

ДУ «ІНСТИТУТ ЕВОЛЮЦІЙНОЇ ЕКОЛОГІЇ НАН УКРАЇНИ»  
ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ  
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ПРОКОПУК ЮЛІЯ СЕРГІЇВНА**

Гриф  
Прим. № \_\_\_\_\_  
УДК 630\*5:582.632.2:551.58(477-25)

ДИСЕРТАЦІЯ  
**КЛІМАТОГЕННА ВАРІАЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ  
*QUERCUS ROBUR* L. У БІОТОПАХ ЗАПЛАВИ ДНІПРА В М. КИЄВІ**

03.00.16 – екологія  
біологічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Ю. С. Прокопук

Науковий керівник: **Нецветов Максим Вікторович**, доктор біологічних  
наук, доцент

Київ – 2019

## АНОТАЦІЯ

Прокопук Ю.С. Кліматогенна варіація радіального приросту *Quercus robur* L. у біотопах заплави Дніпра в м. Києві. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 — екологія. — ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України», Державний заклад «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління». Київ, 2019.

Заплавні лісові екосистеми мають високу продуктивність, є осередком біорізноманіття та надають ряд інших важливих екосистемних послуг. Заплавна лісова рослинність характеризується як азональна, оскільки її поширення скоріше залежить від екологічних умов, що формуються завдяки режиму річки, аніж від географічного поясу та природної зони. Природні коливання рівня води та сезонні повені є екологічними чинниками, що суттєво впливають на заплавні екосистеми та їх складові. Зарегулювання річкового потоку та будівництво гідротехнічних споруд спричиняють зміну багаторічної амплітуди коливань рівня води та часто призводять до трансформації, ослаблення та навіть деградації заплавних лісів. Будівництво греблі нижче течії річки зазвичай призводить до підвищення рівня ґрунтових вод, тому прибережна рослинність страждає від надлишку вологи, і, навпаки, будівництво вище течії спричиняє дефіцит ґрунтової вологи. Передбачити реакцію екосистеми на зарегулювання, що здійснюється одразу вище і нижче за течією без спеціальних досліджень майже неможливо. Прикладом цього є заплавні біотопи у межах Києва, що зазнали впливу змін у коливанні рівня води Дніпра в наслідок роботи двох гідроелектростанцій — Київської та Канівської.

*Quercus robur* L. — вид деревних рослин, що забезпечує поживою та житлом велику кількість організмів, під наметом якого формуються особливі умови необхідні для багатьох видів трав'янистих рослин, забезпечуючи велике біологічне різноманіття лісових екосистем. Вид широко поширений у помірному поясі Європи і може домінувати в багатьох типах лісу. У Києві *Q. robur* зростає у різних біотопах: у долині Дніпра, та поза нею — у межах

правобережної лесової ерозійної рівнини. Деревні види поширені в помірному кліматі чутливі до змін екологічних факторів, вплив яких відображається на ширині річних кілець. Однак екологічна пластичність та тривалий онтогенез *Q. robur* уможливають проведення дендрокліматологічних досліджень як у заплавних екосистемах так і в умовах нестачі атмосферного та ґрунтового зволоження.

В дисертаційній роботі використано дані температури повітря, опадів та рівнів води Дніпра у Києві за останні 139 років для оцінки впливу гідрокліматичних чинників на радіальний приріст *Q. robur* у біотопах заплави річки та контрольному біотопі поза заплавою до та після зарегулювання. Із застосуванням стаціонарного та рухомого кореляційного аналізу та функції відгуку встановлено, що до зарегулювання Дніпра (1965–1977 рр.) рівень води в квітні–травні був головним фактором, який позитивно ( $p > 0,05$ ) впливав на ширину річних кілець та ранньої деревини в заплавах. Поза нею приріст *Q. robur* лімітувався нестачею опадів ( $p > 0,05$ ). Після введення в експлуатацію гребель вище та нижче течії Дніпра, вплив рівня води став незначущим у заплавних біотопах, що розташовані у безпосередній близькості до Дніпра, та змінився на негативний ( $p > 0,05$ ) у біотопі, який відокремлений від берега забудовою та розмежований автомобільною дорогою. Тобто, найчутливішими виявились дерева *Q. robur* які окрім зарегулювання Дніпра зазнали впливу антропогенної зміни локальної гідрології.

Неочікуваними виявились результати кореляційного аналізу зв'язку радіального приросту *Q. robur* з кліматичними чинниками у біотопі заплави річок Сіверка та Петіль, приток Дніпра. Біотоп заплави річки Сіверка зазнавав впливу весняних повеней, які після вирівнювання русла та загачення річок припинись. До 1950-х рр. специфічним для *Q. robur* був зв'язок радіального приросту з температурою — позитивний  $r = 0,37$  у травні, та негативний  $r = -0,28$  у червні. Ці результати свідчать про контрастність умов зволоження протягом сезону вегетації — надлишку вологи в період формування ранньої деревини та її нестачі пізніше в сезоні. Внаслідок введення в дію гідротехнічних споруд

Канівської ГЕС (1977 р.) річка Сіверка зазнала підпір з боку Дніпра. Після зарегулювання річки зв'язок приросту *Q. robur* з температурою травня–червня став незначущим, а лімітувальним чинником стала посуха в травні  $r=0,30$ .

Посухи та дефіцит вологи мають ще більший вплив на приріст *Q. robur* в степу на екологічній межі ареалу, діброви тут зростають у локально сприятливих умовах зволоження — прибережних зонах річок, балках та байраках. Вплив кліматичних чинників на азональні ліси в степовій зоні можна розглядати як приклад майбутніх змін у структурі зв'язків приріст–клімат в тих частинах ареалу виду, де за прогнозами нестача атмосферного та/або ґрунтового зволоження посилюватиметься. Одним із таких азональних степових лісів є на півночі міста Донецьк — Путилівський ліс, який є залишком природного лісового масиву, що колись входив в мережу прирічкових і байрачних лісів басейну річки Кальміус. За результатами кореляційного аналізу встановлено позитивний вплив на приріст *Q. robur* опадів травня  $r=0,20$  та квітня–червня  $r=0,26$  і негативний температури квітня  $r=-0,22$  та червня–липня  $r=-0,27$ . Це свідчить, що сприятливими умовами для росту *Q. robur* в степу є відносно низькі температури повітря і помірні опади. Основною відмінністю від заплавних біотопів Києва є негативний вплив температур на початку вегетаційного періоду.

Відсутність дефіциту вологи та оптимальне забезпечення рослин поживними речовинами роблять заплави продуктивнішими за інші наземні екосистеми. Однак, результати порівняння накопичення вуглецю у біотопах, розташованих у заплаві та поза нею, виявилися непередбаченими — реконструкція накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Q. robur* показала, що середня маса вуглецю у заплавних біотопах Києва є меншою порівняно з біотопами поза заплавою. Тобто, оптимальними для росту *Q. robur* є умови, де спостерігається помірне зволоження. Але як в заплавах так і в лісах поза нею вуглецедепонувальна здатність *Q. robur* підвищується із збільшенням віку. Деревя *Q. robur* у віці 200 років і більше здатні максимально депонувати вуглець — близько 20 кг/рік.



Завдяки довговічності, широкому розповсюдженню, чітким межам річних кілець та частому використанню в будівельних конструкціях рід *Quercus* sp. використовується для укладання тривалих хронологічних серій. Нині в архіві Міжнародного банку деревно-кільцевих даних (The International Tree-Ring Data Bank, ITRDB) наявні хронології *Quercus* spp. з 92 місць зростають Австрії, Великої Британії, Франції, Німеччини, Італії, Литви, Нідерландів, Польщі та Туреччини. Укладена нами хронологічна серія річних кілець вікових дерев *Q. robur* (1746–2016) може застосовуватися для реконструкції кліматичних умов та екстремальних поведень у Києві з середини XVIII ст. та датування артефактів відповідного періоду. Ще більші наукові перспективи відкриває безперервний хронологічний ряд, який можна отримати об'єднавши узагальнену нами хронологію із зразків живих дерев *Q. robur* та дані датованої деревини з археологічних об'єктів.

**Ключові слова:** *Quercus robur*, річні кільця, заплавні ліси, гідро-кліматичні чинники.

## SUMMARY

Prokopuk Yu.S. Climatogenic *Quercus robur* L. radial growth variation in the Dnipro River's floodplain biotopes in Kyiv. The candidate's degree thesis dissertation in biological sciences field 03.00.16 — ecology. — SI «Institute for evolutionary ecology NAS Ukraine», State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2019.

Floodplain forest ecosystems have a high biomass production level, great biodiversity and provide a number of other important ecosystem services. Floodplain forest vegetation is considered as an azonal, given that its distribution depends on environmental conditions emerging by the river regime, rather than a geographical belt and a natural zone. Natural water level fluctuations and seasonal floods are the major ecological factors affecting floodplain ecosystems and their components. River flows regulation and dam construction cause changes in the long-term amplitude of the water level fluctuation and lead to the transformation, weakening and degradation of floodplain forests. Upstream dam installation usually entails an increasing groundwater table, therefore riverine vegetation suffers from a moisture excess; in contrast, a downstream construction leads to the soil moisture deficit. It is almost impossible to envisage the ecosystem's response to the upstream and downstream river regulation. The floodplain biotopes in Kyiv are a clear example, which were influenced by the changes in the Dnipro River fluctuation due to the implementation of the upstream and downstream dam constructions.

*Quercus robur* L. is tree species that provide with food and housing a large number of organisms, under an oak canopy formed special conditions for much herbaceous vegetation, thus providing a great biodiversity of forest ecosystems. The species are widespread in the temperate zone of Europe and can dominate in numerous forest types. *Q. robur* grows in the different biotopes in Kyiv — in the Dnipro River's valley and outside. Widespread tree species in the temperate climate are sensitive to the environmental changes, the impact of whose is reflected on the annual ring width. *Q. robur* ecological plasticity and long-term ontogenesis allow to

conduct dendroclimatological studies both in floodplain and the conditions of soil and atmospheric moisture deficit.

In the thesis, 130 years long instrumental records of local temperature, precipitation, and the Dnipro River's water level in Kyiv have been used to assess the impact of hydro-climatic factors on *Q. robur* radial growth in floodplain and reference biotopes before and after river regulation. The results of stationary and moving correlation and response function analyses have shown that before the Dnipro River regulation (1965–1977), April–May water level was the main factor which had a positive impact ( $p > 0,05$ ) on tree-ring width and earlywood width in floodplain sites. *Q. robur* radial growth is limited by lack of precipitation ( $p > 0,05$ ) in reference site. After upstream and downstream dams implementation, the water level influence has become non-significant in floodplain biotopes are located nearby the Dnipro River ( $p > 0,05$ ) and changed to negative ( $p > 0,05$ ) in biotope is separated from the coast by building and divided by the road. The most sensitive ones were pedunculate oak trees, which besides the river regulation, influenced by an anthropogenic change of local hydrology.

The results of the correlation analysis of *Q. robur* growth-to-climate relationships in the Siverka River and the Petil River floodplain biotope were unexpected. The Siverka River floodplain biotope was influenced by spring floods, which stopped after channel align and dam a river. The positive correlations with May temperature  $r = 0,37$  and negative with June temperature  $r = -0,29$  were the main specific *Q. robur* growth responses before the Siverka River regulation (1950-y). The results have indicated the contrast conditions during vegetation season — the excess water in the period of earlywood formation and the water deficit later in the vegetation season. Since 1977, when a levee downstream of Kyiv was built, the river's water has been backed up by the mainstream, i.e. the Dnipro River. After river regulation *Q. robur* growth relation with May–June temperature was non-significant and the main limiting factor was the drought in May  $r = 0,30$ .

Drought and water deficit have a greater impact on *Q. robur* growth in an ecological boundary of its distribution in the steppe. Here oak forests grow in locally

humid conditions, such as riverbanks, floodplains and ravines. The impact of climatic factors on steppe azonal forests can be considered an example of future changes in growth-to-climate relationships in those parts of species range where it is predicted an increase in atmospheric and/or soil moisture deficit. One of such a steppe azonal forest is Putilovsky forest located in the north of Donetsk city. This stand was part of natural woodland that belonged to the network of riverine and ravine forests of the Kalmius River basin. Positive correlations have been determined between *Q. robur* growth and May  $r=0,20$  and April–June  $r=0,25$  precipitation and negative with April  $r=-0,24$  and June–July  $r=-0,27$  temperature. This suggests that favourable *Q. robur* growth conditions in the steppe are relatively low air temperature and moderate precipitation. The main difference from the Kyiv floodplains biotopes is the negative temperature influence at the beginning of the growth season.

Floodplain forests are the most productive terrestrial ecosystems due to a sustained provision of riverine vegetation with moisture and nutrients. Nevertheless, our results of comparing carbon sequestration in floodplain biotopes and reference site were unpredictable. The reconstruction of carbon sequestration in *Q. robur* stem has shown that average annual carbon mass is smaller in Kyiv floodplain biotopes compared to an outside floodplain. That means environmental conditions with moderate humidity are optimal for *Q. robur* growth. But both in floodplains and in forests outside it, the *Q. robur* carbon sequestration ability increases with age. *Q. robur* trees at the age of 200 and more are capable to maximize carbon sequestration — about 20 kg per year.

Due to its longevity, widespread range, clear annual rings boundaries and frequent use in building constructions, the genus *Quercus* spp. is used for long chronological series development. Currently, the *Quercus* sp. chronologies are available in the International Tree-Ring Data Bank (ITRDB) archive from 92 sites growth in Austria, Great Britain, France, Germany, Italy, Lithuania, the Netherlands, Poland and Turkey. The generalized *Q. robur* tree-rings chronology (1746–2016) reveals broad scientific perspectives in the climatic conditions and extreme floods reconstructions in Kyiv from the middle of the XVIII<sup>th</sup> century and the dating of the

artefacts of the relevant period. Even greater perspectives open up a continuous chronological series, which can be obtained by combining the generalized chronology from the living *Q. robur* trees samples and data of archaeological dated wood.

**Key words:** *Quercus robur*, tree ring, floodplain forests, hydro-climatic factors.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті в зарубіжних виданнях

1. Netsvetov, M., Sergeev, M., Nikulina, V., Korniyenko, V., & **Prokopuk, Y.** (2017). The climate to growth relationship of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*, 44, P. 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004> (здобувачем особисто проведено камеральні роботи, вимірювання річних кілець та укладання хронологічних серій, їхній статистичний аналіз; разом з співавторами проведено обговорення та інтерпретацію результатів і написання тексту статті).

2. Netsvetov, M., **Prokopuk, Y.**, Didukh, Y., & Romenskyu, M. (2018). Climatic sensitivity of *Quercus robur* L. in floodplain near Kyiv under river regulation. *Dendrobiology*, 79, 20–33. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.079.003> (здобувач разом з співавторами брав участь у плануванні роботи та у польових дослідженнях; здобувачем особисто проведено камеральні роботи, укладання хронологічних серій та їхній статистичний аналіз; разом з співавторами проведено обговорення та інтерпретацію результатів і написання тексту статті).

3. Netsvetov, M., **Prokopuk, Y.**, Puchalka, R., Koprowski, M., Klisz, M., & Romenskyu, M. (2019). River regulation causes rapid changes in relationships between floodplain oak growth and environmental variables. *Frontiers Plant Science*, 10, 96. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00096> (здобувач разом з співавторами брав участь плануванні роботи та у польових дослідженнях, здобувачем проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів і написання статті проведені разом з співавторами).

### Статті в українських фахових виданнях

4. Нецветов, М. В., & **Прокопук, Ю. С.** (2016). Вік та радіальний приріст старовікових дерев *Quercus robur* парку «Феофанія». *Український ботанічний журнал*, 73(2), 126–133. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.02.126> (здобувач разом з співавтором планував роботу та проводив польові дослідження,

особисто здобувачем проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів проведені разом з співавтором).

5. Прокопук, Ю. С., & Нецветов, М. В. (2016). Динаміка депонування вуглецю у стовбуровій біомасі *Quercus robur* L. парку «Феофанія». *Науковий вісник НЛТУ України*, 26.3, 158–164. <https://doi.org/10.15421/40260326> (разом із співавтором проведено планування роботи та інтерпретацію результатів, особисто здобувачем проведено камеральні роботи, виміри, розрахунки і статистичний аналіз даних, написання тексту статті).

6. Прокопук, Ю. С. (2017). Вуглецедепонувальна здатність насадження *Quercus robur* L. парку «Феофанія», м. Київ. *Чорноморський ботанічний журнал*, 13(3), 258–265. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/17.133/1>.

7. Прокопук, Ю. С., & Крилов, Я. І. (2018). Стан, охорона та збереження багатовікових дерев дуба звичайного в урочищі «Феофанія». *Ecology and Noospherology*, 29(1), 36–41. <https://doi.org/10.15421/031806> (разом з співавтором проведено планування роботи, польові дослідження, обговорення результатів і написання тексту статті, особисто здобувачем проведено камеральні роботи, виміри, розрахунки і статистичний аналіз даних).

8. Прокопук, Ю. С. (2018). Реконструкція щорічної акумуляції вуглецю в стовбурах дерев *Quercus robur* (*Fagaceae*) заплавних лісів Києва. *Український ботанічний журнал*, 75(6), 517–524. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.06.517>.

#### **Матеріали конференцій та тези доповідей**

9. Прокопук, Ю. С., & Нецветов, М. В. (2015, травень). Вік та радіальний приріст найстаріших дерев виду *Quercus robur* L. ППСПМ «Феофанія». Мат. міжн. наук. конф. «Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках», Київ: Фітосоціоцентр, 200–201. (здобувачем та співавтором проведено польові дослідження, особисто здобувачем проведено камеральні роботи та статистичний аналіз даних).

10. Netsvetov, M., & **Prokopuk, Yu.** (2015, October). Pedunculate oak longevity and growth-to-climate relation in city forest at the Western Steppe. Int. Sc. Conf. on Dendrochronology Climate and Human History in the Mediterranean Basin, Turkey: Antalya, P. 183–184. *(здобувачем особисто проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів проведені разом з співавтором)*

11. **Прокопук, Ю. С.** (2017, травень). Вплив зміни клімату на заплавні діброви Києва. Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених. Київ, 138–139.

12. **Prokopuk, Yu., Krylov, Ya., Didukh, Ya., & Netsvetov, M.** (2017, September). Climate change vulnerability of floodplain oak forests in the city of Kyiv. In K. Sohar, S. Toomik, D. Eckstein, A. Läänelaid (Eds.) Book of Abstracts. EuroDendro Conference 2017, Estonia: Tartu, 111. *(здобувачем особисто проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів проведені разом з співавторами).*



## ЗМІСТ

	Перелік умовних скорочень	15
	Вступ	16
Розділ 1	ЧУТЛИВІСТЬ ЗАПЛАВНИХ ЕКОСИСТЕМ ДО КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ЗАРЕГУЛЮВАННЯ РІЧОК (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)	22
1.1.	Вразливість заплавних лісових екосистем	22
1.2.	Реакції деревних рослин на гідрологічні зміни	24
1.3.	Механізми адаптації <i>Quercus robur</i> до надлишку вологи	25
1.4.	Дендрохронологічні методи визначення варіабельності та анатомічної структури річних кілець	27
1.5.	Кліматогенна варіація радіального приросту <i>Quercus robur</i> у заплавних екосистемах Європи	31
Розділ 2	МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	35
2.1.	Вибір досліджуваних біотопів	35
2.2.	Відбір зразків деревини	39
2.3.	Камеральна обробка зразків	40
2.4.	Статистичні параметри деревно-кільцевої хронології	42
2.5.	Визначення віку дерев	44
2.6.	Кліматичні дані та рівні води в Дніпрі	47
2.7.	Аналіз кліматичного та гідрологічного сигналів	49
2.8.	Реконструкція щорічної фіксації вуглецю у стовбурах дерев	51
Розділ 3	ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ <i>QUERCUS ROBUR</i> L.	53
3.1.	Порівняльня радіального приросту <i>Quercus robur</i> у межах природного ареалу Європи	53
3.2.	Вплив гідрологічних та кліматичних чинників на річний радіальний приріст <i>Quercus robur</i> у заплаві Дніпра	58
3.3.	Вплив кліматичних чинників на річний радіальний приріст <i>Quercus robur</i> у заплаві малих річок Сіверка та Петіль	68
3.4.	Вплив кліматичних чинників на річний радіальний приріст <i>Quercus robur</i> на екологічній межі ареалу в степу	78
Розділ 4	РЕКОНСТРУКЦІЯ ЩОРІЧНОЇ АКУМУЛЯЦІЇ ВУГЛЕЦЮ	93

	У СТОВБУРАХ <i>QUERCUS ROBUR</i> В ЗАПЛАВІ ДНІПРА ТА ПОЗА НЕЮ	
4.1.	Вікові деревостани	93
4.2.	Насадження	98
Розділ 5	НАЙСТАРІШІ ДЕРЕВА КИСВА — НАУКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ БАГАТОВІКОВИХ ХРОНОЛОГІЧНИХ СЕРІЙ	103
5.1.	Хронологічні ряди приросту найстаріших дерев <i>Quercus robur</i> урочища Феофанія	103
5.2.	Походження деревостанів урочища Феофанія та Голосіївського лісу	109
	ВИСНОВКИ	114
	Рекомендації щодо підтримання життєздатності багатовікових дерев урочища Феофанія	116
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	117
	Додатки	144

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- Dub — урочище Дубище
- Вус — урочище Бичок
- Zhu — заказник «Жуків острів»
- Lis — заказник «Лісники»
- Feo(ref) — урочище Феофанія
- Put — урочище Путилівський ліс
- ЦГО — Центральна геофізична обсерваторія
- RWI — індекси приросту річного кільця
- EWI — індекси приросту ранньої деревини
- LWI — індекси приросту пізньої деревини
- SD — стандартне відхилення
- MS — середня чутливість
- A1 — коефіцієнт автокореляції першого порядку
- SNR — відношення сигналу до шуму
- EPS — виражений сигнал популяції

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Заплавні ліси виконують важливі екологічні функції — забезпечують високий рівень біотичного різноманіття на локальному та регіональному рівнях, слугують екологічними коридорами, пом'якшують кліматичні зміни та ексцеси, підтримують стабільність берегової лінії та інше [15, 74]. Регулярні повені, збагачуючи ґрунти заплав поживними речовинами і насичуючи їх вологою, забезпечують високу продуктивність заплавних екосистем [163], що, однак, повсюдно втрачається через високий рівень антропогенного навантаження [168]. Модифікація гідрології річок, що викликана необхідністю боротьби з повенями, виробництвом електроенергії та іншими потребами людини, має постійний вплив на біотопи заплав через прямі та опосередковані ефекти на рівні організмів, популяцій, угруповань, екосистем [212]. Надання оцінки впливу модифікації річок на прилеглі біотопи зазвичай ускладнюється тривалою експлуатацією гідрологічних споруд, що були сконструйовані до початку регулярних спостережень за екосистемами заплав та/або гідрологією річок; коротким терміном спостережень у разі нещодавніх змін, що ускладнює отримання статистично значущих результатів досліджень; відсутністю довгих і безперервних інструментальних метео- та гідрологічних спостережень; докорінними змінами рослинних угруповань в заплавах. Ці перешкоди відсутні у Києві, де безперервні інструментальні спостереження за рівнем води у Дніпрі проводять з 1877 року [26], а зарегулювання розпочато близько 50 років тому [9]. Тут також збереглися рідкісні біотопи — заплавні діброви з віковими деревами *Quercus robur* L. [1, 17], деревина яких являє собою унікальний природний архів інформації щодо реакції рослин на екологічні чинники. Значення досліджень дендрохронологічних серій заплавних дібров Києва полягає у можливості більш глибоко зрозуміти зв'язок прирічкових екосистем

із природними коливаннями рівня річок та досягнути наслідки антропогенних змін у гідрології, що відбуваються на фоні глобальних кліматичних змін.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано в межах науково-дослідних тем ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»: «Стійкість амфіценозів техногенно змінених територій степової зони» (номер державної реєстрації 0113U006600; 2014–2016 рр.), «Збереження природно-історичної спадщини та збагачення біотичного різноманіття парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва «Феофанія» (номер державної реєстрації 0115U000006; 2015–2017 рр.), «Просторово-часова варіація морфолого-фізіологічних характеристик вищих рослин та грибів біотопів Києва та області» (номер державної реєстрації 0117U004322; 2017–2021 рр.) та «Наукові засади розвитку просвітницького потенціалу ППСМ «Феофанія» (номер державної реєстрації 0117U004324; 2017–2019 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Визначити абіотичні екологічні чинники, що лімітують приріст *Q. robur* у заплаві Дніпра в місті Києві, та з'ясувати, як зарегулювання річки вплинуло на зв'язок приросту з факторами навколишнього середовища. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Проаналізувати хронологічні серії радіального приросту *Q. robur* з Міжнародного банку даних (ITRDB) та порівняти з варіацією приросту *Q. robur* у біотопах заплави та поза нею в Києві та на екологічній межі поширення виду в степу.

2. Установити специфічні клімато-гідрологічні чинники для біотопів заплави Києва, що лімітували радіальний приріст *Q. robur* до та після зарегулювання Дніпра. З'ясувати, чи вплинуло зарегулювання Дніпра на зміну середнього значення приросту *Q. robur*.

3. Установити специфічні кліматичні чинники, що впливають на приріст *Q. robur* у біотопі заплави приток Дніпра — річок Сіверка та Петіль.

4. Визначити відмінності у зв'язку приросту *Q. robur* з кліматичними чинниками у заплаві Дніпра та на екологічній межі його ареалу в степу.

5. Порівняти приріст фітомаси та фіксацію вуглецю в стовбурі *Q. robur* у біотопах заплави та поза нею.

6. Надати рекомендації щодо підтримання життєздатності вікових дерев *Q. robur* у місті Києві.

*Об'єкт дослідження* — варіація чинників навколишнього середовища та приросту *Q. robur* у заплаві Дніпра в місті Києві.

*Предмет дослідження* — вплив кліматичних та гідрологічних екологічних чинників на радіальний приріст *Q. robur* у біотопах заплави Дніпра в місті Києві.

**Методи дослідження.** Польові — маршрутні, дендрометричні; камеральні — анатомічні, дендрохронологічні; статистичні — стаціонарний та рухомий кореляційний аналізи, функція відгуку, метод накладених епох та інші.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Уперше встановлено специфічні для заплавної діброви реакції на зміни екологічних чинників. Показано, що характерним для заплавної діброви Києва був позитивний зв'язок приросту *Q. robur* з рівнем води Дніпра до його зарегулювання.

Уперше з'ясовано, що заплавні діброви у Києві за характером зв'язку *Q. robur* з кліматичними чинниками близькі до популяцій північної частини ареалу виду. Зроблено припущення, що в заплавної діброви пом'якшується вплив наслідків кліматичних змін, що дає можливість існування в них реліктових видів флори й фауни.

Уперше показано, що зарегулювання річок призводить до різкої зміни в структурі зв'язків приросту дерев з абіотичними екологічними чинниками. За швидкістю викликаних змін зарегулювання схоже на локально катастрофічні явища.

Уперше показано, що на екологічній межі ареалу в степу зв'язок приросту *Q. robur* із температурою повітря за останні роки зміщується вбік

більш ранніх місяців у сезоні вегетації. Зроблено припущення, що це пов'язано із зсувом фенології виду в степовій зоні.

Показано, що середній приріст стовбурової маси в заплавних дібровах за сприятливих умов зволоження ґрунту може не перевищувати чи бути меншим за приріст у діброві поза заплавою. Зроблено припущення, що менший приріст компенсується збільшенням фітомаси інших фракцій, а висока продуктивність заплавних дібров забезпечується ще й високою щільністю та ярусністю деревостанів.

Дендрохронологічними методами встановлено точний камбіальний вік найстаріших дерев урочища Феофанія і запропоновано заходи щодо підтримання їхньої життєздатності в умовах посиленої рекреації.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати проведених дендрокліматичних досліджень є науковим підґрунтям для прогнозу щодо майбутнього заплавних та байрачних дібров у Східній Європі.

Встановлені закономірності впливу кліматичних чинників на приріст *Q. robur* у центральній частині ареалу та на його екологічній межі в степовій зоні мають перспективу використання і вже використовуються в міжрегіональних дендрокліматичних та дендроекологічних дослідженнях [164, 165, 161, 128].

Запропоновані методичні підходи щодо статистичної обробки дендрохронологічних серій вирішують проблему розділення кліматичного сигналу між близькими за розташуванням біотопами.

Отримані результати щодо чутливості дібров Києва до гідро-кліматичних змін є підґрунтям для розробки шляхів збереження унікальних заплавних дібров у межах урбанізованих територій.

Під час дослідження зібрано більше 1000 зразків деревини для формування ксилотеки, особливостями якої є кільцеві серії живих вікових дерев *Q. robur* із рідкісних біотопів степової та лісостепової зон, і зафіксовано в зразках фенологічні фази формування деревини.

Укладені дендрохронологічні серії є основою для датування артефактів, що містять деревину, починаючи з середини XVIII століття.

Встановлено фактори, які негативно впливають на багатовікові дерева *Q. robur* урочища Феофанія в Києві, та розроблено рекомендації щодо підтримання їхньої життєздатності.

Розроблено лабораторні заняття для студентів-екологів та ботаніків Донецького національного університету ім. В. Стуса.

**Особистий внесок здобувача.** Робота є самостійним дослідженням здобувача. Дисертантом особисто проведено аналіз наукової літератури, польові та камеральні дослідження. Результати досліджень та висновки відображено в публікаціях та дисертації. Матеріали, опубліковані у співавторстві, мають пропорційний внесок здобувача. Права співавторів не порушено.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні положення та практичні результати досліджень доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науковій конференції «Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках» (Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища» (Київ, 2017); Міжнародних наукових конференціях EuroDendro 2015 «Climate and Human History in the Mediterranean Basin» (18–23 October, 2015 Antalya, Turkey) та EuroDendro 2017 (6–10 September, 2017, Tartu, Estonia).

**Публікації.** Результати дисертаційних досліджень опубліковані у 12-ти публікаціях: 5 у фахових українських виданнях, 3 у журналах, що індексуються провідними базами публікацій (Web of Science, Scopus), 4 у збірках матеріалів та тез доповідей наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 5-ти розділів та 21-го підрозділу, висновків, рекомендацій щодо підтримання життєздатності вікових дерев, списку використаних літературних джерел (241 посилань, з них 192 — латиницею) та 1 додатку



(містить 2 рис.). Загальний обсяг роботи — 147 сторінок. Основну частину викладено на 115 сторінках і проілюстровано 37 рисунками та 7 таблицями.

**РОЗДІЛ 1**  
**ЧУТЛИВІСТЬ ЗАПЛАВНИХ ЕКОСИСТЕМ ДО КЛІМАТИЧНИХ**  
**ЧИННИКІВ ТА ЗАРЕГУЛЮВАННЯ РІЧОК**  
**(ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)**

**1.1. Вразливість заплавних лісових екосистем**

Прибережні та заплавні ліси являють собою екосистеми, що виконують важливі екологічні функції та мають велике господарське значення. Вони забезпечують середовищем існування та харчовими ресурсами велику кількість живих організмів [119, 57], зменшують ерозію ґрунтів, здійснюють регулювання водного потоку, покращують якість води, є джерелом деревини та місцем для відпочинку [119, 139]. Завдяки постійній наявності вологи та поживних речовин заплавні ліси вважаються найбільш продуктивними серед лісових екосистем, тому виконують одну з ключових ролей у глобальному вуглецевому циклі [78]. Однак прибережні та заплавні екосистеми досить вразливі до зміни клімату та антропогенного впливу [74]. Зміна клімату, яка проявляється у глобальному потеплінні та зміні кількості опадів, впливає на прибережні екосистеми, змінюючи гідрологію річок [160, 147, 200], що безпосередньо позначається на біоті [180, 217, 182, 162]. Здатність екосистем пристосовуватися до змін клімату в основному залежить від морфологічної та фізіологічної пластичності її компонентів [74].

Антропогенний вплив на заплавні екосистеми насамперед проявляється через зміни режимів природних стресових факторів шляхом збільшення або зменшення їхнього впливу на структуру та функції екосистем [168]. Одним із прямих впливів людини є перетворення заплавних біотопів для потреб сільського господарства та інших видів користування. У зв'язку з цим найбільші річкові системи, зокрема прибережні, в усьому світі зазнали сильних трансформацій. Наприклад, рубка прибережних дерев на річці Сакраменто (США) з XIX століття, а пізніше сільськогосподарська експансія на цих площах замінили 95 % початкової прибережної смуги лісів [116]. Сільськогосподарське

освоєння земель протягом останніх століть призвело до обезліснення майже 90 % заплавної екосистем в Європі [133]. Інтенсивні, тривалі рубки та розширення земель сільськогосподарських угідь, особливо в повоєнні роки, у декілька разів скоротили площі заплавної лісової екосистем і в Україні [45, 223]. Забудова заплавної екосистем найрадикальніше трансформує прибережні екосистеми та призводить до трансформації, ізоляції та фрагментації природних угруповань, а також значних змін в гідрологічних та біохімічних режимах [212].

Перекриття річок греблями і скидання стоку є ще одним безпосереднім антропогенним впливом на прибережні лісові екосистеми, що може призвести до дефіциту вологи в них [212]. Відведення великої кількості води для сільськогосподарських потреб і виробництва електроенергії ГЕС зменшує стік та може знизити насичення та обмін підземних водоносних горизонтів [234], що відображається на прибережній рослинності. Зниження рівня ґрунтових вод призводить до зменшення приросту, підвищення відпаду та суховершинності дерев [218]. Греблі які регулюють річковий потік прямо не впливають на загальний об'єм стоку, проте зменшують значні коливання рівня води та її сезонний розподіл, що також позначається на прибережній рослинності.

Повені є найбільшим природним стресовим фактором в заплавної екосистемах. Вони можуть зменшити продуктивність заплавної екосистем пошкоджуючи коріння або підвищити її завдяки збільшенню поживних речовин у ґрунті [64]. Затоплення негативно впливає на ріст рослинності у випадку коли стояча вода створює аноксичні умови у прикореневому шарі ґрунту [157], але може покращити родючість ґрунту внаслідок пришвидшення деструктивних процесів [54] та постачання фосфору [239].

Зміни режиму повеней людиною є досить поширеним явищем, що різними шляхами впливає на деревну рослинність заплавної екосистем [169]. Будівництво гідротехнічних споруд та зарегулювання річкового потоку зазвичай зменшують масштаби та частоту повеней, що призводить до зниження кількості вологи у ґрунті, мінеральних та органічних речовин доступних для рослин [168, 181]. Така зміна гідрологічного та біохімічного режимів ґрунтів часто призводить до

вселення у заплавні фітоценози чужорідних видів [180, 60]. Крім того, у зв'язку з побудовою водосховищ значні площі заплавних екосистем знищуються. Яскравим прикладом є затоплення заплавних лісів біля Дніпра в Україні, що нині збереглися лише фрагментарно та охороняються в окремих місцях [141]. Водночас регуляція річкового потоку гідротехнічними спорудами та будівництво водосховищ допомагають зменшити або мінімізувати вплив масштабних повеней, що завдають значних соціальних, економічних та екологічних збитків [72].

## 1.2. Реакції деревних рослин на гідрологічні зміни

Для більшості деревних рослин та лісових екосистем ґрунтова волога є головним лімітувальним екологічним чинником [79], що може виражатись, як в її дефіциті так і надлишку. Заплавні ліси є унікальними тому, як їхні біотичні компоненти взаємодіють із гідрологічними чинниками [63, 121]. Джерелом надходження води у заплавні ліси є регіональні опади та гідрологічний режим річки, тому головними причинами зміни гідрологічних умов у заплавних екосистемах є глобальні зміни клімату та зарегулювання річки.

Вплив повеней на рослини досить різний. Він включає пошкодження, гальмування проростання насіння, зміни в анатомії рослин, прискорення процесів старіння та відмирання [145], але найчастіше повені спричиняють зниження темпів росту пагонів [93, 144]. Так, у сіянців *Tilia cordata* Mill., *Prunus padus* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Prunus serotina* Ehrh. та *Acer saccharinum* L. спостерігається значне зменшення приросту у висоту, а в *Rhamnus cathartica* L., *Sorbus aucuparia* L., *Betula pubescens* Ehrh., *Betula pendula* Roth. та *Acer campestre* L. ще й погане відновлення росту в наступному році. Збільшення приросту за діаметром відмічено у *Quercus robur* L. та *Fraxinus excelsior* L., позаяк ці види здатні утворювати більше міжклітинного простору та клітини з меншою щільністю, що сприяє транспортуванню кисню.

Для більшості видів надлишок вологи у ґрунті призводить не тільки до зменшення росту пагонів, а й коріння. Нестача кисню та накопичення

токсичних метаболітів (альдегіди, етанол) та вуглекислого газу можуть пригнічувати формування нових коренів та гілок, а також ріст наявного коріння та мікоризи та призводити до загнивання коріння [145]. Зниження доступності кисню в ґрунті зменшує поглинання кореневою системою не тільки кисню, а й води та необхідних макро- та мікроелементів. У відповідь на затоплення рослини знижують швидкість фотосинтезу, що призводить до зменшення накопичення вуглецю та збільшення листкової маси [102]. Окрім того надлишок вологи сповільнює переміщення продуктів фотосинтезу від листя до коріння [118]. Зниження рівня фотосинтезу в результаті затоплення спостерігається у *B. pendula*, *Fagus sylvatica* L., *Malus domestica* Baumg., *Populus* spp., *Prunus* spp., *Q. petraea* (Matt.) Liebl., *Q. robur* та *T. cordata* [145].

