зимою, нестійкими морозами, відлигами, нежарким літом, значними опадами, затяжними весною та осінню. Територія розташування основних лісових масивів характеризувалась близьким заляганням рівня ґрунтових вод. Поширеними є дерново-опідзолені ґрунти

переважно легкого механічного складу. На цьому варто наголосити, тому що таким ґрунтам властиві висока водопроникність та низька вологопідйомна здатність (капілярність). Ці обставини сприяють швидкому формуванню кризового гідрологічного режиму під час посух. Зокрема, у гостропосушливому 2015 році про дефіцит продуктивної вологи лісова рослинність почала сигналізувати у другій половині вегетації. Характерні реакції проявились у вигляді в'янення і дочасного завершення вегетування трав'яної та деревно-чагарникової флори, часткової втрати листя окремими породами (береза, липа, горобина та ін.), припинення ростових процесів, дочасного скидання хвої старшого віку, неповноцінного плодоношення тощо. Загальне масове ослаблення головного деревостану супроводжувалось також численними термічними ураженнями листової поверхні у підлісковому ярусі та у підрості.

У процесі цього дослідження у насадженнях було виявлено висихання перезволожених і заболочених ділянок, а також висихання лісових криниць та копанок через збільшення посушливого періоду. Спостерігалось падіння рівня води у водоймах усередині лісових масивів та урочищ, та брак води в меліоративних системах на лісових і прилеглих територіях. Характерним проявом кризового гідрологічного режиму також є повне зникнення в лісових масивах типових об'єктів поверхневих вод у різноманітних пониженнях, заглибинах тощо. Враховуючи всі аспекти, які було висвітлено під час дослідження, можна стверджувати, що існує прямий зв'язок між посушливими періодами та депресіями гідрологічного режиму у насадженнях. Своєю чергою, це впливає на в'янення та дочасне припинення вегетування чагарникової рослинності та часткову втра-

ту листя окремих деревних порід. Унаслідок погіршення гідрологічного режиму в насадженнях спостерігалась активізація стовбурових шкідників, що також пов'язано з ослабленням насаджень через посухи.

У дослідженні І. М. Коваль та ін. «Дендрокліматологічні дослідження сосни звичайної в насадженні Лівобережного Лісостепу України» за мету було взято виявлення впливу змін клімату на радіальний приріст сосни в Лівобережному степу на прикладі 100-річного соснового насадження ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (Koval et al., 2017). Були використано дендрохронологічні методи. За результатами створено деревно-кільцеві хронології, які допомогли встановити зв'язки між кліматичними чинниками та радіальним приростом сосни за два періоди: 1960–1988 та 1988–2016 рр.

Кореляційний аналіз та функція відгуку за два періоди показали, що через збільшення температур та кількості опадів (виняток – зимові опади) змінилася реакція лісових екосистем на зміни клімату, зокрема: в першому періоді (1960–1988 рр.) був позитивний вплив літніх температур на радіальний приріст, однак приріст радіальних кілець обмежували квітневі температури, у другому періоді (1988–2016 рр.) червневі температури вже негативно впливали на приріст. За позитивного весняного температурного та гідрологічного режиму можна спостерігати радіальний приріст, не обмежений згаданими показниками, однак він нівелюється за рахунок високих липневих температур. При цьому варто зазначити, що незначне збільшення кількості опадів за вегетаційний період не змогло пом'якшити вплив високих температур вегетаційного періоду на радіальний приріст.

Також було досліджено реакції радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату та рекреаційне навантаження в Лісостеповій зоні України (Koval, 2011). Застосовано загальноприйнятні методи в лісівництві та лісовій таксації, методи порівняльної екології та дендрохронологічні методи. Керни було відібрано на висоті 1,3 м стовбурів сосни буравом Преслера з біогруп дерев. Вимірювання величин шарів річної деревини виконано на цифровому приладі Henson із точністю до 0,01 мм. Отримані серії індивідуальних величин кілець дерев усереднено для кожного насадження. Дані величин річних кілець оброблено за програмами Міжнародного банку даних деревних кілець (ITRDB).

Для аналізу впливу клімату на формування деревних кілець використано дані Комсомольської метеостанції. З метою встановлення порушень у насадженнях під впливом стрес-факторів було використано обчислення індексів змін приросту (GG_t) для року пошкодження (t), які є універсальними для всіх видів порід та умов місця зростання. В результаті аналізу динаміки радіального приросту сосни для періодів 1967–2008 рр. виділено три періоди розвитку деревостанів. У лісостеповій зоні потепління та збільшення кількості опадів почали прискорюватися протягом 1989–2008 рр. Особливо швидко підвищувалися температури упродовж холодного періоду, що призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни внаслідок порушення зимового спокою дерев у 1999–2008 рр. Водночас опади меншою мірою почали обмежувати формування річних кілець сосни. Виявлено періоди розвитку деревостанів за динамікою радіального приросту сосни: 1967–1975, 1976–1989 та 1990–2008 рр., а також роки мінімального радіально-

го приросту дерев (1975, 1983, 1984, 1987, 1990, 1994, 1996, 2002 та 2007 рр.), які характеризуються посухами і низькими температурами взимку та ранньою весною, за винятком 2007 р. з надзвичайно теплою зимою та ранньою весною. Максимуми радіального приросту сосни встановлено у 1980, 1989, 1997 та 2004 рр. із сприятливим співвідношенням тепла та вологості для росту дерев.

