

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**



**КОВАЛЬ ІРИНА МИХАЙЛІВНА**

УДК 630\*561.24: 551.583.4

**ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ СОСНОВИХ  
І ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНИ**

06.03.03 «Лісознавство і лісівництво»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора сільськогосподарських наук

Київ – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису  
Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природо-  
користування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий консультант** доктор сільськогосподарських наук,  
професор, член-кореспондент НААН  
**Лакида Петро Іванович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
директор Навчально-наукового інституту  
лісового і садово-паркового господарства

**Офіційні опоненти:** доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Лавний Василь Володимирович**,  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний лісотехнічний  
університет України»,  
проректор з наукової роботи

доктор сільськогосподарських наук  
**Іванюк Ігор Дмитрович**,  
Малинський фаховий коледж,  
директор

доктор біологічних наук  
**Черневий Юрій Іванович**,  
Прикарпатський фаховий коледж  
лісового господарства та туризму,  
директор

Захист відбудеться «22» грудня 2021 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.09 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «20» листопада 2021 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А. Г. Лашенко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вивчення механізмів стійкості лісових екосистем до зміни клімату та адаптації до неї є надзвичайно актуальним питанням сьогодення. Дендрохронологічний аналіз дає змогу отримати відповіді на великий спектр питань, пов'язаних із динамікою лісу, оцінкою стану насаджень, реконструкцією клімату та прогнозуванням природно-кліматичних і антропогенних змін (Douglass A. E., 1919; Vinš B., Mrkva R., 1973; Битвинскас Т. Т., 1974; Farrar J. F., 1977; Ловелиус Н. В., 1979; Thompson M. A., 1981; Kennedy-Sutherland E., Martin B., 1990; Cook E. R., Kairiukstis L. A., 1990; Nöjd P. et al., 1996; Juknys R. et al., 2003; Orowiec S. et al., 2005; Рысин Л. П., Рысин С. Л., 2008; Elling W. et al., 2009; Vincent M. et al., 2011; Rozas V., 2018). До негативних наслідків глобальних змін клімату належать зміни структури деревостанів у зв'язку зі зсуненням границь ареалів лісових видів, збільшення тривалості пожежонебезпечного періоду, покращення умов для спалахів шкідників, збільшення ймовірності пізніх весінніх приморозків, погіршення умов місцезростання внаслідок зниження рівня ґрунтових вод, погіршення умов перебування дерев у стані зимового спокою внаслідок нестійкого снігового покриву. Підвищення температур, зміна режиму, інтенсивності та частоти опадів спричиняють погіршення санітарного стану лісів, ослаблення та масове всихання деревостанів. Посилення негативного впливу абіотичних, біотичних та антропогенних факторів призводить до порушення їх природного розвитку, всихання та зменшення біорізноманіття (Malik I. et al., 2012; Roibu C. C. et al., 2015; Meshkova V. L. et al., 2019; Meshkova V., 2020; Bose A. K. et al., 2020).

Згідно з євроінтеграційною спрямованістю політики України, яка підтримала міжнародні дії, спрямовані на боротьбу зі зміною клімату, Верховна Рада ратифікувала Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату. Відповідно до Паризької угоди, де зазначено, що багатofункціональне та стійке лісове господарство є надважливою складовою у стабілізації змін клімату, надзвичайно важливим, є вивчення питання щодо впровадження принципів сталого розвитку у практику, у тому числі адаптації лісових екосистем до змін клімату («Рамкова конвенція ООН про зміну клімату», 1992; Лакида П. І. та ін., 2004; Lakyda P. I. et al., 2005; Лакида П. І. та ін., 2013; «Паризька кліматична угода», 2015).

Унаслідок застосування методів дендрохронологічного та дендрокліматичного аналізу для виявлення та оцінки зовнішніх впливів на лісові екосистеми, сформувався науковий напрямок – дендроіндикація природної та антропогенної динаміки стану екосистем. В умовах зміни клімату деревостани, пошкоджені промисловим забрудненням та рекреацією, стають надзвичайно вразливими до впливу стрес-факторів. Побудова регіональних дендрокліматичних шкал природної мінливості радіального приросту дерев у різних лісорослинних умовах створює основу екологічного моніторингу стану лісових екосистем (Колищук В. Г., 1967; Битвинскас Т. Т., 1974; Fritts H. C., 1976; Ваганов Е. А., Терсков І. А., 1977; Шовган А. Д., 1987; Schweingruber F. H. et al., 1990; Шиятов С. Г. и др., 2000; Vitas A., 2004; Bouriaud O., Popa I., 2007;

Speer J. H., 2010; Sheppard P. R., 2010; Gebrekirstos A. et al., 2014; Natalini F. et al., 2015; Helama S. et al., 2018; Harvey J. E. et al., 2020).

В Україні є наявний досвід дендрохронологічних досліджень (Шведов Ф., 1892; Рудаков В. Е., 1951; Колищук В. Г., 1966, 1967; Важов В. І., 1985; Шовган А. Д., 1987; Ковалев П. В. и др., 1989; Ловелиус Н. В., Грицан Ю. И., 1990; Мазепа В. Г. та ін., 2010; Ворон В. П., Коваль І. М., 2010; Прокопюк Ю. С., Нецветов М. В., 2018; Netsvetov M. et al., 2018; Gritsan Y. I. et al., 2019; Коваль І. М., 2021). Погіршення стану деревостанів, їх усихання під впливом несприятливих абіотичних, біотичних та антропогенних факторів в умовах зміни клімату потребує подальших методичних розробок в області дендрохронології для подальшого вивчення адаптації лісових екосистем до нових умов.

Дане дисертаційне дослідження є одним з етапів, що формує методологічну базу для використання дендрохронологічної інформації у сфері лісознавства та лісівництва.

З огляду на вищевикладене, дослідження динаміки радіального приросту дерев у соснових та дубових деревостанах методами дендрохронології в умовах зміни клімату та впливу антропогенного навантаження в різних природних зонах України є своєчасними та актуальними.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційне дослідження виконано в рамках тематик науково-дослідницьких робіт лабораторії екології лісу Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького за темами: «Розробити основні положення щодо організації та ведення лісового господарства в лісах зелених зон населених пунктів України для забезпечення стійкості лісів, стабільності виконання ними екологічних функцій та раціонального лісокористування», № держреєстрації 0103U001838 (2003–2005 рр.); «Оцінка стану та стійкості лісів зелених зон міст і населених пунктів, організація їх моніторингу та розробка оптимізованих технологій рекреаційного лісокористування», № держреєстрації 0105U005861 (2006–2009 рр.); «Вивчити структурно-функціональні зміни деревостанів в умовах антропогенного впливу та розробити рекомендації щодо ведення лісового господарства в них», № держреєстрації 0104U001926 (2010–2014 рр.), а також науково-дослідних тематик Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна: «Пошук шляхів оптимізації екологічної мережі Харківської області методами ландшафтно-екологічного планування (№ держреєстрації 0112U003714); «Ландшафтно-екологічне моделювання лісових насаджень зеленої зони м. Харків для оцінки екологічних ризиків» (№ держреєстрації 0118U002171), які виконувалися на кафедрі екологічного моніторингу і заповідної справи Навчально-наукового інституту екології.

До виконання зазначених наукових тем здобувач залучалася відповідальним виконавцем окремих розділів як науковий співробітник, старший науковий співробітник та провідний науковий співробітник.

Під час виконання госпрозрахункової науково-дослідницької роботи № 67 на тему: «Вивчити причини всихання дубових та ясеневих

деревостанів в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району Житомирського Полісся (2013–2014 рр.) на базі Державного підприємства «Новоград-Волинське досвідне лісомисливське господарство» здобувач була керівником.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є опрацювання теоретико-методологічних основ та експериментальне обґрунтування дендрохронологічної оцінки радіального приросту сосни звичайної, дуба звичайного та сосни кримської під впливом кліматичних та антропогенних факторів у лісовій і лісостеповій зонах України.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

- проаналізувати теоретичні засади дендрохронологічної оцінки радіального приросту дерев в Україні та в зарубіжжі;
- побудувати деревно-кільцеві хронології за шириною річного кільця для різних видів дерев, які ростуть в Поліссі, Лісостепу та Кримських горах. Отримати статистичну характеристику цих хронологій;
- виявити основні кліматичні та антропогенні чинники, що визначають величину радіального приросту дерев в умовах зміни клімату. Встановити можливість адаптації лісових екосистем до зміни клімату;
- виявити особливості впливу рівня ґрунтових вод на радіальний приріст дуба звичайного у Поліссі в умовах зміни клімату;
- встановити і обґрунтувати зв'язки між радіальним приростом сосни, кліматом, атмосферним забрудненням та рекреаційним навантаженням.

*Об'єкт дослідження* – система дендрохронологічних досліджень деревостанів сосни звичайної та дуба звичайного в Українському Поліссі й Лісостепу і сосни кримської у гірському Криму.

*Предмет дослідження* – закономірності реакції радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного на зміну клімату та антропогенне навантаження в деревостанах Полісся, Лісостепу та південних схилів Кримських гір.

**Методи дослідження.** В основу теоретико-методологічних, методичних та експериментальних досліджень покладено діалектико-системний метод пізнання процесів, явищ і законів природи з використанням загальнонаукових методів (аналізу, синтезу, спостереження, порівняння, вимірювання тощо).

Для вирішення сформульованих завдань використано сучасні методи, які включають загальноприйняті в лісівництві і лісовій таксації, порівняльній екології та дендрохронології, що базуються на зборі інформації про ширину шарів річної деревини, особливостях радіального приросту дерев і його структури у хвойних та кільцесудинних дерев. Ця інформація дає інтегральну біоекологічну інформацію про умови росту дерев. Первинну камеральну і лабораторну обробку дослідних даних, отриманих у соснових та дубових деревостанах на постійних та тимчасових пробних площах, здійснено з використанням комп'ютерного пакета Excel, Statistica і прикладних програм COFESHA, ARSTAN, RESPONSE з пакету програм «Dendrochronology Program Library», розроблених Р. Холмсом, і програми PRECON, розробленої

Х. Фритсом з Арізонського університету США (Fritts H. C., 1976; Holmes R. L., 1986, 1994; Cook E. R., Kairiukstis L. A., 1990; Helama S. et al., 2018).

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

*вперше:*

– на підставі зразків із живих дерев розвинено нові регіональні деревно-кільцеві хронології тривалістю 143 роки для сосни звичайної та 143 роки для дуба звичайного у деревостанах Полісся; тривалістю 97 років для сосни звичайної та 114 років для дуба звичайного у деревостанах Лівобережного Лісостепу. Побудовано дві локальні деревно-кільцеві хронології для сосни кримської тривалістю 149 років та одну 42 роки для деревостанів південного схилу Кримських гір;

– встановлено комплекс факторів, які впливають на формування річного кільця сосни та дуба в умовах зміни клімату;

– виявлено комплекс чинників, які обмежують радіальний приріст сосни звичайної та дуба звичайного в деревостанах зеленої зони міста Харкова, порушених рекреацією;

– встановлено особливості стійкості соснових деревостанів, пошкоджених промисловими викидами, дендрохронологічними методами в умовах зміни клімату;

– виявлено особливості впливу на стан дубових деревостанів коливань рівня ґрунтових вод у Поліській частині Новоград-Волинського фізико-географічного району в умовах зміни клімату;

– проведено порівняльний аналіз реакції деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної та дуба звичайного до зміни клімату в Поліссі та Лівобережному Лісостепу;

– *систематизовано й узагальнено* кліматичні чинники, які обмежують радіальний приріст дерев у реперні роки мінімального приросту та сприятливо впливають на формування шарів деревини у роки максимального приросту в умовах зміни клімату;

– *уточнено* критерії, за якими визначається стійкість радіального приросту дерев до впливу кліматичних чинників та рекреації в соснових деревостанах Лівобережного Лісостепу;

– *удосконалено* методику дослідження стрес-факторів на радіальний приріст дерев;

– *набули подальшого розвитку* методичні підходи щодо оцінювання стійкості насаджень, використовуючи радіальний приріст дерев як комплексний показник.

**Практичне значення одержаних результатів.** Одержані результати досліджень мають теоретичне і практичне значення для дендрохронологічного оцінювання радіального приросту сосни звичайної, дуба звичайного та сосни кримської під впливом кліматичних та антропогенних факторів у лісовій і лісостеповій зонах України:

– проводити більш інтенсивні санітарні рубки після років впливу стрес-факторів на деревостани, коли відбувається підвищений відпад ослаблених

дерев. Ці роки характеризуються відхиленням температур від норми на 15–56 % та зменшенням кількості опадів від норми на 30–70 %;

– застосовувати взаємозв'язки між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками як характеристику для оцінювання рівня стійкості деревостанів;

– враховувати показник частки пізньої деревини дуба звичайного для прогнозування залежності індексів радіального приросту від температур за квітень–серпень та рівня ґрунтових вод у лютому;

– критерії чутливості радіального приросту до змін довкілля можуть бути застосовані під час обґрунтування системного підходу до ведення лісового господарства.

Основні наукові положення знайшли втілення у рекомендаціях, наданих у процесі виконання наукових тематик лісогосподарським підприємствам Житомирського обласного управління лісового і мисливського господарства та у науково-дослідних роботах, які виконувалися в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна. Науково-теоретичні положення дисертаційного дослідження використовуються в освітньому процесі під час викладання навчального матеріалу студентам ОС «Бакалавр» з дисципліни «Лісознавство» та студентам ОС «Магістр» з дисципліни «Лісова екологія з основами лісознавства» за спеціальністю 101 «Екологія» у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є завершеною науковою працею, яку виконано на основі багаторічних наукових досліджень здобувача. Здобувачем сформульовано проблематику дослідження, визначено його мету та завдання, розроблено програмно-методологічні підходи. Закладено частину пробних площ, здійснено облік результатів польових і лабораторних досліджень, статистичну обробку й аналіз зібраного матеріалу. Здійснено огляд джерел наукової літератури за темою дисертації та узагальнено отримані результати.

Основна частина, наведених у дисертаційній роботі наукових положень, висновків і пропозицій належать особисто здобувачу та є її науковим доробком. Деякі результати одержано у співпраці з іншими науковцями, про що свідчать спільні наукові публікації та посилання в тексті дисертаційної роботи. Внесок здобувача в опубліковані разом із співавторами наукові праці полягає у проведенні дослідження й узагальненні отриманих результатів. Здобувачем підготовлено текст дисертаційної роботи, обґрунтовано висновки та рекомендації виробництву.

Результати досліджень можуть бути використані під час проведення екологічного моніторингу лісів та екологічних експертиз, для визначення заходів щодо підтримання стійкості лісів, забезпечення стабільності виконання ними екологічних функцій, збереження їхнього природного біорізноманіття та раціонального використання.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні положення дисертації обговорено на: Міжнародній ювілейній науковій конференції, присвяченій 75-річчю із дня заснування Українського ордена «Знак Пошани»

науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького (м. Харків, 2005 р.); International Conference of Dendrochronology EuroDendro 2005 (Viterbo, Italy, 2005); conference TRACE «Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology» (Riga, 2007); conference EuroDendro 2008 «The long history of wood utilization» (Hallstatt, Austria, 2008); науковій конференції, присвяченій 80-річчю від дня заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького (м. Харків, 2010 р.); IV міжнародній науковій конференції (м. Донецьк, 2011 р.); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 195-річчю від дня заснування Харківського національного університету імені В. В. Докучаєва «Проблеми сталого розвитку агросфери» (м. Харків, 2011 р.); науково-практичній конференції «Ліс, довкілля, технології: наука та інновації» (м. Київ, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції Кримського наукового центру Національної академії наук і Міністерства науки і освіти України «Біорізноманіття та стійкий розвиток» (м. Сімферополь, 2012 р.); Международной научно-практической конференции института леса Национальной академии наук Беларуси «Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития» (г. Гомель, 2013 г.); Науково-практичній конференції «Ліси, парки, технології: сьогодення та майбутнє» (м. Київ, 2013 р.); XIII Международной научно-практической экологической конференции «Биоразнообразие и устойчивость живых систем» (г. Белгород, 2014 г.); Науковій конференції, присвяченій 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького (м. Харків 2015 р.); XIII Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (м. Харків, 2017 р.); EuroDendro conference 2017 (Tartu, Estonia, 2017); XIV Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (м. Харків, 2018); XXI Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (м. Харків, 2018 р.); International scientific and practical conference «Prospects for the development of natural sciences in EU countries and Ukraine» (Wloclawek, Poland, 2018); XXII Міжнародній науково-практичній конференції національного університету імені В. Н. Каразіна «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» (м. Харків, 2019 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Київ, 2019 р.); Третій Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (м. Херсон, 2020 р.); VI Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (м. Харків, 2020 р.); XXIII Міжнародній науково-практичній конференції Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020» (м. Харків,

2020 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку» (м. Малин, 2021 р.); I Міжнародній Інтернет-конференції «Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи» (м. Харків, 2021 р.); Scientific Congress «Society of Ambient Intelligence – 2021» (Kryvyi Rih, 2021).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 70 наукових праць, з яких 2 монографії, 20 статей у наукових фахових виданнях України, у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних, 3 статті у наукових виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази даних Scopus, 5 статей в інших наукових виданнях, 36 тез наукових доповідей та 4 науково-методичні рекомендації.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація містить анотації, перелік умовних позначень, вступ, шість розділів, висновки, пропозиції виробництву, список використаних джерел (405 найменувань) та додатки. Загальний обсяг дисертації становить 415 сторінок. Основна частина дисертації містить 71 таблицю і 93 рисунки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ 1 «**Дендрохронологічний підхід до ретроспективного та просторового аналізу лісових екосистем**». Потепління клімату призвело до необхідності адаптації лісових екосистем до нових умов. Надзвичайно важливим є вивчення зміни реакції лісових екосистем до зміни клімату. Оскільки шари річної деревини (радіальний приріст) фіксують інформацію як про зміни в довкіллі, так і про реакцію дерев на ці зміни, вони можуть бути біоіндикаторами – інтегральними показниками стану лісових екосистем. Виникає необхідність проведення робіт, спрямованих на вивчення механізмів стійкості лісових екосистем до зміни клімату та адаптації до неї. Для цього необхідно вивчити реакції лісових екосистем на зміну клімату, що є надзвичайно актуальним питанням сьогодення (Douglass A. E., 1919; Kozłowski T. T., 1971; Vinš B., Mrkva R., 1973; Битвинскас Т. Т., 1974; Farrar J. F., et al., 1977; Ловелиус Н. В., 1979; Thompson M. A., 1981; Kennedy-Sutherland E., Martin B., 1990; Nöjd P. et al., 1996; Juknys R., Stravinskiene V., 2002; Elling W. et al., 2009; Vincent M. et al., 2011).