У зв'язку з гальмуванням росту та відмиранням коріння в аноксичних умовах, або з близьким заляганням ґрунтових вод, прибережних екосистем Європи зростають види з поверхневою кореневою системою [124, 183]. Хоча поширені в заплавах лісах види з потужною глибокою кореневою системою, як *Q. robur*, *Pinus sylvestris* L. та *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., в умовах постійно високого рівня ґрунтових вод здатні розвивати поверхневу кореневу систему [115]. У такому разі вони можуть страждати від нестачі вологи в період низького рівня річки чи в посуху [213, 205], що було показано дендрохронологічними методами. Так, радіальний приріст у *Quercus* spp. в умовах заплави зі штучним пониженням доступності вологи (будівництво дамби) позитивно корелював із вологою [112, 75], а зниження рівня води в річці Дунай унаслідок будівництва греблі призвело до зменшення приросту *Q. robur* на 26 % [236].

### **1.3. Механізми адаптації *Quercus robur* до надлишку вологи**

Повені супроводжуються надлишком вологи в ґрунті, що призводить до часткової (гіпоксія) чи загальної (аноксія) нестачі кисню в ґрунті. Такі умови викликають дефіцит кисню в кореневій системі рослин, що також призводить до швидкого зниження асиміляції вуглецю, гальмування росту та зрештою

загибелі рослини [222]. Деревні рослини пристосовані до умов із надлишковою вологою шляхом розвитку морфологічних пристосувань, які можуть полегшити транспорт кисню до коренів [145].

Стійкість до коливання ґрунтових вод та здатність впоратись із надлишком ґрунтової вологи й кореневою гіпоксією неоднакова серед видів деревних рослин. Наприклад, *F. sylvatica* та *Q. petraea* по відношенню до затоплення відносять до дуже низько толерантного класу, тоді, як *A. glutinosa* та *Salix alba* L. до високотолерантного [115]. Вид *Q. robur* є толерантним до надлишку вологи [115]: вікові дерева здатні витримати до 100 днів затоплення, тоді, як молоді лише до 50-ти днів [204, 146, 115].

*Q. robur* пристосовується до повеней шляхом формування додаткових коренів [174], гіпертрофічних сочевичок [175] та корневих лакун [176]. Після відмирання коріння, через затоплення, додаткові корені утворюються на коренях першого порядку та зануреній частині стовбура. Таке коріння зазвичай має негативний геотропізм, воно товстіше та має більший міжклітинний простір порівняно з корінням на добре аерованих ґрунтах [183]. Окрім цього додаткові корені краще пристосовані до аноксичних умов, оскільки здатні витримати більшу концентрацію діоксиду вуглецю та підтримувати дихання незважаючи на відсутність кисню.

Надлишок вологи в період росту судин ранньої деревини призводить до формування аномальних витягнутих серповидних судин, але в молодих [85] та старих [219] дерев *Q. robur* це спостерігається лише в затопленій частині стовбура та зумовлено гіпоксією. Надлишок вологи влітку призводить до формування крупніших судин пізньої деревини [148]. Підтоплення негативно впливає на радіальний приріст молодих дерев цього виду [85], але може призвести до формування ширшого річного кільця в старих дерев [120].

#### **1.4. Дендрохронологічні методи визначення варіабельності та анатомічної структури річних кілець**

Дерева під час свого життєвого циклу фіксують інформацію про події, що відбуваються, у річних кільцях [153, 100, 84]. Річні кільця відображають щорічні варіації опадів та температури [173, 86], крім того, вплив таких чинників, як тип ґрунту, повені, освітлення, забруднення повітря, геомагнітна та сонячна активності також відображається на річному прирості [28, 29, 4, 153, 16, 58, 171]. Згідно з даними Fritts [110] широкі річні кільця формуються у вологому прохолодному кліматі, тоді як вузькі — у сухих та теплих умовах, але реакція радіального приросту може суттєво відрізнятися залежно від виду дерева, кліматичних та локальних умов [132]. Вплив того чи іншого екологічного чинника на приріст деревної рослини можна оцінити дендрохронологічними методами [82].

Засновником дендрохронологічних методів та батьком дендрохронології як науки вважається американський астроном А.І. Дуглас, який з 1901 року почав проводити систематичні дослідження річних кілець деревних рослин, розробляти методи реконструкції кліматичних та гідрологічних умов минулого, зв'язку приросту із сонячною активністю, датування історичної та археологічної деревини [82, 109, 22, 7]. Однак методи перехресного датування, основані на порівнянні ширини річних кілець, були винайдені ще в ХІХ ст. А. Твінінгом (1827), Ч. Бебіджем (1838), Д. Кюхлером (1859) незалежно один від одного [82, 109, 7]. В Україні перші роботи дендрокліматологічного характеру були проведені професором Ф. Шведовим (1892) в Одесі, який показав, що формування широких річних кілець *Robinia pseudoacacia* обумовлюється кількістю опадів, а вузькі кільця утворюються в посушливі роки [82]. У різні часи дендрохронологічні дослідження в Україні також розвивали та/або розвивають В.Е. Рудаков, В.Г. Коліщук, А.Д. Шовган, П.В. Ковальов, А.І. Попов, В.І. Важов, М.В. Ловеліус, Ю.І. Грицан, П.І. Пастернак, В.П. Ворон, І.М. Коваль [40, 25, 49, 24, 8, 30, 16, 37, 11, 21, 23].

Загально відомо, що в межах зон помірного й холодного клімату, де добре виражена зміна пір року, у дерев спостерігається сезонна активність камбію. У таких районах дерева за вегетаційний період як правило формують один шар приросту, який добре помітний на поперечному зрізі. У хвойних дерев на початку періоду росту формуються крупні та тонкостінні клітини, а в листяних крупні судини. Цей шар клітин отримав назву «ранньої деревини». Наприкінці вегетаційного періоду формується шар клітин меншого розміру з товстішими стінками у хвойних та дрібнішими судинами в листяних — «пізня деревина» (рис. 1.1). У межах кожного річного кільця перехід між клітинами ранньої та пізньої деревини зазвичай поступовий, тоді як між сусідніми кільцями більш різкий, що дозволяє легко розрізнити річні кільця. Визначити межі між сусідніми кільцями найчастіше важче для тих видів у яких шар пізньої деревини дуже вузький, а за кольором і щільністю він слабо відрізняється від шару ранньої деревини [109, 7].

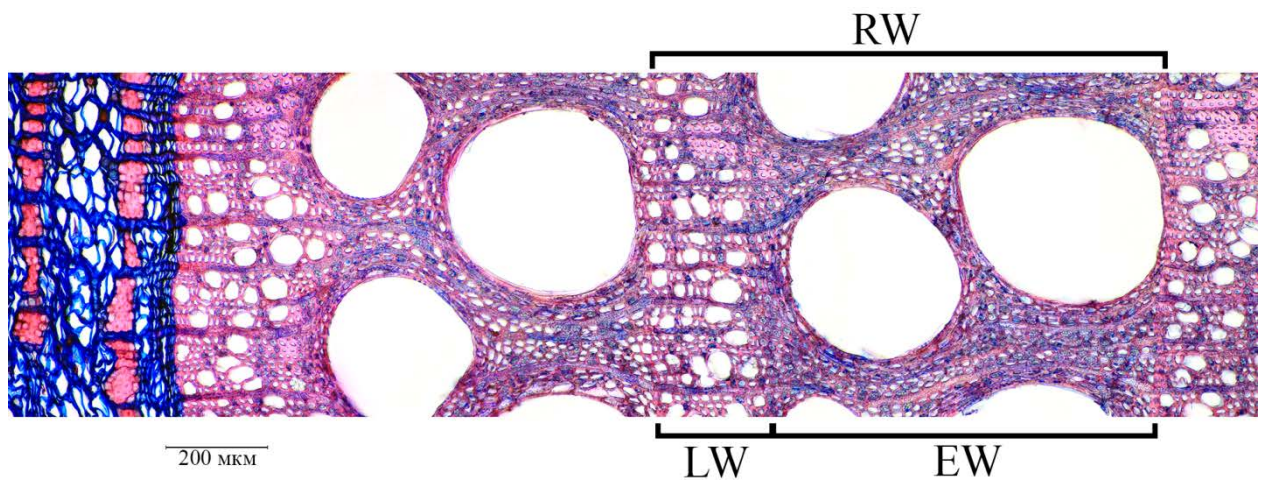


Рис.1.1. Річне кільце (RW), рання (EW) та пізня деревина (LW) *Quercus robur* L.

У період ксилогенезу за дії несприятливих факторів діяльність камбію на деяких ділянках стовбура може значно знизитись або зупинитись, унаслідок чого не відкладається новий шар деревини. Це призводить до «випадання» річного кільця, яке найчастіше утворюється в дерев у основи стовбура, на



коренях та гілках і дуже рідко у верхній частині стовбура [7]. Тому для виявлення таких кілець зразки деревини рекомендовано відбирати в нижній частині стовбура, не менше, ніж з 10–15 дерев бажано різного віку [109]. Наявність «випавших» кілець у *Quercus robur* L. рідкісне явище, так як їх можна розпізнати лише по колу річного приросту на поперечному зрізі, а випадки ідентифікації на кернах чи інших невеликих зразках деревини в літературі відсутні [127].

За тривалої дії посух, низьких температур, сильному пошкодженню листя комахами тощо, у період ксилогенезу може сформуватись одне або декілька «несправжніх» кілець. Такі кільця є шарами дрібніших із товстішими стінками, темнозафарбованих клітин у межах річного кільця. Зазвичай несправжнє кільце простежується не по всьому колу річного приросту, а чітка межа між шарами ранньої та пізньої деревини в них відсутня [7]. Несправжні кільця найчастіше трапляються у хвойних видів на невеликих гілках, пагонах, стовбурі біля великих скелетних гілок та в молодих швидкоростучих дерев [109]. У *Q. robur* в умовах недостатнього зволоження ксилогенез може уповільнюватись або навіть зупинятись [177]. Згідно з нашими спостереженнями несправжні кільця утворюються у разі відновленні формування деревини в той же вегетаційний період (рис. 1.2). Такі кільця легко можна визначити на керні при 20-кратному збільшенні [7] або ж на пофарбованому мікрозрізі деревини [203].

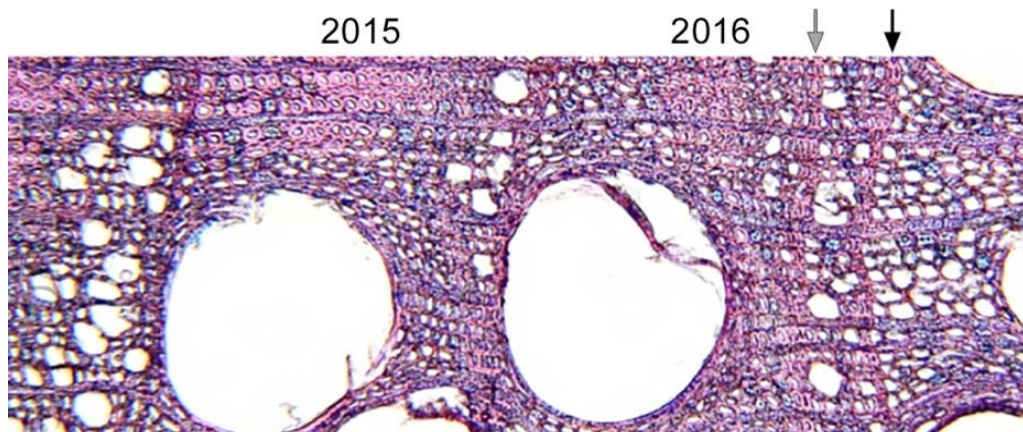


Рис. 1.2. Зупинка приросту *Quercus robur* внаслідок несприятливих умов (сіра стрілка) та повністю сформоване річне кільце (чорна стрілка) у 2016 році

У стовбурах і гілках нахилених або прямостоячих дерев у разі сильного вітрового чи снігового навантаження формуються ексцентричні кільця та реактивна деревина. Ширина ексцентричних кілець сильно варіює по колу стовбура та часто відрізняється за анатомічними та фізичними властивостями деревини. У хвойних видів на креневій (що стискається), а в листяних на тяговій стороні стовбура формується реактивна деревина, що складається із сильно лігніфікованих округлих клітин, які мають темніше забарвлення. У місці де розвивається реактивна деревина річне кільце має значно більшу ширину, ніж кільце на протилежній стороні стовбура [7].

Варіація анатомічних характеристик річних шарів відображає адаптаційні реакції для досягнення оптимального балансу між конкуруючими потребами дерев у підтримці, накопиченні та транспортуванні за мінливих умов навколишнього середовища та філогенетичних обмежень [77]. Такі анатомічні характеристики, як щільність [106], структура [120, 123, 224] та стабільні ізотопи вуглецю [151, 123] та кисню [111] деревини несуть додаткову інформацію щодо навколишнього середовища.

Мінливість анатомічних структур річних шарів в основному пов'язана із сезонними кліматичними умовами такими як температура та наявність вологи, а якість та сила кліматичного сигналу, що міститься в хронологічній серії, варіює залежно від виду, кліматичної зони, пори року та типу розглянутої анатомічної змінної [106]. Дендрокліматичні дослідження хвойних видів переважно зосереджені на розмірі трахеїд та товщині клітинної стінки [231, 138, 227], у видів із кільцево-судинною деревиною, як у представників роду *Quercus*, на розмірі судин ранньої деревини [111]. Крім цього стабільний ізотоп вуглецю [123, 151], щільність пізньої деревини [106], ширина ранньої та пізньої деревини [111, 136] у видів роду *Quercus* також є надійними показниками мінливості умов навколишнього середовища.

Попередні дослідження показують, що для кільцево-судинних видів роду *Quercus* умови поточного вегетаційного сезону переважно пов'язані з особливостями пізньої деревини, тоді як умови попереднього року — з

особливостями ранньої [16, 221]. Дрібніші судини ранньої деревини формуються в результаті несприятливих умов погоди влітку попереднього року, низьких температур наприкінці зими та на початку весни [111, 104] або повеней [214, 120]. Такі анатомічні характеристики, як щільність деревини, структура клітин або хімічний склад стінок клітин широко використовуються для досліджень росту дерев у різних умовах навколишнього середовища або вирішення різних аспектів росту, наприклад, формування ранньої деревини *Quercus* по відношенню до фенології листа [187, 186].

### **1.5. Кліматогенна варіація приросту *Quercus robur* в заплавних екосистемах Європи**

Ареал виду *Q. robur* простягається від Британських островів і Північної Португалії до Уральських гір і від прибережної південної частини Скандинавського півострова та Фінляндії до Туреччини й Сицилії [101]. *Q. robur* надає перевагу родючим та добре зволуженим ґрунтам, але часто домінує в прибережних та заплавних лісах в умовах надлишкової вологи [16, 141, 101]. На Європейському континенті приріст *Q. robur* зазвичай лімітується нестачею опадів протягом вегетаційного періоду та високою температурою повітря, яка посилює дефіцит вологи [196, 87, 96, 108]. Протягом останніх десятиліть у Північній Америці та Європі із-за збільшення водоутримуючої здатності атмосфери, унаслідок потепління, зростає та продовжуватиме зростати частота та інтенсивність опадів [134]. Такі зміни клімату призводять до пертурбації функціонування екосистем, структури та складу угруповань, а також чутливості до вологи таких вразливих екосистем, як заплавні ліси [140].

Нині проведено декілька досліджень щодо впливу кліматичних факторів на радіальний приріст *Q. robur* в заплавних екосистемах Європи, результати яких є дещо неоднозначними (рис. 1.3). Позитивні кореляції радіального приросту *Q. robur* з опадами червня–липня [135], жовтня попереднього вегетаційного періоду [76] та квітня [161, 135] травня [215, 75], червня [89, 117, 75], липня [117], вересня поточного року [135] свідчать про нестачу вологи в

період вегетації та потребу вологи наприкінці вегетаційного сезону для запасання поживних речовин. Оподи листопада попереднього вегетаційного періоду [135], лютого [76], червня [135] та вересня–жовтня [215] поточного року виявилися надлишковими для *Q. robur* у заплавлених лісах Польщі, Чехії та Сербії. Для приросту пізньої деревини, яка є більш варіативною ніж рання деревина, сприятливими є дощові, вологі та хмарні умови протягом червня–серпня [123].

Фактори	Місяці											Джерело літератури								
	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	1	2	3		4	5	6	7	8	9	10	
1 температура									1											Scharnweber,
2 опади																				Cufar, 2014
опади																				Stojanovic, 2015
температура								-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1		
рівень води								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
опади																			-1	Stojanovic, 2015
температура																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Stojanovic, 2015
температура																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Stojanovic, 2015
температура																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Stojanovic, 2015
температура																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Cater, 2015
температура																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Goršic, 2014
температура																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Tumajer, 2016
температура																			-1	
scPDSI																			-1	
опади																				Hafner, 2015
рівень води																			-1	
вологість																			-1	
радіація																			-1	
опади																				Weissbrod, 2017
температура																			-1	
температура																			-1	Tumajer, 2017
scPDSI																			-1	
температура																			-1	Tumajer, 2017
температура																			-1	
опади																				Mikac, 2018
температура																			-1	
scPDSI																			-1	
рівень води																			-1	
опади																				Čejková, 2012
температура																			-1	
опади																				Kalbarczyk, 2018
температура																			-1	

Рис.1.3. Кореляція між хронологіями *Quercus robur* та екологічними факторами заплавлених екосистем Європи. scPDSI — відкалібрований індекс суворості посухи Палмера. Коричневий з індексом «-1» — негативні кореляції, синій з індексом «1» — позитивні кореляції. Місяці дано з травня попереднього вегетаційного періоду (-5) по жовтень поточного року (10)

*Q. robur* є більш чутливим до посух, ніж *Q. petraea*, *Q. pubescens* та *Q. ilex* [94]. Посушливі умови лютого–квітня, серпня [224] та червня–липня поточного року [161] позитивно впливали на приріст *Q. robur* в заплавах лісах Південно-Східної Європи, посуха в травні, червні, серпні, вересні [224] та з червня по липень [161] попереднього вегетаційного періоду навпаки — негативно. Надмірне використання підземних вод в заболочених лісах може негативно відобразитися на прирості *Q. robur* та підвищити чутливість до посух [225].

Незважаючи на недостатнє вивчення питання щодо впливу зарегулювання річок на приріст *Q. robur*, результати деяких досліджень показали позитивні кореляції річного радіального приросту та приросту пізньої деревини з рівнем води в річці [215, 123, 161]. Середній рівень води річки Сава в Сербії з квітня по серпень мав позитивний вплив на радіальний приріст *Q. robur*. Хоча після зарегулювання річки вплив рівня води у вегетаційний період послабився, а вплив опадів посилювався [215]. Схожі результати отримані в заплавах річок Крка (Словенія) та Сава (Хорватія), де відмічаються позитивні кореляції рівня води влітку з приростом *Q. robur* [123, 161]. Крім того, було відзначено, що приріст *Q. robur* в поточному році збільшувався, якщо рівень води восени попереднього вегетаційного періоду був високим [215, 123].

Реакція радіального приросту *Q. robur* на температуру в період вегетації є також неоднозначною — у місцях із зарегулюванням стоку вона є негативною [117, 215, 216] та відсутня або позитивна без зарегулювання річки [76, 202, 123, 225, 135]. Крім того, відмічено негативний вплив зимових температур [76, 215]. Позитивний температурний сигнал у деревно-кільцевій хронології, ймовірно, є наслідком наявності достатньої кількості вологи в період ксилогенезу [224].

Дендрохронологічні дослідження свідчать, що в майбутньому зменшення приросту та підвищення загибелі *Q. robur* буде поширенішим явищем у регіонах, де глобальне потепління призводить до збільшення кількості та частоти екстремальних опадів [195]. Окрім того, зменшення приросту *Q. robur* спостерігається в місцях, де протягом одного вегетаційного сезону зимово-весняний надлишок вологи змінюється літніми посухами [152, 230]. Вологі та

теплі весняні умови можуть посилити вплив літньої посухи, сприяючи формуванню судин ранньої деревини великих розмірів [224]. На відміну від дрібних, судини більшого діаметру здатні проводити більші об'єми води, але водночас вони є вразливішими до кавітації та емболії за умов дефіциту ґрунтових вод [210].

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Вибір досліджуваних біотопів

Досліджені дерева *Q. robur* зростають у п'яти вікових деревостанах природного походження, чотири з яких — урочище Дубище (Dub), урочище Бичок (Вус), заказник «Жуків острів» (Zhu) та заказник «Лісники» (Lis), належать до рідкісних біотопів Києва G1.225 Заплавні діброви [17]. Контрольний деревостан, урочища Феофанія (Feo(ref)) розташовується на відстані приблизно 5 км від заплави Дніпра (рис. 2.1).

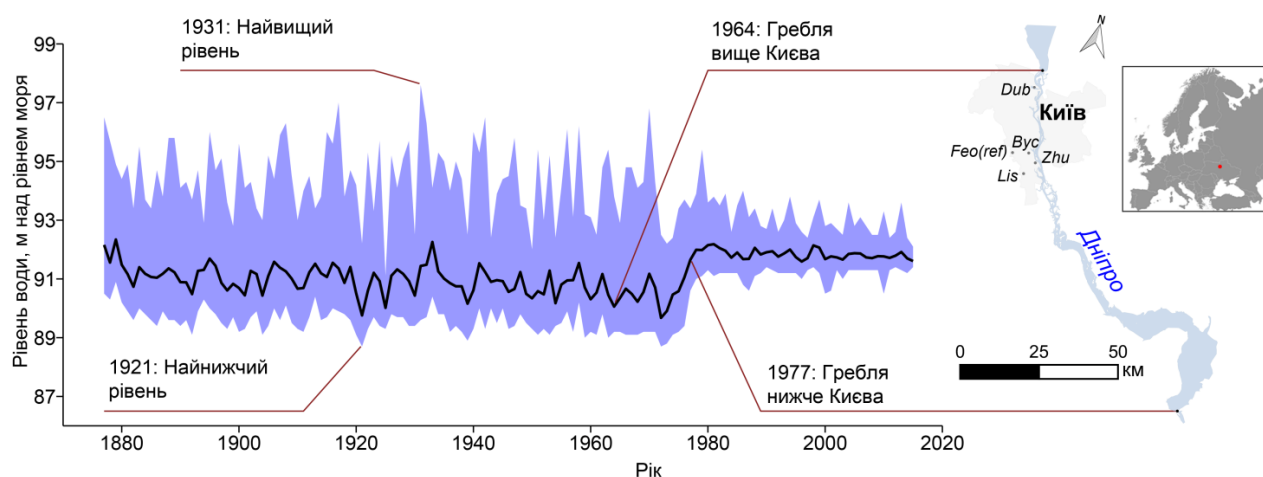


Рис. 2.1. Хронологія рівня води в Дніпрі та розташування досліджених біотопів. Dub — урочище Дубище, Вус — урочище Бичок, Zhu — заказник «Жуків острів», Lis — заказник «Лісники», Feo(ref) — урочище Феофанія. Рекордні значення стосуються періоду інструментального вимірювання

Урочище Дубище ( $50^{\circ}32'15''$  пн.ш.  $30^{\circ}30'5''$  сх.д.) має загальну площу приблизно 93 га та розташовується на півночі затоки Верблюд, створеної під час будівництва житлового масиву Оболонь (1974–1980 рр.) на місці невеликої природної затоки [9]. На даний момент урочище являє собою рідколісся з домінуванням *Q. robur*, у другому ярусі трапляються *Salix* sp., *Betula pendula* Roth. та *Pyrus communis* L. В урочищі відмічено сіянці природного походження



та підріст *Q. robur* та *Pinus sylvestris* різного віку (рис. 2.2). Підлісок представлений *Rosa canina* L. та *Crataegus monogyna* Jacq. У трав'яному покриві зростає *Convallaria majalis* L., *Stachys officinalis* (L.) Trevis., *Arctium* sp., *Asclepias syriaca* L., *Eupatorium cannabinum* L. Ґрунти переважно дерново-середньопідзолисті супіщані [19].



Рис. 2.2. Природне поновлення *Quercus robur* в урочищі Дубище

Урочище Бичок (50°21'22" пн.ш. 30°33'12" сх.д.) площею 53 га входить до складу НПП «Голосіївський», розташоване в забудованому районі Києва, що розвивається з 1950-х рр. В урочищі представлені фрагменти заплавної діброви, його частина залісна сосною [1, 34]. У деревостані домінує *Q. robur* з домішкою *Ulmus laevis* Pall., *U. minor* Mill., *Populus nigra* L., *P. alba* L. [35], є невелика ділянка з домінуванням *Salix alba* L. Підлісок представлений *Rubus caesius* L. У трав'яному покриві переважають *Geum urbanum* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Elytrigia repens* (L.) Gould., *Poa pratensis* L., ефемероїдів мало [35]. Тут переважають дерново-слабопідзолисті піщані і



глинисто-піщані, дерново-середньопідзолисті супіщані, світло-сірі й сірі опідзолені та дернові ґрунти [19].

Ландшафтний заказник «Жуків острів» (50°20'28" пн.ш. 30°35'23" сх.д.) загальною площею 361 га простягається вздовж Столичного шосе між озером Коник та Чернечою протокою Дніпра, з 1950-х років насипною дамбою сполучений з о. Водників [38]. У заказнику збереглися фрагменти вікової заплавної діброви [1, 47]. Місцями в деревостані переважають *P. nigra*, *P. tremula* L., *Salix* sp., *Q. rubra* L., є ділянки з домінуванням *P. sylvestris*, поодинокі трапляється *P. banksiana* Lamb. Другий ярус представлений *U. laevis*, *Carpinus betulus* L. з домішкою *Tilia* sp., *Acer platanoides* L., *A. campestre* L., *Robinia pseudoacacia* L.. У підліску зростають *Euonymus europaea*, *P. communis*, *Swida* sp., *Sorbus aucuparia* L., *R. caesius*, широко поширені *Amorpha fruticosa* L., *A. negundo* L. Серед трав'яного ярусу трапляються *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Agrimonia eupatoria* L., *Fragaria vesca* L., *Solidago* sp., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin, *Elymus repens* (L.) Gould, *C. majalis*, *Equisetum arvense* L., *Lysimachia nummularia* L., *Aristolochia clematitis* L., *Achillea* sp., *Urtica dioica* L., *Scrophularia nodosa* L., *Poa pratensis* L. Ґрунти переважно дерново-слабопідзолисті піщані і глинисто-піщані [19].

Державний ботанічний заказник «Лісники» (50°17'50" пн.ш. 30°33'37" сх.д.) площею 1110,2 га входить до складу НПП «Голосіївський». Східна його частина розміщена на борівій терасі правого берега Дніпра з домінуванням *P. sylvestris*, що зростає на бідних піщаних ґрунтах. Західна частина розміщена в заплаві р. Сіверки, що починається в межах Київського лесового плато й тече у південно-східному напрямку. Прорізаючи бореальну припідняту терасу Дніпра, утворену потужними піщаними флювіогляціальними відкладами вона ділиться на кілька рукавів. Між цими рукавами з чисельними осоковими болотами, старицями та заболоченими вільховими лісами, є залишки піщаних флювіогляціально-алювіальних відкладів, припідняті на висоту 1–2 м [18]. На одному з таких залишків, на «острові Великому», були проведені дослідження.

Рельєф легко хвилястий із близьким заляганням ґрунтових вод (до 1 м), ґрунти глеюваті на дерново-підзолистій основі, кислі. У цих умовах сформовано асоціації *Convallario majali-Quercetum roboris* Shevchyk et V. Solomakha 1996. У верхньому ярусі домінує *Q. robur* (рис. 2.3) та *Fraxinus excelsior* L., другий ярус представлений *Tilia cordata* Mill., *A. platanoides*, *A. campestre* та *A. tataricum* L. [17].



Рис. 2.3. Ділянка ботанічного заказника «Лісники» з домінуванням *Quercus robur*

Урочище Феофанія (50°20'51" пн.ш. 30°28'59" сх.д.) площею приблизно 150 га розташоване досить близько, ~4 км, до заплави Дніпра, але значно вище, на 60–80 м, за неї. Рельєф долинно-балковий, горбистий, розсічений ярами, основним морфологічним елементом є Феофанівська балка [14], залягання ґрунтових вод на відстані 5–20 м. Ґрунти дерново-середньопідзолисті супіщані, світло-сірі й сірі опідзолені та дернові, переважно оглеєні піщані, глинисто-піщані і супіщані ґрунти в комплексі зі слабо гумусованими пісками [19].

Деревостан парку двоярусний, являє собою грабову діброву, у першому ярусі переважає *Q. robur*, другий ярус складають *C. betulus*, *A. platanooides*, *T. cordata*, *U. scabra* Mill. та інші [36, 20]. Підлісок в основному представлений *Sambucus nigra* L., *Euonymus verrucosus* Scop., *E. europaeus* L., *S. aucuparia*, *Frangula alnus* Mill., *Corylus avellana* L. У трав'яному ярусі трапляються угруповання з домінуванням *Lamium galeobdolon* (L.) L., *Aegopodium podagraria* L., *Carex pilosa* Scop. та інших видів. Серед ефемероїдів чисельними є *Corydalis cava* (L.) Schweigg. & Körte, *Scilla bifolia* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F.W.Schmidt, *Dentaria quinquefolia* M.Bieb., *Ficaria verna* Huds., *Gagea lutea* (L.) Ker Gawl., *Anemone ranunculoides* L. [48, 2].

## 2.2. Відбір зразків деревини

Відбір кернів проводили протягом 2014–2016 рр. Для досліджень обирали домінантні або субдомінантні візуально непошкоджені дерева *Q. robur*. У кожного дерева вимірювали висоту, діаметр стовбура на висоті 1,3 м, фіксували географічні координати та висоту над рівнем моря.

Віковим буравом Haglof (Швеція) відібрано не менше двох кернів із дерева на висоті 1,0–1,3 м від поверхні землі. У дерев, що зростають на схилах, у зв'язку з ексцентричністю радіального приросту, а також для уникнення тягової деревини, керни відбирали паралельно до схилу (рис. 2.4). Отвори в стовбурах замащували садовим варом. Кожен зразок клали в паперовий контейнер та кодували: перші два символи позначали латинську назву виду, наприклад, *Quercus robur* (Qr), наступні два — місце збору зразка, наприклад, заказник Лісники (ZL), наступні два — номер модельного дерева (01) й останній — номер керна (1). Так, перший kern першого дерева із заказника Лісники отримував код QrZL01.1.

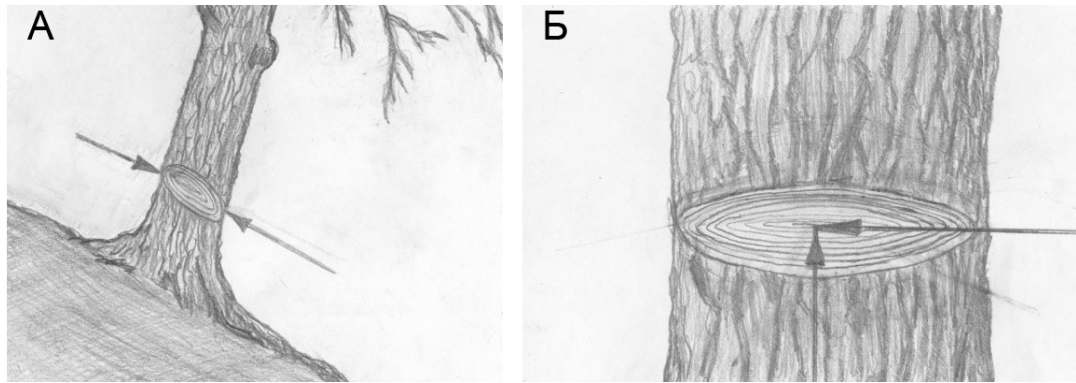


Рис. 2.4. Напрямок відбору кернів: на схилі (А) та на рівній поверхні (Б)

Основною причиною коротких індивідуальних серій приросту в старих деревах є відбір неповних кернів, тобто зразків деревини, що не містять серцевини (позацентрові, часткові). Неправильний вибір напрямку буру відносно розташування серцевини в стовбурі з ексцентричним приростом є головною причиною отримання позацентрових кернів, а недостатня довжина буру або пошкоджена центральна частина стовбура — часткових кернів.

### 2.3. Камеральна обробка зразків

Одразу після відбору керни поміщали в індивідуальні паперові контейнери, щоб уникнути пошкодження та деформації деревини під час тривалих польових досліджень та транспортування. Подальшу роботу зі зразками проводили в лабораторії. Висушені на повітрі керни фіксували на дерев'яній основі столярним клеєм, зачищали скальпелем та сканували з роздільною здатністю 3200 dpi планшетним сканером Epson V37. Ширину річних кілець вимірювали в програмі «AxioVision» (Carl Zeiss) з точністю до 0,01 мм. Наявність фальшивих кілець встановлювали під світловими мікроскопами MBS-1 та Ulab XY-B2T LED.

Для кожного дослідженого дерева укладали індивідуальні хронологічні серії радіального приросту шляхом перехресного датування рядів даних з усіх його зразків, кернів. Для перевірки правильності датування використовували екстремальні або мінімальні величини приросту — характерні роки. Якість

датування перевірено в програмі «COFESHA», Version 6.06p [131]. Індивідуальні хронологічні серії ширини ранньої та пізньої деревини укладали лише для дерев, що мали кореляцією з усередненою за біотопом серією — Master series у програмі «COFESHA» —  $r > 0,7$ .

Після датування річних кілець проводили стандартизацію значень їхніх показників для виключення або зниження впливу некліматичних сигналів на варіацію приросту. Для кожної серії підбирали індивідуальну криву росту, що задана сплайн-функцією, гнучкість кривої регулювали довжиною хвилі, яка може варіювати 0,5–0,67 від довжини серії та частотою відгуку  $f$ , яка може варіювати від 0 до 1 [82]. Цей метод усуває низькочастотну варіацію, що викликана екзо- або ендегенними чинниками. Безрозмірні індекси приросту (RWI) розраховуються шляхом ділення значення ширини кільця на відповідні значення апроксимуючої кривої:

$$RWI_t = \frac{R_t}{G_t}, \quad (1)$$

де  $RWI_t$  — індекс приросту в рік  $t$ ;  $R_t$  — фактична ширина річного кільця в рік  $t$ ;  $G_t$  — значення апроксимуючої кривої росту в рік  $t$ .

Функцію від'ємну експоненту використовували для видалення впливу віку на величину приросту. Індивідуальні індекси приросту усереднювали методом робастного середнього для отримання так званої узагальненої (генералізованої) хронології, за формулою [82]:

$$\overline{RWI}_t = \sum_{j=1}^m w_t RWI_{t,j}, \quad (2)$$

де  $RWI_t$  — індекс приросту в рік  $t$ ;  $w_t$  — вагова функція.

Для видалення автокореляційної складової — залежності приросту поточного року від приросту попереднього з індивідуальних серій індексів використовували модель авторегресії [82], у результаті чого отримували остаточну, так звану резидуальну, хронологію. Отже, стандартизація дозволяє укласти стандартні узагальнені хронології (std) та остаточні узагальнені хронології (res). Стандартну хронологію зазвичай використовують для побудови дендрохронологічних шкал та перехресного датування серій,



остаточну — для встановлення зв'язку з кліматом. Індексацію ширини річних кілець та побудову узагальненої хронології проводили в програмному середовищі R 3.5.1 [189] пакету «dplR» [67].

Для аналізу приросту пізньої деревини використовували скориговані індекси позбавлені, залежності приросту пізньої деревини від ранньої [156]. Скориговані серії пізньої деревини отримували шляхом лінійної регресії пізньої деревини до ранньої. Для виділення коливань радіального приросту притаманних заплавам використовували просту лінійну регресію хронологій індексів ширини річного кільця, приросту ранньої та пізньої деревини Вус, Zhu, Dub, та Lis до відповідних хронологій контрольного деревостану Feo. У подальшому аналізі використовували скориговані серії заплав.

#### 2.4. Статистичні параметри деревно-кільцевої хронології

Для оцінки мінливості індивідуальних серій використовували такі статистичні характеристики, як стандартне відхилення (SD), середня чутливість (MS), або відносна мінливість ширини річного кільця, коефіцієнт автокореляції першого порядку (A1).

SD деревно-кільцевих хронологій свідчить про варіабельність радіального приросту дерев, що розраховується за формулою:

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}, \quad (3)$$

де  $N$  — розмір вибірки;  $\mu$  — середнє значення вибірки;  $x_i$  —  $i$ -те значення вибірки.

MS вказує на реакцію деревостану до змін довкілля, зокрема клімату:

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{(x_{t+1} + x_t)}, \quad (4)$$

де  $x_t$  — ширина річного кільця, або індекс приросту в рік  $t$ ;  $n$  — довжина ряду (років).