У процесі дослідження було визначено, що порушення зимового спокою дерев унаслідок швидкого підвищення температури протягом зимового періоду у 1999–2008 рр. призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни. Також у роках, для яких характерним було зменшення кількості опадів, посухи та низькі температури взимку та весною, було визначено мінімальні радіальні прирости дерев. Максимуми радіального приросту були в роки зі сприятливим співвідношенням температурного та гідрологічного режиму.

У своєму дослідженні О. В. Жуковський і О. В. Зборовська (Zhukovskiy & Zborovska, 2015) проаналізували зв'язки між індексами радіального приросту сосни і кліматом для насаджень 61–80-річного віку, які ростуть в умовах свіжого бору на моренних і водно-льодовикових відкладах. Для 1945–1976 рр. виявлено позитивний вплив опадів на радіальний приріст сосни для насаджень свіжого бору в місцях водно-льодовикових відкладень, тобто в бідних умовах і з низькою вологості ґрунту за рік і за вегетаційний період. У 1977–2008 рр. ці зв'язки зменшуються, що пояснюється збільшенням кількості опадів. Порівнюючи періоди 1945–1976 і 1977–2008 рр. було встановлено, що кількість опадів за вегетаційний період збільшилася на 5 %, а за рік – на 7 %.

Однак у 2001–2010 рр. кількість опадів протягом вегетаційного періоду, навпаки, зменшилася на 10 %. Опади позитивно вплинули на радіальний приріст дерев у насадженнях свіжого бору в місцях водно-льодовикових відкладень.

Негативний вплив температур вегетаційного періоду на формування річних шарів деревини виявлено для насаджень, що ростуть у свіжому бору на водно-льодовикових відкладах для 1945–1976 рр. Пізніше, в 1977–2008 рр. це обмеження ослабло у зв'язку з тим, що температура порівняно з попереднім періодом 1945–1976 рр. збільшилася на 1,3 % (0,21°C). Швидкість потепління прискорилося упродовж 1999–2008 рр., коли середньорічна температура збільшилася на 6 % (на 0,9°C). Березневі температури в другому періоді (1977–2008 рр.) посилили вплив на радіальний приріст сосни для всіх насаджень свіжого бору і свіжого субору на моренних і воднольодовикових відкладах внаслідок їх підвищення порівняно з 1945–1976 рр. на 62 % (1,8°C). Зимові температури піднялися в 1977–2008 рр. порівняно з 1946–1976 рр. на 66 % (1,5°C). Виявлено позитивний вплив на радіальний приріст зимових температур для насадження свіжого бору на морені для 1977–2008 рр. і в насадженні, що зростало в умовах свіжого бору на водно-льодовикових відкладах для 1946–1976 рр. Встановлено, що насадження в умовах свіжого бору на водно-льодовикових відкладах являються найбільш чутливими до клімату. Радіальний приріст у всіх насадженнях обмежують такі кліматичні чинники, як опади, відносна вологість за вегетаційний період, а також зимові та ранньовесняні температури. Для 1977–2008 рр. порівняно з 1945–1976 рр. зменшилась залежність радіального приросту сосни від опадів, кількість яких збільши-

лася на 7 % за вегетаційний період, проте у 2001–2010 рр. відбувався зворотний процес – зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду і посилення залежності радіального приросту від температур, які збільшилися відповідно на 1,3 % і 62 %.

В. П. Іванов у своєму дослідженні (Ivanov et al., 2021) запропонував підхід для аналізу причин різкого спаду тренду радіального приросту під впливом температури та опадів. Дослідження проводили на території Брянського адміністративного району в Навчально-дослідному лісовому господарстві Брянського державного інженерно-технологічного університету. Вивчали кліматичну ситуацію упродовж п'яти років до спаду приросту та п'яти років після цього. Варто зауважити, що радіальний приріст за п'ять років перед спадом не був однаковий. Під час проведення дослідження було виявлено, що більш інформативну картину особливостей радіального приросту дає деталізація впливу температури на рівні середньомісячних температур поточного та попереднього вегетаційного періоду, а також використання показників середньомісячної кількості опадів. Отже, радіальний приріст сосни звичайної на території Брянської області в сухих та свіжих борах відбувається в роки з холодним січнем, більш теплим травнем та серпнем поточного року, за умови більш теплого січня минулого року. Значного впливу середньомісячної кількості опадів в умовах порушення гідрологічного режиму не виявлено.