Розглянуто теоретичні основи і принципи дендрохронології, дендрокліматології та дендроіндикації як методи досліджень (Cook E. R., Kairiukstis L. A., 1990; Ловелиус Н. В., Грицан Ю. И., 1998). Аналіз наявних літературних джерел свідчить, що відомостей про мінливість радіального приросту основних видів деревних рослин у відповідь на дію природно-кліматичних факторів в різних природних зонах України явно недостатньо.

Дендрохронологія досліджує шари ранньої, пізньої та річної деревини, які протягом росту дерева акумулюють інформацію про явища у природному середовищі (кліматичні зміни, затоплення, зсуви, забруднення, рекреацію, пожежі, спалахи комах тощо) і зберігають їх протягом необмеженого часу.

Дендрохронологічні методи дають змогу за порівняно стислий термін оцінити реакцію радіального приросту дерев на екологічні зміни в лісових екосистемах як у часовому, так і у просторовому аспектах (Колищук В. Г., 1966; Молчанов А. А., 1976; Williams J. T., 1992; Ловелиус Н. В., Грицан Ю. И., 1998; Миленин А. И., 2010; Bräuning A. et al., 2016; Roibu C. C. et al., 2017; Netsvetov M. et al., 2018). Зазвичай у дендрохронології використовують хвойні та кільцесудинні породи, які мають чіткі границі між шарами ранньої та пізньої деревини (Битвинскас Т. Т., 1974).

У різні роки на території України дендрокліматичні дослідження розвивали: Ф. Н. Шведов (1892), В. Е. Рудаков (1951), В. Г. Колищук (1966), А. Д. Шовган (1987), П. В. Ковальов (1989), В. І. Важов (1985), М. В. Ловелиус та Ю. І. Грицан (1998), В. П. Ворон, І. М. Коваль (2006, 2021), О. В. Зборовська (2018), М. В. Нецветов та Ю. С. Прокопюк (2018).

Викиди  $SO_2$ ,  $NO_x$  та інших фітотоксичних сполук спричиняють серйозні порушення фізіології та обміну дерев, що, призводить до зменшення ширини річних кілець. Виявлено, що залежність між шириною кільця приросту та показниками клімату є різною у дерев, що ростуть поблизу джерел забруднення. Зафіксовано різну інтенсивність зменшення радіального росту дерев залежно від відстані до джерела забруднення та інтенсивності забруднювачів, що викидаються в атмосферу (Vinš B., Mrkva R., 1973; Ловелиус Н. В., 1979; Thompson M. A., 1981; Kennedy-Sutherland E., Martin B., 1990; Nöjd P. et al., 1996; Ворон В. П. и др., 2000; Koval I. M. et al., 2002; Juknys R. et al., 2003; Elling W. et al., 2009; Cedro A., Cedro B., 2018; Roibu C. et al., 2020).

Одним із наслідків рекреаційного використання насаджень є ущільнення ґрунту, що призводить до погіршення умов водного, повітряного режимів ґрунту та мінерального живлення рослин. Радіальний приріст у міру посилення рекреаційного навантаження зменшується. Чітко простежується вплив рекреації на коефіцієнт мінливості радіального приросту (Матвеев С. М. и др., 2015).

**Розділ 2 «Методологічні основи досліджень».** Методологія дисертаційного дослідження радіального приросту хвойних та кільцесудинних порід у різних природних зонах України ґрунтується на системному підході, поєднанні таксаційних і дендрохронологічних засад, теоретичному узагальненні та методах математичної статистики й моделювання. Наукові дослідження поєднують у собі використання різноманітних методів і форм наукового пізнання – аналіз, синтез, спостереження, експеримент, математичне моделювання та методи лісової таксації, дендрохронології та порівняльної екології.

Постійні та тимчасові пробні площі закладено за стандартними таксаційними методами («Пробні площі лісовпорядні», 2006) співробітниками лабораторії екології лісу Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького із врахуванням наукових рекомендацій (Ворон В. П. та ін., 2011). Санітарний стан насаджень визначено згідно із настановами «Санітарні правила в лісах України» (1995 р.).

Застосовано стандартні дендрохронологічні методики (Битвинскас Т. Т., 1974; Cook E. R., Kairiukstis L. A., 1990; Song Y. et al.). Керни відібрано по 15–25 штук буравом Преслера зі стовбурів дерев на висоті 1,3 м. Достовірними вважають такі результати вибіркового дослідження, які відповідають генеральній вибірці. Після повітряного висушування зразків поверхню кернів підготовлено за допомогою гострого леза, а контраст між межами річних кілець підвищено змочуванням водою та за допомогою крейди у разі складних випадків. Керни з гнилими частинами, поламані в декількох місцях і зразки, які не підлягали перехресному датуванню, вилучено з подальшої обробки. Не підлягали подальшій обробці також керни зі слабким перехресним датуванням, на що вказали низькі кореляції з іншими зразками у вибірці, та керни, що мали очевидні рубцеві тканини або інші докази важкої травми, а також зразки, які мали нечіткі межі між шарами деревини (Битвинскас Т. Т., 1974; Ваганов Е. А., Терсков І. А., 1977; Schweingruber F. H., 1988).

Частину матеріалу оброблено за допомогою цифрового приладу для вимірювання деревних кілець LINTAB із використанням програми TSAP у дендрохронологічній лабораторії Інституту географії при Університеті ім. Фрідріха-Александра міст Ерлангена та Нюрнберга в Німеччині і в дендрохронологічній лабораторії університету м. Вагенінген (Нідерланди) упродовж стажування. Також величини шарів ранньої, пізньої та річної деревини виміряно цифровим приладом HENSON із точністю до 0,01 мм в лабораторії екології лісу Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького.

В першу чергу проведено візуальний аналіз рядів. Досліджували графіки індивідуальних деревно-кільцевих хронологій в абсолютних одиницях (мм) і у вигляді індексів (відносні величини). Цей метод дав змогу оцінити загальний характер динаміки приросту, виявити роки екстремумів, простежити зміни амплітуди і частоти коливань, виявити циклічність коливань приросту (Матвеев С. М., Румянцев Д. Е., 2013).

Шляхом перехресного датування річних кілець (методом «скелетних графіків») встановлено точні дати формування кожного кільця порівнянням графіків річного радіального приросту кожного дерева. Дерева, які ростуть у межах однорідного за кліматичними умовами регіону, однаково реагують на зміни зовнішніх умов і мають подібні закономірності в коливаннях величин річного приросту. Більшість дерев мають синхронні зміни величин річних кілець. Процес перехресного датування полегшується, якщо виявляються негативні реперні роки, упродовж яких формуються вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою починає лімітуватися тим чи іншим зовнішнім фактором, або позитивні реперні роки, які характеризуються високим приростом і сприятливими гідротермічними умовами (Fritts H. C., 1976; Yamaguchi D. K., 1991; Génova M., 2012). Реперні роки визначено шляхом застосування подвійного критерію: по-перше, значення або індекси приросту у реперні роки мають перевершувати або поступатися більш ніж на 20 % середнім показникам попереднього року. По-друге, 75 % дерев мають однаковий тренд приросту (Andreu L. et al., 2007; Elferts D., 2007). Якість датування кілець перевірено за

програмою COFESHA. Шляхом зіставлення кореляційних коефіцієнтів між деревно-кільцевими хронологіями та їхніми частинами виявлено часові відрізки із слабкими незначущими кореляціями, які пов'язані з помилками під час вимірювання шарів деревини. У цьому випадку виникає необхідність переміряти ширину шарів деревини або вилучити зразки з вибірки (Holmes R. L., 1994; Grissino-Mayer H., 2001).

Загальну силу сигналу в серії визначено через межсерійний коефіцієнт кореляції ( $R_{bar}$ ), який розраховано як середню кореляцію між усіма деревно-кільцевими хронологіями (Wigley T. M., 1984). Популяційний сигнал (EPS) виражає надійність вимірювань у хронології і є функцією середньої кореляції між деревно-кільцевими хронологіями та кількістю деревно-кільцевих хронологій (Wigley T. M., 1984). Коефіцієнт чутливості є мірою середньої відносної зміни між сусідніми величинами річного кільця і обчислюється як абсолютна різниця між сусідніми індексами, поділена на середнє значення цих індексів. Вищі значення середньої чутливості та вищі стандартні відхилення вказують на більшу придатність хронологій для дендрокліматичного аналізу. Автокореляція першого порядку оцінює взаємозв'язки радіального приросту дерев поточного року із приростом попереднього року (Cook E. R., 1985).

Методом стандартизації, тобто створенням деревно-кільцевих індексних хронологій за допомогою програми ARSTAN вилучено вікові тренди з індивідуальних деревно-кільцевих серій, що дало змогу порівняти дерева з насаджень різного віку та знайти відгук радіального приросту на вплив умов довкілля. Ця процедура є фільтрацією низькочастотної складової в багаторічних коливаннях приросту (Cook E. R., Holmes R. L. et al., 1986). Отримано три види хронологій. Під час обчислення STANDART-хронології використано негативну експоненту. Потім часові ряди абсолютних значень деревних кілець були згладжені прямою лінією з нульовим або зворотнім нахилом, яку успішно підібрано для досліджуваної деревно-кільцевої хронології. Версія хронології RESIDUAL обчислюється таким самим способом, що і стандартна, але використовується одномірне авторегресійне моделювання. Хронологію ARSTAN обчислено на основі коефіцієнтів авторегресії, отриманих під час багатомірного авторегресійного моделювання. При цьому відбувається спроба «захопити» якомога більше кліматичних сигналів. Для цього спочатку використано лінійну апроксимацію, а потім – авторегресійне моделювання, щоб усунути вплив попередніх років на формування річного кільця поточного року. Середнє значення хронологій обчислено із застосуванням середньозваженого показника (Wigley T. M. et al., 1984; Holmes R. L. et al., 1986; Cook E. R., Kairiukstis L. A., 1990).

Стандартизація серій величин кілець дала змогу проаналізувати відгук радіального приросту дерев на дію кліматичних чинників за допомогою програм RESPO з пакету програм DPL та PRECON для отримання кліматичного функціонального відгуку. За допомогою програми RESPO проведено багатофакторний регресійний аналіз, в якому середня місячна температура повітря та місячна сума опадів є незалежними змінними. Застосовано покроковий регресійний аналіз із метою відбору найбільш впливових

на радіальний приріст кліматичних чинників, а також метод головних компонент для вилучення із аналізу кліматичних чинників, які тісно корелюють між собою, та множинний регресійний аналіз для оцінювання впливу клімату на приріст. Програма RESPO обчислює коефіцієнти лінійної кореляції ( $k$ ) та множинної регресії ( $r^2$ ). Аналіз функції відгуку застосовували для відстеження впливу кліматичних чинників на радіальний приріст за 15-місячний період (від липня попереднього року до вересня поточного року). Внаслідок цього виділено періоди, під час яких відбувалося обмеження приросту екологічними чинниками (Holmes R. L., 1994).

Для дендрокліматичного та дендроіндикаційного аналізів використано також чинники за різні періоди року (квітень-серпень, березень, зиму, травень-червень, липень-серпень тощо), гідротермічні показники  $O_3$ , гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянинова показники сонячної активності (числа Вольфа), рівні ґрунтових вод, показники забруднення та рекреації (Битвинскас Т. Т., 1974; «Агрокліматичний довідник», 2011).

З метою встановлення порушень у насадженнях під впливом стрес-факторів обчислено індекси зміни приросту ( $GC_t$ ) для року пошкодження ( $t$ ), які є універсальними для всіх видів дерев та умов місцезростання. Вважається, що зміни приросту відбулися, коли індекс  $GC_t$  перевищив поріг 25 %. Значне порушення в насадженні відбувається у випадку  $GC_t \geq 75$  %, середнє – в межах між 50 і 75 %, а незначне – між 25 і 50 % (Bouriaud O., Pora I., 2007).

Проведено ковзний кореляційний аналіз із інтервалом 35 років між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL і кліматичними чинниками метеостанції м. Харків.

В аналізі взаємозв'язків між показниками клімату і радіальним приростом використано поняття «норма» – це осереднені значення середньомісячних температур та сум опадів. Відхилення від норми чинників опадів і температур для років із екстремальними кліматичними явищами (посухами, холодними зимами тощо) виражено у відсотках (Lindsey R. et. al., 2019).

Використано методи порівняльної екології: було співставлено абсолютні та відносні величини деревних кілець, реакцію радіального приросту на зміни в природному середовищі в порушених промисловими викидами та рекреацією насадженнях екопрофілів та відповідними величинами на контролі (Коваль І. М., 2007).

**Розділ 3 «Фізико-географічна характеристика району досліджень та опис експериментальних ділянок».** Наведено стислий опис фізико-географічного положення, рельєфу, кліматичних умов і ґрунтово-рослинного покриву регіонів досліджень згідно з фізико-географічним районуванням у зоні мішаних лісів (Поліська провінція, фізико-географічні області Волинського та Житомирського Полісся); у лісостеповій зоні (Західноукраїнська лісостепова провінція (Середньоруська лісостепова провінція) та на південних схилах Кримських гір (область Південного берега Криму). Опис виконано на підставі літературних джерел (Парубец О. Е., 2009; Гриневецький В. Т. та ін., 2017).

У Поліссі у 2001–2020 рр. порівняно з 1981–2000 рр. річні температури підвищилися на 1,5 °C (17 %), а у Лісостепу – на 1,2 °C (13 %), температури за

квітень-серпень – відповідно на 1,2°C (7 %) та 1,3 °C (7 %), березневі – на 1,8 °C (70 %) та 1,4 (68 %) і зимові на 1,5 °C (107 %) та 0,7 C (18 %). Потепління більш швидшими темпами відбувається в Поліссі, ніж у Лісостепу. Так зимові температури упродовж 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. в лісовій зоні підвищилися майже вдвічі, тобто на 1,5 °C, в Лісостепу – на 0,7 °C (на 22 %). Водночас в обох природних зонах річні температури підвищилися на 1,2–1,5 °C (13–17 %), середні температури за квітень-серпень – на 1,2–1,3 °C (7 %), березневі – на 1,4–1,8 °C (68–70 %) (Коваль І. М., Бологов О. В., 2021).

У Поліссі у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. відбулося зменшення кількості опадів упродовж квітня-серпня на 46,1 мм (13 %), тоді як річна кількість опадів збільшилася на 267 мм (30 %), а зимові опади збільшилися на 124 мм або 57 % (Коваль І. М., 2020).

У Лісостепу відбулося незначне збільшення кількості опадів. Так у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. річна кількість опадів збільшилася на 1,0 мм (0,18 %), за квітень-серпень – на 0,54 мм (0,21 %), а зимові – на 6,4 мм (5,0 %) (Коваль І. М., Максименко Н. В., 2020).

У Криму відбувається потепління: у 2002–2011 рр. у порівнянні з попередніми 1992–2001 рр. річні температури підвищилися на 0,74 °C (6 %), упродовж квітня-серпня – на 0,66 °C (3,4 %), березневі на 0,45 °C, зимові температури – на 0,45 °C (7,8 %). Збільшилася кількість річних опадів: у другому періоді у порівнянні з першим на 0,75 мм (27 %), зокрема упродовж квітня-серпня – на 59,2 мм (8,8 %), а упродовж зими, навпаки, – кількість опадів зменшилася на 54 мм (25 %). Зафіксовано збільшення кількості річних опадів у другому періоді порівняно з першим на 0,75 мм (27 %), при цьому упродовж квітня-серпня це збільшення відбулося на 59,2 мм (8,8 %), а упродовж зими навпаки – кількість опадів зменшилася на 54 мм (25 %) (Koval I. M., 2013).

*Обсяг виконаних робіт.* На двадцяти семи постійних та одній тимчасовій пробних площах обстежено 2800 дерев сосни звичайної, на шести постійних та на п'яти тимчасових пробних площах – 1050 дерев дуба звичайного, на трьох тимчасових пробних площах – 75 дерев сосни кримської; відібрано 540 кернів сосни звичайної, 220 дуба звичайного.

З метою дослідження промислового забруднення різного рівня на соснові деревостани відібрано 160 кернів для двох екологічних профілів, які складаються з постійних пробних площ, розташованих на різних відстанях від джерел забруднення. Відібрано 80 кернів дуба звичайного та 155 кернів сосни звичайної з метою дослідження впливу різного рекреаційного ступеню на соснові деревостани.

Проаналізовано ряди метеопказників метеостанції м. Харків за 1959–2020 рр., м. Житомир за 1945–2020 рр., метеостанції Нікітського ботанічного саду за 1969–2011 рр. Проаналізовано динаміку рівня ґрунтових вод в постійних спостережних свердловинах (Сусли-2, Сусли-3, Пилиповичі, Церемської осушувальної системи (с. Велика Горбаша), на Починській осушувальній системі (с. Пищів) за 2002–2014 рр. Проаналізовано динаміку сонячної активності (числа Вольфа) за 1934–2019 рр.

Розділ 4 «Динаміка радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного в умовах зміни клімату». Всі деревно-кільцеві хронології сосни звичайної в Поліссі придатні для дендрокліматичного аналізу, про що свідчать міжсеріальні коефіцієнти кореляції у кожній вибірці, сигнал EPS та коефіцієнти чутливості.

Досліджено вісім соснових деревостанів віком від 55 до 90 років, які ростуть в умовах свіжого бору (A<sub>2</sub>) та свіжого субору (B<sub>2</sub>). Створено регіональну деревно-кільцеву хронологію сосни звичайної для Полісся. Вона складається із 68 індивідуальних деревно-кільцевих серій і базується на восьми локальних деревно-кільцевих хронологіях, які містять 3995 шарів річної деревини. На основі цих серій побудовано локальні та регіональну індексну серію RESIDUAL для сосни звичайної, з яких вилучено віковий тренд, що дало змогу провести дендрокліматичний аналіз (рис. 1).