Вибірка вважається чутливою, якщо значення середньої чутливості понад 0,3 і чим більше значення тим сильніший кліматичний сигнал міститься в деревно-кільцевій хронології. Водночас використання MS іноді піддається

критиці, оскільки вона є функцією SD та A1, тобто не несе нової інформації [68].

A1 характеризує наскільки тісно ширина річного кільця поточного року пов'язана із шириною кільця попереднього року, він також дає змогу судити про вплив умов зростання минулого сезону на приріст поточного, а його значне зростання є свідченням обмежених можливостей відновлення біосистеми та індикатором катастрофічних змін у навколишньому середовищі [90].

Для характеризувannya узагальнених серій використовували такі статистичні параметри: середня кореляція між кернами ( $R_{tot}$ ), середня кореляція між деревами ( $R_{bt}$ ), ефективний сигнал ( $R_{eff}$ ), виражений популяційний сигнал (EPS), відношення «сигналу до шуму» (SNR).

$R_{tot}$  вказує на ступінь взаємозв'язку між кернами в хронологічному ряді, розраховується за формулою:

$$\bar{R}_{tot} = \frac{1}{N_{tot}} \sum_{i=1}^t \sum_{\substack{l=i \\ l \neq i}}^t \sum_{j=1}^{c_i} R_{ilj}, \quad (5)$$

де  $N_{tot}$  — загальна кількість кореляцій, що розраховується, як сума  $N_{wt}$  і  $N_t$ .

$R_{bt}$  вказує на ступінь взаємозв'язку дерев між собою [82]:

$$\bar{R}_{bt} = \frac{1}{N_{bt}} (\bar{R}_{tot} N_{tot} - \bar{R}_{wt} N_{wt}), \quad (6)$$

де  $N_{bt}$  — кількість кореляцій між деревами.

Середня кореляція між кернами з одного й того ж стовбура ( $R_{wt}$ ) розраховується за формулою:

$$\bar{R}_{wt} = \frac{1}{N_{wt}} \sum_{i=1}^t \left( \sum_{j=2}^{c_i} R_{ij} \right), \quad (7)$$

де  $N_{wt}$  — кількість кореляцій у межах дерева.

Ефективна кількість кернів ( $c_{eff}$ ) розраховується у випадку коли з дерев було відібрано різну кількість кернів:

$$\frac{1}{c_{eff}} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t \frac{1}{c_i}, \quad (8)$$

де  $t$  — кількість дерев;  $c_i$  — кількість кернів взятих у  $i$ -тому дереві.

$R_{eff}$  розраховується за формулою [82]:

$$R_{eff} = \frac{R_{bt}}{(R_{wt} + (1 - R_{wt}) / c_{eff})}, \quad (9)$$

де  $R_{bt}$  — середня кореляція між деревами;  $R_{wt}$  — усереднена по всій вибірці кореляція між серіями кернів стовбура;  $c_{eff}$  — ефективна кількість кернів.

SNR слугує показником потужності сигналу та показником взаємкореляції індивідуальних хронологій розраховується за формулою:

$$SNR = \frac{N \cdot r}{1 - r}, \quad (10)$$

де  $r$  — середній коефіцієнт кореляції між індивідуальними рядами індексів приросту для даної ділянки;  $N$  — кількість рядів. Цей параметр не має верхньої межі.

EPS (expressed population signal) виражає репрезентативність вибірки, показує на скільки реальна хронологія відображає гіпотетичну, представлену безкінечною кількістю дерев. За значенні  $EPS \geq 0,85$  хронологічний ряд вважається репрезентативним і придатним для подальшого дендрокліматичного аналізу. Однак це правило не є обов'язковим у разі використання хронологічних серій анатомічних параметрів річних кілець. Даний параметр має верхню межу — 1 — і розраховується за формулою [237]:

$$EPS = \frac{t R_{bt}}{t R_{bt} + (1 - R_{bt})}, \quad (11)$$

де  $t$  — кількість дерев;  $R_{bt}$  — середнє значення коефіцієнта кореляції між окремими серіями.

Статистичний аналіз проводили за допомогою програми «COFESHA», Version 6.06p [131] та програмного середовища R 3.5.1 [189] пакету «dplR» [67].

## 2.5. Визначення віку дерев

Методи оцінки віку дерев умовно поділяють на прямі, що основані на використанні кернів чи зрізів і непрямі — на співвідношенні вік–діаметр [194]. Для повних кернів, таких, що містять серцевину, або зрізів вік визначають шляхом підрахунку кількості кілець з одночасним перехресним датуванням. Для неповних кернів (позацентрові, часткові) спочатку визначають позицію



розміщення серцевини, довжину відсутньої частини керна, а потім розраховують кількість річних кілець, яких не вистачає до серцевини. При визначенні розміщення хронологічного центру (серцевини) у позacentрових кернах використовують геометричний та графічний методи [97, 55, 229], для часткових кернів визначення базується на припущенні, що серцевина збігається з геометричним центром стовбура [170].

Методи оцінки віку для позacentрових та часткових кернів розроблені багатьма дослідниками, але найбільш повний і детальний аналіз проведено Р. Дунканом [97] і В. Розасом [194]. Використана нами методика розрахунку віку для позacentрових кернів являє собою модифікацію запропонованих цими авторами алгоритмів і методів. У комп'ютерній графічній програмі обирали розмір кола, що накладався на крайню, найближчу до ядра дугу річного кільця керна. За відношенням довжини радіуса цього кола та середнім приростом п'яти суміжних річних кілець розраховували кількість кілець, яких не вистачає до серцевини. Сума розрахованих та датованих кілець становила вік дерева.

Вік дерев у яких було взято часткові керни через пошкодження стовбура розраховували за формулою:

$$A_i = \frac{GR_i - R_i}{k \cdot MRW}, \quad (12)$$

де  $A_i$  — камбіальний вік  $i$ -го дерева,  $GR_i$  — геометричний радіус,  $MRW$  — середня товщина кільця в деревостані за період, що передував першому, найстарішому, вимірюваному кільцю  $i$ -го дерева,  $k$  — відношення середнього приросту  $i$ -го дерева до середнього за всією вибіркою.

Для визначення віку дерев, що на ранніх стадіях онтогенезу мали два стовбури і з часом зрослися, тому мають завищене значення діаметра відносно віку, вимірюють діаметр на висоті вище розвилки. Замірний діаметр коригують на висоті 1,3 м за рівнянням співвідношення діаметру на будь-якій висоті до діаметру на висоті грудей, встановленим на вітровальних деревах *Q. robur*:

$$D_i/D_{1,3} = 1,0593h_i^{-0,08}, \quad (13)$$

де  $D_i/D_{1,3}$  — відношення діаметра стовбура на  $i$ -тій висоті  $h_i$ .

У випадках коли стовбур дерева сильно пошкоджений або відібрати kern неможливо використовують непрямі методи, що основані на співвідношенні вік-діаметр, яке бажано розрахувати в досліджуваному деревостані. Оцінка віку дерев за співвідношенням вік-діаметр основана на використанні моделі лінійної регресії. Під час розрахунку параметрів моделі застосовують метод найменших квадратів. Для визначення співвідношення вік-діаметр використовують повні керни, за якими можна визначити точний камбіальний вік дерева (рис. 2.5 А).

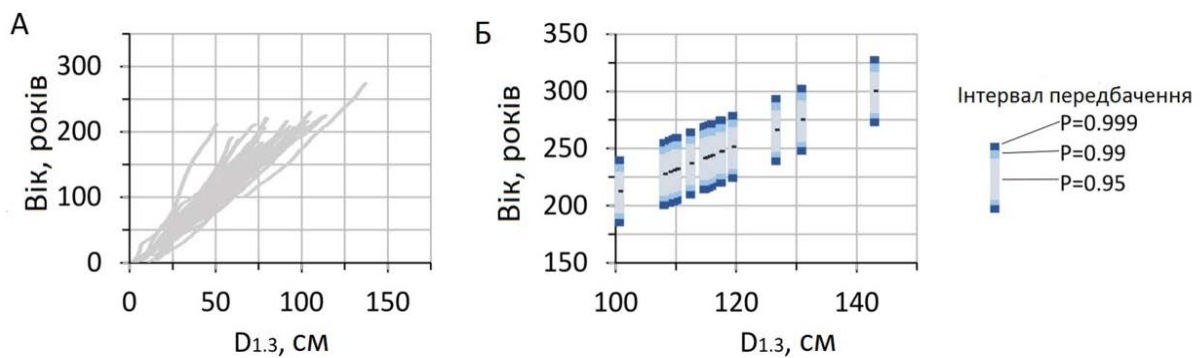


Рис. 2.5. Співвідношення між віком і діаметром ( $D_{1.3}$ ) за даними індивідуальних хронологічних серій *Quercus robur* (А) і за регресією виміряних діаметрів (Б)

Для розрахунку віку дерев із великим діаметром, але пошкодженим стовбуром використовували рівняння регресії ( $R^2 = 0,86$ ):

$$A = k \times D, \quad (14)$$

де  $A$  — вік, коефіцієнт  $k$ , тобто тангенс кута нахилу прямої, — 2,10 років/см,  $D$  — діаметр стовбура без кори на висоті 1,3 м.

Інтервал передбачення представляє собою розмах для прогнозованого віку, що розраховується із залежності віку від діаметра за фактичними даними. Він становив 18 років для  $P > 0,95$ , 24 роки — для  $P > 0,99$ , 30 років — для  $P > 0,999$  (рис. 2.5 Б). У розрахунку слід зменшувати вимірний діаметр на подвійне значення товщини кори, яка у вікових дерев *Q. robur* зазвичай від 3 до 6 см.

## 2.6. Кліматичні дані та рівні води в Дніпрі

Місячні дані середньої температури повітря та загальної кількості опадів отримано в Центральній геофізичній обсерваторії (ЦГО), що розташована на середній відстані ~10,5 км від досліджених біотопів. Відкалібровані індекси суворості посухи Палмера (scPDSI) розраховано з кліматичних даних за допомогою R-кодів (Крістіан Занг), що доступні в онлайн режимі (<https://github.com/cszang>), а вміст доступності вологи в ґрунті (awc) взято з «Global Soil Texture» та «Derived Water-Holding Capacities» [235].

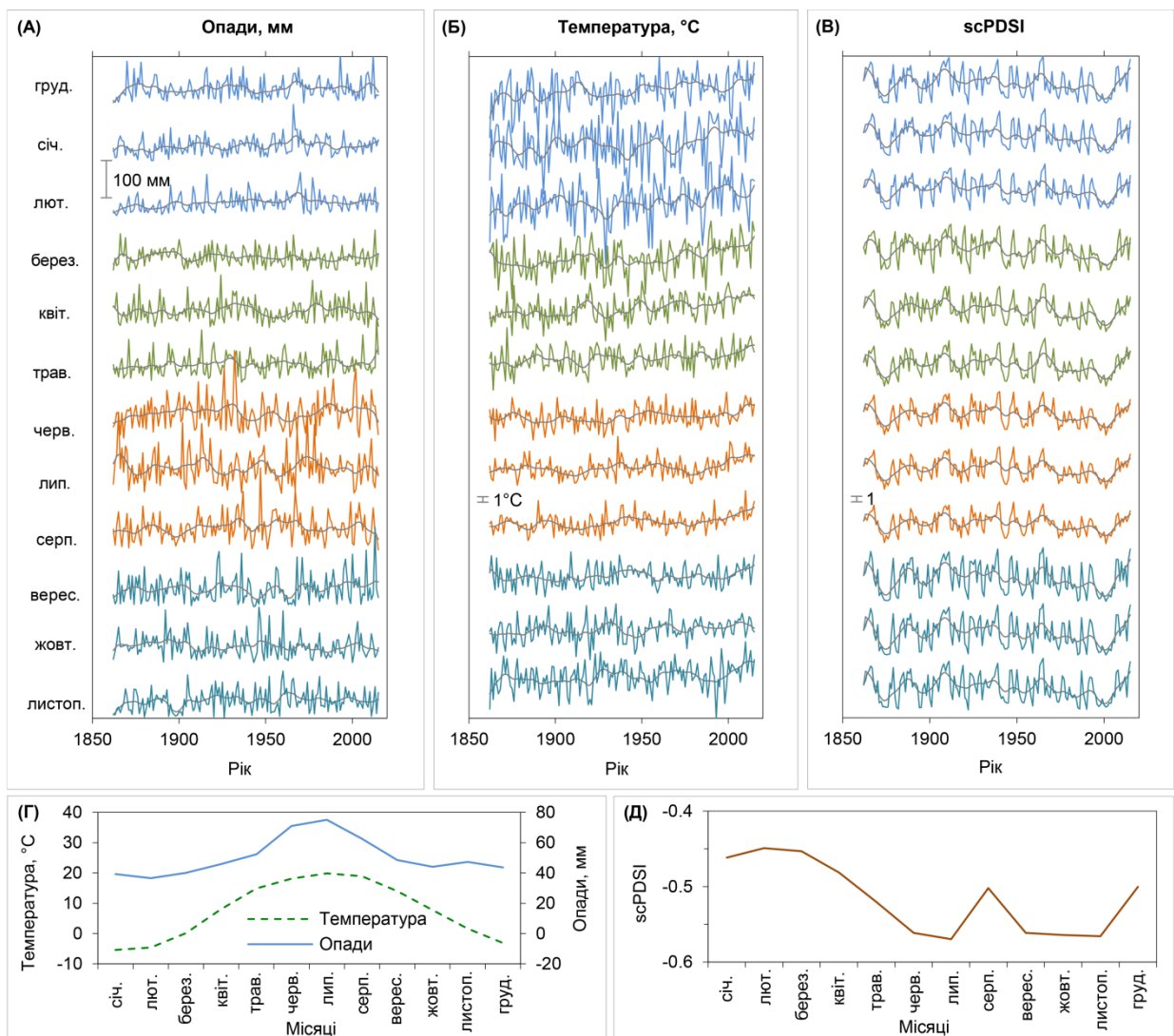


Рис. 2.6. Варіації місячної суми опадів (А), середньомісячних температури (Б) та індексів посухи scPDSI (В); сезонний розподіл температури й опадів (Г) та scPDSI (Д). Сірі лінії на рис. А–В представляють 15-річне згладжування сплайн-функціями. Рис. Г та Д належать до періоду 1880–2015.

Аналіз кліматичних даних по місту Києву за останні 150 років засвідчив загальновідомий тренд потепління, але не виявив багаторічних змін в опадах (рис. 2.6 А, Б). У варіації scPDSI виділяються декілька періодів 1865–1900, 1940–1960 та 1970–2010 рр., протягом яких спостерігалось короткочасне збільшення дефіциту ґрунтової вологи (див. сірі лінії на рис. 2.6 В). Максимальна кількість опадів — 75 мм випадає у липні, а найменша 37 мм — у лютому (рис. 2.6 Г). З 1863 року середньорічна кількість опадів становить 606 мм. Середньомісячна температура повітря коливається від  $-5,4^{\circ}\text{C}$  у січні до  $19,8^{\circ}\text{C}$  у липні, а середня річна температура становить  $7,5^{\circ}\text{C}$ . Середньомісячні значення індексу посухи (scPDSI) були нижче 0 протягом року, що вказує на загальний дефіцит ґрунтової вологи в Києві (рис. 2.6 Д).

Протягом ХХ століття річка Дніпро зазнала значних змін у зв'язку з її використанням у виробництві електроенергії, задоволенні сільськогосподарських потреб та боротьбою з екстремальними повенями [9]. Дані рівня води Дніпра за 1877–2015 рр. було отримано в ЦГО. Найбільші повені в Києві спостерігалися навесні 1877, 1908, 1917, 1931, 1970 та 1979 рр. (див. рис. 2.1), що загалом пов'язано зі швидкою зміною температури та великою кількістю опадів у водозбірній площі вище міста. Найнижчий рівень води за природних коливань спостерігався у листопаді 1921 року (88,74 м н.р.м.). Зміна системи річкового потоку, у тому числі будівництво гребель розташованих вище й нижче за течією від Києва, значно зменшили як надзвичайно високий так і низький рівень води. Унаслідок побудови греблі Київського водосховища у 1964 році рівень води в Дніпрі знизився і досяг історичного мінімуму (88,58 м н.р.м.) влітку–восени 1972 року. Створення Київського водосховища призвело до вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку води в Дніпрі та збільшення внутрішньодобових коливань [9]. Після того як була запущена друга гребля Канівського водосховища у грудні 1977 року середній річний рівень води Дніпра біля Києва збільшився на 0,85 м, а максимальний — на 1,32 м. Крім того, побудова Канівського водосховища істотно уповільнила течію річки [9].

Зарегулювання Дніпра змінило значні коливання рівня води, а також її сезонний розподіл (рис. 2.7). Після 1977 року найбільші коливання рівня Дніпра пов'язані зі зменшенням рівня води у березні–травні та збільшенням у липні–лютому, хоча останнє може частково зумовлюватися збільшенням опадів у червні та вересні та осінньо-зимової температури (див. рис. 2.6).

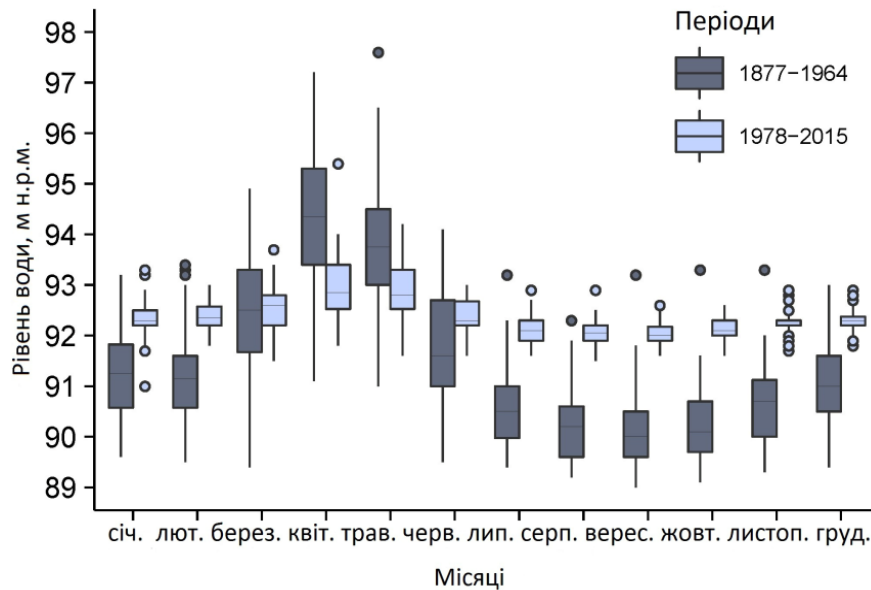


Рис. 2.7. Розподіл максимального рівня води в Дніпрі в Києві за періоди до (1877–1964) та після (1978–2015) зарегулювання річки

## 2.7. Аналіз зв'язку приросту з кліматичними та гідрологічними чинниками

Для детального аналізу зв'язку між приростом та гідролого-кліматичними чинниками використовували багаторічні місячні спостереження за температурою, опадами, рівнем води в Дніпрі та розраховані індекси посухи. В основній частині досліджень кліматичне вікно, у дендрокліматології — це інтервал місяців, для яких проводиться аналіз, охоплювало період із червня попереднього вегетаційного сезону по вересень поточного. «Попередній» та «поточний» сезони використовуються виключно по відношенню до сезону або року для якого проводиться зіставлення клімат–приріст у кореляційному аналізі. Кліматичне вікно такого розміру майже дорівнювало повному

дендрокліматичному року *sensu* [109], оскільки згідно з нашими спостереженнями ксилогенез у *Q. robur* в Києві починається у квітні–травні з активації камбію й початку утворення судин ранньої деревини приблизно одночасно із початком набубнявіння бруньок, продовжується утворенням пізньої деревини в червні–вересні, тоді як вегетація може проходити до кінця жовтня. Так, повний дендрокліматичний рік *Q. robur* в Києві починається з квітня минулого по жовтень поточного року і включає також період спокою з листопада по березень.

Використання місячних даних разом з урахуванням етапів сезонного розвитку листків та деревини надає можливість детальної інтерпретації отриманих результатів. Однак широкі кліматичні вікна значно збільшують кількість факторів для урахування. Так, для аналізу впливу лише опадів та температури на приріст *Q. robur* з квітня минулого сезону по вересень поточного кількість факторів зростає до  $36 - 18 \times 2$ . Зважаючи на мультиколінеарність, або кореляцію між факторами [83], прийнятний рівень значущості  $p$  для коефіцієнта кореляції в наведеному прикладі становитиме приблизно 0,001. При дослідженні часового інтервалу в 31 рік такий рівень досягається при значенні коефіцієнта кореляції  $r > 0,56$ , а для 21 року —  $r > 0,66$ , що є рідкісними серед дендрокліматичних робіт. Для аналізу зв'язку приріст–клімат з урахуванням мультиколінеарності було розроблено статистичні процедури, що базуються на методі головних компонент та використовують метод перестановок для розрахунку інтервалів отримуваних коефіцієнтів та рівня значущості [82].

У нашому дослідженні зв'язок між щорічними варіаціями резидуальних хронологій *Q. robur* та місячними клімато-гідрологічними змінними встановлювали, використовуючи стаціонарну (stationary) та рухома (moving) кореляційні функції та функції відгуку [240, 241]. Часовий інтервал охоплював період 1878–2015 рр. з кліматичним вікном із червня минулого вегетаційного сезону по вересень поточного року. Гідрологічне вікно охоплювало лише період формування деревини в поточному сезоні — з квітня по вересень. Для

клімато-гідрологічних змінних, що мають статистично значущий рівень ( $p < 0,05$ ) зв'язку з приростом, розраховували рухому кореляційну функцію та перевіряли на хибні низькочастотні модуляції у тесті Гершунова [113]. Розрахунки проводили за допомогою пакету «treeclim» [240] у програмному середовищі R 3.5.1 [189].

Для класифікації змін у кореляціях клімато-гідрологічних змінних із приростом використовували локально зважений поліноміальний метод, що дає функцію згладжування, у пакеті «SiZer» [207] програмного середовища R. Отже, інтервали в яких зміни в кореляціях були найвищими визначалися, як екстремуми першої похідної функції згладжування.

Наявність статистично значущих ( $p < 0,05$ ) змін у прирості *Q. robur* визначали методом аналізу точки зміни (change point analysis) з використанням пакету «changepoint» програмного середовища R [137]. Аналіз методом головних компонент (PCA) проводили з використанням пакету «ade4» для R [61].

## 2.8. Реконструкція щорічної фіксації вуглецю у стовбурах дерев

На основі дендрохронологічного аналізу дерев, таблиць ходу росту та лісовпорядних матеріалів встановлювали динаміку депонування вуглецю в стовбуровій масі *Q. robur*. Визначення динаміки запасу вуглецю в стовбуровій деревині *Q. robur* проводили на основі щорічної зміни площі поперечного перетину, розрахованої за радіальним приростом відібраних кернів. Дані лісовпорядних матеріалів щодо співвідношення віку й висоти слугували вихідним матеріалом для визначення динаміки приросту *Q. robur* у висоту, що розраховували за формулою:

$$H_i = 8,566 \ln(A_i) - 15,11 \quad (R^2 = 0,901)^*, \quad (15)$$

$$H_i = -0,0042A_i^2 + 0,7161A_i - 4,4692 \quad (R^2 = 0,932)^{**},$$

де  $H_i$  — висота,  $A_i$  — вік дерев.

Примітка: \* — для вікових дерев *Q. robur* (понад 100 років); \*\* — середньовікових дерев *Q. robur* (40-70 років).

Форму стовбура прийняли за конусоподібну, тому щорічну зміну об'єму ( $V_i$ ) розраховували за формулою:

$$V_i = \frac{1}{3} \times S_i \times H_i, \quad (16)$$

де  $S_i$  — площа поперечного перетину стовбура в  $i$ -му році життя;  $H_i$  — висота дерева в  $i$ -му році життя.

Під час розрахунку маси стовбура використовували щільність сухої речовини для стовбурної деревини *Q. robur* — 575 кг/м<sup>3</sup> [32], а для визначення маси депонованого в ній вуглецю — коефіцієнт 0,5 [155].



## РОЗДІЛ 3

### ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ *QUERCUS ROBUR* L.

#### 3.1. Порівняння радіального приросту *Quercus robur* у межах природного ареалу Європи

Завдяки довговічності, широкому розповсюдженню, чітким межах річних кілець та частому використанню в будівельних конструкціях *Quercus* є одним із найпридатніших родів для укладання тисячолітніх хронологічних серій [233, 185]. Деревно-кільцеві хронології роду *Quercus* були укладені для Британських островів [238], Західної та Центральної Європи [232, 107, 126, 69, 142], Піренейського півострова [149], східного узбережжя Балтійського моря [188, 206].

Узгодженість між хронологіями радіального приросту видів роду *Quercus* з різних частин Європи в основному залежить від екологічних умов місцевості відбору зразків та розміру вибірки. Для оцінки радіального приросту *Q. robur* в контрастних кліматичних умовах у межах його природного ареалу проведено порівняльний аналіз із 1878 по 1967 рр. З архіву Міжнародного банку деревно-кільцевих даних (The International Tree-Ring Data Bank, ITRDB) завантажено дані ширини річних кілець із 92 місць зростають Австрії, Великої Британії, Франції, Німеччини, Італії, Литви, Нідерландів, Польщі та Туреччини. Оскільки матеріали в Міжнародному банку *Q. robur* по Україні відсутні, отримані нами дані заплавної біотопис Києва (Dub, Вус, Zhu, Lis) та деревостану поза заплавою (Feo(ref)) слугували матеріалом для порівняння. Крім цього використано унікальні дані радіального приросту *Q. robur* байрачної діброви «Путилівська», що зростає на межі ареалу виду в степовій зоні України у м. Донецьк (рис. 3.1). На основі ITRDB та власних даних укладено два типи хронологій: перший тип — з необробленими значеннями (Raw), другий тип — із видаленим трендом впливу некліматичних факторів на варіацію приросту (Detrended).

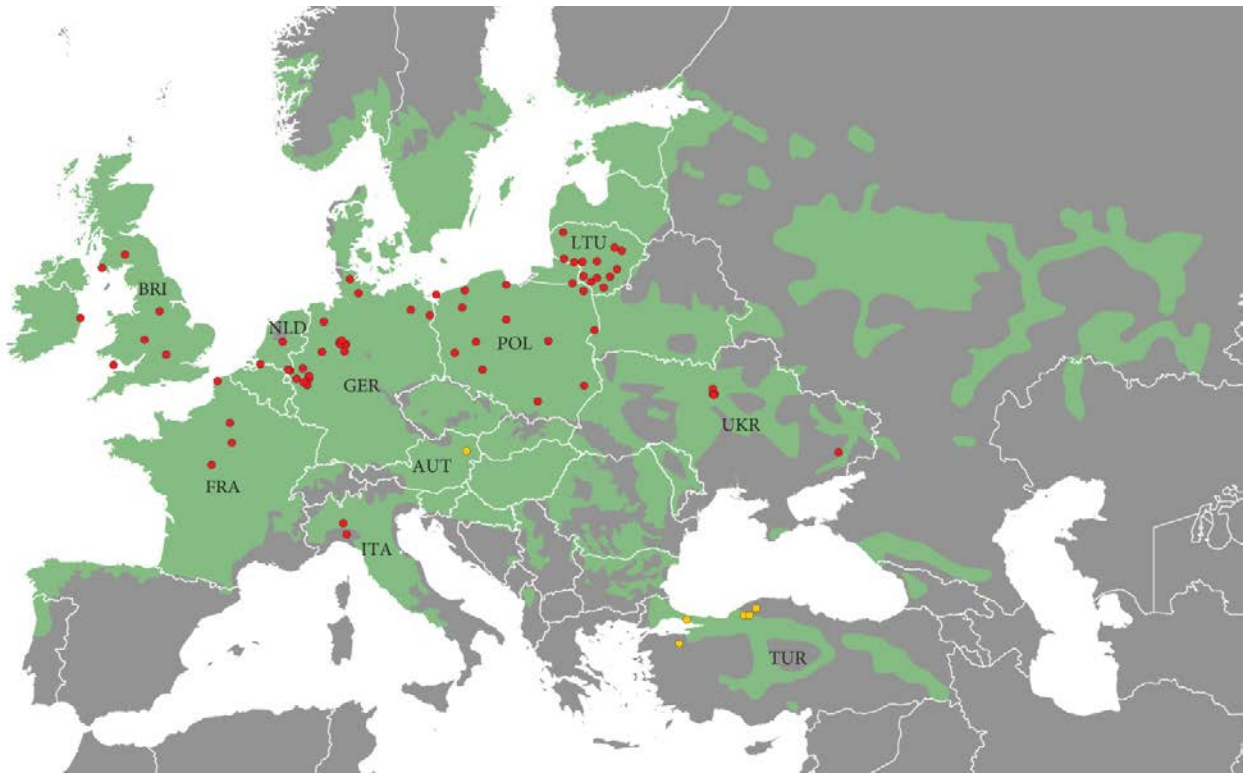


Рис. 3.1. Схема розташування ITRDB (AUT — Австрія, BRI — Велика Британія, FRA — Франція, GER — Німеччина, ITA — Італія, LTU — Литва, NLD — Нідерланди, POL — Польща, TUR — Туреччина) та власних хронологій (UKR — Україна). ● — хронології *Quercus robur*; ● — хронології *Q. petraea* + *Quercus* spp.; ■ — ареал виду *Q. robur* [101]

За результатами кластерного аналізу необроблені (Raw) хронології об'єднуються в чотири кластери (рис. 3.2). У четвертий, найбільший кластер, ввійшли три хронології з України — Put, Feo та Вус. Оброблені хронології, які позбавлені некліматичних сигналів, також об'єдналися в чотири кластери. Хронології заплавних біотопів Києва, що розташовані в безпосередній близькості до Дніпра (Вус, Zhu) об'єдналися в окремий кластер, що свідчить про наявність специфічного для заплав кліматичного сигналу. У найбільший, третій кластер входить оброблена хронологія Feo разом із деякими хронологіями Польщі, Литви, Німеччини, Нідерландів, Австрії, Італії, Франції, що є свідченням впливу схожих кліматичних чинників на приріст *Q. robur* у даних місцях зростань.

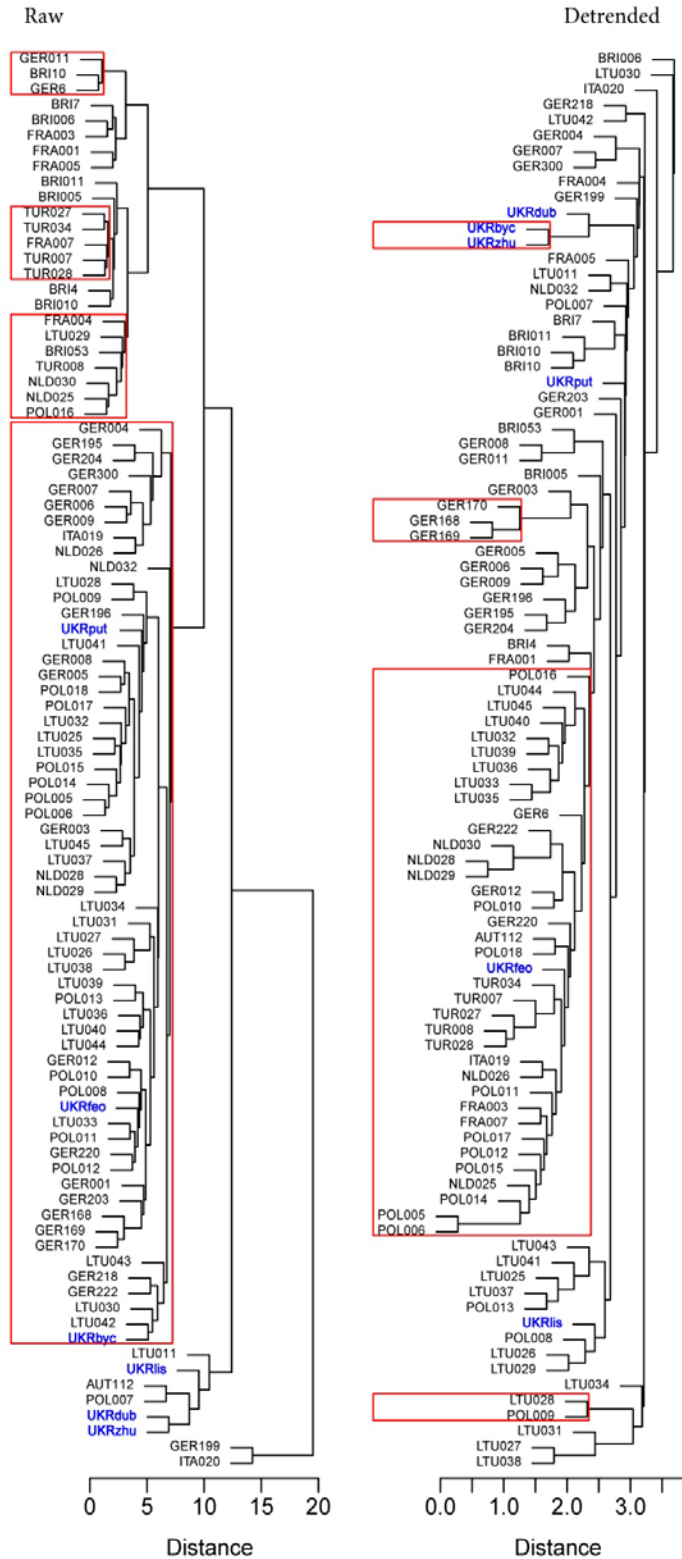


Рис. 3.2. Кластерна дендрограма для необроблених (Raw) та з видаленням трендом (Detrended) хронологій *Quercus robur*. Дистанції — Евклідові, метод побудови за усередненими зв'язками. Червоні прямокутники позначають кластери, розраховані методом Монте-Карло ( $p < 0,05$ )

Для порівняння радіального приросту з різних частин ареалу, хронології *Q. robur* згруповано по країнах та побудовано графіки навантажень методом головних компонент (PCA) (рис. 3.3, рис. A1). У першу компоненту (PC1) необроблених серій радіального приросту найбільший внесок роблять хронології Туреччини, Німеччини, Австрії, Британії, Франції, Польщі, Нідерландів. Найбільший внесок у другу компоненту робить хронологія *Q. robur* з України, значно менший із Нідерландів, Польщі та Німеччини.

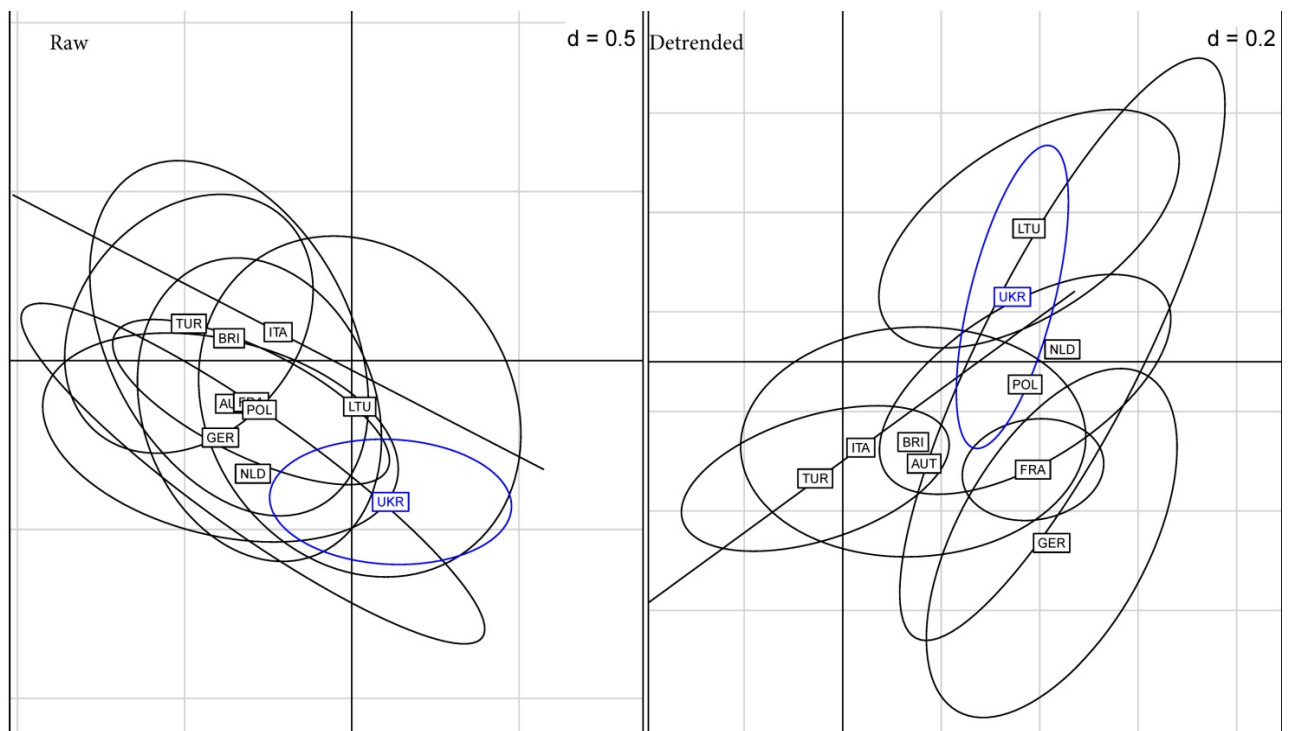


Рис. 3.3. Графіки навантажень груп хронологій *Quercus robur*, *Q. petraea* + *Quercus* spp. за країнами методом головних компонент. Вісь абсцис — PC1, вісь ординат — PC2. Raw — необроблені, Detrended — з видаленим трендом хронології

Після згладжування хронологій сплайн-функцією (Detrended), найбільший внесок у PC1 роблять хронології Литви, України, Нідерландів та Польщі (рис. 3.3), а в PC2 Туреччини та Італії, трохи менший Британії та Австрії. Загалом приріст *Q. robur* в Україні є найбільш схожим до приросту в

Литві, менше в Нідерландах, що може свідчити про подібність реакції приросту цього виду на кліматичні фактори в Україні та країн Прибалтики.