Висновки і перспективи. Вплив зміни клімату на ліси України є різним, залежно від географічного положення, геоморфології та рельєфу типів лісу й режиму ведення лісового господарства. Стан і динаміка лісових екосистем є результатом складної взаємо-

дії факторів довкілля. Трендові зміни основних кліматичних показників у межах сучасних та очікуваних значень є менш небезпечними, ніж мінливість клімату, частота й суворість екстремальних ситуацій (теплові хвилі чи посухи). Ріст сосни звичайної в Україні лімітується зволоженням клімату. За рівнем зволоження сприятливі умови дуже мало представлені, задовільні умови для сосни на заході та незначною мірою на півночі, а на решті території – малозадовільні та екстремальні. Непридатні умови спостерігаються на півдні України.

Основними лімітуючими факторами впливу на радіальний приріст сосни звичайної є кількість опадів, вологість ґрунту та його капілярність, температурний режим на початку вегетації деревостанів. Вплив літніх температур також вносить свої корективи в розви-

ток насаджень. Екстремальні літні температури можуть спричиняти раннє опадання листя з деревно-чагарникової рослинності внаслідок зміни гідрологічного режиму.

Зміна кліматологічної ситуації може призвести до істотної трансформації лісових покривів, зокрема і до зміщення меж ареалів сосни. Саме зміни клімату є одним із найнебезпечніших факторів подальшої руйнації лісових покривів та дестабілізації лісового господарства.

Щоб успішно протистояти негативному явищу, потрібно знати механізм ідентифікації змін типів насаджень та стійкості сосни звичайної у перспективі, провести ретроспективний аналіз для встановлення ступеня та механізму впливу змін клімату в контексті прогресуючого поширення депресій та дигресій насаджень.

Список літератури

- Bitvinskas, T. T. (1974). *Dendroclimatological research*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].
- Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., Tselyshev, O. G., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., & Pasternak, V. P. (2017). Vitality forecasting for scots pine and English oak in condition of climate change in the lowland of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 130 (Ecology and monitoring), 146–158 [in Ukrainian].
- Conference on Climate Change in Paris. (2015). Available at <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21>.
- Getmanchuk, A., Kychylyuk, O., Voytyuk, V., & Borodavka, V. (2017). The Regional Changes of Climate as Primary Causes of Strong Withering of Pine Stands in Volyn Polissya. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27 (1), 120–124 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/40270127>
- How the climate is changing in Ukraine. (2020). Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. Available at <https://mepr.gov.ua/news/35246.html> [in Ukrainian].
- Ivaniuta, S. P., Kolomiiets, O. O., Malynovska, O. A., & Yakushenko, L. M. (2020). *Climate change: consequences and measures for adaptation*. Analytical report. Kyiv: NISS [in Ukrainian].
- Ivanov, V., Marchenko, S., Nartov, D., & Baluh-ta, L. (2021). Radial Growth of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) under Inhibition. *Forestry Journal*, 1, 69–81 [in Russian]. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-1-69-81>
- Koval, I. M. (2011). Response of pine radial growth to change of climate and recreational load in forest-steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 21 (2), 63–70 [in Ukrainian].
- Koval, I. M., Bräuning, A., Melnik E. E., & Voronin, V. O. (2017). Dendroclimatological research of scots pine in stand of the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Man and environment. Issue of neoecology*, 3–4 (28), 66–73. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07>
- UN Environment Programme. (2019). Emissions Gap Report 2019. Available at <https://www.unenvironment.org/resources/emissions-gap-report-2019>.
- Zhukovskiy, O. V., & Zborovska, O. V. (2015). *Annual increment of pine plantations on the different mother rocks in Zhytomyr Polissya*. Available at <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/741> [in Ukrainian].

Romanenko V. A.
**IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON SCOTS PINE STANDS:
STATE, PROBLEMS, CHALLENGES**

It has been investigated that since the beginning of the 19th century, the degradation of pine stands has acquired a huge scale on all continents. In Ukraine, according to the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, the average annual temperature since the beginning of the 20th century has increased by more than 2 degrees Celsius, including 1.2 degrees over the past 30 years.

In recent years, the number of days with maximum summer temperatures above 35–40 degrees has almost doubled, which refers to extreme weather events. In most of the territory of Ukraine, there is already a tendency towards an increase in drought, an increase in fire hazard, the recurrence of years during which forest plantations will sustain water stress, damage by pests, as well as degradation of forest ecosystems as a result of an increase in duration of hot periods.

It has been determined that dendrochronological methods are used to study the relationship between climate change and radial growth of pine. The main methods for studying radial growth is taking cores at a height of 1.3 meters from two opposite radii to prevent random factors from affecting the radial growth.

The width of the annual rings is determined using devices for dendrochronological studies with automatic data recording. The data on the values of annual rings are processed according to the programs of the International Tree-Ring Data Bank (ITRDB).

To synchronize the series with the establishment of the calendar year, the formation of each annual increment, the specialized COFECHA program is used. It has been established that the growth of scots pine is limited by climate humidification and the presence of a sufficient amount of moisture in the soil; however, in the presence of extreme temperatures, a negative trend towards drying out of forest plantations still persists.

Keywords: dendrochronology, pathological processes, climate change, pine, radial increment.

Отримано: 2021-05-05