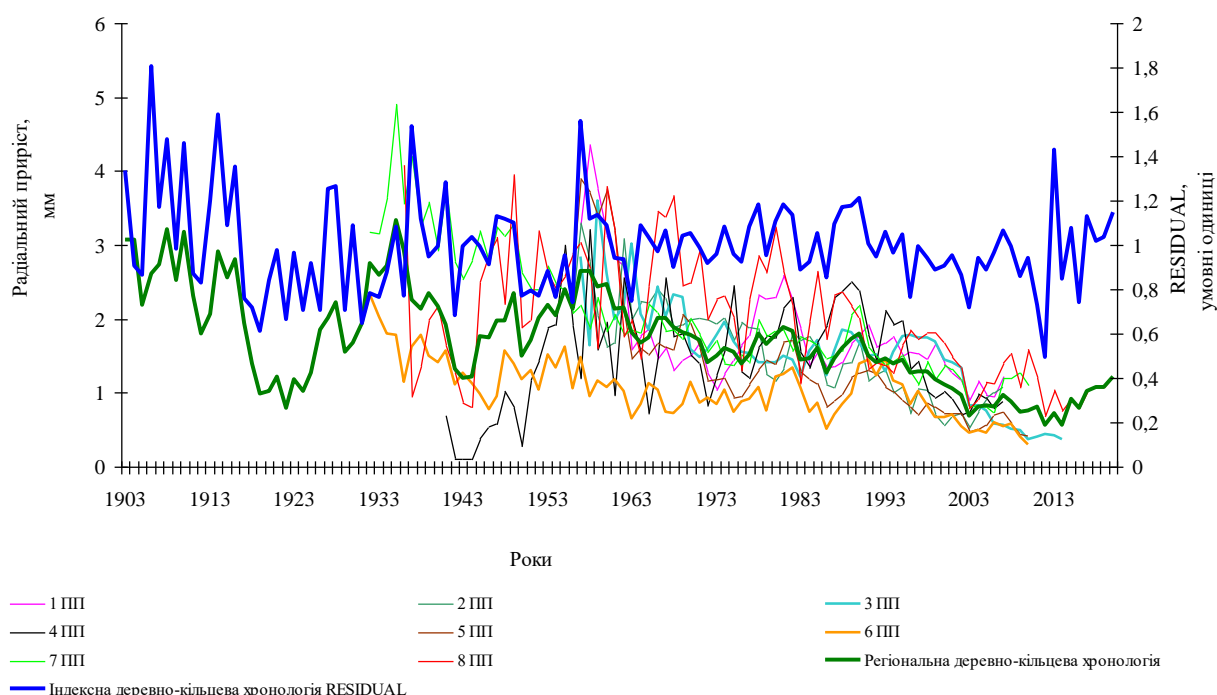


Рис. 1. Динаміка локальних та регіональної деревно-кільцевої хронології сосни і регіональної індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для Полісся: ПП – пробні площі

Упродовж реперних років мінімального приросту (1904, 1907, 1911, 1915, 1922, 1931, 1936, 1942, 1950, 1956, 1958, 1963, 1979, 1996, 2012, 2014 та 2016) виявлено, що радіальний приріст обмежують опади вегетаційного періоду (відхилення від норми – від 30 до 70 %), надзвичайно холодні (–56 %) та надзвичайно теплі зими (перевищення норми більше ніж втричі) та високі температури (відхилення норми до 18 %). В роки мінімального приросту зменшення радіального приросту у порівнянні з попереднім роком становило від 20 до 56 %, а у роки максимального приросту перевищення відповідних величин – від 24 до 60 %. До 1979 року у мінімальні реперні роки радіальний приріст обмежували посухи вегетаційного періоду та низькі температури взимку, а після 1979 року – посухи та теплі зими.

Роки максимального приросту (1903, 1907, 1914, 1927, 1937, 1947, 1957, 1964, 1997 та 2013) характеризувалися сприятливим співвідношенням тепла та вологи. Перевищення кількості опадів у порівнянні з нормою сягало понад 32 % у квітні–серпні, а упродовж вологих зим досягло майже 50 %. Для вивлення реакції радіального приросту до змін клімату порівняно наступні періоди для Полісся 1959–1989 та 1990–2020 рр. Для першого періоду обчислено множинний регресійний коефіцієнт (R) між радіальним приростом, температурами і опадами, який склав 0,91 при рівні значущості 0,0004. Варіації індексів приросту пояснюються множинним регресійним аналізом на 82,7 %. Для другого періоду відповідний множинний регресійний коефіцієнт (R) становив 0,63 при рівні значущості 0,03. Загальну варіабельність радіального приросту пояснено на 40,2 %. У роки мінімального приросту зменшення приросту у порівнянні з попереднім роком становило від 20 до 56 %, а у роки максимального було перевищення відповідних величин від 24 до 60 %.

Якість усіх деревно-кільцевих хронологій перевірено програмою COFESHA. Визначено тісну залежність величини річного кільця поточного року від річного кільця попереднього року, про що свідчать високі значення автокореляції першого порядку. Вищою чутливістю до варіацій чинників природного середовища характеризуються лісостани, які ростуть у бідніших умовах  $A_2$  на відміну від деревостанів, що ростуть у багатших умовах  $B_2$  (табл. 1).

Таблиця 1

**Статистична характеристика локальних і регіональної серій  
деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної у Поліссі  
за програмами COFESHA та ARSTAN**

№ ПП	Проміжок часу, рр.	m, мм	Неіндексовані серії				RESIDUAL серії		
			$R_{bar.}$	$S_{td.dev}$	$AC_1$	$MS_x$	M, відносні величини	$MS_x$	$S_{td.dev}$
1	1950–2007	1,42	0,334	0,791	0,705	0,253	1,01	0,190	0,229
2	1950–2007	1,33	0,375	0,784	0,582	0,326	1,00	0,188	0,202
3	1950–2007	1,33	0,325	0,818	0,686	0,306	1,00	0,188	0,205
4	1941–2007	1,59	0,337	0,901	0,674	0,323	0,99	0,226	0,213
5	1950–2010	1,24	0,304	1,110	0,680	0,332	0,99	0,200	0,315
6	1900–2010	1,10	0,336	0,682	0,691	0,305	0,99	0,249	0,235
7	1930–2010	1,82	0,336	1,100	0,645	0,278	0,99	0,194	0,184
8	1940–2020	1,81	0,285	1,128	0,647	0,331	0,978	0,186	0,187
Р. д-к.с.	1901–2020	1,40	0,301	0,888	0,664	0,311	0,987	0,213	0,222

Примітка. m – середня величина річного кільця; M – середня величина індексу RESIDUAL;  $R_{bar.}$  – міжсерійний коефіцієнт кореляції;  $S_{td.dev}$  – стандартне відхилення;  $AC_1$  – автокореляція першого порядку;  $MS_x$  – середня чутливість деревно-кільцевих хронологій; р. д.-к. с. – регіональна деревно-кільцева серія

Значущі негативні кореляції виявлено для Полісся березня-квітня. Встановлено, що в першому періоді температури липня, вересня, жовтня та грудня попереднього року негативно вплинули на радіальний приріст сосни

поточного року. У другому періоді вплив температур попереднього року посилюється, і виявлено негативний вплив температур з липня по грудень у попередньому році для регіональної деревно-кільцевої хронології Полісся є характерним посилення негативного впливу температур попереднього року на радіальний приріст. Літні температури стали негативно впливати на приріст сосни у другому періоді у порівнянні з першим, коли їхній вплив був позитивним (рис. 2, 3).

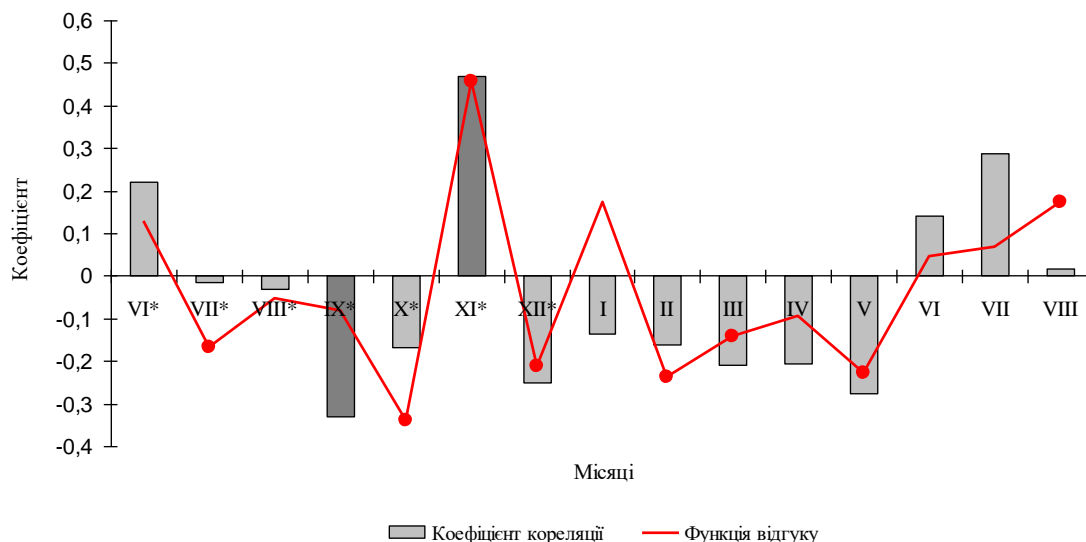


Рис. 2. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між місячними середніми температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної RESIDUAL у деревостанах Полісся за 1959–1989 рр.: темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ( $P < 0.05$ ), червоні кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (\*) – на місяці попереднього року

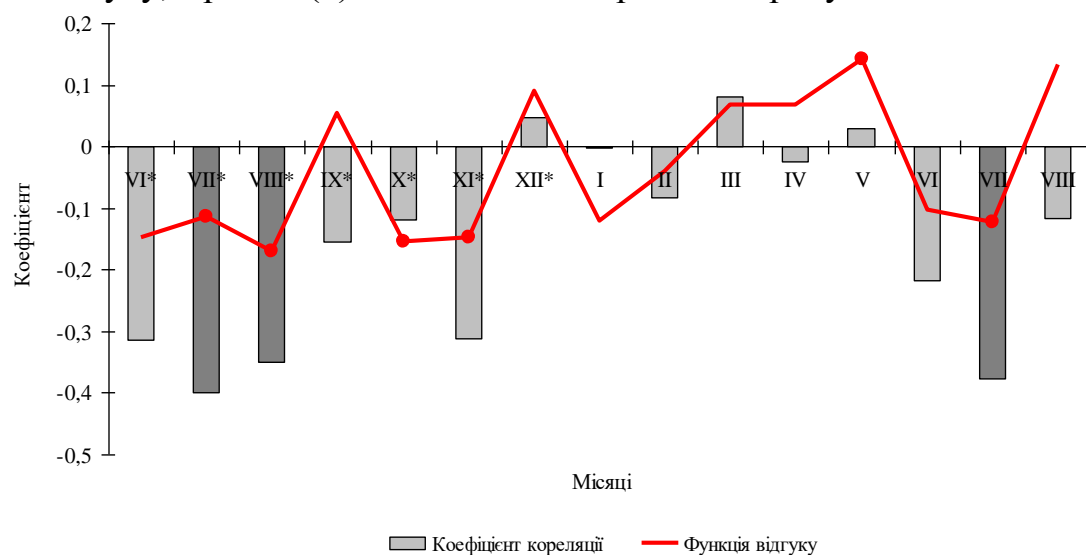


Рис. 3. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між місячними середніми температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної RESIDUAL в деревостанах Полісся за 1990–2020 рр.: темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ( $P < 0.05$ ), червоні кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (\*) – на місяці попереднього року

Під час порівняння реакції радіального приросту сосни на опади 1959–1989 та 1990–2020 рр. виявлено зменшення позитивного впливу опадів на радіальний приріст у другому періоді (рис. 4, 5).

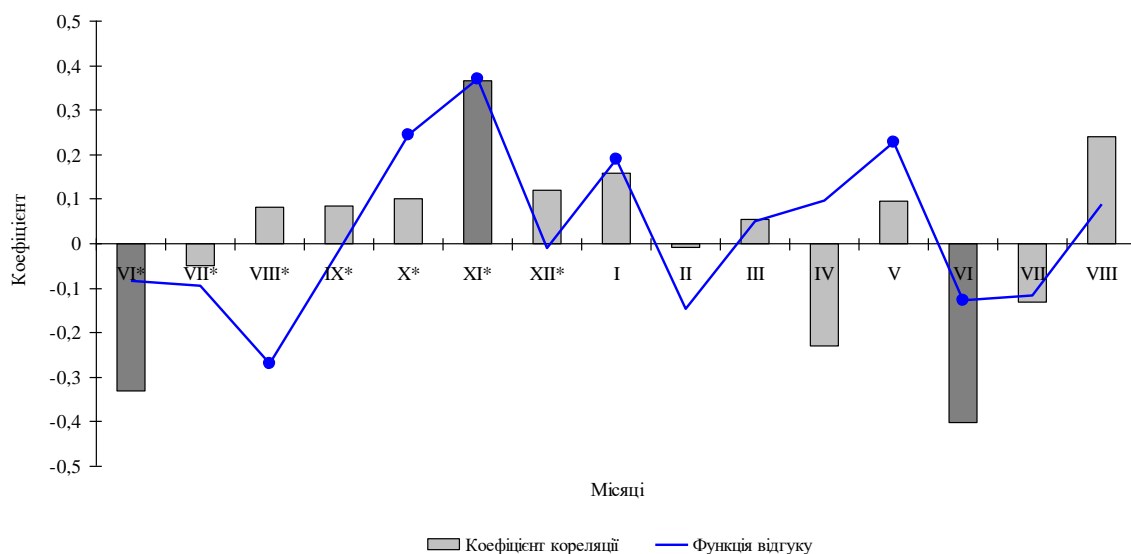


Рис. 4. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між сумами місячних опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної (RESIDUAL) в деревостанах Полісся за 1959–1989 рр.: темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ( $P < 0.05$ ), сині кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (\*) – на місяці попереднього року

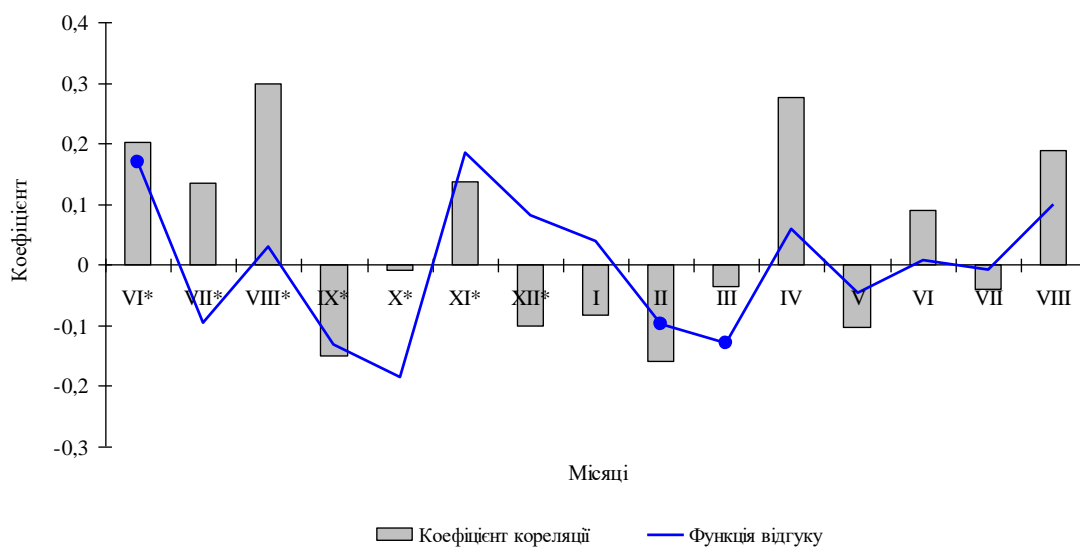


Рис. 5. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між сумами місячних опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної (RESIDUAL) в деревостанах Полісся за 1990–2020 рр.: сині кола вказують на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (\*) – на місяці попереднього року

Так, значущий позитивний вплив для першого періоду виявлено стосовно жовтня та листопада попереднього року та січня поточного року, коли інтенсивно відбувається вологонакопичення у ґрунті та на його поверхні,

а також для травня. Негативний вплив опадів на приріст виявлено лише для червня та вересня попереднього року та червня поточного року.

У другому періоді підвищилась чутливість насадження до зміни клімату, що показав кореляційний аналіз між радіальним приростом та кліматичними чинниками. До кліматичних змін виявилися більш чутливими дерева, які ростуть у бідніших умовах (свіжого бору), ніж дерева, що ростуть у багатших умовах (свіжого субору).

Досліджено сосняки віком від 80 до 109 років, які ростуть в умовах свіжого бору ( $A_2$ ) та свіжого субору ( $B_2$ ) з метою виявлення особливостей варіацій клімату на радіальний приріст сосни звичайної в деревостанах Лівобережного Лісостепу. Створено регіональну деревно-кільцеву хронологію сосни звичайної для Полісся. Вона складається із 68 індивідуальних деревно-кільцевих серій і базується на 8 локальних деревно-кільцевих хронологіях, які містять 3995 шарів річної деревини (рис. 6).

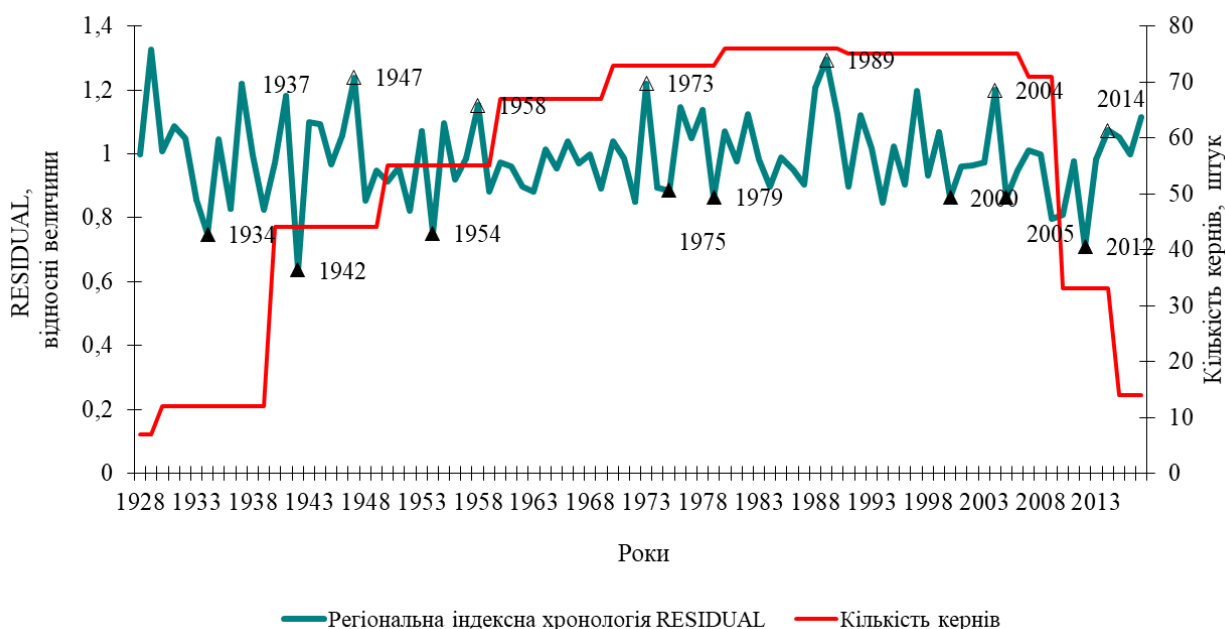


Рис. 6. Динаміка регіональної індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL та кількість кернів: чорні трикутники – негативні реперні роки, білі трикутники – позитивні реперні роки

Визначено реперні роки мінімального приросту (1936, 1942, 1954, 1975, 1979, 2000, 2005, 2009 та 2012), упродовж яких ширина шарів річної деревини була нижчою, ніж у попередньому році, на 20–46 %. Ці роки характеризувалися посухами упродовж вегетаційного періоду (1975, 1979, 2009 рр.) та екстремальними літніми (2000, 2012), зимовими та ранньовесняними температурами (1979, 2005 рр.). До 1979 року упродовж мінімальних реперних років радіальний приріст обмежували низькі температури та посухи, але після 1979 року – лише посухи та теплі зими, що свідчить про зміну кліматичних факторів, які обмежують радіальний приріст дерев.