За результатом аналізу головних компонент (PCA) у двох варіантах хронологій (Raw та Detrended) з України найбільший внесок у першу компоненту (PC1) вносять хронології заплав (Byc, Dub, Zhu, Lis), менший — хронологія поза заплавою Feo (рис. 3.4). У PC2 найбільший внесок робить лише хронологія зі степу — Put, що свідчить про відмінності в прирості та кліматичному сигналі даної хронології від заплав.

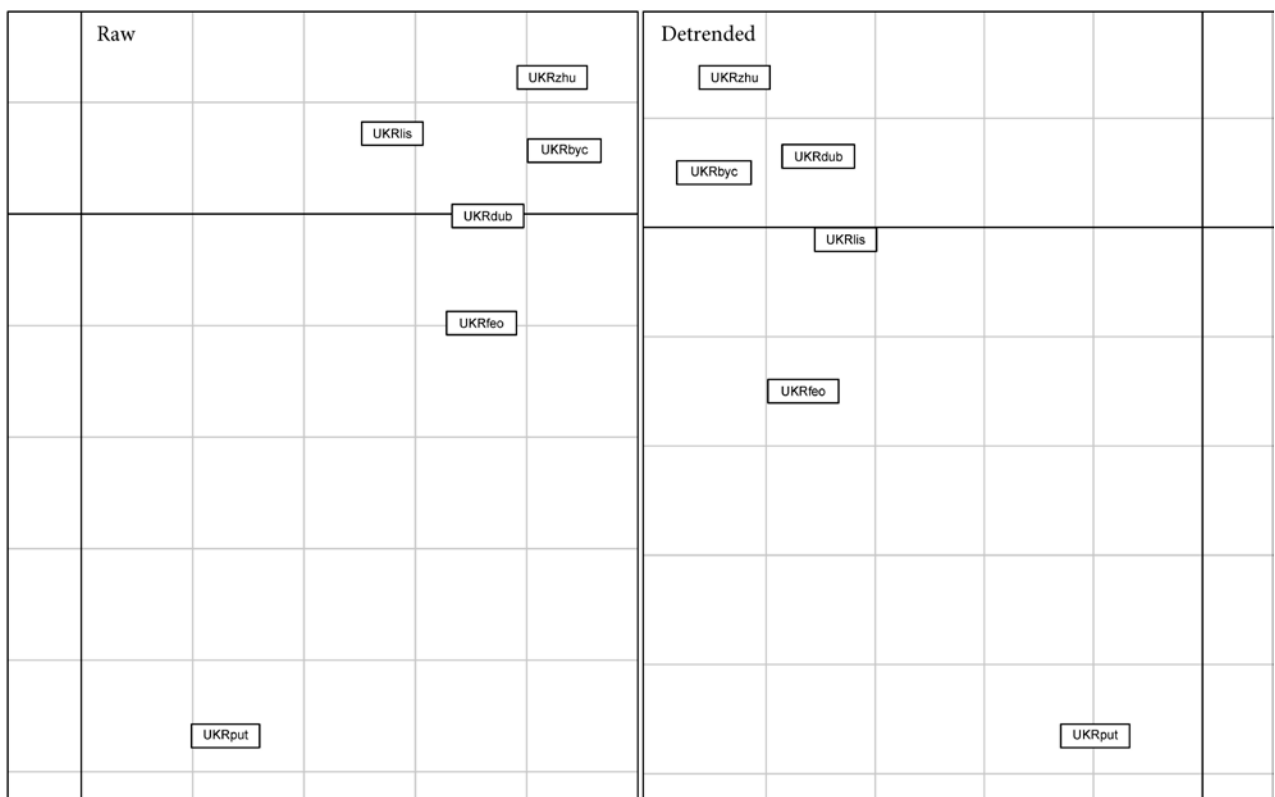


Рис. 3.4. Графіки навантажень власних хронологій *Quercus robur* з України методом головних компонент. Вісь абсцис — PC1, вісь ординат — PC2. Raw — необроблені, Detrended — з видаленим трендом хронології

З огляду на результати PCA аналізу та унікальність хронології Put, доцільним є визначення лімітуючих кліматичних чинників приросту *Q. robur* на екологічній межі ареалу в степу. Інтерес до хронології зумовлено й тим, що її

можна розглядати як приклад майбутніх змін в інших частинах ареалу виду, де за прогнозами посиляться нестача вологи.

### 3.2. Вплив гідрологічних та кліматичних чинників на річний радіальний приріст *Quercus robur* у заплаві Дніпра

Протягом досліджуваного періоду з 1877 по 2015 рр. середній річний радіальний приріст (RW), а також середній приріст ранньої (EW) та пізньої (LW) деревини був більший у дерев, що зростають у біотопах заплави — заказника «Жуків острів» (Zhu), урочища Дубище (Dub), заказника «Лісники» (Lis), за винятком урочища Бичок (Buc) (табл. 3.1, рис. 3.5). Згідно з результатами аналізу точки зміни, у біотопах заплави та поза нею у RW, EW та LW *Q. robur* не виявлено жодних змін, які могли бути пов'язані із зарегулюванням Дніпра. Єдина зміна у прирості LW ( $p < 0,01$ ) біотопу Lis виявлена в 1956 році, але це було раніше періоду введення в дію гребель Київського та Канівського водосховищ.

Таблиця 3.1

Описові статистичні параметри дендрохронологічних серій *Quercus robur* та їхня кореляція з головними компонентами (1877–2015 рр.)

Код біотопу	N	EPS	$r_{\text{eff}}$	Ширина, мм		MS		A1	Кореляція з PC			
				$\bar{x}$	SD	raw	adj		raw		adj	
									PC1	PC2	PC1	PC2
Хронології ширини річного кільця												
Feo(ref)	51	0,95	0,35	2,1	0,76	0,20	–	0,64	-0,15	-0,05	-0,02	0,18
Zhu	25	0,92	0,40	2,7	1,27	0,20	0,19	0,66	-0,43	-0,21	-0,29	-0,14
Dub	17	0,93	0,47	2,2	0,98	0,25	0,23	0,61	-0,32	-0,40	-0,30	-0,42
Buc	21	0,93	0,43	2,0	0,87	0,21	0,18	0,66	-0,28	-0,14	-0,27	-0,03
Lis	40	0,96	0,43	2,4	1,21	0,15	0,12	0,75	-0,37	0,50	-0,15	-0,20
Хронології ширини приросту ранньої деревини												
Feo(ref)	12	0,86	0,38	0,9	0,19	0,13	–	0,46	-0,02	-0,02	-0,01	0,01
Zhu	15	0,85	0,32	1,1	0,33	0,12	0,10	0,60	-0,09	-0,02	-0,07	-0,12
Dub	13	0,86	0,34	0,9	0,27	0,12	0,11	0,54	-0,05	-0,10	-0,05	-0,19
Buc	9	0,83	0,36	0,8	0,23	0,12	0,10	0,56	-0,06	-0,05	-0,07	-0,13
Lis	10	0,86	0,43	1,0	0,27	0,10	0,09	0,58	-0,05	0,07	-0,03	-0,19
Хронології ширини приросту пізньої деревини												
Feo(ref)	12	0,92	0,53	1,1	0,60	0,35	0,35	0,53	-0,13	-0,07	0,02	0,53
Zhu	15	0,9	0,42	1,5	1,01	0,35	0,32	0,58	-0,38	-0,11	-0,44	0,11

## Продовження таблиці 3.1

Dub	13	0,92	0,50	1,3	0,86	0,40	0,39	0,52	-0,27	-0,32	-0,47	-0,16
Вус	9	0,93	0,60	1,1	0,75	0,40	0,39	0,59	-0,23	0,16	-0,47	0,56
Lis	10	0,93	0,60	1,6	1,11	0,26	0,24	0,68	-0,42	-0,60	-0,28	0,03

Примітка: N — кількість дерев; EPS — виражений сигнал популяції;  $R_{eff}$  — середня кореляція між деревами; M — середнє; SD — стандартне відхилення; MS — середня чутливість; A1 — коефіцієнт автокореляції першого порядку; PC1 та PC2 — перші дві головні компоненти; raw та adj — для необроблених та скоригованих серій, відповідно

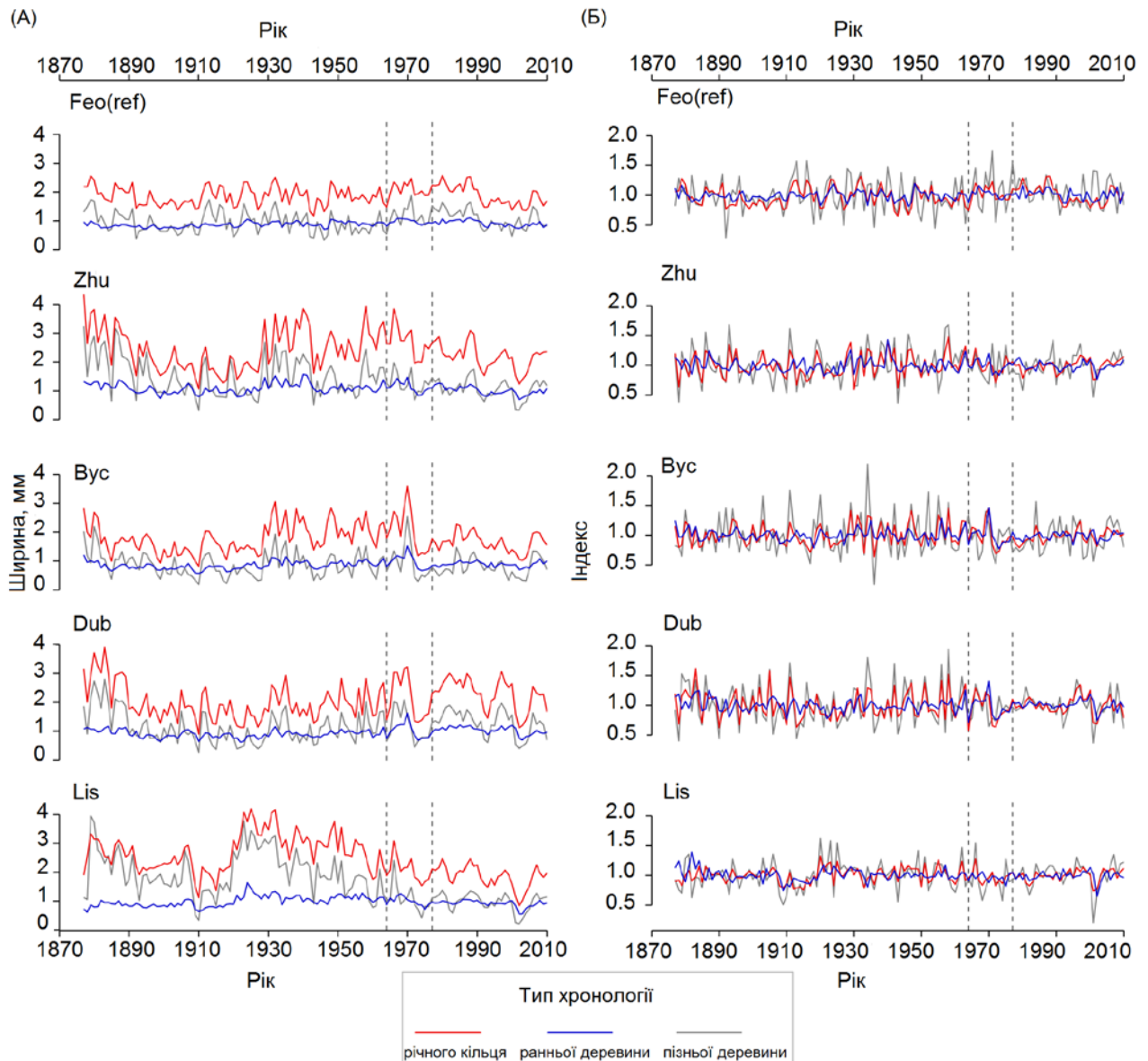


Рис. 3.5. Необроблені (А) та скориговані (Б) хронології *Quercus robur* ширини річного кільця, приросту ранньої та пізньої деревини за біотопами. Вертикальні пунктирні лінії вказують роки введення в експлуатацію гідроелектростанцій поблизу Києва (1964 р. — Київська ГЕС, 1977 р. — Канівська ГЕС)

Коефіцієнт  $A_1$ , коливався в межах від 0,46 до 0,68 для всіх хронологій. В усіх біотопах, з контрольним (Feo(ref)) включно,  $A_1$  був вищим для ширини кільця. Щорічна варіація приросту, яка виражена у SD та MS, була значно нижчою в хронологіях ранньої деревини порівнюючи з хронологіями ширини кільця та пізньої деревини.  $R_{\text{eff}}$  у хронологіях ширини кільця варіювала від 0,35 (Feo(ref)) до 0,43 (Dub), у хронологіях ранньої деревини від 0,32 (Zhu) до 0,43 (Lis) та в хронологіях пізньої деревини — від 0,42 (Zhu) до 0,60 (Buc, Lis). EPS в усіх типах хронологій перевищив значення 0,85, що свідчить про репрезентативність, достатню для подальшого аналізу зв'язку з гідролого-кліматичними чинниками.

На рисунку 3.6 представлені результати аналізу головних компонент (PCA). Кореляція була позитивною між усіма типами необроблених хронологій заплав (Dub, Zhu, Lis, Buc) та контрольного біотопу (Feo(ref)) (див. рис. А.2 в додатку), тобто загальний регіональний кліматичний сигнал властивий усім хронологічним серіям. Перша компонента (PC1) містить 51 % варіації всіх даних, а друга компонента (PC2) — 25 %. Тим не менш, принаймні перші чотири компоненти були необхідні для отримання більш ніж 90 % від загальної варіації. Хронології радіального приросту та ранньої й пізньої деревини всіх біотопів корелювали з PC1, яка поєднувала загальний сигнал, притаманний усім біотопам, та специфічний сигнал, що властивий лише заплавам (рис. 3.6 А). Видалення тренду та коригування серій заплавних біотопів відобразилося на послабленні MS та зменшенні кореляції з контрольним біотопом, що свідчить про відсутність регіонального кліматичного сигналу в скоригованих серіях заплавних біотопів (табл. 3.2). За результатами PC аналізу скоригованих серій (рис. 3.6 Б) PC1 представляла внутрішньорічну варіацію в основному заплавних біотопів, тоді як PC2 відповідала контрольному біотопу. PC1 та PC2 містять 36 % та 15 % загальної інерції скоригованих даних відповідно, а перші шість головних компонент були необхідні для отримання більш ніж 90 % варіації.



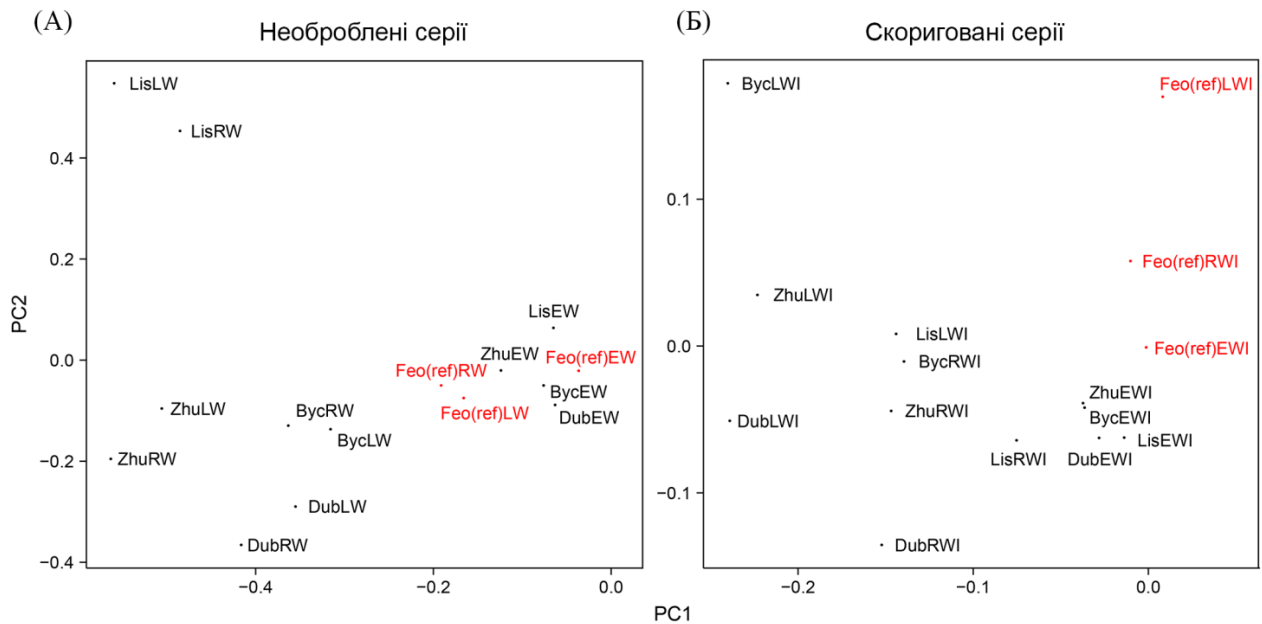


Рис. 3.6. Вплив коригування хронологічних серій на результати аналізу головних компонент. (А) — необроблені серії, (Б) — скориговані серії. RW — хронології ширини річних кілець, LW та EW — хронології пізньої та ранньої деревини, відповідно. Хронології контрольного біотопу виділені червоним

У проведеному аналізі використовуючи стаціонарну функцію відгуку отримано значущі коефіцієнти для приросту *Q. robur* з контрольного Feo(ref) та кліматичних факторів протягом поточного та попереднього вегетаційних періодів (рис. 3.7). З 1877 по 2015 рр. індекси ширини кільця тут були пов'язані з опадами грудня попереднього вегетаційного періоду та квітня поточного року, але не мали значущого зв'язку з температурою повітря та рівнем води Дніпра. Індекси ширини ранньої деревини значуще корелювали з опадами та температурою (негативно) серпня, хоча зв'язок з опадами був значущим лише до 1965 року, тобто лише до зарегулювання Дніпра біля Києва. Зменшення ширини ранньої деревини в другому періоді (див. рис. 3.7) було пов'язане з високою температурою липня та серпня попереднього вегетаційного періоду. Значущі коефіцієнти функції відгуку для пізньої деревини та кліматичних змінних отримано лише в першому періоді — опади грудня–січня попереднього сезону вегетації та травня поточного року мали позитивний

вплив, але опади червня попереднього сезону вегетації та температури жовтня та грудня поточного року впливали негативно.

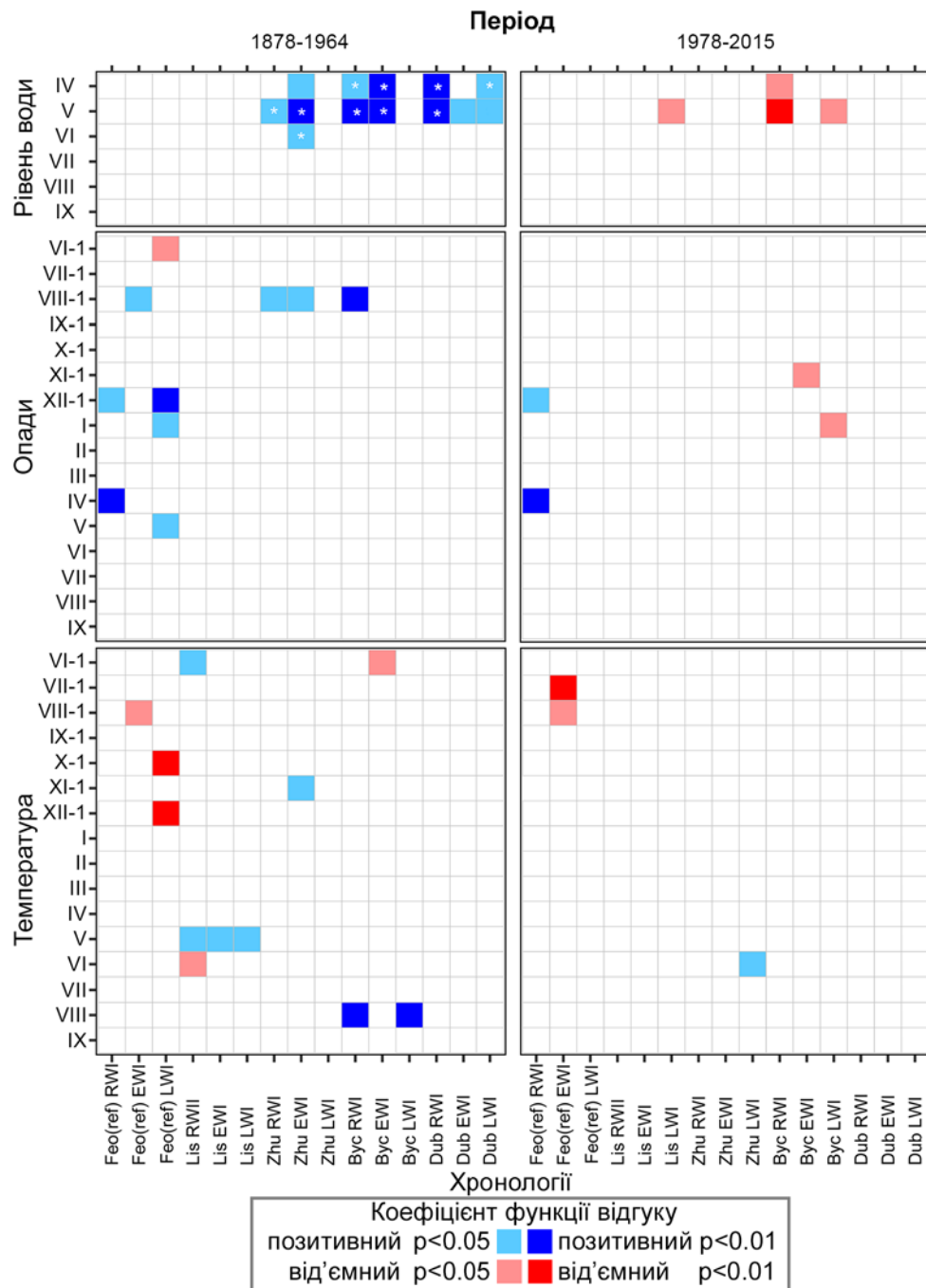


Рис. 3.7. Зв'язок індексів ширини річного кільця (RWI), ранньої деревини (EWI), пізньої деревини (LWI) *Quercus robur* з гідролого-кліматичними факторами за результатом аналізу стаціонарної функції відгуку для періодів до зарегулювання Дніпра поблизу Києва (1878–1964) та за експлуатації Київської і Канівської ГЕС (1977–2015). Коди біотопів як у табл. 3.1. Астериском (\*) позначено значущі зміни зв'язку (див. текст).

Стаціонарна функція застосована до скоригованих хронологій (adj) біотопів заплав Дніпра та приток, мала більше значущих коефіцієнтів у період до 1965 року (див. рис. 3.7). Природні коливання рівня води в Дніпрі був головним фактором, який впливав на приріст дерев у біотопах Zhu, Dub та Вус, крім Lis, що розташований у заплаві приток Дніпра. Рівень води у квітні мав значущий вплив на формування ранньої деревини в біотопах Zhu та Вус, а на ширину кільця у Вус та Dub. У деревостані Dub також зафіксовано значущі зв'язки цього гідрологічного фактора з пізньою деревиною. Рівень Дніпра в травні мав вплив на ширину кільця та ранню деревину в усіх заплавах і на пізню в Dub. Крім цього рівень води в червні впливав на приріст пізньої деревини *Q. robur* в Zhu. Після введення в експлуатацію гребель Київської та Канівської ГЕС, вплив рівня води в Дніпрі на приріст *Q. robur* зменшився до незначущого або змінився на зворотний, як у біотопі Вус — вплив рівня води у квітні на ширину кільця й рівня води в травні на ширину кільця та пізню деревину (див. рис. 3.7). Крім цього, у деревостані Lis високий рівень Дніпра в травні став чинити негативний вплив на формування пізньої деревини.

До 1965 року опади серпня позитивно впливали на ширину річного кільця та пізню деревину *Q. robur* в Zhu й ширину річного кільця в Вус. Більше значущих коефіцієнтів було знайдено для температури — позитивний вплив температури травня поточного року на ширину річного кільця, приріст ранньої та пізньої деревини в Lis, серпня поточного року на ширину річного кільця та пізньої деревини в Вус, листопаду попереднього вегетаційного періоду на приріст ранньої деревини в Zhu та негативний вплив температури червня попереднього вегетаційного періоду на приріст ранньої деревини в дерев з Вус. Після 1977 року лише опади листопаду попереднього вегетаційного періоду та січня поточного року впливали на формування ранньої та пізньої деревини *Q. robur* в Вус, а температура червня поточного року на приріст пізньої деревини дерев у Zhu.

Тест Гершунова на часову стабільність коефіцієнтів рухомої кореляції підтвердив значущість кореляції між приростом *Q. robur* тільки з рівнем води

Дніпра (див. астериски на рис. 3.7). З аналізу першої похідної функції згладжування ці зміни відбувалися двічі, коли кореляція збільшувалася і зменшувалася у періоди із початковими роками 1903–1922 рр. і 1971–1973 рр., відповідно (рис. 3.8).

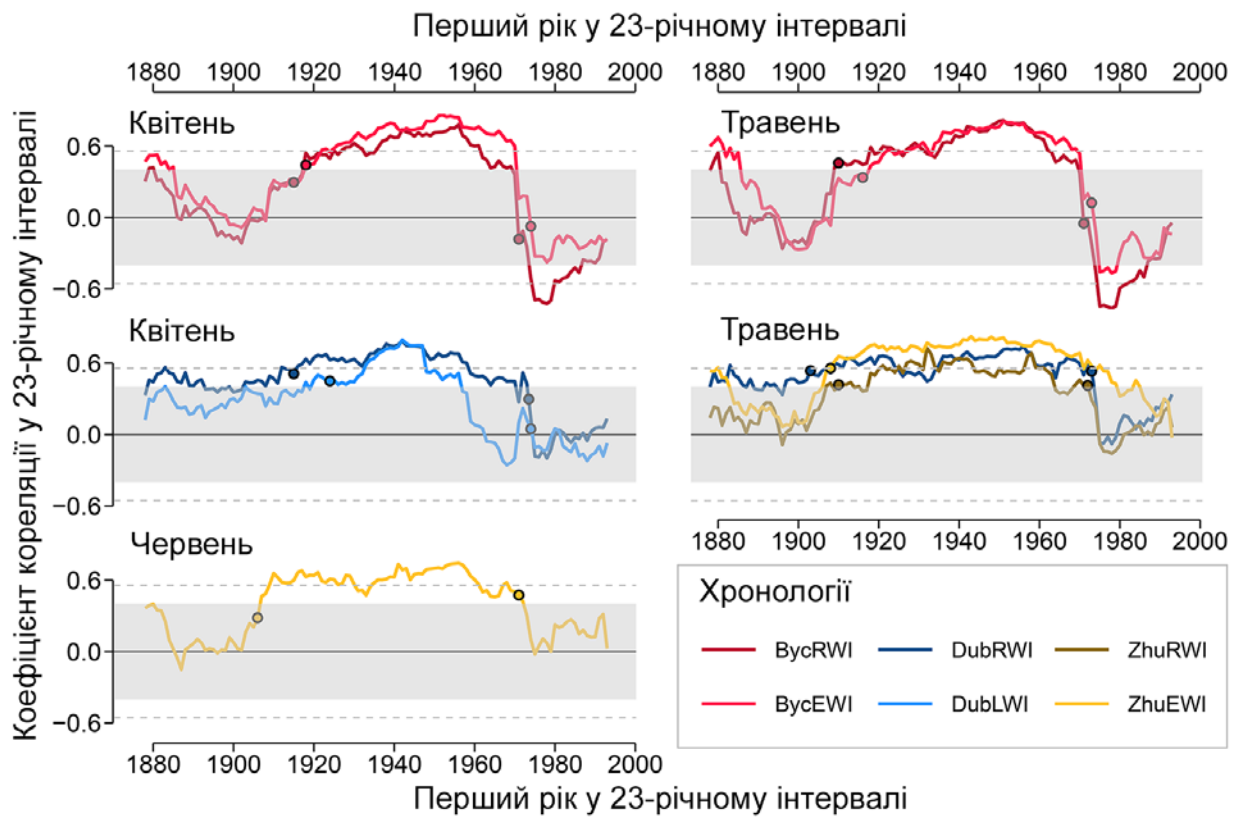


Рис. 3.8. Результат рухомої кореляційної функції з 23-річним інтервалом для хронологій індексів приросту *Quercus robur* в біотопах заплави Дніпра та рівня води. Точки вказують на роки найстрімкіших змін у коефіцієнтах кореляції. Горизонтальне затінення та пунктирні лінії вказують на поріг значущості коефіцієнта кореляції  $p < 0,05$  та  $p < 0,01$  відповідно

Низькі кореляції на початку ХХ століття у досліджених біотопах відбувалися трохи в різний час та мали причину нез'ясовану до цих пір. Синхронніше падіння коефіцієнтів кореляцій було пов'язане із зарегулюванням Дніпра між 1964 та 1977 роками. Найбільш помітні зміни спостерігалися для індексів ширини річного кільця та ранньої деревини *Q. robur* біотопу Вус, де значущі кореляції з рівнем води квітня та травня змінилися на значущі

негативні в межах зміщення 3-ох років. Кореляції досягли найнижчого значення в період з 1978 по 2000 рр., тобто після зарегулювання річки. Подібні зміни в кореляціях, але з коротшим падінням, спостерігалися у біотопах Zhu та Dub.

Згідно з попередніми дослідженнями [111] сильна варіація притаманна хронологіям пізньої деревини пов'язана з відчутним кліматичним сигналом, що дещо суперечить нашим результатам. Однак варіація пізньої деревини може бути зумовлена різними факторами біогенного та абіогенного походження, тому хронологія пізньої деревини може містити навіть слабший кліматичний сигнал порівнюючи з ранньою деревиною та її анатомічними характеристиками [104], варіація яких менша. Хоча початок камбіальної активності та тривалість формування судин ранньої деревини відрізняється серед окремих дерев популяцій *Q. robur* [187, 186] перевагою використання характеристик ранньої деревини є короткий період її формування, що відображається в обмеженому за часом дії кліматичному сигналі. Високі кореляції між приростом ранньої деревини та рівнем води, особливо в першому періоді, можуть бути пов'язані зі збігом сезону високого рівня води в Дніпрі та періодом формування ранньої деревини.

У досліджених заплавах спостерігається надзвичайно швидка зміна реакції приросту *Q. robur* до рівня води Дніпра (див. рис. 3.8), що розкриває вплив зарегулювання річкового потоку на ріст заплачних лісів. Будівництво двох гребель біля Києва змінило коливання рівня води, що призвело до несподіваної зміни позитивної кореляції між приростом *Q. robur* в заплавах і рівнем води у квітні–травні, а також послаблення кореляції з рівнем води в червні. Несподіваними ці зміни є через характер зміни коливань рівня Дніпра в Києві — у квітні і травні він знизився в середньому значенні та варіації, тобто зниження рівня води мало б на перший погляд збільшити кореляцію з приростом.

Позитивна кореляція приросту *Q. robur* з рівнем води до зарегулювання річки відповідає результатам, отриманим для інших кільцево-судинних

деревних видів: із шириною річного кільця *Q. lyrata* [112], *Q. robur* [172] та з приростом пізньої деревини *Q. robur* [123], з приростом площі поперечного перерізу [205] та шириною річного кільця *Fraxinus excelsior* [143]. Порівняно короткочасне підвищення рівня води у вегетаційний період сприяє росту *Q. robur* оскільки затоплення насичує ґрунт водою та збагачує поживними речовинами. Ймовірно, це відіграє ключову роль у місцях, де як повені так і низький рівень води спостерігаються впродовж сезону радіального росту. Позитивна кореляція між приростом *Q. robur* та рівнем води в річці також характерна для заплав де діяльність людини спричинила падіння рівня води [215]. На відміну від цього негативний вплив повеней на ріст *Q. robur* протягом вегетаційного періоду нагадує подібний ефект у місцях які схильні до повеней [201] або штучного підвищення рівня ґрунтових вод [23]. Серед основних причин депресії в рості дуба у болотистій місцевості [198, 201], які можуть стосуватися й досліджених нами біотопів, є фізіологічні причини — коренева аноксія [145, 146] та відмирання мікоризи [228] у зв'язку з тривалим затопленням.

Знайдені зв'язки між приростом і кліматом підтверджують надлишок вологи в заплавах після зарегулювання річки, коли приріст (ранньої та пізньої деревини Вус) почав негативно корелювати з опадами. Незважаючи на регіональний тренд потепління, тільки температури червня значущо позитивно корелювали з приростом *Q. robur* (пізня деревина Zhu на рис. 3.7). Подібні зв'язки з температурою було знайдено в інших місцях зростання у заплавах [224, 123] та місцях зростання з відсутнім дефіцитом вологи у ґрунті [76, 225], хоча в цих роботах вплив зміни гідрології не розглядався.

Зазвичай зарегулювання річки впливає на заплавні екосистеми шляхом зміни природних повеней та пов'язаних із ними процесів [168]. Біотопи Lis та Вус виявилися найбільш чутливими та показали сильні негативні кореляції пізньої деревини та ширини річного кільця з рівнем води (див рис. 3.7). Території цих біотопів зазнали змін в гідрології у зв'язку з забудовою і прокладкою автотраси (Вус) та будівництвом дамби вздовж узбережжя Дніпра

(Lis) та зміною приток та періодичним водотоком (в обох біотопах). Такі фактори впливають на ріст дерев шляхом зміни рівня ґрунтових вод і наявності води в кореневій зоні ґрунту. Різкі сезонні коливання рівня ґрунтових вод можуть посилити вплив посухи, так як розмір та щільність судин ранньої деревини регулюються насиченістю ґрунту вологою під час ксилогенезу [85], і можуть стати непридатними у разі збільшення дефіциту вологи пізніше в сезоні [224].

Наші результати показують, що скориговані хронології ширини річного кільця, приросту ранньої та пізньої деревини заплав до контрольного біотопу містять достатній гідрологічний сигнал, це дозволило виділити періоди у зв'язку приріст–фактори до та після зарегулювання річки. Швидкість та амплітуда змін у цьому зв'язку, виявленому для пізньої та ранньої деревини *Q. robur* у відповідь на зарегулювання річки, варіюють залежно від місця дослідження та є найвищими в біотопах Lis, Вус, які зазнають антропогенного впливу на локальну гідрологію.

Узагальнюючи результати наших досліджень із роботами попередників можна констатувати, що характер змін у зв'язку між приростом та гідрокліматом залежить від особливостей змін у гідрології конкретного місця зростання. Так, нижче греблі, або за дамбою вздовж рік зазвичай спостерігаються зміни в бік зменшення вологи ґрунту, вище греблі навпаки підтоплення. Відповідно, у першому прикладі більш очікуваним є збільшення негативного впливу посух на приріст, та його залежності від атмосферного зволоження, у другому прикладі — зростання позитивних кореляцій із температурою, яка підвищує випаровування, та посилення негативних кореляцій з опадами та рівнем води в річці. Менш передбачуваними є зміни в місцях, що розташовані між двома греблями, як у заплаві Дніпра в Києві. Тут спостерігається підвищення рівня води в Дніпрі протягом майже року — з червня по лютий, що ймовірно призводить до перезволоження ґрунтів, особливо на початку вегетаційного сезону. Навіть за умов зменшення середнього рівня Дніпра у квітні–травні, вплив води на приріст є негативним,

що підтверджує висновок про тривале перезволоження ґрунту в біотопах заплави Дніпра в Києві.

### **3.3. Вплив кліматичних чинників на річний радіальний приріст *Quercus robur* у заплаві малих річок Сіверка та Петіль**

Досліджена місцевість належить до державного ботанічного заказника «Лісники» (Lis), що до зарегулювання р. Сіверка, або р. Віта за В.І. Вишневським, зазнавала весняних повеней [10], а після вирівнювання русла та зачачення у 1950-х рр. природні повені припинись. З кінця 1970-х, коли було введено в дію гідротехнічні споруди Канівської ГЕС, річка Віта зазнала підпір з боку Дніпра. У 2000-х рр. дренажні конструкції були частково зруйновані та замулені, що спричинило повернення весняних повеней. Завдяки дощово-сніговому режиму річка Сіверка розливається у квітні–травні та майже пересихає в липні–серпні [10].

Радіальний приріст *Q. robur* у Lis змінюється відповідно до загальновідомого вікового тренду, тобто зменшення приросту з віком (рис. 3.9 А). Середня ширина річного кільця зменшилася від  $3,3 \text{ мм} \pm 1,9 \text{ мм}$  до  $1,8 \text{ мм} \pm 0,8 \text{ мм}$  із збільшенням середнього камбіального віку дерев з 20 років до 160 років та в середньому становила  $2,5 \text{ мм} \pm 1,4 \text{ мм}$  (рис. 3.9 Б). Усереднену та резидуальну хронології було отримано з 82 індивідуальних серій 40 досліджених дерев, довжини хронологій становили 160 років та 159 років та охоплювали 1866–2015 рр. та 1867–2015 рр. відповідно (рис. 3.9 В). Дерев < 20, 30, 40 та 50 років представляли більш ніж 50 % вибірки до 1885, 1886, 1908 та 1919 року (рис. 3.9 Г).



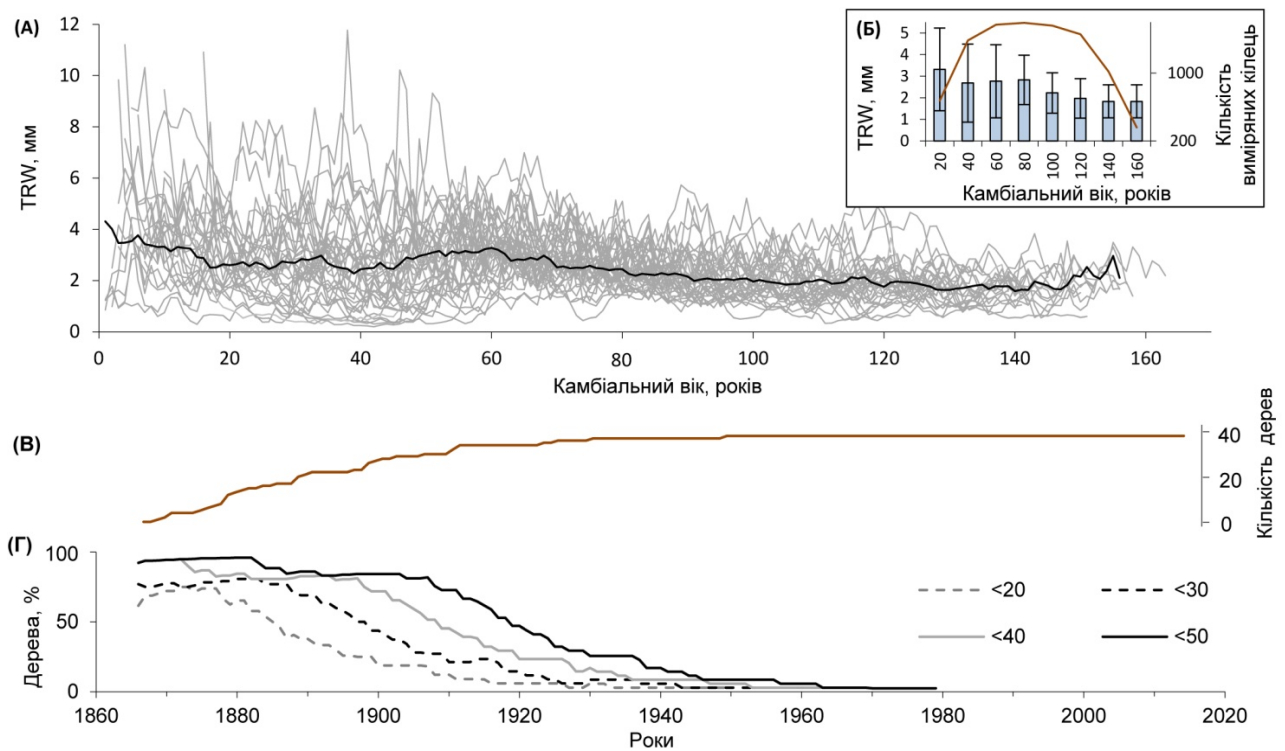


Рис. 3.9. (А) Зміна ширини річного кільця (TRW) *Quercus robur* з камбіальним віком. Сірі лінії — індивідуальні серії, чорна лінія — узагальнена хронологічна серія. (Б) Розподіл ширини річного кільця (стовпчики) та кількості виміряних кілець (лінія) за класами віку. (В) Кількість дерев включених до узагальненої хронології. (Г) Відсоток дерев віком < 20, 30, 40, 50 років включених до узагальненої хронології

Середня кореляція між деревами ( $R_{bt}$ ) та ефективний сигнал ( $R_{eff}$ ) розраховані для всієї хронології становили 0,30 та 0,38, що вказує на наявність помірного кліматичного сигналу (табл. 3.2). Виражений сигнал популяції (EPS) перевищив значення 0,85 в першій 35-ти річний період починаючи з 1880 року, що свідчить про достатню репрезентативність хронології для дендрокліматичного аналізу. Відношення сигналу до шуму (SNR), що є показником якості хронології, досягнув значення вище 20 у 1910 році.

Описова статистика кільцевої хронології *Quercus robur*

Період	Кількість кернів	Кількість дерев	$R_{bt}$	$R_{eff}$	EPS	SNR
1880–1914	62	34	0,20	0,23	0,88	7,2
1895–1929	75	38	0,29	0,35	0,95	17
1910–1944	80	39	0,34	0,38	0,96	22,4
1925–1959	82	40	0,32	0,38	0,96	23,5
1940–1974	82	40	0,38	0,46	0,97	33,2
1955–1989	82	40	0,35	0,42	0,97	28,3
1970–2004	82	40	0,29	0,36	0,96	22,5
1880–2015	87	40	0,30	0,38	0,95	21,1

Примітки:  $R_{bt}$  — середня кореляція між деревами,  $R_{eff}$  — ефективний сигнал хронології, EPS — виражений сигнал популяції, SNR — відношення сигналу до шуму

За досліджуваний період (1880–2015 pp.) з 34 кліматичних змінних радіальний приріст значущо ( $p < 0,05$ ) корелював лише з 5: позитивно — з опадами березня поточного року ( $r=0,22$ ) та серпня попереднього вегетаційного періоду ( $r=0,19$ ), температурою травня поточного року ( $r=0,21$ ) та червня попереднього року ( $r=0,19$ ), а також індексами scPDSI травня поточного року ( $r=0,19$ ) (рис. 3.10 А). Кореляційний аналіз для часового інтервалу до 1950 року, тобто до зарегулювання р. Сіверка, показав, що на приріст *Q. robur* позитивно впливали температури травня, опади листопада попереднього року та червня поточного року, але негативно — температури червня (рис. 3.10 Б). З 1950 року сильніший позитивний вплив мали опади березня та доступність ґрунтової вологи травня, а опади жовтня поточного року та температура серпня попереднього вегетаційного періоду мали негативний вплив на приріст *Q. robur* (рис. 3.10 В).

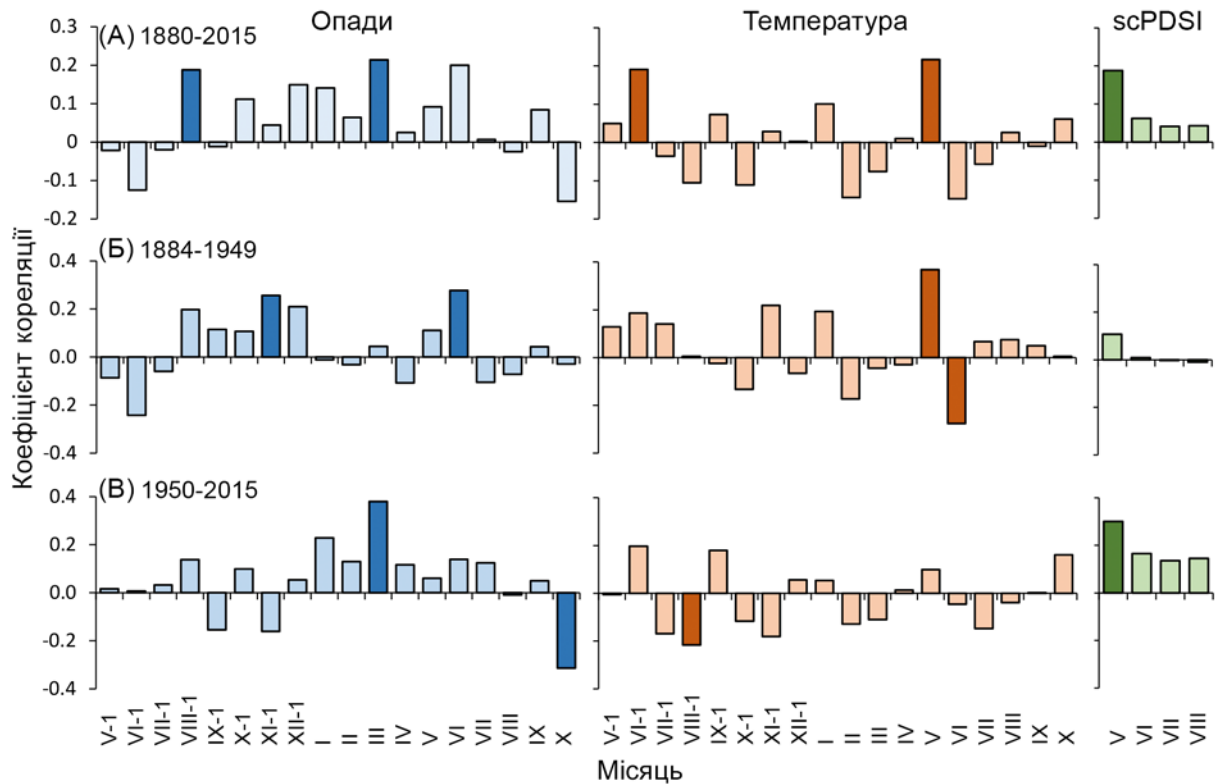


Рис. 3.10. Результат стаціонарної кореляційної функції для хронології *Quercus robur* та кліматичних серій опадів, температури та індексу посухи Палмера (scPDSI). А — аналіз для всього досліджуваного періоду (1880–2015 рр.); Б — для 66-ти річного періоду (1884–1949 рр.) до зарегулювання р. Сіверка в ХХ столітті; В — для 66-річного періоду (1950–2015 рр.) зарегулювання річки. Темним забарвленням позначено значущі ( $p < 0,05$ ) кореляції

Використання кореляційної функції з 35-ти річним рухомим вікном дозволило встановити, що 12 з 15 місячних змінних опадів корелюють із приростом *Q. robur* протягом одного чи декількох 35-ти річних інтервалів (рис. 3.11). Позитивні кореляції з опадами березня (1934–1999), травня (1886–1934), червня поточного року (1880–1991) демонструють, що зв'язок радіального приросту з опадами, хоча він був нестійким протягом усього інтервалу, є найвиразнішим із поміж кліматичних чинників. З початку 1900-х рр. до середини 1950-х рр. опади червня попереднього вегетаційного сезону негативно корелювали з приростом *Q. robur*. До 1960-х рр. осінньо-зимові опади

(вересень–грудень), у період спокою, позитивно корелювали з приростом, хоча вплив опадів листопаду змінився на негативний після 1960-х рр. Зв'язок між приростом та опадами лютого, квітня та липня поточного року змінювався впродовж досліджуваного періоду. В останні десятиліття значущими були лише кореляції з опадами листопаду попереднього вегетаційного періоду та січня поточного року.

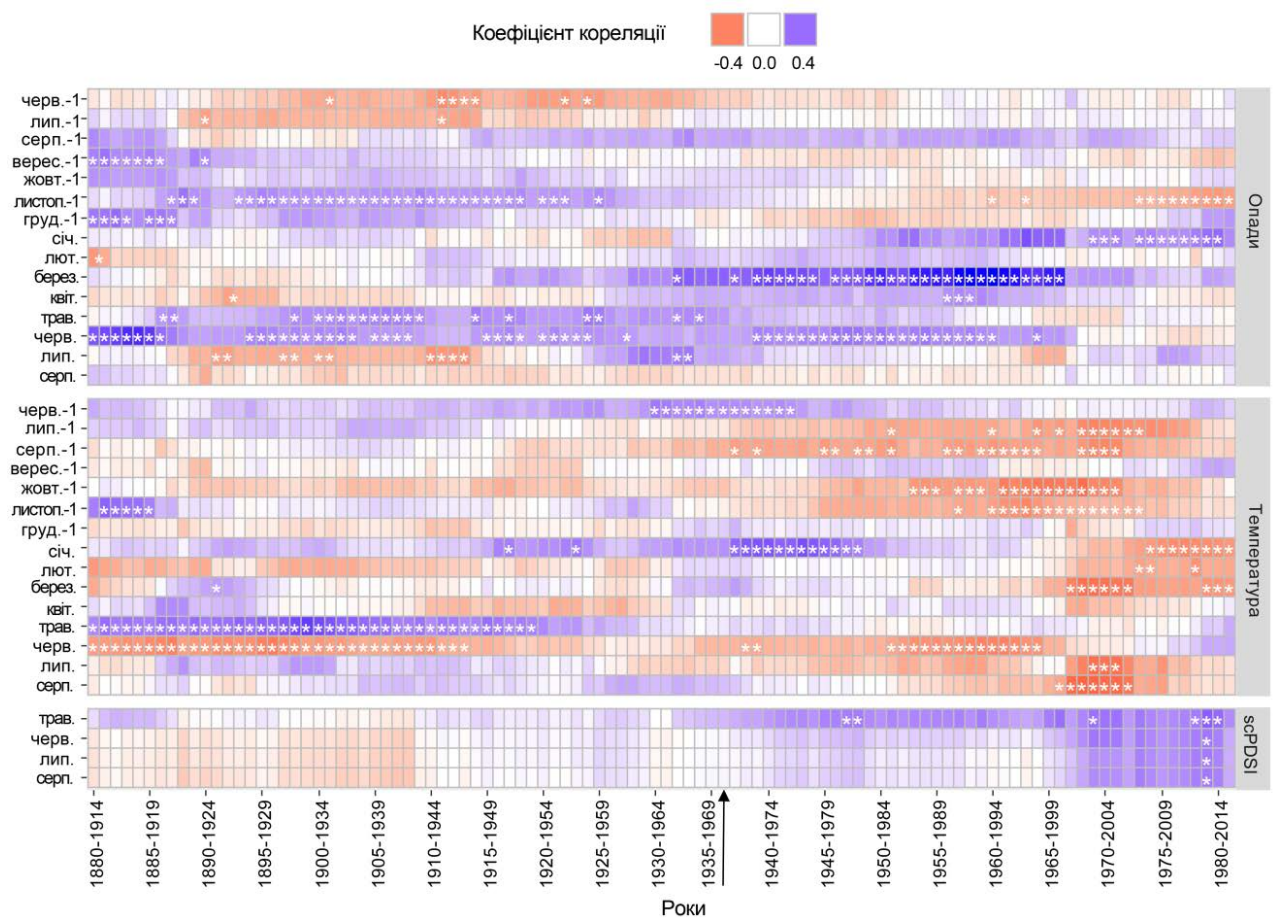


Рис. 3.11. Результати рухомого кореляційного аналізу з 35-ти річним інтервалом для резидуальної хронології радіального приросту *Quercus robur* та кліматичних змінних із червня попереднього вегетаційного періоду (-1) по серпень поточного року. Статистично значущі ( $p < 0,05$ ) негативні кореляції — червоний колір, позитивні — синій. Вертикальна стрілка вказує на початок зарегулювання річки Сіверка

За допомогою рухомого кореляційного аналізу виявлено, що протягом декількох 35-ти річних інтервалів був наявним значущий зв'язок приросту *Q. robur* з 13 з поміж 15 параметрів температури (див. рис. 3.11). Температура червня попереднього вегетаційного періоду мала позитивний вплив на приріст протягом усього досліджуваного періоду та досягла максимальних значень у період 1929–1976 рр. Кореляції з температурою травня (позитивна) та червня (негативна) послабшали після 1960-х та 2000-х рр. Значущий негативний вплив температури попереднього вегетаційного сезону (липень, серпень), переривчастий вплив температур періоду спокою попереднього року (жовтень, листопад, січень–березень) та поточного вегетаційного періоду (липень–серпень) розвинувся переважно після 1950-х рр. Деякі зв'язки приріст–клімат змінилися протягом цього періоду. Зокрема, з 1881 до 1918 року температура листопада попереднього року позитивно корелювала із шириною річного кільця, а з 1954 до 2005 року — негативно. Вплив температури січня на приріст був позитивним у 35-річні періоди з 1916–1950 рр. до 1948–1982 рр. та став негативним в інтервалі 1975–2009 рр. Кореляції між температурою березня поточного року і приростом *Q. robur* змінюються від негативної (1880–1914) до позитивної (1891–1925) та знову до негативної (1967–2015).

Посухи не чинили стійкого значущого впливу на приріст *Q. robur* у Lis (див. рис. 3.11), але scPDSI травня поточного року корелював протягом трьох періодів (1946–1982, 1969–2003, 1979–2014). У період 1979–2013 рр. scPDSI позитивно корелював протягом усього сезону росту *Q. robur*.

Результати тесту Гершунова показали, що лише зміни кореляцій з опадами листопада попереднього року та березня поточного року з приростом не були випадковими.

Зменшення індексів приросту збігалось із посухами лише в травні, червні та серпні (рис. 3.12). На рис. 3.12 (лінії) показано, що значення scPDSI падає нижче рівня помірної посухи (–2,00 до –2,99) уже за один або два роки до нульової точки, тобто до екстремальної посухи (–4), а потім швидко зростає. Помірна та суворя (–3,00 до –3,99) посухи травня–червня відбувалися за рік (–1)

до того, як екстремальна посуха спричиняла значуще ( $p < 0,05$ ) уповільнення приросту *Q. robur*, хоча екстремальні посухи (рік 0) у червні та серпні призводили до зменшення приросту наступного вегетаційного сезону (рік 1).

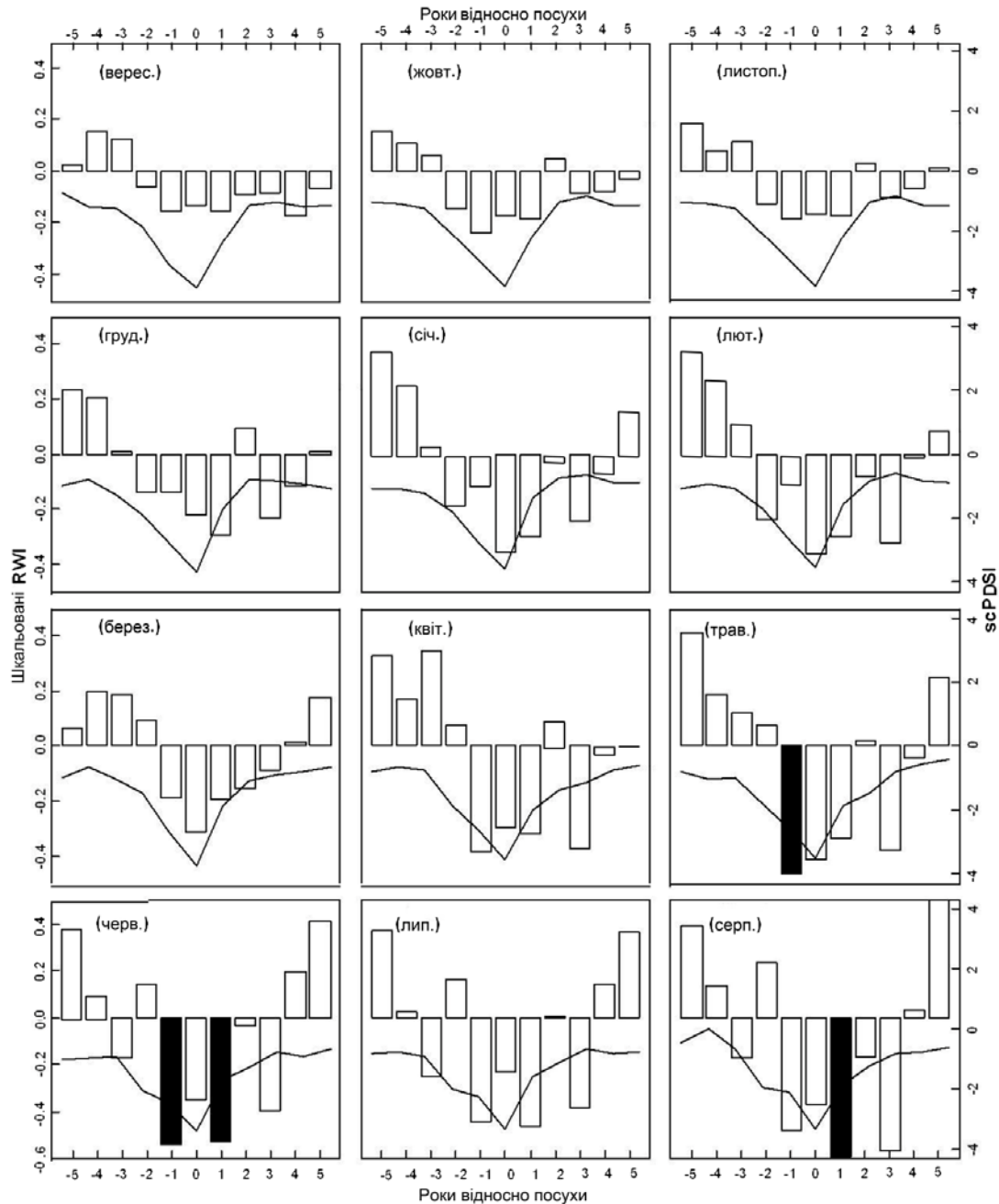


Рис. 3.12. Гістограма реакції радіального приросту *Quercus robur* (стовпці) на посухи виражені у scPDSI (лінії). Ширина річних кілець усереднена методом накладених епох та шкальована. Темний колір стовпців відповідає значущим ( $p < 0,05$ ) відхиленням приросту від середньої ширини річного кільця

У період охоплений хронологією приросту *Q. robur* у Lis найбільші історичні повені Києва були в 1877, 1908, 1917, 1931, 1970 та 1979 роках, що збігалися зі зменшенням приросту в 1877, 1908, 1917 роках, коли вік більше як 50 % досліджених дерев був меншим за 50 років (див. рис. 3.9). Аналіз накладених епох оснований на екстремальних повенях, що відбувалися в період 1877–1917 рр. та 1877–1950 рр. показав значущу негативну реакцію радіального приросту *Q. robur* (рис. 3.13), хоча реакція була сильнішою у першому періоді (1877–1917).

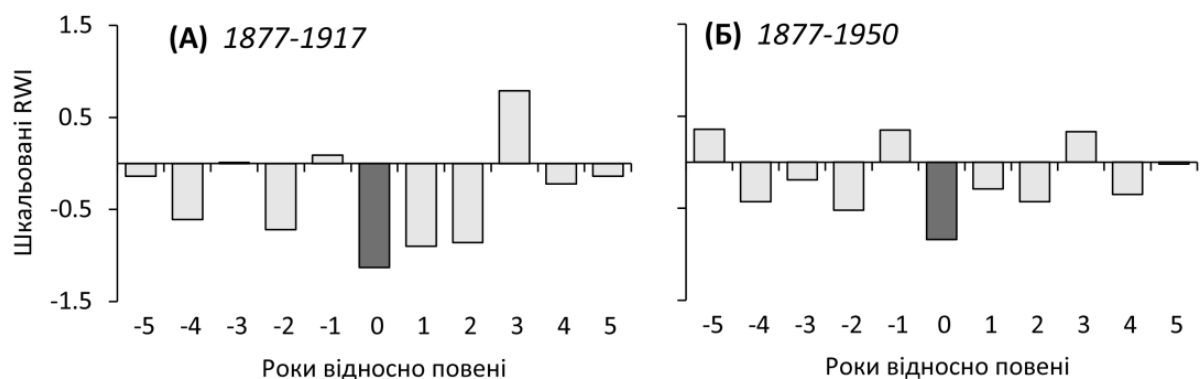


Рис. 3.13. Гістограма реакції радіального приросту *Quercus robur* (стовпці) на повені в період 1877–1917 (А) та 1877–1950 (Б). Ширина річних кілець усереднена методом накладених епох та шкальована. Темне забарвлення вказує на значущість ( $p < 0,05$ ) відхилень від середнього значення ширини річного кільця

За весь досліджуваний період найбільш помітними були позитивні кореляції приросту *Q. robur* з опадами серпня та температурою червня попереднього вегетаційного періоду (див. рис. 3.10 А). Очевидно, цей зв'язок пов'язаний із сезонністю накопичення неструктурних вуглеводів [177], які сприяють діяльності камбію та росту судин, що у *Q. robur* починається до розпускання листя й, отже, до початку асиміляції ним вуглецю [199, 179]. Спекотні умови червня в поточному вегетаційному сезоні призводять до значного зменшення ширини річного кільця *Q. robur* у Lis та, ймовірно, до уповільнення або повної зупинки ксилогенезу [178]. З передчасним



завершенням формування річного кільця пов'язаний початок накопичення неструктурних розчинних цукрів та крохмалю, які забезпечують деревну рослину легкодоступною енергією та речовинами для формування ранньої деревини впродовж наступного вегетаційного сезону [56, 178]. Позитивна реакція приросту на опади серпня попереднього вегетаційного періоду вказує, що заплава Ліс схильна до посух наприкінці літа, а наявність води в цей період може мати вирішальне значення для накопичення вуглецю та неструктурних вуглеводів. Ймовірно, що наявність серпневої посухи пов'язана з природним режимом річки, яка практично висихає всередині літа [10].

За допомогою рухомого кореляційного аналізу із використанням короткого часового інтервалу (35 років) виявлено інші значущі кореляції з опадами попереднього вегетаційного сезону, що пов'язані з відповідними кліматичними трендами (див. рис. 3.11). Наприклад, зв'язок з опадами листопаду перевищує поріг значущості ( $p < 0,05$ ) двічі — уперше коли 35-ти річна згладжуюча крива опадів (див. розділ 2 рис. 2.3 А) падає нижче значення 45 мм, вдруге коли перевищує це значення. Відповідно, кореляція, яка була позитивною змінилася на негативну. У період нестачі атмосферного зволоження наприкінці вегетаційного сезону, збільшення опадів у листопаді сприяють росту коріння, що відображається на формуванні деревини в наступному році [197]. Негативний вплив опадів листопаду, очевидно, пов'язаний із кореневою гіпоксією спричиненою надлишком ґрунтової вологи в період спокою [195]. Тобто отримані нами результати свідчать про докорінну зміну умов зволоження наприкінці сезону вегетації — початку сезону спокою.

Також помітним зв'язком приросту *Q. robur* з опадами періоду спокою є позитивна кореляція з опадами березня, що пов'язано з насиченням ґрунту вологою до початку формування деревини. Оскільки, деревостан Ліс історично затоплювався ранньою весною [10], то велика кількість опадів березня почала чинити позитивний вплив на приріст *Q. robur* лише завдяки зарегулюванню річки Сіверка в 1950-х рр.



Сильні позитивні кореляції з опадами травня–червня поточного року вказують на безпосередній зв'язок приросту з погодними умовами та на потребу дерев у більшій кількості вологи для фізіологічних процесів — випаровування та формування деревини наприкінці весни та початку літа [111, 104]. Навпаки, велика кількість опадів червня може зменшити приріст *Q. robur*, як це показано на рис. 3.11. Така реакція є характерною для заболочених та затоплених місць [76] та ймовірно пов'язана з тенденціями регіонального клімату. Так, хронологія Lis негативно корелювала з опадами липня в період мінімальних значень температури, але пізніше зросла вслід за проміжним потеплінням, що розпочалось наприкінці 1930-х рр.

Позитивна кореляція приросту *Q. robur* з температурою травня не є поширеним явищем та вказує на пом'якшення у Lis впливу регіонального потепління, ймовірно, через ефект охолодження водою разом із затіненням намету деревостану та випаровуванням [130, 98]. Мікро- та мезокліматичні дослідження прибережних екосистем показали, що температура та вологість ґрунту й повітря відрізняються від температури та вологості прилеглих територій [65, 91, 50, 74, 122]. Проте, за допомогою рухомого кореляційного аналізу виявлено послаблення зв'язку приросту *Q. robur* з температурою травня, що є результатом як підвищення температури (див. розділ 2 рис. 2.6 Б для травня) так і зарегулювання Сіверки (див. рис. 3.10 Б, В).

Стійка тенденція підвищення середньої температури повітря в Києві, що спостерігається останніми десятиліттями, проявляється в усі місяці року, але з різницею в початку тренду. Так, температура червня–жовтня зросла наприкінці 1970-х на початку 1980-х, що ймовірно викликало зміни в реакції приросту на клімат, які виявлено як посилення негативної кореляції з температурою після 1800-х рр. У Lis більшість кліматичних факторів втратили контроль над приростом *Q. robur* у 2000-х рр., що може бути пов'язано з уповільненням глобального атмосферного потепління протягом 2001–2014 рр., спричиненого поглинанням тепла поверхнею океану [99].

Зміна гідрології р. Сіверка вплинула на чутливість приросту *Q. robur* до зміни клімату. Зарегулювання річки у Lis в 1950-х рр. призвело до зменшення водності, а утворений підпір води після побудови греблі Канівської ГЕС навіть зумовив можливість тимчасової зміни напрямку течії Сіверки. Кореляція між хронологією *Q. robur* та весняним індексом scPDSI зростає після будівництва каналів та вказує на дефіцит ґрунтової вологи впродовж періоду росту. За допомогою рухомого кореляційного аналізу показано послаблення зв'язку з scPDSI в останній 35-ти річний інтервал, що може бути пов'язано з частковим демонтажем дренажних систем або замуленням дна річки в місцях де вона каналізована. Результати аналізу методом накладених епох вказують на значне зменшення приросту в роки помірної та екстремальної посухи, що відбувалася нерегулярно. Ці дані узгоджуються з дослідженнями проведеними в Сербії в заплаві р. Сава, де низький рівень води та збільшення температури повітря привели до пригнічення росту *Q. robur* протягом останніх 30-ти років [215].

Екофізіологічні та дендрохронологічні результати свідчать, що анатомічні, морфологічні [222, 85], фізіологічні адаптації [103] до кореневої гіпоксії надають можливість *Q. robur* протистояти високому рівню ґрунтової вологи. Повені призводять до формування аномальних судин ранньої деревини в зануреній частині стовбура в молодих та старих дерев [52, 148, 85] та зменшення ширини річного кільця в молодих дерев [85]. Тому, підвищення стійкості до кореневої гіпоксії в дорослих дерев, може пояснити чому *Q. robur* у Lis втратив чутливість до високого рівня води, тісно пов'язаного з повенями Дніпра. Результати аналізу методом накладених епох (рис. 3.13) підтверджують реакцію приросту *Q. robur* на повені, яка змінювалась у зв'язку зі старінням дерев, а не зарегулюванням р. Сіверка.

#### **3.4. Вплив кліматичних чинників на радіальний приріст *Quercus robur* на екологічній межі ареалу в степу**

У степовій зоні природні ліси переважно трапляються в локально сприятливих умовах зволоження — у заплавах річок, балках та байраках [3].

Одним із таких азональних степових лісів є на південному-сході України у м. Донецьк (48°03'53" пн.ш., 37°47'34" сх.д.) — Путилівський ліс, який є залишком природного лісового масиву, що колись входив у мережу прирічкових і байрачних лісів басейну річки Кальміус. Згідно з картографічними матеріалами, доступними з кінця 1700-х рр., генеральним планам до середини 1800-х рр. та карт Т.Ф. фон Шуберта Путилівський ліс існував та експлуатувався для заготівлі деревини задовго до заснування міста. Нині Путилівський ліс займає територію приблизно 80 га з ярами та струмками, що впадають у річку Кальміус. Домінуючими деревними видами є *Q. robur*, *F. excelsior* та *Acer campestre*. Інтродуценти *Robinia pseudoacacia* та *Acer negundo* були посаджені на виснажених рубками ділянках після Другої світової війни, а збережені дерева *Q. robur* великих для лісів степової зони розмірів (діаметр >100 см) являють собою ядро лісу.

Для регіону характерний помірно-континентальний клімат із загальною середньорічною кількістю опадів 524 мм і середньорічною температурою 8,2 °С. Середня температура найхолоднішого місяця (січня) варіює між 6,0 °С та -7,8 °С; у найтепліший місяць (липень) середня температура коливається від 20,9 °С до 22,9 °С. Середня мінімальна температура взимку становить -9 °С. Сніговий покрив тримається за температури нижче 0°С орієнтовано 171 днів та становить в середньому 3–9 см. З ґрунтів у Путилівському лісі переважає чорнозем із глибиною залягання гумусового горизонту приблизно 0,5 м. Висота над рівнем моря коливається від ~200 м до ~250 м.

Протягом зими 2013–2014 рр. відібрано керни з 20 дерев *Q. robur*, що зростали на нижній частині схилу, днищі або вершині байраку Путилівського лісу. Середня ширина річних кілець досліджених дерев становить  $2,06 \pm 0,81$  мм і варіює в межах 1,07–4,33 мм. Встановлено, що у дерев із вершини байраку середня ширина річних кілець значно менша, ніж у дерев нижньої частини схилу байраку ( $1,47 \pm 0,31$  мм у порівнянні з  $2,50 \pm 0,79$  мм,  $p > 0,95$  за тестом Манна-Уїтні-Вілкоксона), і відповідно значно менший кумулятивний діаметр (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Умови рельєфу, діаметр стовбура *Quercus robur* на висоті 1,3 м, середній радіальний приріст, кількість кілець у керні, нижня і верхня межі розрахованого камбіального віку, відношення вік–діаметр

№	Рельєф	Діаметр, см	Середній приріст, мм	Кількість кілець	Вік, років			Вік/ діаметр, років/см
					середній	нижня межа	верхня межа	
1	схил	78,6	3,04	80	105	97	112	1,3
2	схил	71,9	2,41	88	118	108	127	1,6
3	схил	88,5	4,33	57	146	122	169	1,6
4	вершина	51,2	1,30	78	151	134	168	2,9
5*	вершина	55,1	1,22	169	169	169	169	2,8
6	вершина	54,1	1,72	118	140	121	159	2,6
7	вершина	78,3	1,50	167	254	253	254	3,2
8*	схил	73,2	1,96	151	151	151	151	2,2
9	схил	85,3	2,08	144	193	178	207	2,3
10	схил	79,6	1,84	120	173	158	188	2,2
11	схил	77,3	1,66	121	172	151	192	2,2
12	схил	85,9	1,99	146	171	164	177	2,0
13*	схил	92,3	2,38	128	128	128	128	1,4
14	вершина	70,0	1,07	109	191	169	212	2,7
15*	вершина	54,1	1,37	167	167	167	167	3,0
16*	схил	73,2	2,71	113	113	113	113	1,5
17	вершина	76,1	1,20	156	170	169	171	2,2
18	вершина	86,9	1,80	143	192	180	203	2,2
19*	схил	57,6	2,36	106	106	106	106	1,9
20	вершина	85,3	1,87	173	214	204	224	2,5
Середнє по схилу		2,50±0,79						1,83±0,34
Середнє по вершині		1,47±0,31						2,74±0,38
Всього		2,06±0,81						2,24±0,58
р-рівень**		<0,01						0,01

Примітки: \* — повний керн; \*\* — р-рівень за тестом Манна-Уїтні-Вілкоксона; Вік/діаметр — розрахований використовуючи середній оцінений вік

Залежно від умов рельєфу також варіює відношення віку до діаметра *Q. robur*. Так, середнє значення для дерев, що ростуть на схилах складає 1,83±0,34 років/см, а на вершині, тобто на більш сухих ґрунтах — 2,74±0,38 років/см. Середнє значення відношення віку до діаметра для обох

вище згаданих груп становить  $2,24 \pm 0,58$  років/см, а середнє значення радіального приросту —  $2,06 \pm 0,81$  мм деревини за рік. Кількість річних кілець у відібраних кернів — 55–173, а камбіальний вік дерев — 106–169 років (рис. 3.14). Тільки шість дерев *Q. robur* з вибірки містили ядро, усі решта були з пошкодженою серцевиною (див. табл. 3.3).