Насадження в умовах  $A_2$  має меншу залежність від умов попередніх років, ніж насадження, які ростуть в умовах  $B_2$ , що можна пояснити менш

сприятливими умовами свіжого грунту у порівнянні зі свіжим сугрунтом, де ґрунти багатші і мають більшу вологоємність. Найбільш стійкими до впливу факторів довкілля виявилися насадження в умовах В<sub>2</sub>, а найменш стійким – в умовах А<sub>2</sub>. Про це свідчать коефіцієнт середньої чутливості (MS<sub>x</sub>) деревно-кільцевих хронологій, який в умовах А<sub>2</sub> становить 0,38, а в умовах В<sub>2</sub> – 0,22–0,34, а також авторегресія першого порядку, відповідні значення яких складають 0,52 та 0,58–0,70. Міжсерійний коефіцієнт для А<sub>2</sub> – 0,32, водночас для умов В<sub>2</sub> – 0,33–0,47.

Аналізом функції відгуку виявлено, що під час порівняння реакції радіального приросту сосни звичайної на варіації клімату упродовж 1960–1988 та 1989–2017 рр. чутливість дерев до зміни клімату підвищилася. У лівобережному Лісостепу радіальний приріст обмежують переважно температури упродовж вегетаційного періоду (квітень–серпень), про що свідчать зворотні зв'язки між індексами приросту та наведеним чинником. У Лісостепу отримано позитивні кореляції між індексами приросту та сумами опадів за вегетаційний період, які є найвищими за квітень–серпень. Незважаючи на пластичність сосни та її адаптацію до зміни клімату на даному етапі, можливо чекати зменшення радіального приросту у найближчі роки.

Досліджено відгук на зміни клімату радіального приросту сосни кримської в насадженнях на південному схилі Кримських гір (рис. 7).

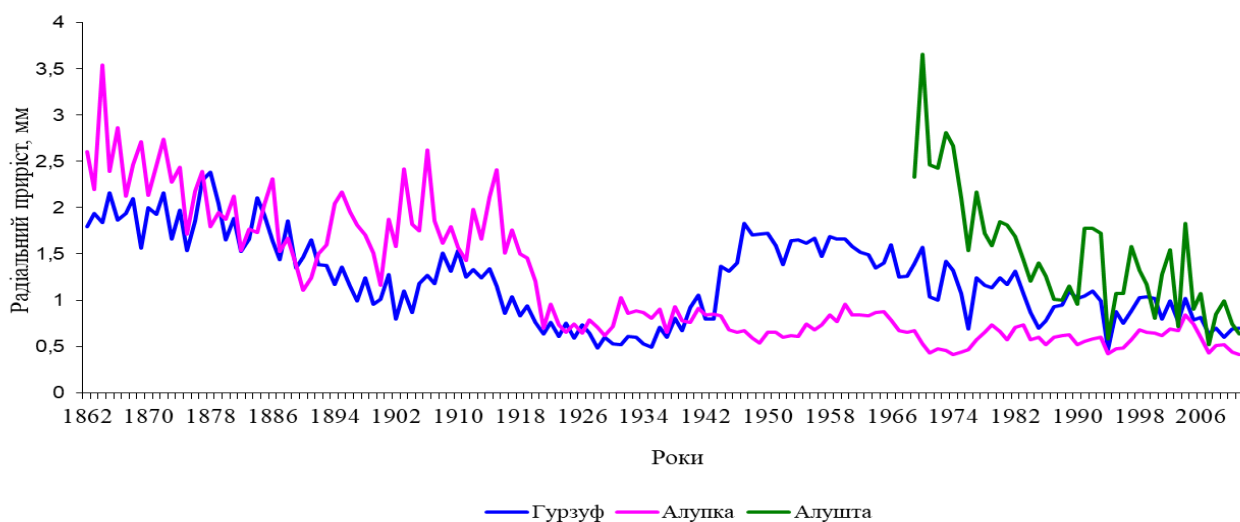


Рис. 7. Динаміка радіального приросту сосни кримської на південних схилах Кримських гір

Керни деревини відібрано на трьох тимчасових пробних площах із п'ятнадцяти дерев сосни кримської в 150-річних та 55-річних насадженнях, які ростуть на південних схилах Криму. Аналіз абсолютних даних шарів річної деревини дав змогу простежити динаміку розвитку насаджень упродовж 1862–2011 рр. Роки мінімального приросту: 1902, 1921, 1942, 1976 та 1994 рр. характеризувалися несприятливими для росту сосни погодними умовами. Після цих років спостерігався сплеск радіального росту сосни. Ймовірно, загибель невеликих дерев у деревостані стала причиною покращення освітленості та живлення коріння живих дерев. Швидке збільшення приросту всіх шарів

деревини кримської сосни було результатом цього впливу в 1903–1912 та 1922–1969 рр. Періоди тенденції швидкого зменшення радіального приросту: 1860–1902, 1913–1921, з 1970 – до теперішнього часу. Особливо швидко радіальний ріст дерев зменшувався протягом 2000–2011 рр. У Криму у першому періоді (1969–1989 рр.) приріст сосни кримської обмежували посухи вегетаційного періоду та позитивно впливали зимові температури. У другому періоді (1990–2011 рр.) посилювався негативний вплив температур упродовж квітня-серпня та залежність приросту від опадів квітня-серпня. Найбільше потерпало молоде насадження.

Дослідження ранньої та пізньої деревини сосни кримської проведено для насадження, яке росте поблизу м. Гурзуф на південних схилах Ай-Петрі (рис. 8).

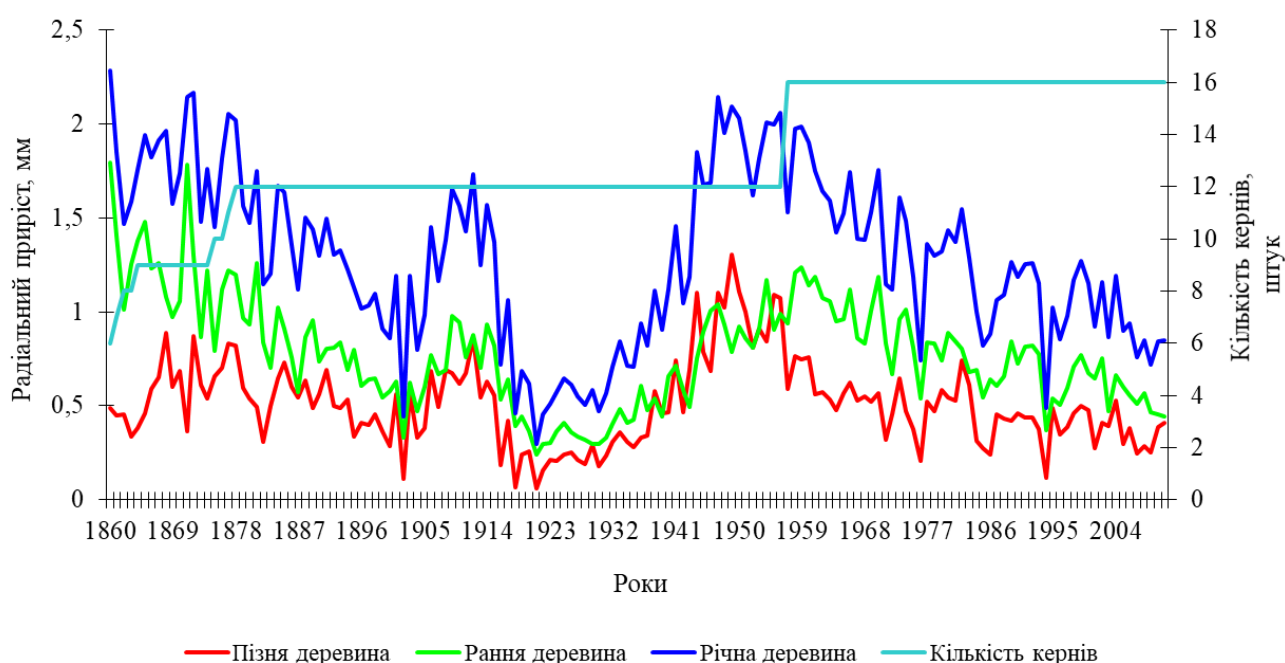


Рис. 8. Динаміка ранньої, пізньої та річної деревини сосни кримської

Роки мінімального приросту: 1902, 1921, 1942, 1976 і 1994 рр. характеризувалися несприятливими для сосни погодними умовами. Після цих років спостерігався сплеск радіального росту сосни. Загибель невеликих дерев у деревостані стала причиною покращення освітленості та живлення коріння живих дерев. Швидке збільшення приросту всіх шарів деревини кримської сосни було результатом цього впливу в 1903–1912 та 1922–1969 рр. Періоди тенденції швидкого зменшення радіального приросту: 1860–1902, 1913–1921, з 1970 – до теперішнього часу. Особливо швидко радіальний ріст дерев зменшувався протягом 2000–2011 рр.

Статистичним аналізом за програмою COFESHA встановлено, що для пізньої деревини характерним є найвищий коефіцієнт чутливості, а також міжсерійний коефіцієнт кореляції, що свідчить, про те, що є сенс використовувати ці показники для дендрокліматичного аналізу. Показник автокореляції першого порядку свідчить про більшу залежність величини шарів

ранньої деревини від відповідної величини попереднього року порівняно з пізньою деревиною. Пізня деревина має менше стандартне відхилення, ніж рання (табл. 2).

Таблиця 2

**Описова статистика для серій пізньої, ранньої деревини та загальної ширини кільця сосни кримської в деревостані на південному схилі Кримських гір для 1860–2011 рр.**

Показник	m, мм	R <sub>bar.</sub>	S <sub>td.dev</sub>	AC <sub>1</sub>	MS <sub>x</sub>
Пізня деревина, мм	0,49	0,511	0,347	0,667	0,448
Рання деревина, мм	0,75	0,434	0,459	0,703	0,284
Річне кільце, мм	1,23	0,505	0,730	0,752	0,285

Примітка. m – середня величина річного кільця; R<sub>bar.</sub> – міжсерійний коефіцієнт кореляції; S<sub>td.dev</sub> – стандартне відхилення; AC<sub>1</sub> – автокореляція першого порядку; MS<sub>x</sub> – середня чутливість деревно-кільцевих хронологій

Кореляційний аналіз між індексними деревно-кільцевими хронологіями ранньої, пізньої та річної деревини та кліматичними чинниками виявив, що холодні зими, низька температура рано навесні та посухи у вегетаційні періоди обмежують радіальний приріст сосни кримської (табл. 3).

Таблиця 3

**Співвідношення між кільцевими рядами деревних кілець ранньої деревини, пізньої річної та кліматичними факторами для деревостану кримської сосни на південному схилі Кримських гір**

Кліматичний чинник	S <sup>+</sup>		R <sup>++</sup>		A <sup>+++</sup>	
Рання деревина						
Роки	1973– 1992	1993– 2011	1973– 1992	1993– 2011	1973– 1992	1993– 2011
Річна кількість опадів, мм	0,48*	-0,12	0,40	0,29	0,47*	0,01
Опади за III–X місяці, мм	0,63**	0,29	0,48*	0,45	0,65**	0,26
Пізня деревина						
Середні зимові температури, °C	0,50*	-0,02	0,30	-0,03	0,48*	-0,01
Середня річна відносна вологість, %	-0,09	0,45	0,10	0,68**	-0,07	0,41
Середня відносна вологість за IV–VIII місяці, мм	0,32	0,52	0,50	0,64**	0,38	0,47*
Річний приріст						
Середня зимова температура, °C	0,45*	0,02	0,33	0,12	0,45*	0,04
Опади за IV–VIII місяці, мм	0,32	0,37	-0,09	0,54*	0,29	0,36
Середня відносна вологість, %	-0,07	0,23	0,22	0,51*	-0,05	0,19
Середня відносна вологість за IV–VIII місяці, %	0,27	0,34	0,55*	0,57**	0,37	0,30

Примітка. S<sup>+</sup> – STANDARD індексна деревно-кільцева хронологія; R<sup>++</sup> – RESIDUAL індексна деревно-кільцева хронологія; A<sup>+++</sup> – ARSTAN індексна деревно-кільцева хронологія; \*Значущість коефіцієнтів кореляції на 0,05 рівні; \*\*Значущість коефіцієнтів кореляції на 0,01 рівні

Додатні значущі кореляційні зв'язки виявлені між індексними серіями ранньої деревини та опадами за першу частину періоду (1973–1992 рр.). За другу частину періоду (1993–2011 рр.) майже всі кореляційні зв'язки втратили

значущість. Помітне зменшення опадів протягом вегетаційного періоду 1993–2011 рр. негативно вплинуло на формування ранньої деревини. Виявлено значущу позитивну кореляцію між зимою температурою та індексною деревно–кільцевою хронологією пізньої деревини й річної деревини за 1973–1992 рр., тоді як для наступних 1993–2011 рр. значущих кореляцій не виявлено. Це пов'язано зі зниженням зимової температури упродовж другого періоду. Відносна вологість повітря є кумулятивним показником, який відображає співвідношення температури та опадів.

Визначені значущі позитивні кореляційні зв'язки між відносною вологістю повітря протягом року, різними частинами періоду вегетації та показниками пізньої деревини та річними кільцями приросту за 1993–2011 рр. Одержані дані свідчать про збільшення негативного впливу температури та опадів на формування річного кільця та пізньої деревини. Виявлено значущу кореляцію між річними індексами кільця дерев та кількістю опадів протягом періоду вегетації другої частини періоду.

Дослідження проведено на чотирьох пробних площах у дубових насадженнях Полісся віком від 50 до 155 років, які ростуть в умовах свіжого, сирого та мокрого сугруду. Створено регіональну деревно–кільцеву хронологію дуба звичайного для Полісся, що складається із 62 індивідуальних деревно–кільцевих серій і базується на чотирьох локальних деревно–кільцевих хронологіях, які містять 5119 шарів річної деревини. На основі цих локальних серій розвинено індексну регіональну серію RESIDUAL (рис. 9).

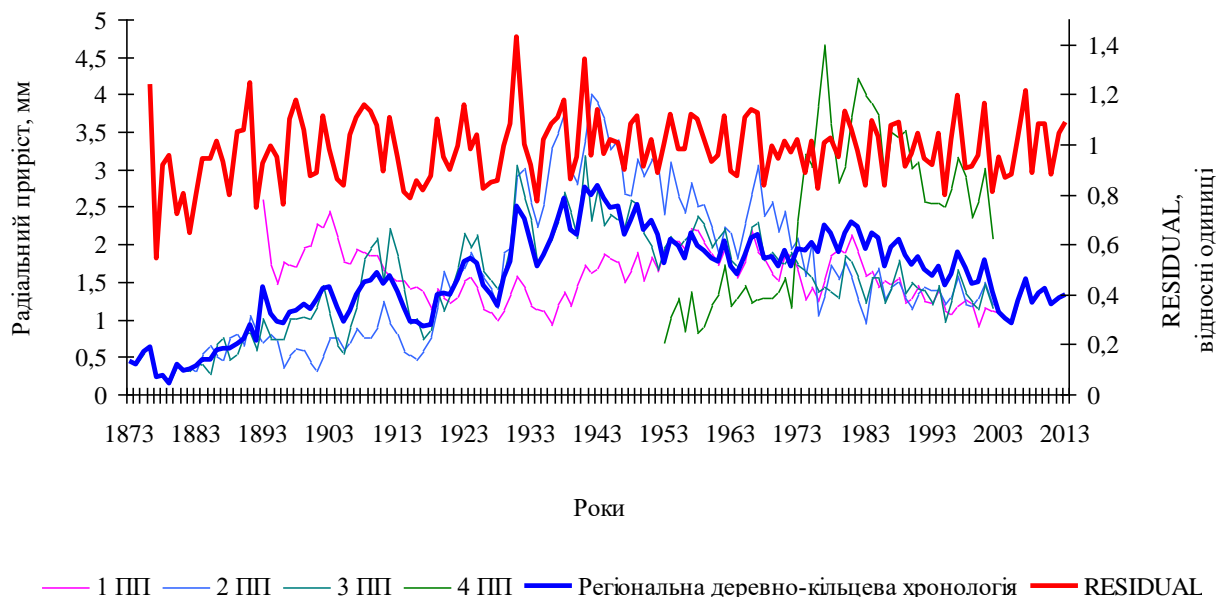


Рис. 9. Динаміка радіального приросту дуба звичайного та регіональної індексної хронології RESIDUAL в насадженнях Полісся: ПП – пробна площа

Визначено 16 реперних років за період 1873–2014 рр. у регіональній хронології RESIDUAL: шістнадцять негативних (мінімуми радіального приросту) та сім позитивних (максимуми радіального приросту). Це становить близько 11 % від загальної кількості проаналізованих років.

Упродовж реперних років мінімального приросту (1904, 1907, 1911, 1915, 1922, 1931, 1936, 1942, 1950, 1956, 1958, 1963, 1979, 1996, 2012, 2014 та 2016) виявлено, що радіальний приріст обмежують опади вегетаційного періоду (відхилення від норми складають від 30 до 70 %), надзвичайно холодні (– 56 %) та надзвичайно теплі (перевищення норми більше ніж втричі) та високі температури (відхилення норми до 18 %). В роки мінімального приросту зменшення радіального приросту у порівнянні з попереднім роком становило від 20 до 56 %, а у роки максимального приросту (1903, 1907, 1914, 1927, 1937, 1947, 1957, 1964, 1997 та 2013) перевищення відповідних величин від 24 до 60 %. До 1979 року у мінімальні реперні роки радіальний приріст обмежували посухи вегетаційного періоду та низькі температури взимку, а після 1979 року – посухи та теплі зими.

Аналіз функції відгуку радіального приросту дуба для 1946–1979 та 1980–2013 рр. свідчить, що упродовж весняно-літнього періоду 1980–2013 рр. зменшився позитивний вплив температур на радіальний приріст у порівнянні з першим періодом, а також посилювався вплив температур попереднього року на приріст у цьому періоді у порівнянні з попереднім.

У другому періоді посилювався вплив опадів на радіальний приріст. Виявлено, що негативний значущий вплив опадів упродовж холодного періоду – з листопада попереднього року до березня поточного посилювався у другому періоді. Виявлено негативний значущий вплив квітневих опадів на приріст для обох періодів, а також позитивний вплив опадів липня у першому періоді та червня-липня у другому періоді. Це свідчить про підвищення чутливості приросту дерев до зміни клімату у 1980–2013 рр. у порівнянні з 1946–1979 рр.