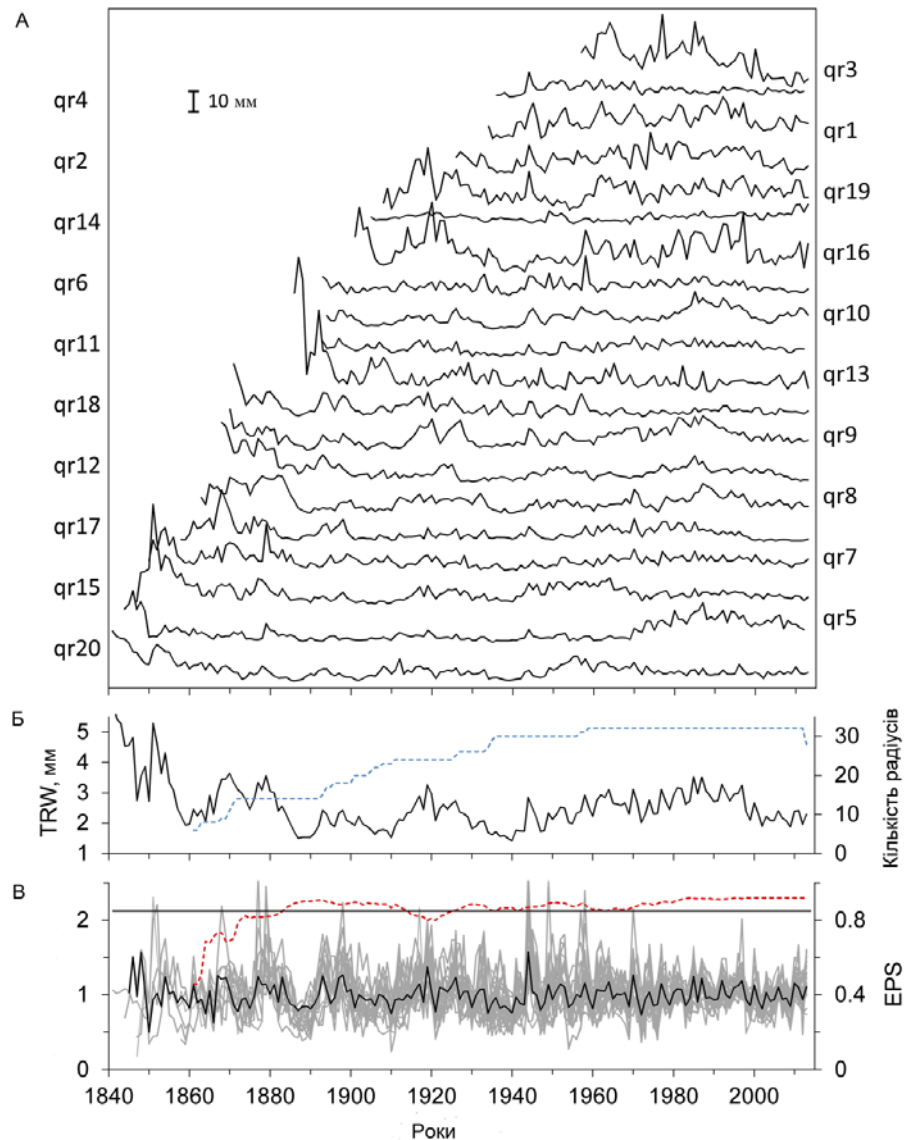


Рис. 3.14. (А) Індивідуальні хронологічні серії ширини річного кільця *Quercus robur* (qr1–qr20) на екологічній межі ареалу в степовій зоні. (Б) Узагальнена хронологія (чорна лінія) ширини річних кілець (TRW), кількість зразків (пунктир). (В) Індивідуальні хронологічні серії з виключеним трендом (сірі лінії), резидуальна хронологія (чорна лінія) виражений сигнал популяції (пунктир). Горизонтальною чорною лінією позначено  $EPS > 0,85$

У 2013 році розрахований камбіальний вік дерев із пошкодженим стовбуром становив 105–254 років. Отже, найстаріші дуби байрачного Путилівського лісу представлені двома віковими групами: 100–150 років та 150–250 років.

У цілому для укладання деревно-кільцевої хронології розглянуто 32 радіуси з 20 дерев *Q. robur*. Варіацію індивідуальних серій зумовлену некліматичними факторами зменшували шляхом застосування функцій: негативної експоненти та/або кубічного сплайну.

Індивідуальні хронологічні серії охоплюють період з 1841 до 2013 рр. тривалістю 179 років. В 1926 році значення вираженого сигналу популяції EPS перевищило 0,85, що є порогом для подальшого дендрокліматичного аналізу.

Середня кореляція між деревами ( $R_{bt}$ ) та середня кореляція між кернами ( $R_{tot}$ ) становить 0,281 і 0,292, відповідно. Значення ефективного сигналу ( $R_{eff}$ ) — 0,309. У межах дослідженого періоду 1936–2012 значення  $R_{bt}$ ,  $R_{tot}$ , та  $R_{eff}$  укладеної хронології з 30 кернів та 19 дерев становило 0,290, 0,303 і 0,313, відповідно. Значення EPS досягло 0,893, що вказує на високу репрезентативність хронології в межах загального інтервалу (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Описова статистика кільцевої хронології *Quercus robur*

Статистичні показники	Індивідуальних серій	Загальний інтервал аналізу
Кількість дерев	20	19
Кількість кернів	32	30
Період	1841–2013	1936–2012
Довжина серії	169	77
Виражений сигнал популяції (EPS)	0,861	0,893
Середні кореляції між кернами ( $R_{tot}$ )	0,292	0,303
між деревами ( $R_{bt}$ )	0,281	0,290
ефективного сигналу ( $R_{eff}$ )	0,309	0,313

У процесі кореляційного аналізу виявлено тісний статистично значущий зв'язок між резидуальною хронологією *Q. robur* і кліматичними факторами в

ступу (рис. 3.15). Значущі позитивні кореляції встановлено з опадами травня поточного року та квітня–червня й негативні з температурою квітня та червня–липня.

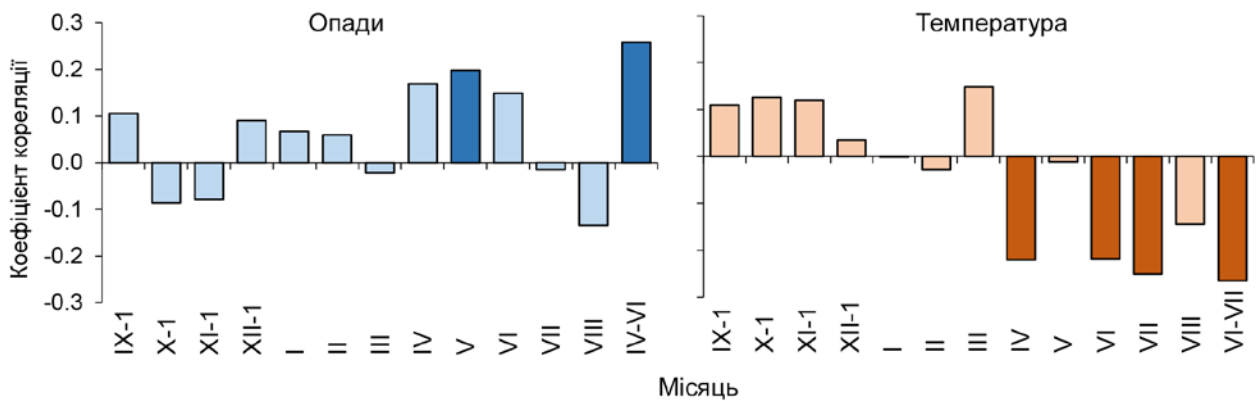


Рис. 3.15. Результат стаціонарного кореляційного аналізу для хронології *Quercus robur* та кліматичних змінних опадів та температури з вересня попереднього вегетаційного періоду (IX-1) по серпень поточного року (VIII) у степовій зоні. Темне зафарбування позначає статистичну значущість ( $p < 0,05$ ) кореляції.

Рухомий кореляційний аналіз показав, що зв'язок приросту *Q. robur* з кліматичними чинниками змінювався з часом. Протягом усього досліджуваного періоду 1937–2012 рр. було кілька інтервалів зі значущими кореляціями (рис. 3.16). Вплив опадів на приріст *Q. robur* переважно позитивний, що підтверджується значущими кореляціями листопаду (1952–1984) та грудня (1954–1983), що передують сезону вегетації, а також лютого поточного року (1956–1999), березня (1945–1984), квітня (1954–1983 та 1975–2004) і травня (1948–1999). Разом із цим, виявлено негативний вплив опадів жовтня (1940–1959) та листопаду (1984–2012) попереднього року, а також серпня поточного року (1937–1966).

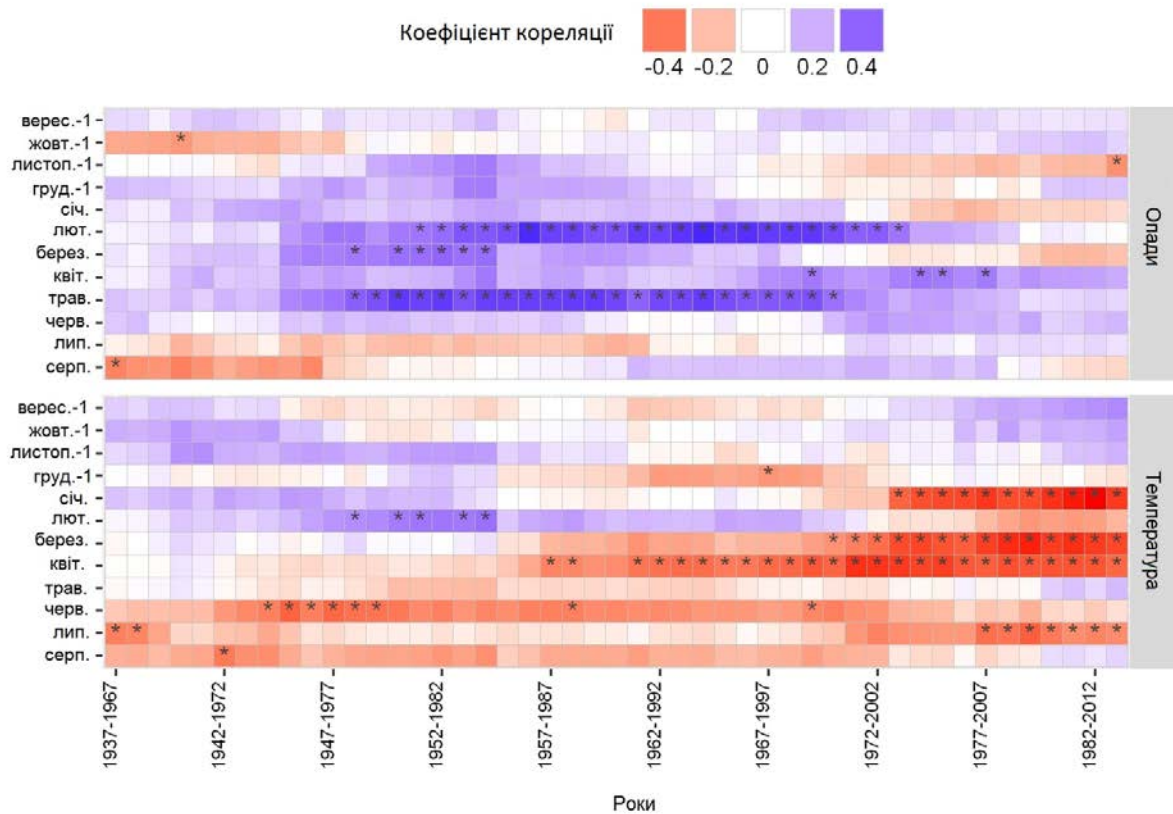


Рис. 3.16. Результат рухомого кореляційного аналізу з 31-річним інтервалом для резидуальної хронології *Quercus robur* та кліматичних змінних із вересня попереднього вегетаційного періоду (-1) по серпень поточного року. Статистично значущі кореляції позначено астериском (\*)

Загалом температура мала негативний вплив на приріст *Q. robur*. Рухомий кореляційний аналіз виявив значущі кореляції температури січня й березня (1973–2012), квітня (1961–2012), червня (1943–2000 з проміжками) та липня (1937–1967, 1977–2007). Приріст позитивно корелював із температурою вересня попереднього вегетаційного періоду (1984–2012), жовтня (1940–1969) та листопада (1941–1971), а також лютого поточного року (1950–1984), але загалом виявлено десять значущих кореляцій. Результат тесту Гершунова показав, що зміни в кореляціях між хронологією *Q. robur* і середньою температурою січня ( $p < 0,05$ ), лютого ( $p < 0,1$ ), березня ( $p < 0,05$ ), квітня ( $p < 0,1$ ) й опадами лютого та серпня ( $p < 0,1$ ) не можна вважати стійкими процесами.



Як було з'ясовано [167] дослідженням деревам *Q. robur* притаманні цикли ~33, ~65, ~44, ~22-річні цикли приросту, основний із яких, 30–35 років, домінує в спектрі міцності і формально відповідає кліматичному циклу Брукнера, BEL-циклу. Тому в аналізі метеорологічних умов зростання *Q. robur* методом накладених епох ми використовували період — 35 років.

У роки найбільш інтенсивного приросту (нульова точка на осі абсцис гістограми) середньорічна температура була як правило нижчою від середнього довгострокового значення (рис. 3.17 А). Доволі низька середня температура була рідкісною й траплялася в нульовій точці або 10 років тому (рис. 3.17 Б). Опади в ці періоди трохи перевищували середньорічні значення (рис. 3.17 В). Отже, сприятливі умови для росту *Q. robur* характеризувалися температурами нижчими за середні та помірними опадами.

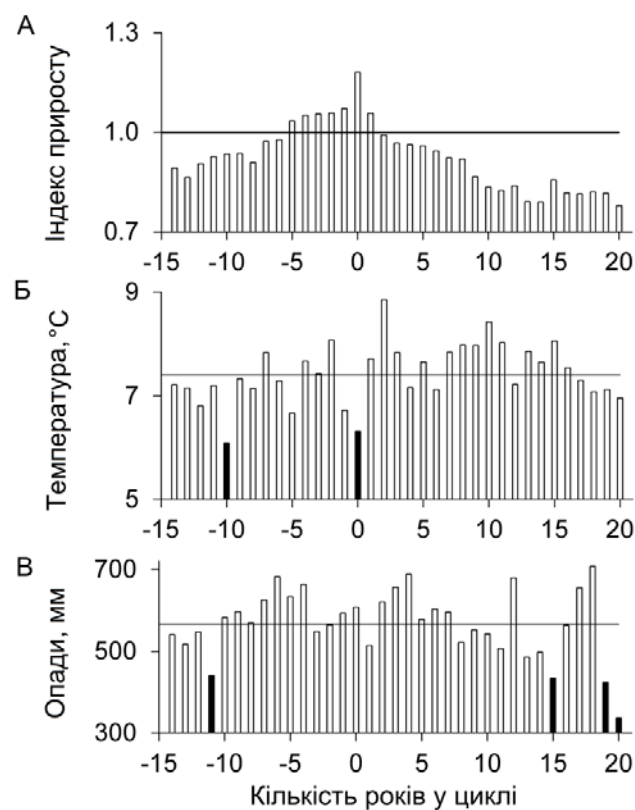


Рис. 3.17. Індеси приросту (А), середньорічні температури (Б), річна кількість опадів (В) у 35-річному циклі радіального приросту *Quercus robur*. Чорне забарвлення стовпчиків вказує на значущу ( $p < 0,05$ ) відмінність від середніх значень. Горизонтальні лінії позначають середні значення.

На рис. 3.18 показано різницю кліматичних даних між роками посиленого та зменшеного приросту. Значущі різниці були пов'язані з температурою у квітні ( $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та червні ( $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та з опадами в травні (30 мм).

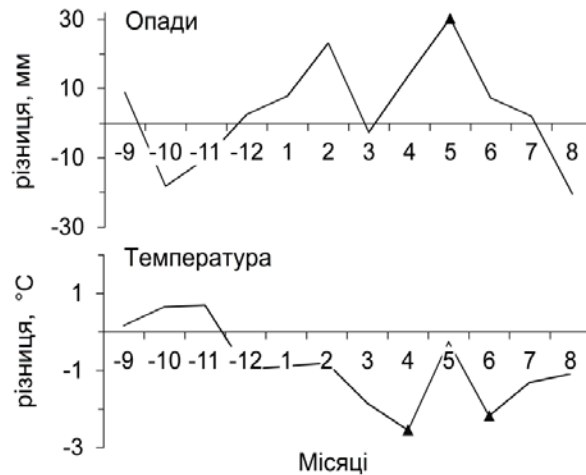


Рис. 3.18. Різниця опадів (зверху) та температури (знизу) між роками високого й низького темпів приросту. Трикутники ( $\blacktriangle$ ) позначають значущу різницю при  $p < 0,05$ .

Середній радіальний приріст досліджених *Q. robur* Путилівського лісу становить 2,06 мм і варіює від 1,47 мм у дерев, що ростуть на вершині яру, до 2,50 мм у дерев, що ростуть вздовж нижніх схилів. Ці дані узгоджуються з приростом *Q. robur* в багатьох місцях зростання в Центральній Європі [108, 89], що можна пояснити сприятливими локальними умовами ґрунтового зволоження в Путилівському лісі хоча б у окремі місяці.

На зв'язок приросту з кліматичними факторами можуть впливати такі умови: 1) поява нового стресового фактору, наприклад, антропогенне забруднення [150], зміна рослинного угруповання внаслідок вирубки [202] або інша діяльність людини, 2) природні причини пов'язані зі старінням дерев [193] і/або 3) зміни умов навколишнього середовища, що пов'язані зі змінами клімату [114].

Прохолодна, волога погода на початку вегетаційного періоду була найбільш сприятливою для радіального приросту *Q. robur* в деревостанах

Центральної Європи [136, 89]. Незважаючи на відсутність даних щодо ксилогенезу *Q. robur* у степовій зоні, можна припустити, що порівняно низькі температури березня можуть призвести до затримки активації камбію та формування ранньої деревини, що може запобігти пошкодженню клітин камбію та судин ранньої деревини весняними заморозками. Зміщення негативної кореляції температур із червня (до 1980-х рр.) до квітня (з 1970-х рр.) і березня (з кінця 1980-х рр.) також може свідчити про зсув фенології *Q. robur*. Середній показник зсуву весняної фенології деревних видів у Європі — 2,5 дні на десять років [158]. Збільшення негативного впливу весняних температур на приріст *Q. robur* в нашому дослідженні може бути результатом зменшення доступності ґрунтових вод під час розпускання листя і відновлення роботи камбію, що призводить до збільшення періоду дефіциту вологи і, як наслідок зменшення радіального приросту.

Хоча дослідження ксилогенезу *Q. robur* проводились у дуже різних умовах, загальні висновки можна використати, щоби хоча б частково пояснити наші результати. Згідно з дослідженнями [199, 179] фенологія формування деревини у *Q. robur* значно відрізняється в межах його природного ареалу. Проте початок формування судин ранньої деревини спостерігався у квітні в обох місцях досліджень — Іспанії та Нідерландах. Посушливі або посушливі та теплі погодні умови в період ксилогенезу призводять до зменшення кількості судин ранньої деревини у *Q. robur* [105], що обмежує провідну здатність дерев, а отже, допомагає пристосуватися до посушливих умов та умов із помірним зволоженням. Збільшення температури повітря та збереження ґрунтової вологи сприяло радіальному приросту у *Q. robur* та в меншій мірі у *Q. petraea* та *Q. pubescence* [105]. Пригнічення *Q. robur* під час посухи відбувається в результаті зменшення доступної вологи в ґрунті. Пристосування до посушливих умов відбувається вже на початку сезону росту — високі весняні температури підвищують чутливість камбію до ауксину, що стимулює формування вузьких судин [51]. Можна припустити, що в умовах степу високі температури квітня впливають на радіальний приріст *Q. robur* збільшуючи

чутливість камбію до ауксину. Це ймовірно пристосувальна реакція, оскільки призводить до формування дрібніших судин, які здатні проводити воду за умов високого негативного тиску, що виникає внаслідок дефіциту ґрунтової вологи.

Деревно-кільцева хронологія Путилівського лісу має стабільну в часі кореляцію з температурою червня (негативну) та з опадами квітня–червня (позитивну). Метеорологічні умови червня–липня мають сильний вплив на приріст дерев як всередині [59, 197, 108, 136, 89] так і в периферійній частині [193, 129, 154] ареалу виду. Це може бути пов'язано із сезонним підвищенням температури, фотоперіодом, дефіцитом вологи та евапотранспірацією під час інтенсивного росту, коли дерева найбільш чутливі до наявності вологи [159, 211]. Оскільки формування судин ранньої деревини закінчується в червні, літні посухи більш ймовірно впливають на дерева в період формування пізньої деревини, скорочуючи фазу формування судин ранньої деревини або призводячи до утворення вужчих судин. Проте дослідження ксилогенезу *Q. robur* в степу є необхідними для точної оцінки кліматичних чинників фізіологічних процесів під час різних етапів ксилогенезу.

Дефіцит вологи влітку може призвести до зменшення водного потенціалу листя і втрати провідності судин через емболію [226] та до незворотного припинення росту в поточному вегетаційному сезоні [105, 211]. Подальше зменшення кількості опадів або збільшення температури може не впливати на ширину річного кільця в поточному вегетаційному сезоні. Це пояснює відсутність стійких зв'язків приросту *Q. robur* в степу з метеорологічними умовами з липня до кінця вегетаційного періоду.

Зв'язок приросту *Q. robur* з кліматом проявляється також у подібності їхніх періодичних структур [167]. Основний для приросту дерев ~35-річний період виявився суміжним із кліматичним циклом Брюкнера та Егесона та тривалістю сонячного циклу Локера — BEL-цикл [125]. У Східній Європі BEL-цикл проявляється у вигляді повільних періодичних коливань літніх та зимових температур [41]. У нашому дослідженні хронологія *Q. robur* охоплює 180 років, тому 35-річний цикл повторюється більш ніж тричі протягом досліджуваного

періоду. Враховуючи вік досліджених дерев можна припустити, що низькочастотні коливання в хронології *Q. robur* можуть бути пов'язані з процесом старіння. Проте наявність ВЕЛ-циклу в періодичних структурах деяких кліматичних змінних, особливо в температурах березня та вересня та річної кількості опадів, свідчить про те, що вони є водіями 30–40-річного ритму приросту *Q. robur*.

За останні 150 років у кліматі України спостерігаються періодичні коливання з тенденцією до потепління з одночасним зменшенням приросту в степовій зоні *Q. robur*. З 1998 року, а особливо з 2006, збільшення температури супроводжувалося посушливим періодом із кінця весни до серпня або вересня. Періодичні літні посухи можуть призвести до формування дрібніших судин пізньої деревини [105], хоча зменшення розмірів судин робить дерево менш вразливим до кавітації, що зменшує здатність дерева фіксувати вуглець та підвищує ризик загибелі рослини [226]. Екстремальні посухи призводять до раннього припинення ксилогенезу та початку накопичення запасних, неструктурних, вуглеводів [178].

Наші результати не показали високої кореляції з температурами грудня, хоча морози в цей місяць негативно впливали на приріст *Q. robur* в Польщі [184]. Заморозки не є рідкісним явищем на північному сході України, але вони частіше пошкоджують інтродуковані види, ніж аборигенні. Проте виявлено, що середня температура лютого позитивно корелює з хронологією *Q. robur* в період 1950–1984 рр., що свідчить про негативний вплив морозів у цьому місяці. Для кращого розуміння зв'язку приросту *Q. robur* з кліматом у степу в майбутніх дослідженнях необхідно розглянути більш широкий спектр кліматичних параметрів та історії землекористування.

Методи ведення лісового господарства, можуть допомогти забезпечити життєздатність дослідженого урбанізованого середовища. Високі температури повітря можуть призвести до зменшення вологості ґрунту, негативний вплив якого можна попередити шляхом посадки деревних порід у нижньому ярусі, щоби заповнити прогалини під наметом деревостану [5]. Оскільки ущільнення

грунту посилює негативний вплив низької доступності ґрунтових вод, необхідно зменшити рекреаційне навантаження, особливо на вершинах ярів, де направлення потоку від найближчої водойми є проблематичним.

### Висновки до розділу

1. У період до зарегулювання рівень Дніпра в квітні–травні був головним і специфічним фактором у заплавах біотопах, що значущо ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) позитивно впливав на радіальний приріст, а також ширину ранньої деревини *Q. robur*. Зв'язок із цим чинником порушило введення в експлуатацію гребель Київської та Канівської ГЕС. У заплавах біотопах розташованих у безпосередній близькості до Дніпра зв'язок із рівнем води послабшав і втратив значущість. У біотопі урочища Бичок, який відокремлений від берега забудовою та розмежований автомобільною дорогою, зв'язок приросту *Q. robur* з рівнем Дніпра змінився на значущий ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) негативний, що свідчить про збільшення чутливості біотопу, ймовірно через зміну локальної гідрології ґрунтових вод у результаті забудови.

2. Значущий ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) позитивний вплив температури та загалом її більше значення для приросту *Q. robur* в заплаві до зарегулювання Дніпра за опади підтверджує раніше отримані результати в заплавах Центральної Європи. Значущий ( $p < 0,05$ ) негативний вплив відмічено лише для температури червня попереднього сезону та ранньої деревини в біотопі урочища Бичок, а також температури поточного року ( $p < 0,05$ ) та радіального приросту в заказнику «Лісники», наразі запропонувати пояснення цьому не вдалося. Значущий ( $p < 0,05$ ) позитивний вплив температури листопаду на формування ранньої деревини в заказнику «Жуків острів» може бути пов'язаним із продовженням періоду вегетації, а саме росту коріння, що сприяє формуванню ранньої деревини в наступному сезоні. Після зарегулювання Дніпра зв'язок приросту з температурами в заплавах біотопах послабшав. Значущий ( $p < 0,05$ ) зв'язок відмічено лише між приростом пізньої деревини в біотопі заказника «Жуків острів» та температурою червня, що свідчить про надлишок вологи в ґрунті.

3. До зарегулювання Дніпра важливість опадів у період росту обмежувалося лише значущим ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ) позитивним впливом у серпні попереднього вегетаційного сезону, що не є специфічним для заплави і вказує на нестачу вологи в ґрунті наприкінці ксилогенезу або після його завершення. Після зарегулювання вплив опадів перетворився на негативний і був значущим ( $p < 0,05$ ) лише для ширини ранньої та пізньої деревини біотопу урочища Бичок у листопаді та січні, що передували вегетаційному сезону. Це також вказує на надлишок вологи в ґрунті через ускладнений дренаж та ущільнення ґрунту в результаті забудови.

4. Для заказника «Лісники», біотопу заплави приток Дніпра специфічним був значущий ( $p < 0,05$ ) зв'язок радіального приросту з температурою — позитивною в травні ( $r = 0,37$ ) та негативною в червні ( $r = -0,28$ ), що свідчить про контрастність умов зволоження протягом сезону вегетації — надлишку вологи в період формування ранньої деревини та її нестачі пізніше в сезоні. У другому періоді цей зв'язок послабшав. Провідним лімітуючим чинником для *Q. robur* стала посуха в період межені, що обмежувала приріст у наступному сезоні.

5. Поза заплавою в діброві біотопу урочища Феофанія приріст *Q. robur* переважно лімітувався опадами, що позитивно впливали на радіальний приріст. Приріст ранньої деревини стимулювався опадами серпня попереднього сезону ( $p < 0,05$ ), приріст пізньої деревини був пов'язаним з опадами травня ( $p < 0,05$ ). Вплив температури на приріст ранньої та пізньої деревини був негативним і значущим лише в серпні ( $p < 0,05$ ), жовтні та грудні ( $p < 0,01$ ), що передували сезону росту. Це свідчить про негативний вплив посушливих умов у кінці вегетаційного сезону або в період спокою, які передують приросту. Після зарегулювання Дніпра значущим лишився позитивний зв'язок радіального приросту з опадами грудня ( $p < 0,05$ ) та квітня ( $p < 0,01$ ) та негативний із температурами липня–серпня попереднього сезону ( $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$ ).

6. На екологічній межі ареалу в степовій зоні сприятливими умовами для росту *Q. robur* є відносно низькі температури повітря й помірні опади. Приріст *Q. robur* здебільшого лімітується посушливими умовами на початку

вегетацийного сезону, що є основною відмінністю байрачної діброви від заплавних біотопів у Києві. Для заплавних дібров у Києві зв'язок приросту *Q. robur* з кліматом є ближчим до популяцій із північної частини ареалу — Прибалтики, що також показано PCA аналізом власних та хронологій із Міжнародного банку даних.

Матеріали, висвітлені у розділу, опубліковані у:

Netsvetov, M., & **Prokopuk, Yu.** (2015, October). Pedunculate oak longevity and growth-to-climate relation in city forest at the Western Steppe. Int. Sc. Conf. on Dendrochronology Climate and Human History in the Mediterranean Basin, Turkey: Antalya, P. 183–184.

**Прокопук, Ю.С.** (2017, травень). Вплив зміни клімату на заплавні діброви Києва. Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених. Київ, 138–139.

**Prokopuk, Yu.,** Krylov, Ya., Didukh, Ya., & Netsvetov, M. (2017, September). Climate change vulnerability of floodplain oak forests in the city of Kyiv. In K. Sohar, S. Toomik, D. Eckstein, A. Läänelaid (Eds.) Book of Abstracts. EuroDendro Conference 2017, Estonia: Tartu, 111.

Netsvetov, M., Sergeyev, M., Nikulina, V., Korniyenko, V., & **Prokopuk, Y.** (2017). The climate to growth relationship of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*, 44, P. 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004>.

Netsvetov, M., **Prokopuk, Y.,** Didukh, Y., & Romenskyu, M. (2018). Climatic sensitivity of *Quercus robur* L. in floodplain near Kyiv under river regulation. *Dendrobiology*, 79, 20–33. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.079.003>.

Netsvetov, M., **Prokopuk, Y.,** Puchałka, R., Koprowski, M., Klisz, M., & Romenskyu, M. (2019). River regulation causes rapid changes in relationships between floodplain oak growth and environmental variables. *Frontiers Plant Science*, 10, 96. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00096>.



## РОЗДІЛ 4

### РЕКОНСТРУКЦІЯ ЩОРІЧНОЇ АКУМУЛЯЦІЇ ВУГЛЕЦЮ У СТОВБУРАХ *QUERCUS ROBUR* В ЗАПЛАВІ ДНІПРА ТА ПОЗА НЕЮ

Оцінка фіксації вуглецю лісовими екосистемами здійснюється переважно непрямими методами за матеріалами лісового кадастру, так як прямі методи є досить складними та вартісними. Серед поширених непрямих методів є використання різноманітних моделей або рівнянь біомаси та перерахунок об'єму запасу деревини в органічну масу або масу вуглецю за допомогою конверсійних коефіцієнтів [66, 208]. Більшість досліджень фітомаси в Україні здійснюється за методикою П. І. Лакиди [27], що передбачає закладку тимчасових пробних площ.

Щорічне накопичення вуглецю наземною біомасою також можна оцінити ретроспективно — дендрохронологічними методами [190, 53]. Деревно-кільцева хронологія є прямим показником радіального приросту стовбура, який тісно пов'язаний із річним формуванням деревини та відповідно накопиченням вуглецю [62].

Використаний у цьому розділі метод реконструкції щорічного депонування вуглецю в стовбуровій деревині *Q. robur* є досить зручним, хоча має деякі недоліки:

- не враховує зниження щільності деревини з віком, у дерев *Q. robur* після 100–200-річного віку зменшується щільність біля серцевини;
- не враховує щорічну варіацію щільності деревини, рання та пізня деревина мають різну щільність;
- не враховує зміну щільності деревини річних кілець із висотою.

#### 4.1. Вікові деревостани

На основі аналізу приросту річних кілець реконструйовано щорічне накопичення вуглецю вікових дерев *Q. robur* в заплавних біотопах Києва (Вус, Dub, Zhu, Lis) та в біотопі поза заплавою, але в тих же кліматичних умовах

(Feo(ref)). Для оцінки щорічної акумуляції вуглецю в стовбуровій деревині *Q. robur* з загальної вибірки дерев були відібрані керни, що містили або були близькі до серцевини.

Станом на 2015 рік досліджені дерева мали вік від 156 до 274 років в Feo(ref), 72 до 180 років в Вус, від 75 до 195 років в Zhu, від 151 до 175 років в Dub та від 116 до 154 років в Lis. Середній річний радіальний приріст у дерев, що зростають в Zhu становив  $2,32 \pm 1,371$  мм, в Lis —  $2,07 \pm 1,233$  мм, в Вус —  $2,00 \pm 1,115$  мм, в Dub —  $1,99 \pm 1,023$  мм. Середня ширина річного кільця дерев Feo(ref) складала  $1,94 \pm 0,848$  мм (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Вік, діаметр та радіальний приріст досліджених дерев

Місце збору	Кількість дерев	Середня ширина річного кільця, мм $\pm$ стандартне відхилення	Вік, років		Діаметр, см	
			Мін.	Макс.	Мін.	Макс.
Вус	11	$2,00 \pm 1,115$	72	180	63	89
Dub	9	$1,99 \pm 1,023$	151	175	72	95
Zhu	13	$2,32 \pm 1,371$	75	195	58	101
Lis	16	$2,07 \pm 1,233$	116	154	59	85
Feo(ref)	35	$1,94 \pm 0,848$	156	274	58	120

Примітки: Вус — урочище Бичок, Dub — урочище Дубище, Zhu — заказник «Жуків острів», Lis — заказник «Лісники», Feo(ref) — урочище Феофанія. Діаметр дано на висоті 1,3 м з урахуванням товщини кори.

Середня площа поперечного перерізу досліджених дерев в Вус становила  $0,345 \text{ м}^2$  (рис. 4.1 А) та варіювала в межах  $0,217\text{--}0,552 \text{ м}^2$ , в Dub —  $0,363 \text{ м}^2$  ( $0,200\text{--}0,499 \text{ м}^2$ ), в Zhu —  $0,347 \text{ м}^2$  ( $0,121\text{--}0,528 \text{ м}^2$ ), в Lis —  $0,266 \text{ м}^2$  ( $0,177\text{--}0,369 \text{ м}^2$ ), у Feo(ref) —  $0,668 \text{ м}^2$  ( $0,228\text{--}1,549 \text{ м}^2$ ).

Результати дослідження показали, що загальна маса фіксованого вуглецю в стовбурі *Q. robur* збільшувалась із віком дерев (рис. 4.1 Б). У середньому у віці 25 років у стовбуровій масі дерев Zhu накопичено 36 кг вуглецю, в Вус —

25 кг, в Lis — 21 кг, в Dub — 18 кг. Середня маса акумульованого вуглецю в деревах, що зростають в Feo(ref) становила приблизно 23 кг.

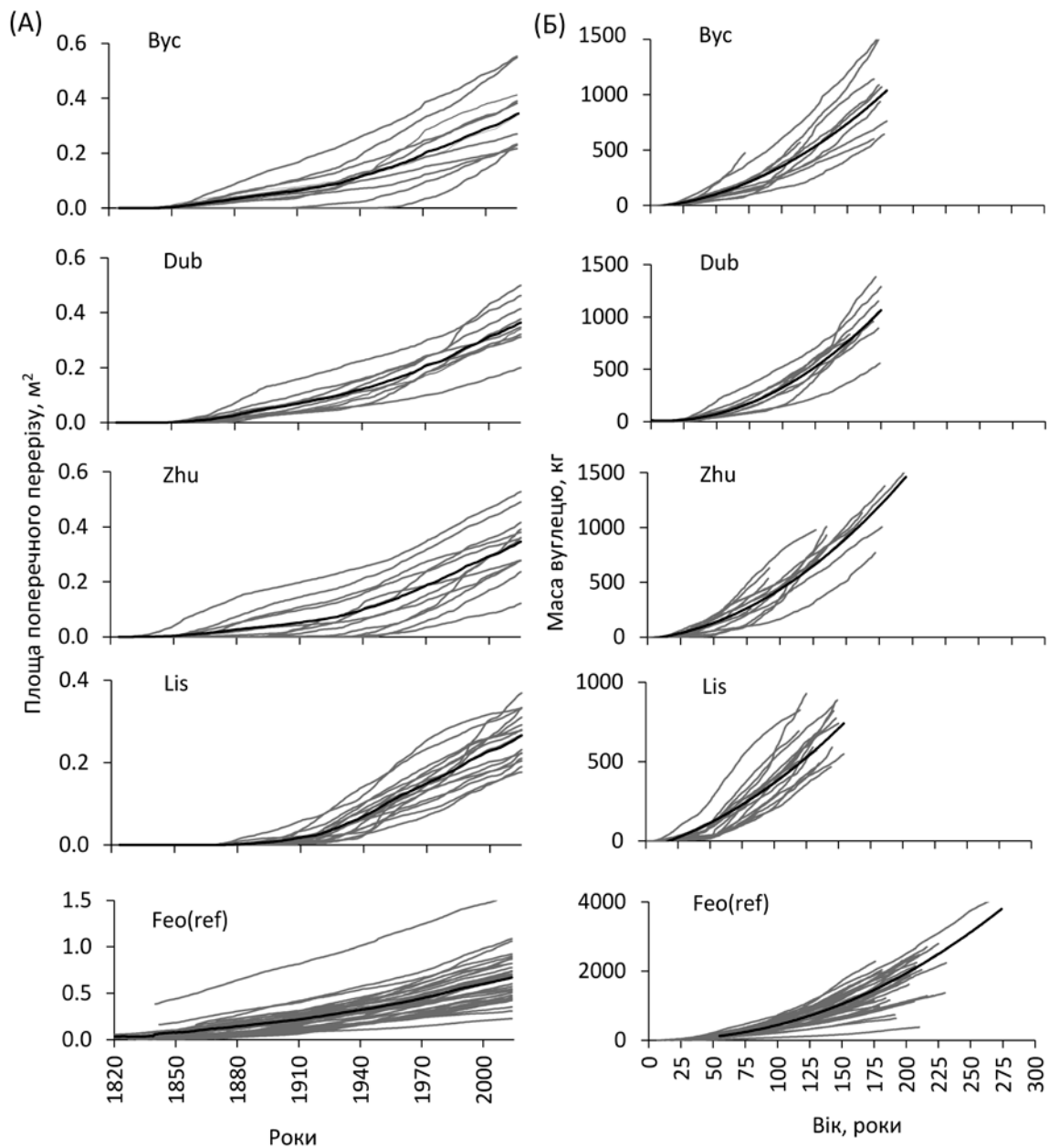


Рис. 4.1. Кумулятивні криві площі поперечного перерізу (А) та маса накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur* залежно від віку (Б). Вус — урочище Бичок, Dub — урочище Дубище, Zhu — заказник «Жуків острів», Lis — заказник «Лісники», Feo(ref) — урочище Феофанія. Сірі лінії — залежності для окремих дерев, чорні лінії — середнє (А) або згладжене (поліном другого ступеня для заплав, степенева для Feo(ref)) середнє (Б) для деревостанів

Дерева *Q. robur* у віці 50 років у середньому акумулювали 129 кг вуглецю в Zhu, 114 кг в Lis, по 101 кг в Feo(ref) та Вус та 72 кг в Dub. Середня маса депонованого вуглецю дерев у віці 75 років становила 262 кг в Zhu, 239 кг в Feo(ref), 222 кг в Lis, 210 кг в Вус та 175 кг в Dub. У віці 100 років у стовбуровій деревині *Q. robur* було акумульовано 441 кг вуглецю в Feo(ref), 435 кг в Zhu, 366 кг в Lis, 353 кг в Вус та 325 кг в Dub. У віці 125 років у середньому фіксовано 710 кг вуглецю в Feo(ref), 648 кг в Zhu, 530 кг в Вус, 526 кг в Lis та 524 кг в Dub. Середня маса акумульованого вуглецю стовбурами *Q. robur* у віці 150 років становила 1048 кг в Feo(ref), 902 кг в Zhu, 770 кг в Dub, 740 кг в Вус, 708 кг в Lis (рис. 4.1 Б).

Щорічне накопичення вуглецю в стовбуровій деревині варіює з року в рік, але в цілому має зростаючий тренд протягом усього досліджуваного періоду як в заплавних лісах так і в поза заплавою. У вікових заплавах до 1930-х років спостерігається рівномірне зростання маси фіксованого вуглецю, а після — щорічно коливається, що пов'язано з віковим трендом приросту площі поперечного перерізу (рис. 4.2). Піки максимально накопиченого вуглецю припадають на 1969–1971 рр., 1996–1998 рр. та 2013 р. — до 15 кг, мінімальна маса фіксованого вуглецю припадає на 1972–1974 рр. та 2002–2004 рр. — до 9 кг. З 1972 до 1974 роки спостерігалася посуха та мінімальні значення рівнів води в Дніпрі (Вишневський, 2005), а 2002–2004 рокам передувала одна із суворіших посух за останні десятиріччя (див. рис. 2.6 розділу 2). Максимальні значення накопиченого вуглецю характерні для років, що передували посухам і характеризувались оптимальними умовами для росту *Q. robur*.

Середні значення щорічного депонування вуглецю в стовбурах *Q. robur* Feo(ref) досягають свого максимуму в 1980–1990 рр. (рис. 4.2). За цей десятирічний період у стовбурі одного дуба в середньому нагромаджено 191 кг вуглецю, що відповідає приблизно 16–20 кг/рік (рис. 4.2). Впродовж 1990–2000 рр. спостережено спад вуглецедепонувальної функції *Q. robur*, середня маса нагромадженого карбону за ці десять років становить 14 кг/рік.

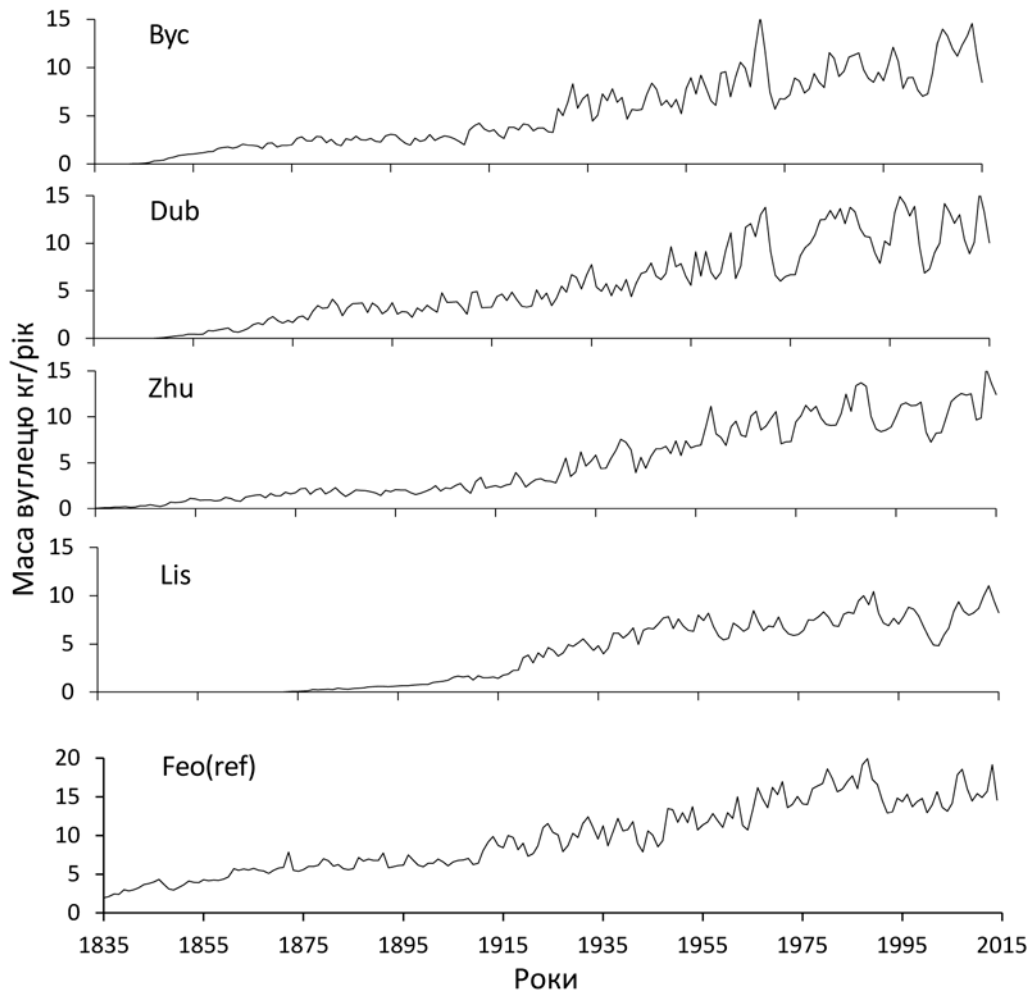


Рис. 4.2. Хронологія середньої річної маси вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur*. Вус — урочище Бичок, Dub — урочище Дубище, Zhu — заказник «Жуків острів», Lis — заказник «Лісники», Feo(ref) — урочище Феофанія

Маса вуглецю, фіксованого віковими деревами *Q. robur* у Feo(ref) була вищою, ніж у заплавних дібровах на 37 % у віці до 25 років та на 14–28 % у старшому віці (рис. 4.3 А). При розгляді накопичення вуглецю в динаміці (рис. 4.3 Б) встановлено, що воно було в 1,5–2,8 разів більше у віковому деревостані Feo(ref).

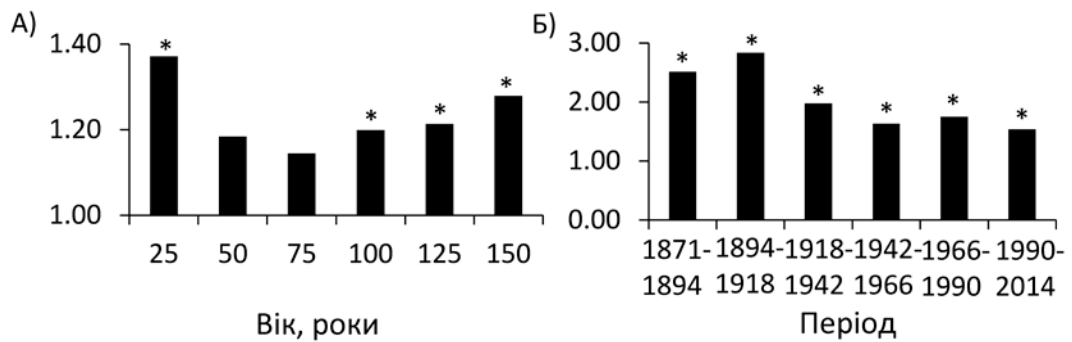


Рис. 4.3. Відношення накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur* у біотопі урочища Феофанія до відповідних значень у заплавних дібровах залежно від віку (А) та в динаміці (Б). Астериском (\*) позначені значущі ( $p < 0,05$ ) відмінності

#### 4.2. Насадження

У цьому підрозділі реконструйовано щорічне депонування вуглецю в стовбурах середньовікових дерев *Q. robur* з насадження на острові Муромець (Mur), що знаходиться в заплаві Дніпра, та ділянки штучно створеного у післявоєнні роки деревостану в межах урочища Феофанія (Feo(ref)).

У 2015 році досліджено 20 дерев *Q. robur* віком від 57 до 94 років в Feo(ref) та 15 дерев віком від 33 до 52 років на Mur. Середній річний радіальний приріст складає  $3,18 \pm 1,06$  мм та  $5,12 \pm 2,023$  мм в Feo(ref) та на Mur, відповідно.

Середня площа поперечного перерізу у 2015 році становила  $0,158 \text{ м}^2$  ( $0,070\text{--}0,409 \text{ м}^2$ ) у Feo(ref) та  $0,179 \text{ м}^2$  ( $0,108\text{--}0,286 \text{ м}^2$ ) на Mur (рис. 4.4 А). У середньому у віці 25 років у стовбуровій масі дерев з Feo(ref) накопичено приблизно 27 кг вуглецю, а деревами Mur за умов низької конкуренції за світло утричі більше — близько 80 кг (рис. 4.4 Б). Дерева Mur у віці 50 років в середньому акумулювали 319 кг вуглецю, що значно більше ніж дерева *Q. robur* Feo(ref) у віці 50 років (117 кг) та 75 років (280 кг).

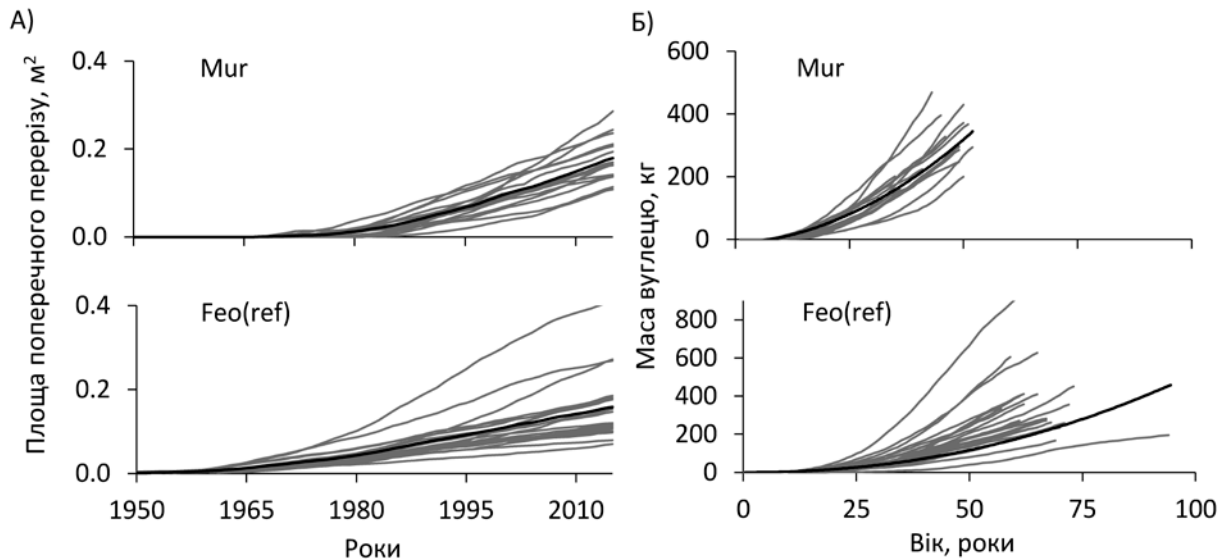


Рис. 4.4. Кумулятивні криві площі поперечного перерізу (А) та маса накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur* залежно від віку (Б). Mur — насадження острову Муромець, Feo(ref) — насадження урочища Феофанія. Сірі лінії — залежності для окремих дерев, чорні лінії — середнє (А) або згладжене (поліном другого ступеня для Mur та степенева для Feo(ref)) середнє (Б) для деревостанів

Щорічне накопичення вуглецю в стовбурах середньовікових дерев має зростаючий тренд, а його середнє значення досягло свого максимуму в насадженні Mur у 2006–2014 — 12–14 кг/рік та у Feo(ref) в 2007–2008 та 2013–2014 роках — 11–12 кг/рік (рис. 4.5).

У насадженні Mur накопичення вуглецю 25-річними деревами в було на 56 % більше, ніж у лісових культурах Feo(ref), а у віці 50 років різниця зменшилася та стала статистично незначущою (рис. 4.6 А). За період 1966–1990 рр. накопичення вуглецю в культурах Feo(ref) було у 1,6 разів більше, ніж у насадженні Mur, що пов'язано з більшим віком досліджених дерев Feo(ref) у цей період (рис. 4.6 Б).

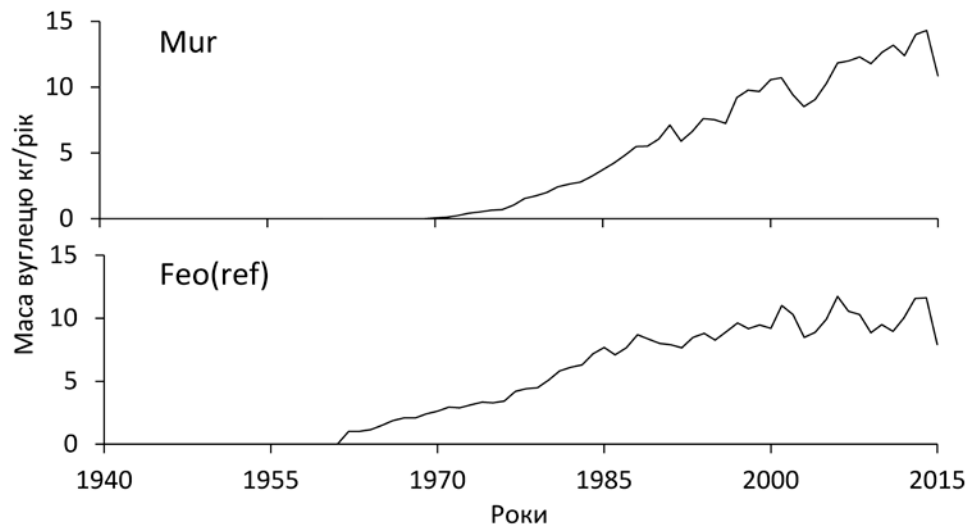


Рис. 4.5. Хронологія середньої річної маси вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur*. Mur — насадження острова Муромець, Feo(ref) — насадження урочища Феофанія

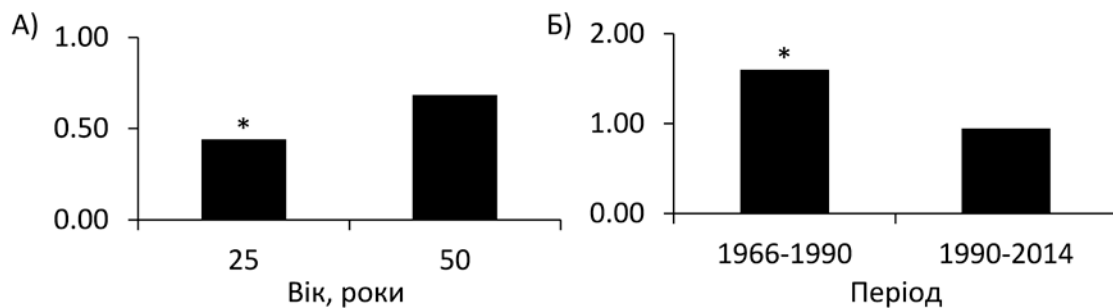


Рис. 4.6. Відношення маси накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur* в насадженні урочища Феофанія до відповідних значень у насадженні на острові Муромець у віці 25 та 50 років (А) та в середньому за періоди 1966-1990 та 1990-2014 (Б). Астериском (\*) позначені значущі ( $p < 0,05$ ) відмінності

Результати порівняння накопичення вуглецю у вікових та середньовікових дібровах, що розташовані в заплаві та поза нею, виявилися несподіваними. Загальновідомим є факт, що відсутність дефіциту вологи та оптимальне забезпечення рослин поживними речовинами роблять заплави продуктивнішими за інші наземні екосистеми [239]. Паводки та збільшення рівня ґрунтових вод підвищують наземну продуктивність деревостанів [71], а



також опаді [80] та коріння [192]. Однак тривале підтоплення та насичення ґрунту вологою може призвести до зменшення приросту [195] та біопродуктивності [92], що підтверджується нашими даними.

Стійкість дерев до підтоплення варіює залежно від виду, віку, фази розвитку та умов росту. Так, *Q. robur* є помірно толерантним видом до повеней [209, 204]: у старшому віці він здатен витримати понад 100 днів затоплення, але в молодому лише до 50-ти днів [204, 146, 115]. Відповідно негативний вплив повеней на приріст *Q. robur* більш вірогідний у молодшому віці [85], тоді як підтоплення старших дерев може привести навпаки до формування ширшого річного кільця [120]. Хоча отримані нами результати не узгоджуються з вищезгаданими, адже приріст у заплавах був менший ніж у Феофанії як в молодому так і в старшому віці (див. рис. 4.3 А). Винятком є середньовікові дерева з острова Муромець, які за умов низької конкуренції за світло у віці 25 років депонували вуглецю на 56 % більше, ніж культури Феофанії (див. рис. 4.6 Б).

Причиною невідповідності наших даних літературним може бути урахування нами лише стовбурової маси. Так, надлишок ґрунтової вологи в заплавних деревостанах може одночасно впливати позитивно на депонування вуглецю в підстилці та корінні й негативно — у наземній біомасі [191]. Ймовірно, це зумовлено відомим [191, 192] механізмом уникнення загрози аноксії шляхом підвищення інтенсивності транспірації дерева завдяки збільшенню маси коріння й листя та її зменшенню в стовбурі.

### **Висновки до розділу**

1. Вуглецедепонувальна здатність дерев *Q. robur* у заплавних біотопах не є вищою, ніж зональних лісів. Середня маса вуглецю акумульована в стовбуровій деревині *Q. robur* у заплаві є меншою порівнюючи з грабовою дібровою поза нею, ймовірно відомий високий рівень фіксації вуглецю деревами в заплавах може досягатися завдяки більшій масі листя та коріння.

2. У заплаві Дніпра та поза нею вугледепонувальна здатність *Quercus robur* підвищується зі збільшенням віку. Зменшення цього показника відбувалось у роки посух 1972–1974 та 2002–2004 рр.

3. У молодших класах віку зменшення конкуренції за світло призводить до збільшення приросту стовбурової деревини та відповідно депонованого в ній вуглецю у *Quercus robur*.

Матеріали, висвітлені у розділу, опубліковані у:

**Прокопук, Ю.С., & Нецветов, М. В.** (2016). Динаміка депонування вуглецю у стовбуровій біомасі *Quercus robur* L. парку «Феофанія». *Науковий вісник НЛТУ України*, 26.3, 158–164. <https://doi.org/10.15421/40260326>.

**Прокопук, Ю. С.** (2017). Вугледепонувальна здатність насадження *Quercus robur* L. парку «Феофанія», м. Київ. *Чорноморський ботанічний журнал*, 13(3), 258–265. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/17.133/1>.

**Прокопук, Ю. С.** (2018). Реконструкція щорічної акумуляції вуглецю в стовбурах дерев *Quercus robur* (*Fagaceae*) заплавних лісів Києва. *Український ботанічний журнал*, 75(6), 517–524. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.06.517>.

## РОЗДІЛ 5

### НАЙСТАРІШІ ДЕРЕВА КИЄВА — НАУКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ БАГАТОВІКОВИХ ХРОНОЛОГІЧНИХ СЕРІЙ

Багатовікові дерева є унікальними об'єктами для вивчення довговічності деревних видів у різних біотопах, дослідження їхніх генетичних особливостей, наявності та характеру змін приросту з віком, визначення впливу клімату на приріст, реконструкції клімату минулих часів та датування археологічних знахідок. У дубово-грабових лісах урочища Феофанія та НПП «Голосіївський», що знаходяться в південній частині Києва, збереглася велика кількість багатовікових екземплярів *Q. robur* [31, 33]. Наявність вікових дерев у міських умовах відкриває широкі наукові перспективи, збільшує соціально-культурну, історичну та освітню цінність лісу, водночас це підвищує відповідальність за їхнє збереження.

Метою цього розділу було визначити точний камбіальний вік, укласти узагальнену хронологічну серію ширини річних кілець, розрахувати коефіцієнти приросту, оцінити життєздатність, санітарний стан та рекреаційне навантаження на найстаріші дерева *Q. robur* урочища Феофанія, оцінити вік дерев *Q. robur* з найбільшим діаметром Голосіївського лісу, а також рекомендувати заходи щодо підтримання життєздатності багатовікових дерев.

#### **5.1. Хронологічні ряди радіального приросту найстаріших дерев *Quercus robur* урочища Феофанія**

Попередньо було абсолютно датовано річні кільця з 73 дерев *Q. robur*, з яких відібрано 16 з довжиною хронологічної серії не менше як 200 років, 42 керни цих дерев містили 7335 річних кілець, сформованих з 1746 до 2016 роки. Мінімальний вимірний діаметр на висоті 1,3 м становив 57,6 см, а максимальний — 165,2 см (табл. 5.1). Найдовша хронологічна серія, тобто кількість датованих кілець становила 271 рік, а середня довжина серії — 175 років (рис. 5.1).

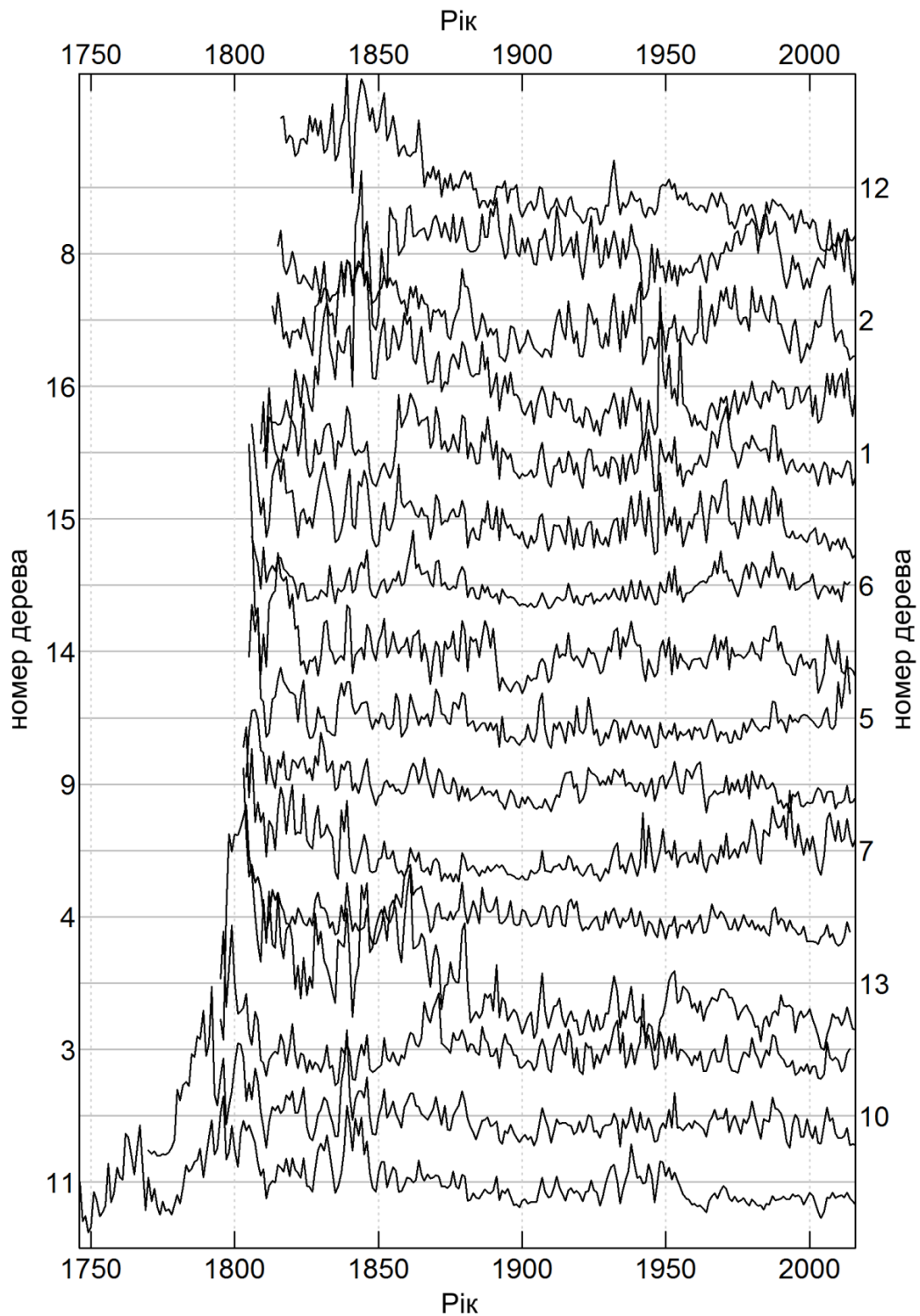


Рис. 5.1. Індивідуальні хронологічні серії радіального приросту вікових дерев *Q. robur* L. урочища Феофанія

Середній річний радіальний приріст дерев *Q. robur* склав  $1,95 \pm 0,792$  мм та варіював у межах від  $1,07 \pm 0,400$  мм до  $2,85 \pm 1,487$  мм. У більшості досліджених дерев зниження радіального приросту останніми роками не

спостерігається. Однак у дерев № 1, 2, 4, 11, 12, 13, 15 ширина річних кілець досить тривалий час не перевищувала багаторічне середнє значення (рис. 5.1, табл. 5.1). Таке зменшення приросту не можна вважати критичним для життєздатності дерев, оскільки в жодного з них ширина річних кілець не знижувалася до 10 % від середнього значення [95, 73].

Через ексцентричність приросту або пошкодження серцевини лише в дерева № 16 вдалося дістатись ядра, камбіальний вік цього дерева станом на 2016 рік складав 207 років при діаметрі 130,8 см. Найстарішим із досліджених дерев виявилось № 11, розрахований камбіальний вік якого становив 275 років при діаметрі 165,2 см (рис. 5.2 Б), наймолодшим — дерево № 12 віком 202 роки при діаметрі 131,6 см. Довжина хронологічної серії дерева № 6, з найменшим діаметром серед досліджених дерев, складала 209 років, а його оцінений вік — 213 років.

Таблиця 5.1

Розташування, біометричні параметри, вік та життєздатність найстаріших вікових дерев *Quercus robur* урочища Феофанія

№ дерева	Географічні координати	Діаметр, см	Кількість кілець в керні	Вік, років	Середня ширина річного кільця, мм	Коефіцієнт приросту, років/см	Життєздатність, бал	Санітарний стан, категорія	Стадія рекреаційної дигресії за Генсіруком
1	N50°20,278' E30°29,640'	98,7	208	211	1,95±0,663	5,14	6	I	3
2	N50°20,682' E30°29,529'	108,9	204	211	2,43±0,819	4,11	6	I	1
3	N50°20,898' E30°28,855'	87,2	220	223	1,58±0,679	6,33	7	II	2
4	N50°20,204' E30°29,574'	86,5	212	215	1,56±0,581	6,39	6	II	1
5	N50°20,227' E30°29,603'	80,2	210	216	1,66±0,930	6,04	8	I	1
6	N50°20,286' E30°29,641'	57,6	209	213	1,07±0,400	9,34	7	II	2

Продовження таблиці 5.1

7	N50°20,858' E30°28,867'	106,0	214	218	1,67±0,828	5,99	7	II	1
8	N50°20,868' E30°28,664'	108,2	202	207	2,19±0,709	4,57	6	II	1
9	N50°20,623' E30°28,932'	80,5	213	215	1,52±0,560	6,56	7	II	1
10	N50°20,720' E30°29,424'	163,9	247	256	1,78±0,787	5,62	7	II	1
11	N50°20,756' E30°29,480'	165,2	271	275	1,81±0,651	5,54	7	III	2
12	N50°20,945' E30°28,962'	131,6	199	202	2,45±1,147	4,09	5	II	4
13	N50°21,013' E30°29,028'	140,1	212	226	2,85±1,487	3,51	3	IV	3
14	N50°20,764' E30°28,808'	117,8	212	216	2,35±0,538	4,26	7	I	1
15	N50°20,257' E30°29,613'	85,6	211	221	1,79±0,684	5,60	7	I	4
16	N50°20,567' E30°29,625'	130,8	207	207	2,52±1,206	3,96	7	II	2
Середнє					1,95±0,792	5,13± 1,428			

Примітка: вік наведено станом на 2016 рік

За середнім значенням ширини річних кілець досліджених дерев встановлено середній коефіцієнт приросту —  $5,13 \pm 1,428$  років/см (табл. 5.1), який надає можливість за  $\frac{1}{2}$  діаметра без кори оцінити вік домінуючих та кодомінуючих *Q. robur* в асоціації *Galeobdoloni luteae-Carpinetum* Shevchyk, Bakalyna et V.Sl. 1996. Варіація локальних біотичних та абіотичних умов зростання, класу дерева за пануванням та життєздатністю зумовлює похибку та обмежує використання коефіцієнтів приросту.

Оцінена життєздатність вікових *Q. robur* за восьмибальною шкалою [41] становить переважно 6–7 балів, хоча життєздатність дерева № 13, яке характеризувалося усиханням багатьох скелетних гілок та наявністю чисельних водяних пагонів (табл. 5.1), відповідала балу 3. Досліджені дерева № 1, 2, 5, 14, 15 — у задовільному санітарному стані [42], без механічних пошкоджень стовбура, з зеленою густою кроною та без зовнішніх ознак всихання. Дереву №

3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16 були віднесені до категорії «ослаблені», відмічено поранення стовбура, пошкодження листя дубовою міллю *Acrocercops brongniardella* (Fabricius, 1798) та ураження борошнистою росою *Microsphaera alphitoides* (Griff. et Maubl., 1910). Дерево №11 віднесено до III категорії «дуже ослаблені» з всиханням скелетних гілок та поїданням листової пластинки міллю понад 50 %. Дерево №13 класифікували як «відмираючі» з механічним пошкодженням стовбура, а під час аналізу кернів була відмічена центральна гниль.



А



Б



В

Рис. 5.2. Схема (Google Earth) розміщення досліджених багатовікових дерев *Quercus robur* (А); найстаріше дерево №11 віком 275 років (Б); дерево №12, що зазнає значного рекреаційного навантаження (В)

Стадії рекреаційної дигресії становили від 1 до 4, навколо більшості дерев спостерігалася стадія 1. Оточення навколо дерев № 2, 6, 11, 16 відповідало стадії 2, що свідчить про пошкодження до 10 % живого надґрунтового покриву, навколо дерев № 1, 13 віднесено до стадії 3 — пошкоджено до 30 %, навколо дерев № 12, 15 відповідало стадії 4 з деградуючим трав'яним покривом та підстилкою до 60 % (рис. 5.2.В).

Таблиця 5.2

Вік окремих дерев *Quercus robur* Голосіївського лісу

№ п/п	Географічні координати	Діаметр (D <sub>1,3</sub> ), см	Середній вік, роки	Інтервал передбачення		
				p > 0,95	p > 0,99	p > 0,999
1*	N 50°21,325" E 30°29,373"	114,0	227	245–209	251–203	257–197
2*	N 50°21,415" E 30°29,535"	73,9	144	162–126	168–120	174–114
3*	N 50°21,703" E 30°29,645"	118,4	237	255–219	261–213	267–207
4*	N 50°21,716" E 30°29,652"	117,8	235	253–217	259–211	265–205
5*	N 50°21,800" E 30°29,842"	133,1	267	285–249	291–243	297–237
6*	N 50°21,821" E 30°29,883"	120,8	242	260–224	266–218	272–212
7*	N 50°21,810" E 30°29,869"	126,6	254	272–236	278–230	284–224
8*	N 50°21,827" E 30°29,902"	107,3	214	232–196	238–190	244–184
9*	N 50°21,824" E 30°29,903"	121,0	242	260–224	266–218	272–212
10*	N 50°21,827" E 30°29,910"	148,3	299	317–281	323–275	329–269
11**	N 50°21,240" E 30°29,380"	106,0	211	229–193	235–187	241–181
12**	N 50°22,232" E 30°30,476"	162,0	327	345–309	351–303	357–297
13**	N 50°22,480" E 30°28,520"	143,9	290	308–272	314–266	320–260
14**	N 50°21,470" E 30°29,420"	146,1	294	312–276	318–270	324–264
15**	N 50°21,480" E 30°29,420"	111,5	222	240–204	246–198	252–192



## Продовження таблиці 5.2

16**	N 50°21,480" E 30°29,410"	145,8	294	312–276	318–270	324–264
17**	N 50°22,400" E 30°29,130"	140,4	282	300–264	306–258	312–252
18**	N 50°22,400" E 30°29,130"	115,4	230	248–212	254–206	260–200
19**	N 50°22,480" E 30°28,520"	158,8	321	339–303	345–297	351–291

Примітки: \* — вікові дерева *Q. robur*, які зростають на території астрономічної обсерваторії НАН України; \*\* — вікові дерева *Q. robur* Національного природного парку «Голосіївський».

За співвідношенням віку та діаметру без кори дерев урочища Феофанія оцінено вік найбільших за діаметром дерев *Q. robur* Голосіївського лісу (табл. 5.2.). Інтервал передбачення становить 18 років для  $p > 0,95$ ; 24 роки для  $p > 0,99$ ; 30 років для  $p > 0,999$ . Оцінений вік найбільшого «самбурського дуба» із діаметром на висоті 1,3 м 162 см (периметр — 509 см) становить 303–351 рік. Слід зазначити, що похибка встановленого віку здебільшого пов'язана з ексцентричністю серцевини стовбура.

## 5.2. Походження деревостанів урочища Феофанія та Голосіївського лісу

Хоча вік окремих дерев урочища Феофанія не викликає сумніву, походження й історія урочища загалом мають ще багато «білих плям». Використання картографічних матеріалів частково заповнює ці прогалини, оскільки час створення більш-менш детальних мап, де відображено рослинний покрив Київщини, перекривається отриманими дендрохронологічними рядами. Однак картографічні матеріали додають деякі деталі: на військово-топографічній карті (1855–1877 рр.) ліс Феофанівського скиту охоплює приблизно таку ж територію, що й нині, та формує єдиний масив, який простягався на північний захід до хутора Монастирського, тобто сучасного мікрорайону Теремки. На півночі він контактував із лісом, що оточував Самбург (сучасні Самбурки), Преображенський і Голосіївський скити. Ще й

дотепер у цьому лісі зростає чимало дубів, діаметр яких перевищує 1,4 м, найбільші з них сягають у діаметрі  $\sim 2$  м [33], тобто вік таких дерев наближається до 450 років. На те, що деревостани Голосієва та Феофанії ще в середині XIX ст. входили до одного лісового масиву, вказує Л. Похилевич: «Феофания в 2-х верстах от Хотова в том самом лесу, что Голосеевская и Китаевская пустыни, служит ныне приютом престарелой братии монастыря и местом погребения умирающих. Прежнее название Лазаревщина» [39].

Постає й інше питання: чи були Голосіївський Феофанівський ліси посаджені Петром Могилою (1596–1647 рр.) або хоча б за його часів, що дискутується в літературі та в інших джерелах [13]? Часткову відповідь на це запитання можна знайти в картографічних матеріалах та історичних документах. Так, посилаючись на карти Гійома Левассера де Боплана (1595(1600)–1685 рр.), можна стверджувати, що ліси, залишками яких нині є найстаріші дерева Голосіївського та Феофанівського парків, існували й до Петра Могилы. Період перебування Гійома де Боплана на території сучасної України (ймовірно, від 1630-х — до кінця 1640-х) [46] збігається з часом діяльності Петра Могилы в Києві та заснування ним Голосіївського скиту (1630-ті роки). Перший, рукописний, варіант карти «Tabula Geographica Ukrainiska» Боплан уклав уже в 1639 р. [6], що свідчить про більш давнє існування на правому березі Дніпра, на південь від Києва, лісів, які охоплювали велику за сучасними мірками, площу (рис. 5.3).