Кліматичними чинниками, які найбільше обмежують радіальний приріст дуба звичайного, є високі температури в період вегетації, ранньої весни та взимку і збільшення кількості опадів протягом холодного періоду на тлі відлиг, що не сприяє вологонакопиченню у ґрунтах. У 2011–2014 рр. дерева дуба адаптувалися до змін рівня ґрунтових вод і підвищення температур, про що свідчить підвищення радіального приросту.

Досліджено вплив клімату та рівня ґрунтових вод на радіальний приріст дуба звичайного в насадженнях Новоград-Волинського фізико-географічного району. Об'єктом досліджень було дубове насадження, що росте в умовах D<sub>2-3</sub> на дерново-слабопідзолистих глеюватих ґрунтах на шаруватих водно-льодовикових пісках. Упродовж 1995–2014 рр. збільшилися середня річна температура повітря, температура за квітень-серпень, зимова та березнева. Збільшення кількості опадів припало переважно на холодний період.

Різне зниження рівня ґрунтових вод стало причиною погіршення стану дубових насаджень, що росли в умовах осушувальної меліорації, проведеної в 60-х роках минулого століття. Кореляційний аналіз індексів деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного виявив значущі зв'язки з рівнями ґрунтових вод у створі Сусли-3. Найтісніші зворотні зв'язки виявлено між індексними хронологіями та рівнем ґрунтових вод за лютий і березень. Кореляційний аналіз індексів деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного виявив значущі зв'язки з рівнями ґрунтових вод у створі Сусли-3. Виявлено значущий вплив рівня

грунтових вод із січня до липня на формування радіального приросту. За інші місяці кореляції виявилися незначущими, що може бути пов'язано з меншими рядами даних спостережень (табл. 4).

Таблиця 4

**Кореляційний аналіз між індексними хронологіями річних шарів дуба та рівнями ґрунтових вод у свердловині Сусли-3**

Місяць року	STANDART	RESIDUAL	ARSTAN
2002–2014 рр.			
Січень	-0,55	-0,24	-0,65 <sup>+</sup>
Лютий	-0,68 <sup>+</sup>	-0,27	-0,75 <sup>+</sup>
Березень	-0,63 <sup>+</sup>	-0,33	-0,70 <sup>+</sup>
Квітень	-0,48	-0,21	-0,56 <sup>+</sup>
Травень	-0,47	-0,20	-0,55 <sup>+</sup>
Червень	-0,52	-0,27	-0,61 <sup>+</sup>
2002–2013 рр.			
Липень	-0,55	-0,27	-0,62 <sup>+</sup>

Примітка. <sup>+</sup> – значущість на 0,05 рівні

Попарним кореляційним аналізом між індексами радіального приросту дуба, з одного боку, та кліматичними чинниками і рівнем ґрунтових вод, із іншого, виявлено значущі найбільш тісні додатні зв'язки з температурою за квітень-серпень та від'ємні – з рівнем ґрунтових вод за лютий, тобто радіальний приріст дерев обмежують рівень ґрунтових вод упродовж пізньозимового періоду і низькі температури упродовж весняно-літнього періоду (рис. 10).

Побудовано достовірну множинну регресійну модель залежності індексів радіального приросту від температур за квітень-серпень і рівня ґрунтових вод у лютому. Результати множинного регресійного аналізу свідчать, що кореляційний коефіцієнт становить 0,85, а коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ) – 0,72 ( $F(2,10)=12,95$ ,  $p<0,002$ , стандартна похибка оцінки 0,08). Тобто температурами за квітень-серпень і рівнем ґрунтових вод за лютий можна пояснити варіабельність радіального приросту на 72 %.

При вивченні впливу клімату на радіальний приріст дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу, керни було відібрано проведено на чотирьох пробних площах у дубових насадженнях IV та V класів віку, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого ґруду. Створення регіональної дендрохронологічної серії дуба звичайного, яка складається з 4893 річних шарів річної деревини, базується на 60 індивідуальних деревно-кільцевих серіях із чотирьох локальних хронологій.

Реперні роки мінімального радіального приросту дуба звичайного (1962, 1969, 1972–1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012 та 2016) обумовлені холодними зимами, коли температури були нижчими від норми на 50–67 %, або навпаки – аномально теплими зимами з перевищенням норми 58 %, а також занадто теплим вегетаційним періодом, коли перевищення температур сягало 12–15 %.

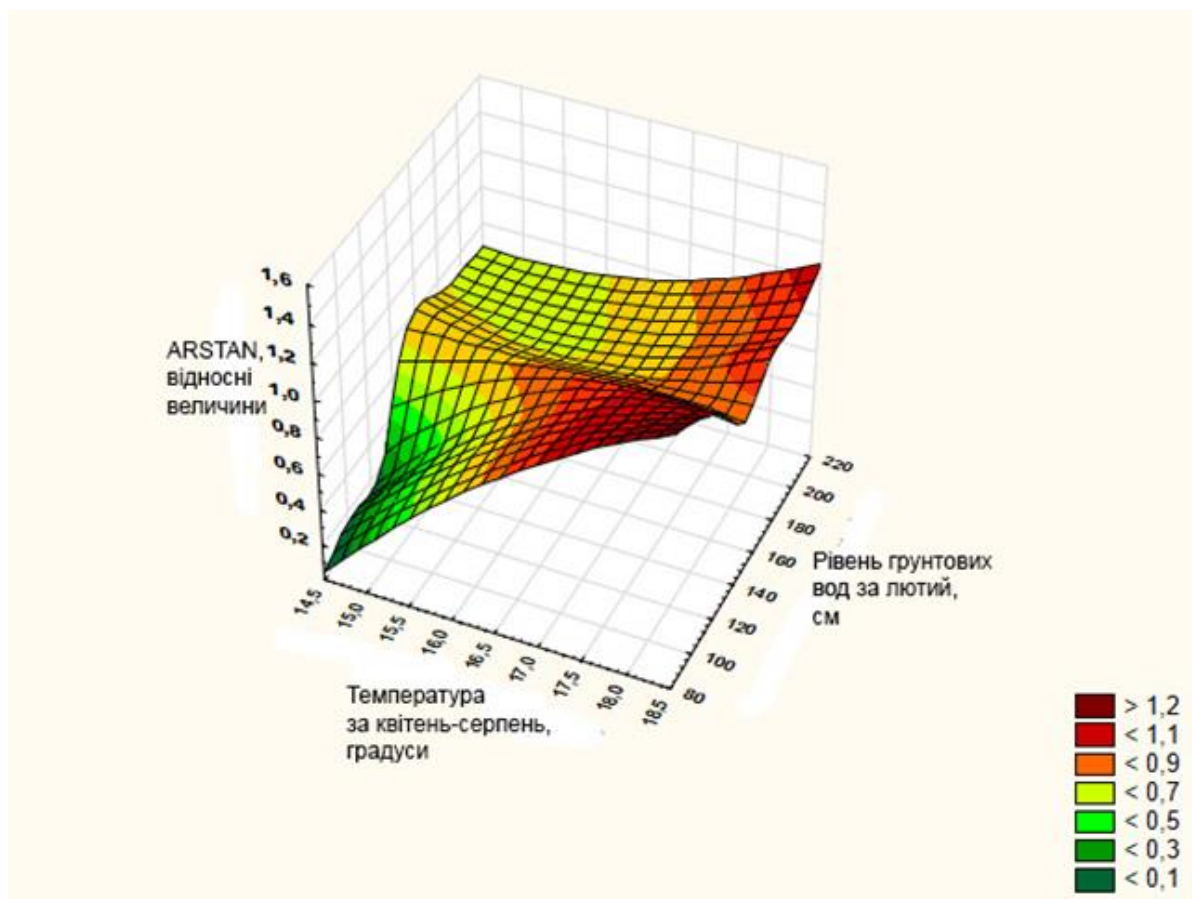


Рис. 10. Залежність індексів радіального приросту ARSTAN від температур за квітень-серпень та рівня ґрунтових вод у лютому

Дефіцит опадів, коли випадало на 20–56 % менше норми опадів, і надзвичайно високі березневі температури, які перевищували норму у 5–8 разів, також викликали глибоку депресію радіального приросту дуба (рис. 11).

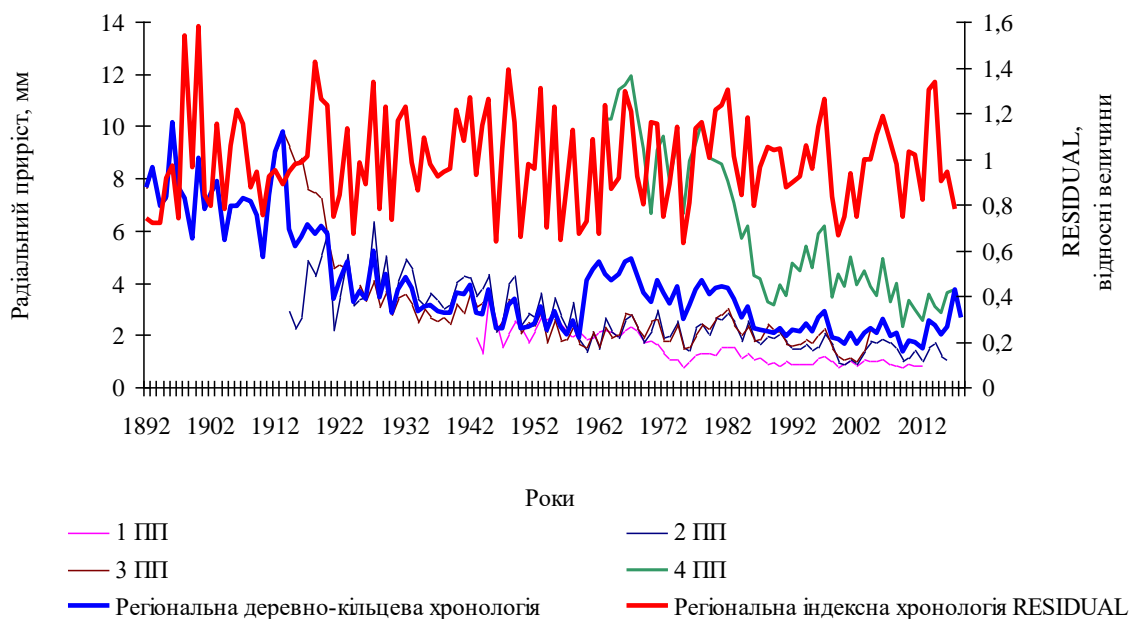


Рис. 11. Динаміка радіального приросту дуба звичайного та регіональної індексної хронології RESIDUAL в насадженнях Лівобережного Лісостепу: ПП – пробні площі

Придатність деревно-хронологічних серій до дендрокліматичного аналізу підтверджує статистичний аналіз. Про це свідчать коефіцієнт середньої чутливості ( $MS_x$ ) деревно-кільцевих хронологій, який становить 0,32–0,37, також авторегресія першого порядку ( $AC_1$ ) – 0,59–0,65. Міжсерійний коефіцієнт кореляції деревно-кільцевих хронологій – 0,31–0,65.

Дендрокліматичний аналіз дуба, проведений за програмою RESPO, виявив додатний вплив температур упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року до лютого поточного року) на приріст у першому періоді (1960–1988 рр.), а пізніше у другому періоді (1989–2017 рр.) цей вплив став від'ємним. Можливо, підвищення температур упродовж цього періоду викликало зменшення вологонакопичення у ґрунті внаслідок частих відлиг. До того ж відбулося порушення зимового спокою дерев у результаті підвищення температур, що разом могло спричинити ослаблення дерев.

Упродовж 1989–2017 рр. чутливість дуба до впливу температур збільшилася у порівнянні з 1960–1988 рр., однак в останні декілька років негативний вплив температур упродовж вегетаційного періоду на формування шарів річної деревини став дещо слабшим, про що свідчить ковзний кореляційний аналіз між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками. Тобто дубові насадження спроможні адаптуватися до потепління на цьому етапі.

**Розділ 5 «Потенціал використання дендрохронологічної інформації для моделювання радіального приросту сосни та дуба за різної інтенсивності антропогенного навантаження».** Досліджено динаміку радіального приросту сосни в деревостанах із високим рівнем пошкодження рекреацією в зеленій зоні м. Харкова та м. Зміїв (Лівобережний Лісостеп) для виявлення аномалій приросту дерев, визначення рівня стійкості насаджень, виділення періодів розвитку деревостанів і здатності радіального приросту дерев до відновлення після впливу стрес-факторів.

Збільшення коефіцієнта чутливості індексних деревно-кільцевих серій в пошкоджених рекреацією соснових деревостанах на 41–67 % у порівнянні з контролем свідчить про значне зниження стійкості цих насаджень. Вплив рекреації на соснові насадження розглянуто на прикладі екологічного ряду зеленої зони м. Харків. Коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями, який у пошкоджених деревостанах значно менший (0,27), ніж на контролі (0,33), свідчить про аномальність радіального приросту сосни, коефіцієнти чутливості відповідно складають 0,48–0,57 для контролю та 0,34 – для пошкодженого деревостану.

Деревостани знаходяться під впливом рекреаційного навантаження протягом усього періоду росту, але різке збільшення антропогенного пресу відбулося після 1976 р., коли було побудовано новий мікрорайон поряд із цими насадженнями. Реперні роки мінімального приросту (1975, 1983, 1984, 1987, 1990, 1994, 1996, 2002 та 2007 рр.) характеризувалися посухами та низькими температурами взимку й рано навесні, за винятком 2007 року з надзвичайно теплою зимою та ранньою весною.

Максимуми радіального приросту сосни відзначено у 1980, 1989, 1997 та 2004 рр. зі сприятливим співвідношенням тепла та вологи для росту дерев. Незначні порушення відбулися в деревостанах третьої та четвертої стадій дигресії і значні – в насадженні четвертої стадії дигресії (рис. 12).

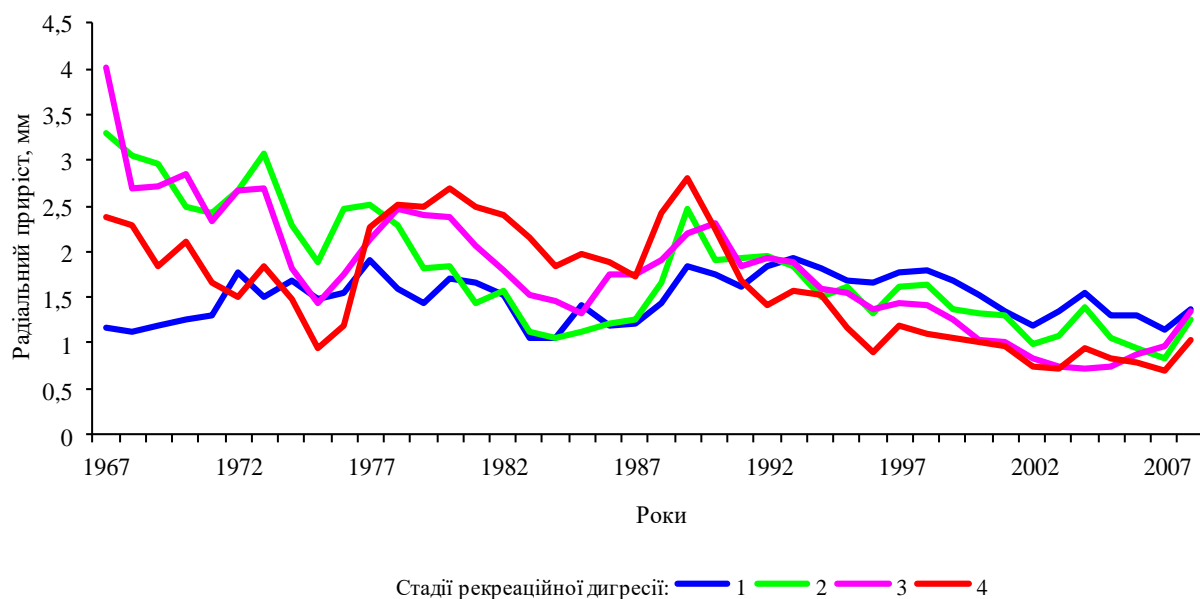


Рис. 12. Динаміка радіального приросту сосни під впливом рекреації в зеленій зоні м. Змійова

Статистичний аналіз довів, що протягом 1960–1975 рр. на контролі та в деревостані 4–5-ї стадій дигресії відсутні значущі різниці між середніми величинами річних кілець (табл. 5).

Таблиця 5

**Кореляційні зв'язки індексів STANDART для соснових деревостанів з кліматичними чинниками в зеленій зоні м. Змійова за період 1976–2006 рр.**

Кліматичний показник	Стадії дигресії		
	контроль	4–5 стадії	5 стадія
Середні t°С за календарний рік	-0,33	-0,27	-0,20
Середні температури за IV–VIII місяці	-0,37 <sup>+</sup>	0,06	-0,20
Середня температура за I місяць	-0,28	0,23	-0,44 <sup>+</sup>
Середня температура за гідрологічний рік	-0,34	0,22	-0,21
Суми опадів за III–X місяці	0,15	0,18	0,51 <sup>*</sup>
Суми опадів за IV–VIII місяці	0,24	0,13	0,41 <sup>+</sup>
Суми опадів за календарний рік	0,24	0,03	0,52 <sup>*</sup>
Суми опадів за гідр. рік (1976–2006)	0,23	0,05	0,55 <sup>*</sup>

Примітка. \* – тіснота зв'язку вірогідна на 0,01 рівні значущості; + – тіснота зв'язку вірогідна на 0,05 % рівні значущості

Періоди розвитку деревостанів, пов'язані із впливом рекреації, а також швидше зниження радіального приросту в найбільш пошкодженому рекреацією насадженні. Це аналогічно передчасному старінню деревостану. Отримано

середні позитивні зв'язки між індексами радіального приросту та опадами за гідрологічні, календарні роки та за холодний період від грудня до березня в усіх насадженнях. У менш пошкоджених рекреацією соснових деревостанах 2-ої та 3-ої стадій дигресії виявлено достовірні кореляції з сумами опадів за квітень–серпень і календарний роки. Тобто, зв'язки приросту з кліматом найбільш слабкі в насадженнях 4-ої стадії рекреаційної дигресії. Це пов'язано з тим, що у пригнічених рекреаційним навантаженням дубових насадженнях порушені зв'язки між поглинанням води деревами та гідрологічними умовами екотопу, які були змінені під впливом ущільнення ґрунтів.

Досліджено вплив рекреації на радіальний приріст дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Об'єкти досліджень – порослеві стиглі насадження дуба звичайного з різним рекреаційним навантаженням. Співставлення наявних погодних даних за 1952–2002 рр. та радіального приросту дуба, свідчить про те, що формування вузьких річних кілець відбулося під впливом посух 1954, 1959, 1962, 1965, 1969, 1972, 1974–1975, 1983–1984, 1992, 1995 та 1999 рр. Низькі температури упродовж гідрологічного року також викликали депресії приросту в 1960, 1964, 1987 та 1994 рр.

Упродовж 1917–1965 рр. значущих відмінностей у динаміці радіального приросту дерев на всіх пробних площах не визначено. Пізніше, в 1966–1974 рр., абсолютні значення радіального приросту дерев та їхніх індексів у деревостанах різних ступенів дигресії збільшувалися в такій послідовності: друга, третя та четверта стадії (рис. 13).

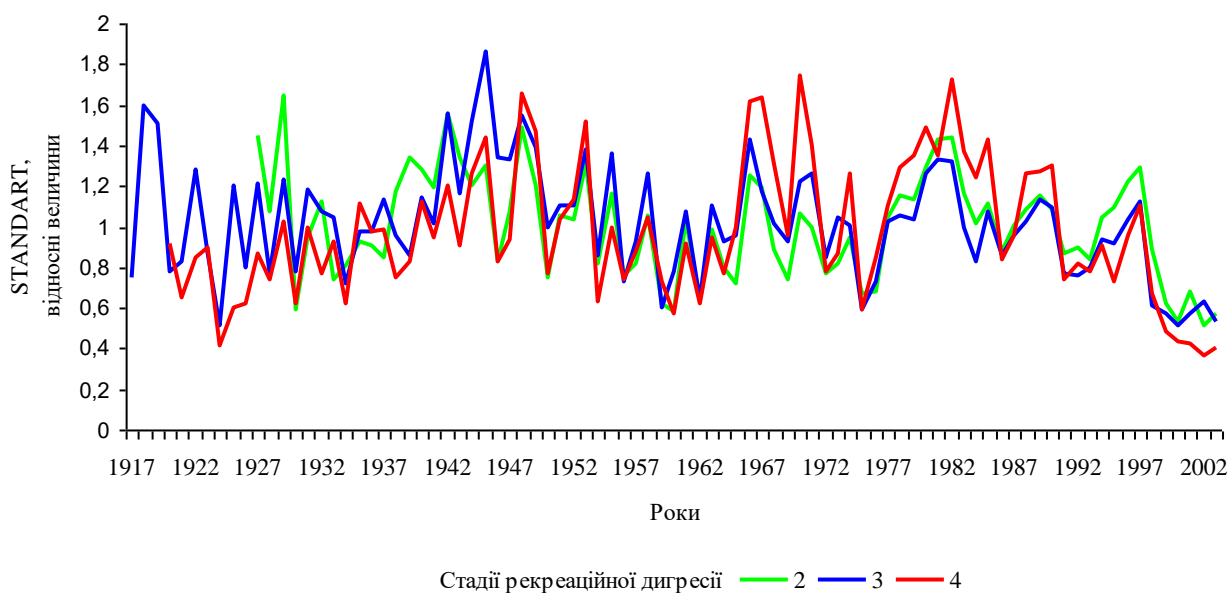


Рис. 13. Динаміка індексів STANDART дуба звичайного в зеленій зоні м. Харкова під впливом рекреаційного навантаження

Дерева на всіх пробних площах мають високу подібність за приростом дерев, коефіцієнт кореляції між серіями деревних кілець (0,55–0,65). Коефіцієнт чутливості деревно–кільцевих хронологій для пробної площі 2-ої та 3-ої стадій дигресії становлять 0,32, водночас для пробної площі 4-ої стадії дигресії – 0,36.

Виявлено, що радіальний приріст за 1983–2003 рр. в порівнянні з 1962–1982 рр. з найбільшою швидкістю зменшувався на пробній площі 4-ої стадії дигресії: на 32,3 %; на пробній площі 3-ої стадії дигресії – на 31,6 % та 2-ї – на 21,2 %.

Зв'язки приросту з кліматом найбільш слабкі в насадженнях 4-ої стадії рекреаційної дигресії. Це, вірогідно, пов'язано з тим, що у пригнічених рекреаційним навантаженням дубових насадженнях порушені зв'язки між поглинанням води деревами та гідрологічними умовами екотопу, які були змінені під впливом ущільнення ґрунтів, що було викликано дією рекреації (табл. 6).

Таблиця 6

**Кореляційний аналіз між індексами приросту та кліматичними факторами за різні частини гідрологічного року**

Кліматичний показник	Ступінь дигресії	Версії хронологій**		
		S	R	A
Опади за X–IX (гідрол. рік), мм	2	0,46**	0,57**	0,49**
Опади за XII–III, мм	2	0,29	0,37*	0,25
Опади за I–XII, мм	2	0,21	0,32	0,34*
Опади за IV–XIII, мм	2	0,23	0,33*	0,33*
Опади за X–IX (гідрол. рік), мм	3	0,45**	0,53**	0,24
Опади за XII–III, мм	3	0,31*	0,38**	0,13
Опади за I–XII, мм	3	0,25	0,37+	0,11
Опади за IV–VIII, мм	3	–0,21	–0,30*	–0,21
Опади за X–IX (гідрол. рік), мм	4	0,37+	–0,03	0,35*
Опади за XII–III, мм	4	0,40+	0,22	0,43+
Опади за I–XII, мм	4	0,17	0,0	0,17
Опади за IV–VIII, мм	4	–0,20	0,05	–0,14

Примітка. \* – тіснота зв'язку вірогідна на 99 % рівні значущості; + – тіснота зв'язку вірогідна на 95 % рівні значущості; \*\* S – STANDART; R – RESIDUAL; A – ARSTAN хронології

Встановлено високу синхронність між товщиною річного кільця та пізньою і ранньою видами деревини сосни майже на всіх пробних площах, за винятком найбільш пошкодженого насадження з четвертою стадією рекреаційної дигресії, де пізня деревина має менш тісні кореляційні зв'язки з річною та ранньою видами деревини, що свідчить про більшу чутливість пізньої деревини сосни до впливу рекреації.

Досліджено особливості радіального приросту сосни в насадженнях, пошкоджених викидами підприємства виробничого акціонерного товариства «Балцем». Виділено етапи розвитку деревостанів. Посухи й високі зимові та ранньовесняні температури поглиблюють депресії радіального приросту сосни в насадженнях, пошкоджених викидами. Синергічний вплив забруднення та несприятливих погодних умов викликає зрідження насаджень, що призводить до збільшення величин річних кілець за рахунок збільшення площі живлення та покращення світлових умов.

Зменшення тренду радіального приросту сосни у 2005–2010 рр., викликане не тільки хронічним забрудненням лісових екосистем, але й підвищенням зимових та ранньовесняних температур, що перевищило оптимальний поріг для росту дерев. Динаміку радіального приросту сосни розподілено на чотири етапи згідно з рівнем промислового навантаження: 1950–1962 рр. – період до забруднення, який характеризується коливаннями радіального приросту дерев майже на одному рівні; у 1963–1977 рр. почалося промислове забруднення лісових екосистем із введенням в дію підприємства виробничого акціонерного товариства «Балцем».

Посушливі 1967–1969 рр. призвели в найбільш пошкодженому деревостані до антропогенного відпаду тонкомірних дерев, унаслідок чого збільшилися величини річних кілець дерев, які залишилися, за рахунок збільшення площі живлення та покращення світлових умов; 1978–1988 рр. – період максимального обсягу викидів.

У міру збільшення рівня забруднення зменшується радіальний приріст сосни; 1989–2010 рр. характеризуються зменшенням обсягу викидів майже вдвічі. У 1996 році посуха як спусковий гачок вплинула на насадження, яке росте за один км від комбінату, внаслідок чого відбулося зрідження деревостану і, відповідно, збільшення приросту. Упродовж 2005–2010 рр. тренд радіального приросту дерев знизився внаслідок хронічного забруднення та підвищення температур, особливо зимових і ранньовесняних, що призвело до збільшення уразливості насаджень до стрес-факторів (рис. 14).

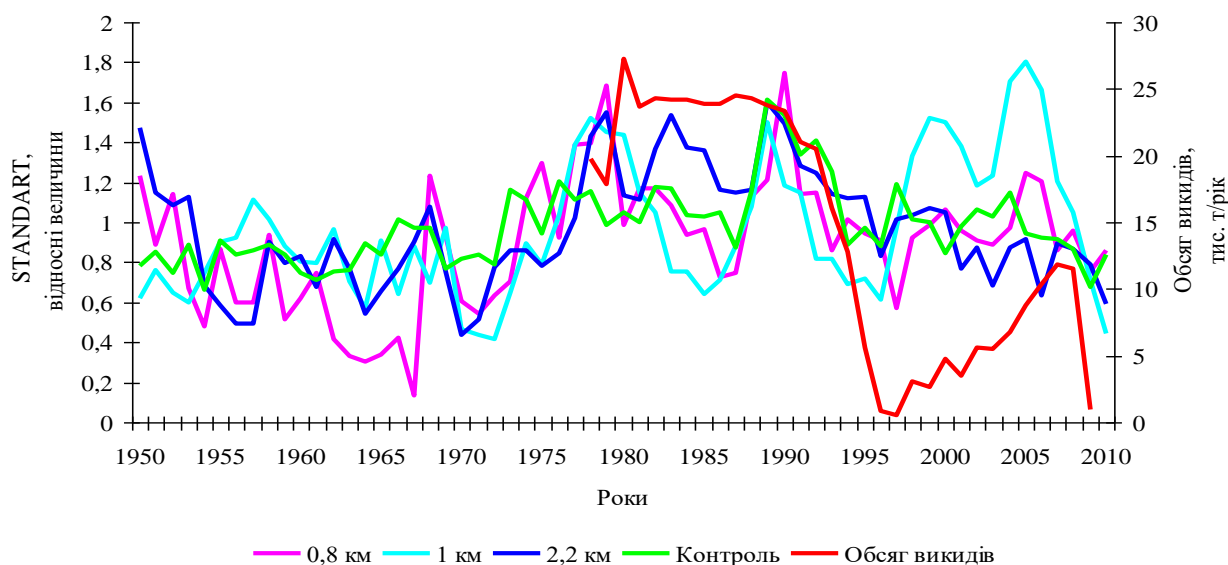


Рис. 14. Динаміка індексів радіального приросту STANDART та динаміка викидів підприємства виробничого акціонерного товариства «Балцем»

Встановлено, що коефіцієнт чутливості та авторегресію першого порядку деревно-кільцевих хронологій можна використовувати як індикатори стану насаджень. Деревно-кільцеві серії під впливом повітряного промислового забруднення на постійних пробних площах на відстані 0,8, 1,0 та 2,2 км від джерела забруднення мають коефіцієнти чутливості в межах 0,25–0,34,

водночас на контролі він становить 0,23 мають вищі міжсеріальні коефіцієнти кореляції в менш пошкоджених деревостанах. Внутрішні кореляції між деревно-кільцевими серіями (0,33–0,46) дозволяють проводити подальший дендрокліматичний аналіз.

Виявлено зворотні зв'язки між індексами радіального приросту для пошкоджених емісіями насаджень у роки найбільшого техногенного пресу (1978–1988 рр.) та позитивні кореляції для періоду зменшення обсягу викидів – у 1989–2009 рр. (табл. 7).

Таблиця 7

**Кореляції між індексами радіального приросту STANDART та обсягами викидів на пробних площах, розташованих на різних відстанях від підприємства виробничого акціонерного товариства «Балцем»**

Період	0,8 км	1,0 км	2,2 км	Контроль
Загальний обсяг викидів, тис				
1978–1988	–0,78*	–0,42	–0,62 <sup>+</sup>	0,02
1989–2009	0,68**	–0,17	0,72**	0,75**
Пил				
1980–1988	0,10	0,78 <sup>+</sup>	–0,35	–0,05
1989–2009	0,70**	0,08	0,71**	0,76**
NO <sub>x</sub>				
1980–1988	–0,19	0,10	–0,42	–0,28
1989–2009	0,59*	–0,07	0,69**	0,69**
SO <sub>2</sub>				
1978–1988	–	–	–	–
1989–2009	0,69**	–0,27	0,69**	0,70**

Примітка. <sup>+</sup> – рівень значущості 0,05; \* – рівень значущості 0,01; \*\* – рівень значущості 0,001; – дані відсутні

Відновлення радіального приросту сосни після зменшення обсягу викидів на цементному комбінаті не відбулося.

Досліджено чисті соснові середньовікові насадження, що ростуть на дерново-підзолистих середньо розвинутих ґрунтах в умовах В<sub>2</sub> під впливом промислових викидів Зміївської теплової електростанції. Пробні площі екологічного профілю розташовані на відстані 5,5, 8,5 та 13 км (умовний контроль) від джерела забруднення.

Особливістю забруднення соснових деревостанів викидами Зміївської теплової електростанції є надходження SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і попелу в атмосферу через високі труби (від 180 до 250 м). Це створює умови для поширення забруднювачів на значну відстань.

Для 1964–1979 рр. характерна подібність кривих індексів радіального приросту для всіх пробних площ. У 1980–1995 рр. відбулося значне зменшення величин річних кілець унаслідок впливу на лісові екосистеми значного обсягу викидів і посух протягом 1983, 1990, 1992–1994 рр. Для соснових деревостанів під впливом викидів Зміївської теплової електростанції (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> і попелу) в атмосферу встановлено, що у 1969–1978 рр. радіальний приріст сосни обмежували опади та температури за вегетаційний період. У наступні 1979–1988 рр. приріст на пошкоджених пробних площах лімітували березневі температури та опади вегетаційного періоду. У 1989–1998 рр. подальше

збільшення температур протягом зимових та березневих періодів призвело до покращення приросту на всіх пробних площах. У 1999–2008 рр. незважаючи на подальше інтенсивне потепління взимку та рано навесні відбулася стабілізація радіального приросту сосни на тлі зменшення обсягу викидів Зміївської теплової електростанції майже вдвічі (рис. 15).

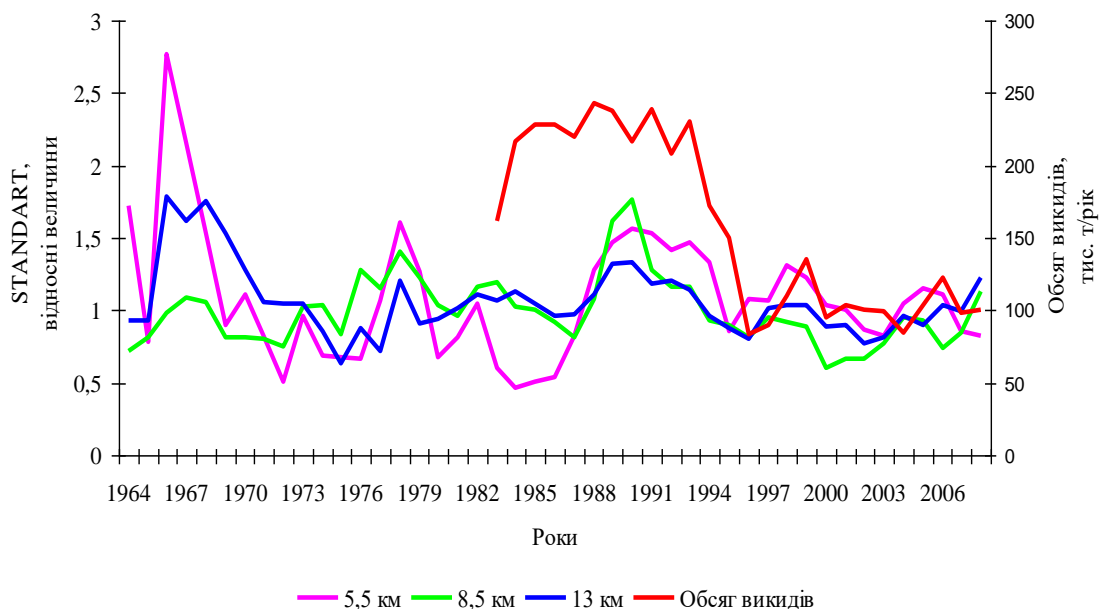


Рис. 15. Динаміка індексів радіального приросту STANDART в соснових деревостанах, пошкоджених викидами Зміївської теплової електростанції на різних відстанях

У 1983–1987 рр. відмічено найглибшу депресію приросту для найбільш пошкодженої ППП та віддзеркалення кривої індексної хронології STANDART та кривої викидів. У 1984–1986 рр. на найбільш пошкодженій пробній площі відбувся відпад тонкоміру, внаслідок чого покращилися світлові умови та збільшилася площа живлення дерев, які залишилися, в результаті чого різко збільшилася величина деревних кілець.

Проведено кореляційний аналіз між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками за десятиріччями. Виявлено, що у 1969–1978 рр. на радіальний приріст дерев у пошкоджених насадженнях позитивно впливали опади і температура за рік і за вегетаційний період. На контролі відповідних зв'язків не знайдено, що свідчить про посилення чутливості пошкоджених лісових екосистем до забруднення. У наступні 1979–1988 рр. відбулося збільшення кількості опадів і зимових та ранньовесняних температур, що призвело до виявлення позитивних значущих зв'язків на пошкоджених пробних площах між радіальним приростом дерев, з одного боку, і березневими температурами та кількістю опадів за вегетаційний період, – з іншого. У наступні 1989–1998 рр. виявлено суттєвий позитивний вплив березневих температур та температур холодного періоду на радіальний приріст сосни, що свідчить про значне підвищення температур упродовж розглянутих періодів, яке не перевищило поріг оптимуму для росту дерев. У 1999–2008 рр., виявлено лише зворотні зв'язки з опадами на контролі, а додатних зв'язків із

температурою не визначено, що свідчить про те що подальше підвищення температур вже не мало значного позитивного впливу на радіальний приріст дерев (табл. 8).

Таблиця 8

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

Кліматичний показник	Відстань від ЗТЕС, км	1969–1978 рр.	1979–1988 рр.	1989–1998 рр.	1999 – 2008 рр.
Сума опадів за рік, мм	5,5	0,57	0,55	–0,41	–0,22
Сума опадів за рік, мм	8,5	0,67 <sup>+</sup>	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 <sup>+</sup>	0,05	0,20	–0,39
Сума опадів за III–X місяці, мм	Контроль	–0,09	0,13	0,15	–0,69 <sup>+</sup>
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
Середня температура за IV–VIII місяці, t°C	5,5	–0,51	0,12	–0,51	0,09
Середня температура за IV–VIII місяці, t°C	8,5	0,79**	0,23	–0,45	–0,10
Середня температура за IV–VIII місяці, t°C	Контроль	–0,13	0,02	–0,52	0,23
Середня температура за III місяць, t°C	5,5	0,51	0,33	0,28	–0,27
Середня температура за III місяць, t°C	8,5	0,24	0,64 <sup>+</sup>	0,69 <sup>+</sup>	0,27
Середня температура за III місяць, t°C	Контроль	–0,22	0,02	0,70 <sup>+</sup>	0,41
Середня температура холодного періоду, t°C ***	5,5	0,06	0,04	0,47	0,02
Середня температура холодного періоду, t°C, ***	8,5	–0,23	0,36	0,79**	0,19
Середня температура холодного періоду, t°C, ***	Контроль	–0,30	0,34	0,78**	0,22

Примітка. ЗТЕС – Зміївська тепла електростанція; \*\* – тіснота зв'язку вірогідна на 0,001 рівні значущості; тіснота 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)

Вірогідно, подальше потепління взимку та рано навесні, яке відбувалося найбільш інтенсивно у 1999–2008 рр. на фоні хронічного забруднення лісових екосистем, призвело до погіршення радіального приросту сосни для всіх пробних площ за винятком найбільш порушеного деревостану, який було проріджено. Кореляційний аналіз між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками свідчить, що у 1999–2008 рр. приріст стабілізувався, а насадження стали менш уразливими до стрес факторів після зменшення обсягу викидів майже вдвічі упродовж 1996–2008 рр.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні наведено теоретичні узагальнення та аналіз даних стосовно особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного на екологічні зміни в лісових екосистемах під впливом кліматичних та антропогенних факторів у різних зонах України.

1. У Поліссі потепління відбувається більш швидкими темпами, ніж у Лісостепу. Річні температури повітря в Лісостепу та Поліссі у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. підвищилися на 13–17 % порівняно з нормою, середні температури за квітень–серпень – на 7 %, зимові температури за цей період підвищилися майже вдвічі, а в Лісостепу – на 22 %. У Поліссі річна кількість опадів у другому періоді збільшилася на 30 %, а у Лісостепу – на 0,18 %, причому розподіл опадів за сезонами в цих зонах суттєво відрізняється. У Криму у 2002–2011 рр. у порівнянні з 1992–2001 рр. річні температури підвищилися на 6 %; кількість річних опадів зросла на 27 %, зокрема у квітні–серпні на 8,8 %), а в зимові місяці зменшилася на 25 %. Реакція радіального приросту дерев на зміну клімату залежить від її напрямку, інтенсивності та розподілу цих змін упродовж року.

2. Підтверджено гіпотезу про негативний вплив зимових, ранніх весняних температур і температур вегетаційного періоду на стійкість насаджень у Поліссі, Лісостепу та на південному узбережжі Криму, що виявилось у збільшенні кількості значущих зв'язків між індексами приросту та кліматичними чинниками, які коливаються в межах 0,33–0,40.

3. Коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями дерев, коефіцієнт чутливості, авторегресію першого порядку, коефіцієнт варіації, результати кореляційного аналізу між деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками слід використовувати як індикатори стану насаджень Полісся, Лісостепу та гірського Криму під впливом клімату, рекреації та промислових викидів.

4. Соснові та дубові насадження Лісостепу на даному етапі змогли адаптуватися до зміни клімату на відміну від соснових насаджень в Поліссі, які найбільше потерпають від цих змін. Разом з тим, всі деревостани стали більш чутливими до змін клімату.

5. Після посухи 2008 року почалося масове всихання дубових насаджень в Поліссі, але після вибіркового санітарних рубок відбулася стабілізація радіального приросту і навіть незначне його підвищення для деяких насаджень, що свідчить про адаптацію дерев, які залишилися живими, до змін клімату та зниження рівня ґрунтових вод у 2011–2014 рр.

6. Упродовж 1989–2014 рр. радіальний приріст дуба звичайного у Поліссі обмежували високі температури в період вегетації, ранньої весни та зими та збільшення кількості опадів упродовж холодного періоду на тлі відлиг, що перешкоджало накопиченню вологи у ґрунті.

7. При порівнянні реакції радіального приросту до змін клімату в Поліссі та Лісостепу виявлено, що для 1960–1988 рр. знайдено позитивний вплив

зимових і ранньовесняних температур на радіальний приріст дуба у Поліссі та Лісостепу. У 1989–2013 рр. – навпаки, значне підвищення зимових і ранньовесняних температур спричинило зменшення радіального приросту. У другому періоді дубові насадження Полісся більше потерпали від теплих зим, ніж насадження Лісостепу.

Негативний вплив посух вегетаційного періоду на приріст посилюється у другому періоді для обох регіонів. Упродовж другого періоду опади значною мірою втратили позитивний вплив на приріст у насадженнях як Полісся, так і Лісостепу. У надзвичайно вологих умовах Полісся опади за періоди від серпня–березня до серпня–вересня негативно впливають на радіальний приріст дуба. Зі зменшенням ступеня зволоження ділянок цей період скорочується.

8. Різке зниження рівня ґрунтових вод стало причиною погіршення стану дубових насаджень, що росли в умовах осушувальної меліорації, проведеної в 60-х роках минулого століття в Поліссі. Упродовж 2008–2013 рр. рівень ґрунтових вод знизився у більшості свердловин, що є наслідком зменшення середньорічної суми опадів на 10–13 % порівняно з нормою і підвищення температур, особливо зимових і ранньовесняних.

Це призвело до швидкого танення снігу, збільшення поверхневого стоку та зменшення вмісту вологи у ґрунті, що негативно вплинуло на радіальний приріст дуба. Кореляційний аналіз індексів деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного виявив значущі зв'язки з рівнями ґрунтових вод у створі Сусли-3. Найтісніші зворотні зв'язки виявлено між індексними хронологіями дуба та рівнем ґрунтових вод за лютий і березень.

9. Депресію радіального приросту дерев у пошкоджених рекреацією соснових і дубових деревостанах поглиблюють, переважно, посухи та аномальні зимові та ранньовесняні температури. Відновлення радіального приросту дерев у пошкоджених рекреацією деревостанах після впливу на них несприятливих погодних умов триває на 1–2 роки довше, ніж на контролі.

10. Соснові насадження під впливом викидів підприємства виробничого акціонерного товариства «Балцем» не змогли відновити радіальний приріст дерев до 2008 року на відміну від соснових деревостанів, пошкоджених викидами Зміївської теплоелектростанції, які не зважаючи на хронічне забруднення відновили радіальний приріст дерев.

11. Виявлено зворотні зв'язки між індексами радіального приросту сосни, пошкоджених емісіями насаджень у роки найбільшого техногенного пресу (1978–1988 рр.) та прямі – у період зменшення обсягу викидів виробничого акціонерного товариства «Балцем» – у 1989–2009 рр. Залежність ширини кільця приросту від показників клімату залежить від відстані до джерел забруднення та його інтенсивності.

12. Підвищення температур упродовж вегетаційного та холодного періодів призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни у пошкоджених рекреацією та промисловими викидами насадженнях внаслідок порушення зимового спокою дерев, який негативно впливав на формування річних кілець дерев після 1999 року.

13. Пізня деревина сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного має найвищий коефіцієнт чутливості до змін довкілля, а також найвищий міжсерійний коефіцієнт кореляції, тому цей показник є сенс використовувати при дендрокліматичному аналізі, що доведено експериментально.

### ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для практичного використання результатів дослідження на виробництві пропонується:

– проводити більш інтенсивні санітарні рубки після років значного впливу стрес-факторів на деревостани, коли відбувається підвищений відпад ослаблених дерев. Ці роки характеризуються відхиленням температур від норми на 15–56 % та зменшенням кількості опадів від норми на 30–70 %;

– застосовувати взаємозв'язки між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками як характеристику для оцінювання рівня стійкості лісостанів;

– враховувати показник частки пізньої деревини дуба звичайного для прогнозування залежності індексів радіального приросту від температур за квітень-серпень та рівня ґрунтових вод у лютому;

– використовувати як індикатори стану соснових насаджень під впливом викидів коефіцієнт чутливості та авторегресію першого порядку деревно-кільцевих хронологій.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

#### Монографії

1. Ворон В. П., Івашинюта С. В., **Коваль І. М.**, Бондарук М. А. Ліси зеленої зони м. Рівне та їх еколого-захисні функції. Харків: Нове слово, 2008. 224 с. (*Збір експериментальних даних, їх обробка, аналіз матеріалу*).

2. 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 сосняків України. Харків, 2021. 286 с. (*Відбір кернів, вимірювання шарів деревини, аналіз матеріалу*).

#### Статті у наукових фахових виданнях України,

##### у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних

3. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Леман О. В., Воронцова О. І. Деякі методичні підходи до вивчення динаміки радіального приросту сосни під впливом промислового забруднення в умовах лісостепової зони. Лісівництво і агролісомеліорація. 2004. № 105. С. 183–188. (*Збір польових матеріалів та їх аналіз*).

4. **Коваль І. М.**, Саас-Клаасен У., Волошинова Н. А., Присяжнюк А. А. Вплив клімату на формування деревних кілець дуба звичайного в надзвичайно вологих умовах Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2006. № 109. С. 127–

134. (Відібрано керни, виміряно шари ранньої, пізньої та річної деревини дуба звичайного та проаналізовано отриманий матеріал).

5. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Леман О. В., Воронцова О. І., Зібцев С. В. Розвиток соснових деревостанів в умовах зниження аеротехногенного забруднення Зміївської ТЕС. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2006. № 103. С. 24–33. (Участь у відборі кернів, камеральні роботи та аналіз матеріалу).

6. Коваль І. М. Динаміка радіального приросту дуба звичайного під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2006. № 110. С. 229–234.

7. Коваль І. М. Дендрохронологія в Україні: ретроспектива і перспективи розвитку. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2006. № 31. С. 221–227.

8. Коваль І. М. Вплив клімату на динаміку радіального приросту *Pinus sylvestris* L. у лісовій і лісостеповій зонах України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2007. № 111. С. 53–58.

9. Коваль І. М. Застосування дендрохронологічних методів для вивчення особливостей радіального приросту *Quercus robur* L. під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2007. № 106. С. 180–191.

10. Коваль І. М. Радіальний приріст як індикатор стійкості лісових екосистем на прикладі соснових лісів зеленої зони м. Харкова. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. № 147. С. 223–232.

11. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Лещенко В. О. Вплив погодних умов і рекреації на динаміку радіального приросту дерев в сосняках зеленої зони м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2010. № 117. С. 86–93. (Постановка проблеми, відбір кернів, вимірювання шарів деревини дуба та аналіз матеріалу).

12. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату та рекреаційного навантаження в лісостеповій зоні України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2011. № 21 (2). С. 63–70.

13. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Лещенко В. О. Динаміка радіального приросту сосни під впливом викидів Зміївської теплової електростанції. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2011. № 21 (14) С. 60–66. (Постановка проблеми, збір матеріалів та їх узагальнення).

14. Коваль І. М. Реакція на зміни клімату радіального приросту сосни звичайної у насадженнях з різними лісорослинними умовами у Центральному Поліссі. Лісівництво і агролісомеліорація. 2012. № 120. С. 113–119.

15. **Коваль І. М.**, Швець Ю. П., Плугатар С. А., Папельбу В. В., Грицай А. А. Дендрохронологічний аналіз сосни кримської на південних схилах Кримських гір. Науковий вісник Національного

університету біоресурсів і природокористування України. України. 2013. № 23 (2). С. 70–77. (*Постановка проблеми, збір матеріалів та їх аналіз*).

16. Коваль І. М. Вплив клімату та забруднення на динаміку радіального приросту сосни звичайної в лісостеповій зоні. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. 2013. № 1. С. 209–212.

17. **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 Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2015. № 25 (6). С. 52–58. (*Відбір кернів, камеральні роботи, аналіз матеріалу*).

18 **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. (*Постановка проблеми, збір експериментальних даних і опрацювання отриманих даних*).

19. **Коваль І. М.,** Воронин В. О. Реакція радіального приросту *Pinus sylvestris* L. на зміну клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Лісівництво та агролісомеліорація. 2019. № 135. С. 140–148. (*Відбір кернів, камеральні роботи та аналіз матеріалу*).

20. Коваль І. М. Реакція радіального приросту *Quercus robur* L. на зміни клімату в Поліссі та Лісостепу. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2020. № 20. С. 64–73.

21. 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.

22. 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.

#### **Статті у наукових виданнях,**

##### **включених до міжнародної наукометричної бази даних Scopus**

23. Koval Iryna. Climatic signal in earlywood, latewood and total ring width of Crimean pine (*Pinus nighra* subsp. *Pallasiana*) from Crimean Mountains, Ukraine. Baltic Forestry. 2013. Vol. 19 (2). P. 245–251.

24. **Koval Iryna,** Sydorenko Serhiy. The influence of surface fire on radial and height growth of *Pinus sylvestris* L. in forest-steppe in Ukraine. Folia Forestalia Polonica. 2019. Vol. 61 (2). P. 123–134. (*Відбір кернів і аналіз матеріалу*).

25. **Koval Iryna M.,** Sydorenko Svitlana V., Sydorenko Serhii H., Maksymenko Nadiya V., Cherkashyna Nadiya I. 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. 2020. Vol. 26 (1). P. 224–235. (*Постановка проблеми, збір експериментальних даних і опрацювання отриманих даних*).

### Статті в інших наукових виданнях

26. Коваль І. М. Дендрохронологічні дослідження в Україні. Посібник українського хлібороба. Науково-практичний збірник. 2016. Том 2. С. 282–284.

27. Моїсеєва Н. І., Кобченко Ю. Ф., **Коваль І. М.** Радіальний приріст як індикатор стійкості лісових екосистем на прикладі соснових лісів зеленої зони м. Харкова. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка. 2017. № 188. С. 116–127. *(Відбір кернів, вимірювання величин річних кілець і опрацювання отриманих даних).*

28. **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. *(Участь у польових дослідженнях та аналіз отриманих даних).*

29. **Коваль І. М.**, Сидоренко С. Г., Невмивака М. О. Післяпірогенний розвиток молодого соснового насадження в лісостепу. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. Вип. 30. 2018. С. 123–129. *(Відбір кернів, камеральні роботи, аналіз отриманих даних).*

30. **Коваль І. М.**, Воронин В. О. Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2019. № 32. С. 85–94. *(Участь в написанні обзорної статті).*

### Тези наукових доповідей

31. Ворон В. П., Бондарук М. А., Целіщев О. Г., **Коваль І. М.**, Леман О. В. Вплив антротехногенних факторів на ліси зелених зон України. Ліс, наука, суспільство: Міжнародна ювілейна наукова конференція, присвячена 75-річчю із дня заснування Українського ордена «Знак пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 30–31 березня 2005 року: тези доповіді. Харків, 2005. С. 68. *(Участь у польових роботах, опрацювання отриманих даних).*

32. **Коваль І. М.**, Леман О. В., Воронцова О. І. Вплив рекреаційного навантаження на динаміку радіального приросту в дубових деревостанах зеленої зони м. Харкова. Ліс, наука, суспільство: Міжнародна ювілейна наукова конференція, присвячена 75-річчю із дня заснування Українського ордена «Знак пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 30–31 березня 2005 року: тези доповіді. Харків, 2005. С. 72. *(Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних).*

33. **Koval I.**, Voron V., Leman A., Vorontsova O. Radial growth of oak under recreational influence in the Forest-Steppe of East Ukraine. EuroDendro 2005: International Conference of Dendrochronology, Viterbo, September, 28 – October 2, 2005: Abstracts of International Conference. Viterbo, Italy, 2005. P. 54. *(Відбір кернів, постановка проблеми і опрацювання отриманих даних).*

34. Koval I. M. Influence of climate on formation of radial growth *Pinus Sylvestris* L. in forest and forest-steppe zones of Ukraine. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology: Conference TRACE, Riga, 3–6 May, 2007: Abstracts of

International Conference. Riga, Latvia, 2007. Available at: <http://trace2007.lu.lv/abstracts.htm#Posters>

35. Koval I. Influence of climate on the pine tree rings in forest and forest-steppe zones of Ukraine. The long history of wood utilization: Conference EuroDendro 2008. Hallstatt, May 28th to June 1st 2008: Abstracts of International Conference. Hallstatt, Austria, 2008. P. 57–58.

36. Popov A. I., **Koval I. M.** The microstructure of wood's year bands as an indicator in meteorology history. The long history of wood utilization: EuroDendro conference. Hallstatt, May 28th to June 1st 2008: Abstracts of International Conference. Hallstatt, Austria, 2008. P. 97–98. (*Опрацювання отриманих даних і написання тез*).

37. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Лещенко В. О., Романенко О. І., Гавриш К. Розвиток соснових деревостанів під впливом аеротехногенного забруднення Зміївською ТЕС. Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи: Наукова конференція, присвячена 80-річчю від дня заснування Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, Харків, 12–14 жовтня 2010 року: тези доповіді. Харків, 2010. С. 163–164. (*Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних*)

38. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Лещенко В. О., Романенко О. І., Мельник Є. Є. Вплив комплексу антропогенних чинників на лісові екосистеми зеленої зони міста Харків. Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи: Наукова конференція, присвячена 80-річчю від дня заснування Українського науково-дослідного інституту лісового господарства агролісомеліорації, м. Харків, 12 – 14 жовтня 2010 року: тези доповіді. Харків, 2010. С. 164–166. (*Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних*).

39. Коваль І. М. Відгук радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату у лісостеповій зоні. Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи: Наукова конференція, присвячена 80-річчю від дня заснування Українського науково-дослідного інституту лісового господарства агролісомеліорації, м. Харків, 12 – 14 жовтня 2010 року: тези доповіді. Харків, 2010. С. 173–174.

40. **Коваль І. М.**, Ворон В. П., Романенко О. І. Динаміка радіального приросту сосни під впливом викидів Зміївської теплової електростанції. IV міжнародна наукова конференція, м. Донецьк, 18–21 жовтня 2011 року: тези доповіді. Донецьк, 2011. С. 177–179. (*Постановка проблеми, відбір кернів і опрацювання отриманих даних*).

41. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни на повітряне забруднення та зміни клімату в Лісостепу. Проблеми сталого розвитку агросфери: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 195-річчю від дня заснування Харківського національного університету імені В. В. Докучаєва, м. Харків, 4–6 жовтня 2011 року: тези доповіді. Харків, 2011. С. 257–259.

42. Коваль І. М. Дендрохронологічний аналіз сосни під впливом клімату та забруднення в степовій зоні України. Біорізноманіття та стійкий розвиток: Міжнародна науково-практична конференція Кримського наукового центру

Національної академії наук і Міністерства науки і освіти України, м. Сімферополь, 2012 року: тези доповіді. Сімферополь, 2012. С. 86–90.

43. Коваль І. М. Реакція лісових екосистем до змін клімату на межі лісостепової та степової зон. Ліс, довкілля, технології: наука та інновації: Науково-практична конференція, м. Київ, 29 березня, 2012 року: тези доповіді. Київ, 2012. С. 273–274.

44. Коваль І. М. Дендрохронологические аспекты устойчивости рекреационных лесов на востоке Украины. Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития: Международная научно-практическая конференция института леса Национальной академии наук Беларуси, г. Гомель, 9–11 октября 2013 года: тезисы доклада. Гомель, 2013 года. С. 221–224.

45. Коваль І. М. Реакція річної, ранньої та пізньої деревини *Pinus Nigra* Subsp. *Pallaasiana* на зміни клімату в Криму. Ліси, парки, технології: сьогодення та майбутнє: Науково-практична конференція, м. Київ, 28–29 березня 2013 року: тези доповіді. Київ, 2013. С. 37–38.

46. **Коваль І. М.**, Костяшкин Д. С. Дендрохронологический анализ феноформ дуба обыкновенного под влиянием рекреации в Лесостепи Украины. Биоразнообразие и устойчивость живых систем: XIII Международная научно-практическая экологическая конференция: г. Белгород, 6–11 октября 2014 года: тезисы доклада. Белгород, 2014. С. 34–35. (*Відбір кернів, камеральні роботи і опрацювання отриманих даних*).

47. Ворон В.П., **Коваль І.М.** Реакція радіального приросту сосняків у Поліссі на вплив негативних факторів. Оцінювання стану соснових і дубових лісостанів України дендрохронологічними методами. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку: Наукова конференція, присвячена 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 29–30 вересня 2015 року: тези доповідей. Харків, 2015. С. 93–94. (*Постановка проблеми, відбір кернів і опрацювання отриманих даних*).

48. **Коваль І. М.**, Бологов О. В., Нусбаум С. А., Юзвінський Г. А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем Новоград-Волинського фізико-географічного району. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку. Наукова конференція, присвячена 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 29–30 вересня 2015 року: тези доповіді. м. Харків, 2015. С. 110–112. (*Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних*).

49. Коваль І. М. Оцінювання стану соснових і дубових лісостанів України дендрохронологічними методами. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку. Наукова конференція, присвячена 150-річчю від дня народження

академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 29–30 вересня 2015 року: тези доповіді. Харків, 2015. С. 108–110. (*Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних*).

50. **Коваль І. М.**, Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Бологов О. В., Мельнік Є. Є., Ткач О. М., Невмивака М. А., Воронін В. О. Дендрохронологічні аспекти після пірогенного розвитку соснових насаджень в Поліссі та Лісостепу. XIII Всеукраїнські наукові Таліївські читання: наукова конференція, м. Харків, 19–20 квітня 2017 року: тези доповіді. Харків, 2017. С. 28–31. (*Відбір кернів і опрацювання отриманих даних*).

51. **Коваль І. М.**, Кошеляєва Я. В. Дендроіндикація берези повислої в насадженні, пошкодженому бактеріальною водяною, на Харківщині. XIII Всеукраїнські наукові Таліївські читання: наукова конференція, м. Харків, 19–20 квітня 2017 року: тези доповіді. Харків, 2017. С. 32–34. (*Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних*).

52. Koval I. The radial growth of European ash in Forest-Steppe Zone of West Ukraine. Conference EuroDendro 2017, Tartu, 6–10, September 2017: Abstracts of International Conference. Tartu, Estonia, 2017. P. 90.

53. **Коваль І. М.**, Браунинг А., Воронін В. О., Невмивака М. А., Токарева Н. А. Особливості формування шарів ранньої, пізньої та річної деревини дуба звичайного в насадженні Лівобережного Лісостепу України. Охорона. XIV Всеукраїнські наукові Таліївські читання, м. Харків, 16 квітня 2018 року: тези доповідей. Харків, 2018. С. 61–64. (*Постановка проблеми, відбір кернів і опрацювання отриманих даних*).

54. **Коваль І. М.**, Браунинг А. Вплив клімату на радіальний приріст дуба звичайного в насадженні Лівобережного Лісостепу. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування. Освіта – наука – виробництво –2018: XXI Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 18–20 квітня 2018 року: тези доповідей. Харків, 2018. С. 100–102. (*Постановка проблеми, відбір кернів, кмеральні роботи і опрацювання отриманих даних*).

55. Коваль І. М. Депонування вуглецю сосновим насадженням під впливом пожежі в лівобережному лісостепу. Prospects for the development of natural sciences in EU countries and Ukraine: International scientific and practical conference, December 21–22, 2018, Wloclawek, Poland: Abstracts of International Conference. Wloclawek, Poland, 2018. P. 52–54.

56. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни на зміни клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу України. Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 12–13 червня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 123–125.

57. **Коваль І. М.**, Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Депонування вуглецю в молодому сосновому насадженні Лівобережного Лісостепу, пошкодженого

пожежею. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: XXII Міжнародна науково-практична конференція національного університету імені В. Н. Каразіна: м. Харків, 17–18 квітня 2019 року: тези доповіді. Харків, 2019. С. 46–47. (*Відбір зразків, опрацювання отриманих даних*).

58. **Коваль І. М.**, Бологов О. В., Максименко Н. В. Кліматичний аналіз реперних років регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.) в Поліссі. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: Третя Міжнародна науково-практична конференція, м. Херсон, 22–23 жовтня 2020 р.: тези доповіді. Херсон, 2020. С. 293–296. (*Постановка проблеми, польові роботи і опрацювання отриманих даних*).

59. **Коваль І. М.**, Максименко Н. В. Потенціал використання дендрохронологічної інформації для сталого розвитку лісового господарства Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020: XXIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 17–18 грудня 2020 року: тези доповіді. Харків, 2020. С. 49 (*Постановка проблеми, відбір кернів і опрацювання отриманих даних*).

60. **Коваль І. М.**, Бологов О. В., Максименко Н. В. Кліматичний аналіз реперних років регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.) в Поліссі. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: Третя Міжнародна науково-практична конференція, м. Херсон, 22–23 жовтня 2020 року: тези доповіді. Херсон, 2020. С. 293–296. (*Постановка проблеми, відбір кернів і опрацювання отриманих даних*.)

61. Коваль І. М. Регіональна індексна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного (*Quercus Robur* L.) для лісової зони України. XVI Всеукраїнські наукові Таліївські читання, м. Харків, 29–30 жовтня 2020 року: тези доповіді. Харків, 2020. С. 55–56.

62. **Коваль І. М.**, Максименко Н. В. Потенціал використання дендрохронологічної інформації для сталого розвитку лісового господарства. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020: XXIII Міжнародна науково-практична конференція Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, м. Харків, 17–18 грудня 2020 року: тези доповіді. Харків, 2020. С. 48–49 (*Постановка проблеми, збір польового матеріалу і опрацювання отриманих даних*.)

63. Коваль І. М. Дендрохронологія та заповідна справа. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи: I Міжнародна Інтернет-конференція, м. Харків, 26 лютого 2021 року: тези доповіді. Харків, 2021. С. 71–72.

64. Коваль І. М. Лісова екологія та заповідна справа. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи.

I Міжнародна Інтернет-конференція, м. Харків, 26 лютого 2021 року: тези доповіді. Харків, 2021. С. 73–74.

65. **Коваль І. М.**, Бологов О. Ю. Вплив клімату та рівня ґрунтових вод на радіальний приріст дуба звичайного в Поліссі. III Міжнародна науково-практична конференція, м. Малин, 25 березня 2021 року: тези доповіді. Малин, 2021. С. 147–151. (*Постановка проблеми і опрацювання отриманих даних*).

66. **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» (ISCSAI 2021). Kryvyi Rih, Ukraine, April 12-16. 2021. Vol. 100. Available at: <https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2021/11/contents/contents.html>. (*Постановка проблеми, збір експериментальних даних і опрацювання отриманих даних*).

### Науково-методичні рекомендації

67. Ворон В. П., Бондарук М. А., **Коваль І. М.**, Целіщев О. Г. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій УкрНДІЛГА. Рекомендації щодо комплексної оцінки стійкості рекреаційно-оздоровчих лісів, організації їх моніторингу та оптимізації рекреаційного лісокористування в них. Збірник рекомендацій Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації. Харків: Нове слово. 2011. С. 10–112. (*Вибір зразків, опрацювання і аналіз отриманих даних і їх аналіз*).

68. Ворон В. П., Лавров В. В., Бондарук М. А., Стельмахова Т. Ф., Распопіна С. П., **Коваль І. М.**, Романенко О. І., Леман О. В., Целіщев О. Г. Діагностика та зонування пошкодження лісів України аеротехногенним забрудненням. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації. Харків: Нове слово. 2011. С. 113–164. (*Опрацювання отриманих даних та їх аналіз*).

69. Ворон В. П., Лавров В. В., Присада І. О., Стельмахова Т. Ф., Воронцова О. І., **Коваль І. М.** Попередні нормативи гранично-допустимих навантажень (ГДН) основних промислових екосистем України. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації. Харків: Нове слово. 2011. С. 165–175. (*Опрацювання отриманих даних та їх аналіз*).

70. Ворон В. П., **Коваль І. М.**, Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Бологов О. Ю. Рекомендації щодо ведення лісового господарства в умовах антропогенного впливу [затверджені науково-технічною радою Державного агентства лісових ресурсів України 20.04.2017 р. за протоколом № 3]. Харків: УкрНДІЛГА, 2017. 54 с. (*Опрацювання отриманих даних та їх аналіз*).

## АНОТАЦІЯ

**Коваль І. М. Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України.** На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук зі спеціальності 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021.

У дисертації наведено теоретичні узагальнення та аналіз даних стосовно особливостей реакції радіального приросту хвойних та кільцесудинних лісових порід на екологічні зміни в лісових екосистемах під впливом кліматичних та антропогенних факторів у різних природних зонах України дендрохронологічними методами. Дослідження базувалися на аналізі радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу і сосни кримської на південній частині Кримських гір.

Опрацьовано дендрокліматичні методи, у тому числі метод відгуку та дендроіндикаційні методи. Виявлено можливість адаптації деревних видів до зміни клімату та антропогенного навантаження.

Виявлено зворотні зв'язки між індексами радіального приросту сосни, пошкоджених емісіями насаджень у роки найбільшого техногенного пресу та прямі – у період зменшення обсягу викидів цементного комбінату «Балцем» Залежність ширини кільця приросту від показників клімату залежить від відстані до джерел забруднення та його інтенсивності.

Підвищення температур упродовж вегетаційного та холодного періодів призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни в пошкоджених рекреацією та промисловими викидами насадженнях внаслідок порушення зимового спокою дерев, який негативно став впливати на формування річних кілець дерев після 1999 року.

Пізня деревина сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного має найвищу чутливість до змін довкілля і цей показник є сенс використовувати при дендрокліматичному аналізі, що доведено експериментально.

**Ключові слова:** дендрохронологічні методи, сосна звичайна, сосна кримська, дуб звичайний, зміни клімату, рекреація, повітряне забруднення, Полісся, Лісостеп, південні схили Кримських гір.

## АННОТАЦИЯ

**Коваль И. М. Дендрохронологические основы оценивания сосновых и дубовых древостоев Украины.** На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук по специальности 06.03.03 «Лесоведение и лесоводство». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2021.

В диссертации приведены теоретические обобщения и анализ данных особенностей реакции радиального прироста хвойных, и кольцесудинных лесных пород на экологические изменения в лесных экосистемах под влиянием климатических, и антропогенных факторов в различных природных зонах

Украины дендрохронологическими методами. Исследования базировались на анализе радиального прироста сосны обыкновенной, сосны крымской и дуба обыкновенного в Полесье, Лесостепи, и сосны крымской на южной части Крымских гор.

Разработаны дендроклиматические методы, в том числе метод отклика и дендроиндикационные методы. Выявлена возможность адаптации древесных видов к изменению климата и антропогенной нагрузке.

Выявлены обратные связи между индексами радиального прироста сосны, поврежденных эмиссиями насаждений в годы наибольшего техногенного пресса и прямые – в период уменьшения объема выбросов цементного комбината «Балцем».

Повышение температур в течение вегетационного и холодного периодов привело к уменьшению тренда радиального прироста сосны в поврежденных рекреацией и промышленными выбросами насаждениях вследствие нарушения зимнего покоя деревьев, негативно влияющих на формирование годичных колец деревьев после 1999 года.

Поздняя древесина сосны обыкновенной, сосны крымской и дуба обыкновенного имеют наивысшую чувствительность к изменениям окружающей среды и этот показатель имеет смысл использовать при дендроклиматическом анализе, что доказано экспериментально.

**Ключевые слова:** дендрохронологические методы, сосна обыкновенная, сосна крымская, дуб обыкновенный, изменения климата, рекреация, воздушное загрязнение, Полесье, Лесостепь, южные склоны Крымских гор.

## ANNOTATION

**Koval I. M. Dendrochronological principles of evaluation of pine and oak stands of Ukraine.** The Manuscript.

Thesis for a Doctors's Degree in Agricultural Sciences majoring in 06.03.03 «Forestry and Silviculture». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2021.

Theoretical generalizations and analysis of data on the peculiarities of the response of tree rings of *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* to ecological changes in forest ecosystems under the influence of climatic and anthropogenic factors in different natural zones of Ukraine.

The research was based on the analysis of tree rings of Scots pine and English oak in Polissya and Forest-Steppe, Crimean pine growing in the stands of the southern part of the Crimean Mountains.

The hypothesis of the negative influence of winter, early spring, and vegetation temperatures on the stability of stands in Polissya, Forest-Steppe, and the southern coast of Crimea was confirmed, which was manifested in an increase in the number of significant links between growth indices and climatic factors.

The methods used include those common in forestry and forest assessment, comparative ecology, and dendrochronology. Dendrochronology studies of early

wood, late wood, and annual tree ring width reveal the complex indicators that reflect the condition of forest stands.

Pine and oak forests of the Forest-Steppe at this stage were able to adapt to climate change in contrast to the pine stands in Polissya, which suffer the most from climate change. At the same time, stands have become more sensitive to climate change, as evidenced by the increasing relationship between climatic factors and radial growth, which indicates a decrease in the resilience of forest ecosystems.

After the drought of 2008, an intensive decline of oak stands in Polissya began, but after selective sanitary felling, the radial growth stabilized and even increased slightly for some stands. This indicates the adaptation of surviving trees to climate change and groundwater levels in 2011–2014.

During 1989–2014, the radial growth of English oak in Polissya was limited by high temperatures during the growing season, early spring and winter, as well as an increase in precipitation during the cold period.

A comparison of the response of radial growth to climate change in 1960–1988 revealed a positive effect of winter and early spring temperatures on the radial growth of oak in Polissya and the Forest-Steppe. In 1989–2013, on the contrary, a significant increase in winter and early spring temperatures caused a decrease in radial growth. In the second period, the oak stands of Polissya suffered more from warm winters than the stands of Forest-Steppe. The negative impact of the growing season droughts on growth intensified in the second period for both regions. During the second period, precipitation significantly lost its positive effect on growth in the stands of both Polissya and Forest-Steppe.

In the Polissya part of the Novohrad-Volynskyi physical-geographical district, where mostly oak stands grow, during 2008–2013 the groundwater level decreased in most areas. It was a consequence of a decrease in the average annual precipitation by 10–13% of the norm and rising temperatures, especially winter and early spring. This led to the rapid melting of snow, increased surface runoff, and reduced soil moisture, which negatively affected the radial growth. At the same time, in the drainage system which is located in the southern part of the Novograd-Volyn physical-geographical district (Forest-Steppe), the table water level increased due to the unsatisfactory condition of channels, soil cover, and parent rocks.

The sensitivity coefficient of the index tree-ring series, which increased in recreationally damaged pine stands by 41–67 % compared to the control, indicates a significant decrease in the stability of these stands. The correlation coefficient between the tree-ring chronologies, which is much lower in damaged stands than in the control, indicates an anomaly of the radial growth of pine. The depression of the radial tree growth in recreationally damaged stands is aggravated mainly by droughts and low winter temperatures. Restoration of the radial growth of trees in recreationally damaged stands after exposure to adverse weather conditions takes 1–2 years longer than in the control.

As the recreational load increases, the radial growth of pine trees decreases, and the coefficient of variation increases. Restoration of radial growth of trees in recreationally damaged stands after exposure to adverse weather conditions (drought, low winter temperatures) lasts 1–2 years longer than in the control.

The radial growth of oak stands in the green zone of Kharkiv during 1995–2008 decreased as the level of damage increased: the width of the ring was decreased to the control at the plots of the second stage of digression – by 7 %, the third – by 16 % and the fourth – by 27 %. The pointer years of minimal growth (1975, 1983, 1984, 1987, 1990, 1994, 1996, 2002, and 2007) were characterized by droughts

and low temperatures in winter and early spring, except for 2007 with extremely warm winters and early spring. Pointer years of the radial growth of pine were observed in 1980, 1989, 1997, and 2004 with a favorable ratio of heat and moisture for tree growth.

High synchronicity between annual ring thickness and late and early oak wood species was found in almost all research plots, except for the most damaged plantation with the fourth stage of recreational digression, where late wood has less close correlations with tree ring index and early wood index, indicating damage to pine stands by recreation.

For pine stands under the influence of cement plant emissions («Baltsem»), it has been established that the sensitivity coefficient and autoregression of the first order of tree-ring chronologies can be used as indicators of stand state. Correlations between radial growth indices for emission-damaged stands during the years of the largest industrial loading (1978–1988) were negative and positive correlations for the period of emission reductions – in 1989–2009 were revealed. Droughts and high winter and early spring temperatures deepen radial depressions of pine growth in stands damaged by emissions. The decrease in the trend of radial growth of pine in 2005–2010 is caused not only by chronic pollution of forest ecosystems but also by an increase in winter and early spring temperatures, which exceeded the optimal threshold for tree growth.

For pine stands under the influence of emissions from the Zmiiv Thermal Power Plant, it was found that in 1969–1978 the pine radial growth was limited by precipitation and temperatures during the year and the growing season. In the following 1979–1988, the increment in damaged stands was limited by March temperatures and precipitation during the growing season. In 1989–1998, further increases in temperatures during the winter and March periods led to improved growth at all research plots. In 1999–2008, further intensive warming in winter and early spring exceeded the optimum threshold for tree growth, which led to a reduction in radial pine growth against the background of chronic pollution of forest ecosystems, despite decrease emissions.

The effectiveness of a combination of the dendrochronological, silvicultural, taxonomic, and comparative ecology methods is theoretically and practically proved.

The correlation coefficient between tree-ring chronologies of trees, sensitivity coefficient, first-order autoregression, coefficient of variation, results of correlation analysis between tree-ring chronologies, and climatic factors should be used as indicators of oak and pine stands condition under the influence of climate and anthropogenic load in Polissya, Forest-steppe, and mountainous Crimea.

**Key words:** dendrochronological methods, Scots pine, Crimean pine, English oak, climate change, recreation, air pollution, Polissya, Forest-steppe, southern slopes of the Crimean mountains.

Підписано до друку 19.11.2021 року.      Формат 60x84\16  
Ум. друк. арк. 1,9                                      Обл.-вид.арк. 1,9  
Наклад 100 прим.                                      Зам. № 210792

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, тел.: 527-81-55, e-mail: nubip\_druk@ukr.net  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4097 від 17.06.2011