Після прив'язки зазначених на «Спеціальній карті» міст до сучасних координат межі парків «Феофанія» й «Голосіївський» потрапляють на східний край великого масиву, що простягався від Василькова на півдні до Києва на півночі (рис. 5.3). У західному напрямку він тягнувся більш як на 100 км. Таким чином, сучасні міські ліси на південному заході Києва є залишками великого природного масиву, що за приблизним обчисленням зі спеціальної карти Гійома де Боплана, займав площу 5400 км<sup>2</sup>. Про обшири цього лісу йдеться в польських і литовських літописах, на які посилається Л. Похилевич в описі Білогородки за часів польського володарювання: «Польские историки

описывають её лежащей среди лесов, простиравшихся от Днепра и реки Припяти, и называют окрестности Белгородки Киевским Полесьем» [39]. Останнє твердження збігається з уявленнями сучасних дослідників [12] про межу Лісостепу та Полісся на Київщині.

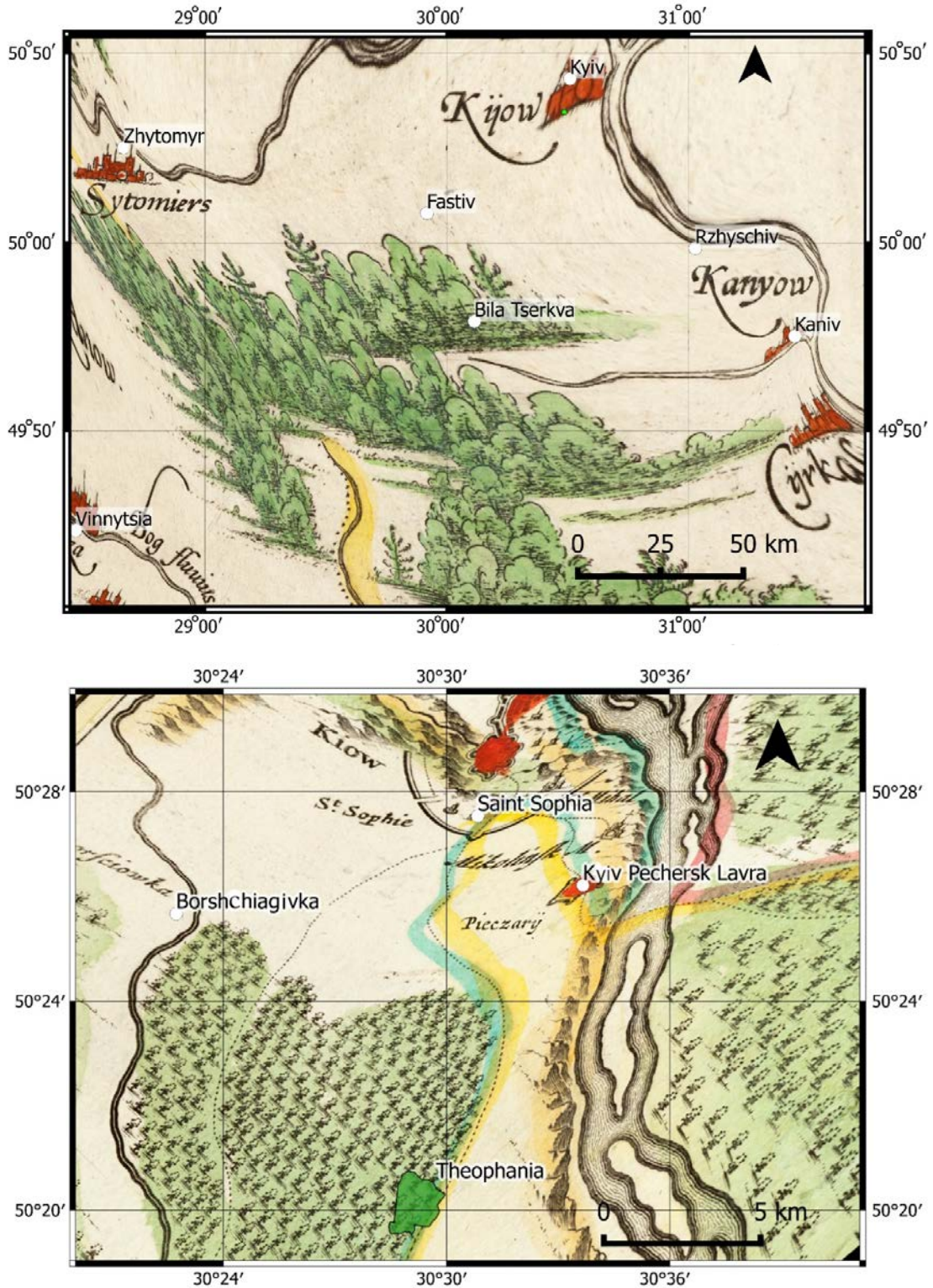


Рис. 5.3. Відображення лісів південної Київщини на картах XVII (зверху) і XVIII (знизу) століть. Ресурс: <http://ukraina.com/>

На більш ранніх картах (XVI ст.) ліси Київщини теж відзначено, але дуже умовно. Тобто за роки перебування в Києві Петра Могили на території сучасного Голосіївського та Феофанівського парків якщо й висаджували дуби, то в невеликих масштабах і в межах існуючих або на місці колишніх великих природних лісових масивів. Таким чином, хоча особиста причетність Петра Могили до висаджування вікових дубів й інших дерев сумнівна, але найстаріші з них можна вважати «свідками» його перебування в Києві.

### Висновки до розділу

1. Вік найстаріших дерев виду *Q. robur* в урочищі Феофанія сягає 275 років. Середній коефіцієнт приросту для визначення віку *Q. robur* за значенням діаметра в асоціації *Galeobdoloni luteae-Carpinetum* становить 5,13 років/см.

2. Життєздатність та санітарний стан більшості досліджених дерев *Q. robur* урочища Феофанія задовільний. Найбільший негативний вплив на вікові рослини мають абіотичні (ущільнення ґрунту) та біотичні чинники (пошкодження листової пластинки молями та ураження борошнистою росєю). Подальша тривала дія цих чинників може призвести до критичного зменшення річного радіального приросту та загибелі вікових дерев *Q. robur*.

3. Визначений вік дерев *Q. robur* та дані картографічних матеріалів підтверджують, що деревостан урочища Феофанія та Голосіївського лісу в минулому становили суцільний лісовий масив, який існував на півдні Києва задовго до діяльності П. Могили.

Матеріали, висвітлені у розділу, опубліковані у:

**Прокопук, Ю. С., & Нецветов, М. В.** (2015, травень). Вік та радіальний приріст найстаріших дерев виду *Quercus robur* L. ППСІМ «Феофанія». Мат. міжн. наук. конф. «Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках», Київ: Фітосоціоцентр, 200–201.

Нецветов, М. В., & Прокопук, Ю. С. (2016). Вік та радіальний приріст старовікових дерев *Quercus robur* парку «Феофанія». *Український ботанічний журнал*, 73(2), 126–133. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.02.126>.

Прокопук, Ю. С., & Крилов, Я. І. (2018). Стан, охорона та збереження багатовікових дерев дуба звичайного в урочищі «Феофанія». *Ecology and Noospherology*, 29(1), 36–41. <https://doi.org/10.15421/031806>.

## ВИСНОВКИ

За умов природного коливання Дніпра рівень води був основним чинником, що позитивно впливав на приріст *Quercus robur* у біотопах заплави. Зарегулювання Дніпра призвело до стрімких та корінних змін у структурі зв'язків приросту *Q. robur* з гідрологічними чинниками — вплив рівня води став незначущим або змінився на негативний.

1. Заплавні біотопи Києва за варіацією радіального приросту *Q. robur* подібні до місць зростання цього виду у Литві, Нідерландах та Польщі. За результатом аналізу методом головних компонент радіальний приріст *Q. robur* має подібну варіацію в біотопах заплави та поза нею в межах Києва та відмінну від байрачної діброви на екологічній межі поширення виду в степу.

2. Встановлено, що до зарегулювання у біотопах заплави Дніпра головним і специфічним фактором був рівень води в квітні–травні, що позитивно ( $p < 0,05$ ) впливав на радіальний приріст *Q. robur*, а також ширину ранньої деревини. У біотопі поза заплавою радіальний приріст *Q. robur* лімітувався опадами, що мали позитивний вплив ( $p < 0,05$ ). Після введення в експлуатацію гребель Київської та Канівської ГЕС вплив коливань рівня Дніпра на приріст втратив значущість або змінився на негативний ( $p < 0,05$ ). Враховуючи високу чутливість до гідрологічних чинників, ширина ранньої деревини може використовуватися як основний і достатній індикатор змін рівнів води в Дніпрі.

3. У біотопі заказника «Лісники», заплаві приток Дніпра, виявлено значущу ( $p < 0,01$ ) зміну в середньому значенні приросту пізньої деревини *Q. robur* у 1956 році. Встановлено, що до 1950-их років на радіальний приріст *Q. robur* позитивно впливали температура травня ( $r = 0,37$ ) та негативно температура червня ( $r = -0,28$ ), що свідчить про контрастність умов зволоження протягом сезону вегетації. Після 1950-их цей зв'язок послабшав, а лімітувальним чинником для росту *Q. robur* стала посуха травня — коефіцієнт кореляції з індексом посухи Палмера  $r = 0,30$ . Ймовірними причинами зміни

зв'язків приросту з екологічними факторами були побудова дамби вздовж Дніпра та модифікація русла його приток.

4. На екологічній межі ареалу в степовій зоні лімітувальними факторами радіального приросту *Q. robur* є посушливі умови на початку вегетаційного сезону — температура квітня ( $r=-0,22$ ) та опади травня ( $r=0,20$ ). Зміни в прирості *Q. robur* та структурі його зв'язків із кліматичними чинниками свідчать про подальше посилення залежності цього виду від атмосферного зволоження в тих частинах ареалу, де зміни клімату проявляються у зменшенні кількості опадів та підвищенні температури.

5. На основі аналізу ширини річних кілець виявлено, що фіксація вуглецю в стовбуровій масі *Q. robur* заплавної діброви не є вищою, ніж у зональному лісі урочища Феофанія. З 1871 по 2014 середня маса вуглецю, акумульована в стовбуровій деревині *Q. robur*, у заплавах була у 1,5–2,8 разів меншою, ніж у Феофанії. У біотопах заплави Дніпра та поза нею вуглецедепонувальна здатність *Q. robur* підвищується зі збільшенням віку рослин. Раптові падіння цього показника збігалися в часі з посухами, що спостерігалися в 1972–1974 та 2002–2004 рр.

6. Встановлено, що вік найстаріших дерев виду *Q. robur* в урочищі Феофанія сягає 278 років. Середній коефіцієнт приросту для визначення віку *Q. robur* за значенням діаметра становить 5,13 років/см. Укладені хронологічні серії (1746–2016 рр.) дають можливість реконструкції кліматичних умов та аномальних повеней Києва з середини XVIII століття та датування артефактів відповідного періоду.

## **РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДТРИМАННЯ ЖИТТЄЗДАТНОСТІ БАГАТОВІКОВИХ ДЕРЕВ УРОЧИЩА ФЕОФАНІЯ**

Багатовікові дерева потребують проведення санітарно-профілактичних заходів:

- регулярна обрізка сухих та всихаючих гілок;
- для зменшення антропогенного навантаження на кореневу систему, механічних пошкоджень стовбура необхідно встановити огорожі в межах проекції крони;
- для зменшення надмірного навантаження на лісовий масив створити екостежку з розміщенням інформаційних стендів по маршруту;
- надати статус пам'ятки природи деревам, які зазнають значного рекреаційного навантаження та знаходяться поза межами охоронної території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва;
- виходячи з фізіологічних і біомеханічних змін, що відбуваються з деревами під час старіння, застосовувати заходи з захисту крони від механічних ушкоджень: використовувати підпори, стягувальні обручі для збереження великих скелетних гілок;
- згрібання листя та плодів, уражені збудниками хвороб або пошкоджені шкідниками.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альошкіна, У. М. (2011). Поширення та характеристика рідкісних біотопів м. Києва. *Український ботанічний журнал*, 68 (1), 76–90.
2. Байрак, О. М., & Радченко, В. Г. (2009). Про комплексний моніторинг урочища "Феофанія" як ключової території локальної екомережі мегаполісу. *Жива Україна*, № 1–2, 4–5.
3. Бельгард, А. Л. (1971). *Степное лесоведение*. Москва: Лесная промышленность, 336 с.
4. Битвинскас, Т. Т. (1986). Опыт использования реперной системы солнечной активности для изучения закономерностей изменчивости радиального прироста деревьев. В Л. А. Кайрюкштіс и др. (Ред.), *Дендрохронология и дендроклиматология* (С. 174–179). Новосибирск: Наука.
5. Бородавка, В. О. (2009). *Періодичні всихання лісів у степовій зоні: фактори, прояви, перебіг, наслідки та набуті уроки*. Донецьк: Технопак, 65 с.
6. Вавричин, М. Г. (2000). Комплекс карт України Г. Боплана та їх збереження в бібліотеках Європи. Я. П. Дашкевич (рец.), *Картографія та історія України* (с. 19). Львів, Київ, Нью-Йорк: Видавництво М.П. Коць.
7. Ваганов, Е. А., Круглов, В. Б., & Васильев, В. Г. (2008). *Дендрохронология*. Красноярск, 120 с.
8. Вазов, В. И. (1985). Влияние осадков и температуры на годичный прирост древесных растений. *Бюллетень Никитского ботанического сада*, 75–79.
9. Вишневський, В. І. (2005). *Дніпро біля Києва*. Київ: Інтерпрес ЛТД, 100 с.
10. Вишневський, В. І. (2007). *Малі річки Києва*. Київ: Інтерпрес ЛТД, 28 с.
11. Ворон, В. П., Стельмахова, Т. Ф., & Коваль І. М. (2000). Воздействие загрязнения атмосферы на сосновые леса Восточного Донбасса. *Лесоведение*, № 1, 46–50.

12. Генсирук, С. А. (2002). *Леса Украины*. (3-е изд). Львов: НТШ, УкрДЛТУ, 496 с.
13. Година, О. Лісові пустині Голосієва. Свято-Покровський Голосіївський монастир. <http://ukrainaincognita.com/filaret-amfiteatrov/lisovi-pustyni-golosieva-svyato-pokrovskiyi-golosiiivskiyi-monastyr/> Accessed 22 June 2015.
14. Гончаренко, І. В., Ігнатюк, О. А., & Шеляг-Сосонко, Ю. Р. (2013). Лісова рослинність урочища Феофанія та її антропогенна трансформація. *Екологія та ноосферологія*, 24, № 3–4, 51–63.
15. Грицан, Ю. І. (2000). *Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище*. Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 296 с.
16. Грицан, Ю. І. (2000). Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище (екотоп, взаємодія, дендроіндикація, типологія). Автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 03.00.16. Днепропетровск: ДДУ, 35 с.
17. Дідух, Я. П., & Альошкіна, У. М. (2012). *Біотопи міста Києва*. Київ: НаУКМА, 163 с.
18. Дідух, Я. П., Єрмоленко, В. М., Крижанівська, О. Т., Попович, С. Ю., & Серебряков, В. В. (2000). *Екологічна стежка (методика, організація, характеристика модельної стежки "Лісники")*. Київ: Фітосоціоцентр, 88 с.
19. Карта ґрунтів України. (1977). [http://www.etomesto.ru/map-ukraine\\_pochvennaya-karta/](http://www.etomesto.ru/map-ukraine_pochvennaya-karta/) Accessed 13 March 2016.
20. Клименко, Ю. О., Мороз, В. В., Дружина, М. М., & Кондратьєв, В. В. (2015). Оцінка стану популяцій основних парко утворюючих видів у виділах вікової *Querceta roboris* парку «Феофанія» (м. Київ). *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 5 (54).
21. Коваль, І. М. (2002). Динаміка радіального приросту і санітарного стану соснових деревостанів в умовах аеротехногенного забруднення в Поліссі та Степу: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Харків: УкрНДЦЛГА, 18 с.

22. Коваль, І. М. (2006). Дендрохронологія в Україні: ретроспектива і перспективи розвитку. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 31, 221-227.
23. Коваль, І. М., Боголов, О. В., Нусбаум, С. А., & Юзвінський, Г. А. (2015). Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоградволинського фізико-географічного району. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 126, 202–211.
24. Ковальов, П. В., Черкасов, П. А., Попов, А. И., Иванов, В. В., & Острянин, А. В. (1989). Реконструкция метеорологических условий прошлого по годичным кольцам деревьев. *Вестник Харьковского университета*, 341, 62–67.
25. Коліщук, В. Г. (1967). Рост стлаников и динамика верхнего предела древесной растительности Карпат. *Проблемы ботаники*, 9, 87–95.
26. Косовець, О. О., & Діденко, Г. В. (2014). Гідрологічні рекорди, зафіксовані на водомірному посту Київ Центральної геофізичної обсерваторії. О. О. Косовець (ред.). *Праці Центральної геофізичної обсерваторії*. Київ: Інтерпрес ЛТД, Вип. 10 (24), 82–83.
27. Лакида, П. І. (2002). *Фітомаса лісів України*: монографія. Тернопіль: Збруч, 256 с.
28. Ловелиус, Н. В. (1979). *Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процес сов и антропогенных воздействий*. Ленинград: Наука, 232 с.
29. Ловелиус, Н. В. (1980). *Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий*. Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16. Днепропетровск: ДГУ, 42 с.
30. Ловеліус, Н. В., & Грицан, Ю. И. (1998). *Лесные экосистемы Украины и тепловлагообеспеченность*. Санкт-Петербург: Нева, 335 с.
31. Матяшук, Р. К., Небесний, В. Б., Конякін, С. М., Ткаченко, І. В., & Прокопук, Ю. С. (2014). Вікові дуби «Феофанії» – пам'ятки живої природи краю. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 6 (48).

32. Нецветов, М. В., & Сулова, Е. П. (2009). Механическая устойчивость деревьев и кустарников к вибрационным нагрузкам. *Промышленная ботаника*, 9, 60–67.
33. Онищенко, В. А. (2015). Вікові дуби Голосіївського лісу. *Заповідна справа в Україні*, 21, 19–24.
34. Онищенко, В. А. (2013). Рослинність ур. Бичок (НПП «Голосіївський»). *Біологічні системи*, 3, 395–402.
35. Онищенко, В. А., Прядко, О. І., & Арап, Р. Я. (2012). НПП Голосіївський. Ч.2. Національні природні парки. *Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України*. (с. 139–151). Київ: Фітосоціоцентр.
36. Падун, І. М. (1985). Сучасний стан рослинності урочища «Феофанія». *Український ботанічний журнал*, 2, 17–20.
37. Пастернак, П. С., Ворон, В. П., Мазепа, В. Г., & Приступа, Г. К. (1990). Изменение некоторых структурных особенностей лесного биоценоза в условиях аэротехногенного загрязнения окружающей среды. *Экология*, 3, 7–13.
38. Пономаренко, Л., & Різник, О. (2003). *Київ. Короткий топонімічний довідник*. Довідкове видання. Київ: Павлім, 124 с.
39. Похилевич, Л. (1864). *Сказанія о населенных мѣстностях Кіевской губерніи*. Киев: типография Киево-Печерской Лавры, 771 с.
40. Рудаков, В. Є. (1958). Замітки з кліматодендрометрії. *Географічний збірник*, 127–135.
41. Савельева, Л. С. (1975). *Устойчивость деревьев и кустарников в защитных лесных насаждениях*, Москва: Лесная промышленность, 168 с.
42. *Санітарні правила в лісах України*. (1995). Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. № 555, Київ, 19 с.
43. Сидоренков, Н. С., Переведенцев, Ю. П., Горбатенко, Е. В., Неушкин, А. И., Сумерова, К. А., Шарипова, М. М., & Шерстюков, Б. Г. (2012). Брикнеров цикл в изменении облачности и продолжительности солнечного сияния в Москве и Казани. *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*, 347, 35–43.

44. Тишин, Д. В. (2015). *Дендрозкологія (методика деревно-кольцевого аналізу): учебно-методическое пособие*, Казань: Казанский ун-т, 36 с.
45. Ткач, В. П. (1999). Заплавні ліси лівобережної України та наукові основи господарювання в них: Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів: УДЛІУ, 36 с.
46. Хорошкевич, А. Л. (2004). *Боплан и его описание Украины*. Гийом Левассер де Боплан. Описание Украины. (З. П. Борисюк пер. с фр., А. Л. Хорошкевич, Е. Н. Ющенко ред.). Москва: Древлехранилище, с. 56–105.
47. Цуканова, Г. О., Андрієнко, Т. Л., & Прядко, О. І. (2002). Рослинний покрив островів Дніпра в межах м. Києва. *Український ботанічний журнал*, 2, 135–140.
48. Шеляг-Сосонко, Ю. Р., Байрак, О. М., & Воробйов, Є. В. (2009). Фіторізноманіття урочища «Феофанія». Історія вивчення, флористичні та ценотичні особливості. *Жива Україна*, № 1–2, 5–7.
49. Шовган, А. Д. (1987). Динамика, экологическая обусловленность и прогноз прироста сосны обыкновенной в лесных районах Украинской ССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Днепропетровск: ДГУ, 16 с.
50. Agafonov, L. I., & Gurskaya, M. A. (2013). The influence of the lower Ob River runoff on radial growth of trees. *Contemporary Problem of Ecology*, 6, 779–787. <https://doi.org/10.1134/S1995425513070159>.
51. Aloni, R. (2015). Ecophysiological implications of vascular differentiation and plant evolution. *Trees*, 29, 1–16.
52. Astrade, L., & Begin, Y. (1997). Tree-ring response of *Populus tremula* L. and *Quercus robur* L. to recent spring floods of the Saone River, France. *Ecoscience*, 4, 232–239. <https://doi.org/10.1080/11956860.1997.11682400>.
53. Babst, F., Bouriaud, O., Papale, D., Gielen, B., Janssens, I. A., Nikinmaa, E., Ibrom, A., Wu, J., Bernhofer, C., Köstner, B., Grünwald, T., Seufert, G., Ciais, P., & Frank, D. (2014). Above-ground woody carbon sequestration measured from tree rings is coherent with net ecosystem productivity at five eddy-

covariance sites. *New Phytologist*, 201, 1289–1303.  
<https://doi.org/10.1111/nph.12589>.

54. Baker, T. T. III, Conner, W., Lockaby, G., Stanturf, J. A., & Burke, M. K. (2001). Fine Root Productivity and Dynamics on a Forested Floodplain in South Carolina. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 545–556.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2002.0671>.

55. Baker, W. L. (1992). Structure, disturbance, and change in the bristlecone pine forests of Colorado, USA. *Arctic and Alpine Research*, 24, 17–26.

56. Barbaroux, C., & Bréda, N. (2002). Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. *Tree Physiology*, 22, 1201–1210.  
<https://doi.org/10.1093/treephys/22.17.1201>.

57. Bauer, Z., Trnka, M., Bauerová, J., Možný, M., Štěpánek, P., Bartošová, L., & Žalud, Z. (2010). Changing climate and the phenological response of great tit and collared flycatcher populations in floodplain forest ecosystems in Central Europe. *International Journal of Biometeorology*, 54, 99–111.

58. Baughman, M. (2010). *Flooding effects on trees*. Information part of the Trees and Woodlands program of the University of Minnesota.

59. Bednarz, Z., & Ptak, J. (1990). The influence of temperature and precipitation on ring widths of oak (*Quercus robur* L.) in the Niepolomice forest near Cracow southern Poland. *Tree-Ring Bulletin*. 50, 1–9.

60. Benjankar, R., Jorde, K., Yager, E. M., Egger, G., Goodwin, P., & Glenn N. F. (2012). The impact of river modification and dam operation on floodplain vegetation succession trends in the Kootenai River, USA. *Ecological Engineering*, 46, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.05.002>.

61. Bougeard, S., & Dray, S. (2018). Supervised Multiblock Analysis in R with the ade4 Package. *Journal of Statistical Software*, 86, 1.  
<https://doi.org/10.18637/jss.v086.i01>.

62. Bouriaud, O., Breda, N., Dupouey, J., & Granier, A. (2005). Is ring width a reliable proxy for stem biomass increment? A case study in European beech.

*Canadian Journal of Forest Research*, 35, 2920–2933. <https://doi.org/10.1139/x05-202>.

63. Bridge, J. (2003). *Rivers and floodplains – forms, processes and sedimentary record*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd, 504 pp.

64. Brinson, M. M. (1990). Riverine forests. In A. E. Lugo, M. M. Brinson, S. Brown (Eds.) *Forested Wetlands* (pp. 81–141). Amsterdam: Elsevier Scientific Publishers.

65. Brosofske, K. D., Chen, J., Naiman, R. J., & Franklin, J. F. (1997). Harvesting effects on microclimatic gradients from small streams to uplands in western Washington. *Ecological Applications*, 7, 1188–1200.

66. Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116, 363–372. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00212-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3).

67. Bunn, A. G. (2010). Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia*, 28 (4), 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.12.001>.

68. Bunn, A. G., Jansma, E., Korpela, M., Westfall, R. D., & Baldwin, J. (2013). Using simulations and data to evaluate mean sensitivity ( $\zeta$ ) as a useful statistic in dendrochronology. *Dendrochronologia*, 31 (3), 250–254. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2013.01.004>.

69. Büntgen, U., Trouet, V., Frank, D., Leuschner, H. H., Friedrichs, D., Luterbacher, J., & Esper, J. (2010). Tree-ring indicators of German summer drought over the lastmillennium. *Quaternaly Sciens Reviews*, 29, 1005–1016. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.01.003>.

70. Burg, K., Fluch, S., Hausman, J.-F., & Wilhelm, E. (2012). Ecophysiological and transcriptomic responses of oak (*Quercus robur*) to long-term drought exposure and rewatering. *Environmental and Experimental Botany*. 77, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.010>.

71. Burke, M. K., Lockaby, G. B., & Conner, W. H. (1999). Aboveground production and nutrient circulation along a flooding gradient in a South Carolina Coastal Plain forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 29, 1402–1418.

72. Burn, D. H., & Whitfield, P. H. (2015). Changes in floods and flood regimes in Canada. *Canadian Water Resources Journal*, 41, 139-150. <https://doi.org/10.1080/07011784.2015.1026844>.

73. Cailleret, M., Dakos, V., Jansen, S., Robert, E. M. R., Aakala, T., Amoroso, M. M., Antos, J. A., Bilger, C., Bugmann, H., Caccianaga, M., Camarero, J.-J., Cherubini, P., Coyea, M. R., Čufar, K., Das, A. J., Gea-Izquierdo, G., Gillner, S., Haavik, L. J., Hartmann, H., Hereş, A.-M., Hultine, K. R., Janda, P., Kane, J. M., Kharuk, V. M., Kitzberger, T., Klein, T., Levanič, T., Linares, J.-C., Lombardi, F., Mäkinen, H., Mészáros, I., Metsaranta, J. M., Oberhuber, W., Papadopoulos, A., Petritan, A. M., Rohner, B., Sangüesa-Barreda, G., Smith, J. M., Stan, A. B., Stojanovič, D. B., Suarez, M.-L., Svoboda, M., Trotsiuk, V., Villalba, R., Westwood, A. R., Wyckoff, P. H., & Martínez-Vilalta, J. (2019). Early-warning signals of individual tree mortality based on annual radial growth. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1964. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01964>.

74. Capon, S. J., Chambers, L. E., Mac Nally, R., Naiman, R. J., Davies, P., Marshall, N., Pittock, J., Reid, M., Capon, T., Douglas, M., Catford, J., Baldwin, D. S., Stewardson, M., Roberts, J., Parsons, M., & Williams, S. E. (2013). Riparian ecosystems in the 21st century: hotspots for climate change adaptation? *Ecosystems*, 16, 359–381. <https://doi.org/10.1007/s10021-013-9656-1>.

75. Čater, M., & Levanič, T. (2015). Physiological and growth response of *Quercus robur* in Slovenia. *Dendrobiology*, 74, 3–12. <https://doi.org/10.12657/denbio.074.001>.

76. Čejková, A., & Poláková, S. (2012). Growth responses of sessile oak to climate and hydrological regime in the Zbytka Nature Reserve, Czech Republic. *Geochronometria*, 39, 285–294. <https://doi.org/10.2478/s13386-012-0017-1>.

77. Chave, J., Coomes, D. A., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., & Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12, 351–366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>.

78. Cierjacks, A., Kleinschmit, B., Babinsky, M., Kleinschroth, F., Markert, A., Menzel, M., Ziechmann, U., Schiller, T., Graf, M., & Lang, F. (2010).



Carbon stocks of soil and vegetation on Danubian floodplains. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(5), 644–653. <https://doi.org/10.1002/jpln.200900209>.

79. Coder, K. D., & Warnell, D. B. (1999). Drought damage to trees. School of Forest Resources, University of Georgia 4/99. [https://www.kansasforests.org/forest\\_health/health\\_docs/DroughtDamageToTrees.pdf](https://www.kansasforests.org/forest_health/health_docs/DroughtDamageToTrees.pdf) / Accessed 21 April 2016.

80. Conner, W. H., & Day, J. W. (1992). Water level variability and litterfall production of forested fresh-water wetlands in Louisiana. *American Midland Naturalist*, 128, 237–245. <https://doi.org/10.2307/2426457>.

81. Cook, E. R. (1985). A Time Series Analysis Approach to Tree-Ring Standardization. Unpublished Ph.D. Dissertation. University of Arizona, Tucson, AZ, USA.

82. Cook, E. R., & Kairiukstis, L. (1990). *Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Netherlands: Springer Netherlands. 403 p.

83. Cook, E. R., & Pederson, N., (2011). Uncertainty, Emergence, and Statistics in Dendrochronology. In M.K. Hughes et al. (eds.), *Dendroclimatology, Developments in Paleoenvironmental Research* (pp. 77–112). Dordrecht, Netherlands: Springer Science+Business Media B.V. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5725-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5725-0_4).

84. Cook, E. R., Woodhouse, C. A., Eakin, C. M., Meko, D. M., & Stahle, D. W. (2004). Long-term aridity changes in the western United States. *Science*. 306. 1015–1018. <https://doi.org/10.1126/science.1102586>.

85. Copini, P., den Ouden, J., Robert, E. M. R., Tardif, J. C., Loesberg, W. A., Goudzwaard, L., & Sass-Klaassen, U. (2016). Flood-ring formation and root development in response to experimental flooding in young *Quercus robur* trees. *Frontiers in Plant Science* 7, e775. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00775>.

86. Creber, G. T. (1977). Tree rings: a natural data-storage system. *Biological Reviews*, 52, 349-383. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1977.tb00838.x>.

87. Čufar, K., De Luis, M., Eckstein, D. & Kajfež-Bogataj, L. (2008). Reconstructing dry and wet summers in SE Slovenia from oak tree-ring series. *International Journal of Biometeorology*, 52(7), 607–615. <https://doi.org/10.1007/s00484-008-0153-8>.
88. Čufar, K., de Luis, M., Zupančič, M., & Eckstein, D. (2008). A 548-year long tree-ring chronology of oak (*Quercus* spp.) for southeast Slovenia and its significance. *Tree-Ring Research*, 64(1), 3–15. <https://doi.org/10.3959/2007-12.1>.
89. Čufar, K., Grabner, M., Morgós, A., Martínez del Castillo, E., Merela, M., & de Luis, M. (2014). Common climatic signals affecting oak tree-ring growth in SE Central Europe. *Trees*, 28(5), 1267–1277. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0972-z>.
90. Dakos, V., Scheffer, M., van Nes, E. H., Brovkin, V., Petoukhov, V., & Held, H. (2008). Slowing down as an early warning signal for abrupt climate change. *Proceedings of National Academy of Science of the USA*, 105, 14308–14312. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802430105>.
91. Danehy, R. J., & Kirpes, B. J. (2000). Relative humidity gradients across riparian areas in eastern Oregon and Washington forests. *Northwest Science*, 74, 224–233.
92. Day, F. P., West, S. K., & Tupacz, E. G. (1988). The influence of groundwater dynamics in a periodically flooded ecosystem, the Great Dismal Swamp. *Wetlands*, 8, 1–13.
93. Dickson, R. E., Hosner, J. F., & Hosley, N. W. (1965). The effects of four water regimes upon the growth of four bottomland tree species. *Forest Science*, 11, 299–305. <https://doi.org/10.1093/forestscience/11.3.299>.
94. Dreyer, E., Bousquet, F., & Ducrey, M. (1990). Use of pressure volume curves in water relation analysis on woody shoots: influence of rehydration and comparison of four European oak species. *Annals of Forest Science*, 47, 285–297. <https://doi.org/10.1051/forest:19900401>.
95. Drobyshev, I., Niklasson, M., Linderson, H., Sonneson, K., Karlsson, M., Nilsson, S. G., & Lanner, J. (2008). Lifespan and mortality of old oaks – combining empirical and modelling approaches to support their management in

Southern Sweden. *Annals of Forest Science*, 65, 404p1–404p12. <https://doi.org/10.1051%2Fforest%3A2008012>.

96. Drobyshev, I., Niklasson, M., Eggertsson, O., Linderson, H., & Sonesson, K. (2008). Influence of annual weather on growth of pedunculate oak in southern Sweden. *Annals of Forest Science*, 65(5), 512p1–512p14. <https://doi.org/10.1051%2Fforest%3A2008033>.

97. Duncan, R. (1989). An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). *New Zealand Natural Sciences*, 16(3), 31–37.

98. Elisson, E., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands D. C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., Sugandi, Y., & Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>.

99. England, M. H., McGregor, S., Spence, P., Meehl, G. A., Timmermann, A., Cai, W., Gupta, A. S., McPhaden, M. J., Purich, A., & Santoso, A. (2014). Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, 4, 222–227. <https://doi.org/10.1038/nclimate2106>.

100. Esper, J., Cook, E., & Schweingruber, F. H. (2002). Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 295(5563), 2250–2253. <https://doi.org/10.1126/science.1066208>.

101. EUFORGEN 2009. Distribution map of Pedunculate oak (*Quercus robur*) (2009). <http://www.euforgen.org/> Accessed 20 April 2017.

102. Ewing, K. (1996). Tolerance of four wetland species to flooding and sediment deposition. *Environmental and Experimental Botany*, 36, 131–146. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(96\)01000-3](https://doi.org/10.1016/0098-8472(96)01000-3).

103. Ferner, E., Rennenberg, H., & Kreuzwieser, J. (2012). Effect of flooding on C metabolism of flood-tolerant (*Quercus robur*) and non-tolerant (*Fagus*

*sylvatica*) tree species. *Tree Physiology*, 32, 135–145. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps009>.

104. Fonti, P., & Garcíá-González, I. (2008). Earlywood vessel size of oak as a potential proxy for spring precipitation in mesic sites. *Journal of Biogeography*, 35, 2249–2257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2008.01961.x>.

105. Fonti, P., Heller, O., Cherubini, P., Rigling, A., & Arend, M. (2013). Wood anatomical responses of oak saplings exposed to air warming and soil drought. *Plant Biology*, 15, 210–219. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00599.x>.

106. Fonti, P., von Arx, G., Garcíá-González, I., Eilmann, B., Sass-Klaassen, U., Gärtner, H., & Eckstein, D. (2010). Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist*, 185(1), 42–53. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03030.x>.

107. Friedrich, M., Remmele, S., Kromer, B., Hofmann, J., Spurk, M., Kauser, K. F., Orcel, C., & Koppers, M. (2004). The 12,460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe; a unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon*, 46(3), 1111–1122. <https://doi.org/10.1017/S003382220003304X>.

108. Friedrichs, D. A., Büntgen, U., Frank, D. C., Esper, J., Neuwirth, B., & Löffler, J. (2009). Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. *Tree Physiology*, 29(1), 39–51. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn003>.

109. Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. New York: Academic Press, 567 p.

110. Fritts, H. C., Smith, D. G., Budelsky, C. A., & Cardis, J. W. (1965). The variability of ring characteristics within trees as shown by a reanalysis of four ponderosa pine. *Tree-Ring Bulletin*, 27, 3–18.

111. Garcíá-González, I., & Eckstein, D. (2003). Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. *Tree Physiology*, 23(7), 497–504. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.7.497>.

112. Gee, H. K. W., King, S. L., & Keim, R. F. (2014). Tree growth and recruitment in a leveed floodplain forest in the Mississippi River Alluvial Valley,

USA. *Forest Ecology and Management*, 334, 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.024>.

113. Gershunov, A., Schneider, N., & Barnett, T. P. (2001). Low-frequency modulation of the ENSO-Indian monsoon rainfall relationship: Signal or noise. *Journal of Climate*, 14, 2486–2492. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<2486:LFMOTE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<2486:LFMOTE>2.0.CO;2).

114. Gillner, S., Vogt, J., & Roloff, A. (2013). Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(4), 597–605. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.05.003>.

115. Glenz, C., Schlaepfer, R., Iorgulescu, I., & Kienast, F. (2006). Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. *Forest Ecology and Management*, 235, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.05.065>.

116. Golet, G. H., Brown, D. L., Carlson, M., Gardali, T., Henderson, A., Holl, K. D., Howell, C. A., Holyoak, M., Hunt, J. W., & Kondolf, G. M., (2013). Successes, failures and suggested future directions for ecosystem restoration of the middle Sacramento River, California. *San Francisco Estuary and Watershed Science*, 11(3), 1–29. <https://doi.org/10.15447/sfews.2013v11iss3art11>.

117. Goršič, E. (2014). Response of pedunculate oak in Balkan floodplain forests to drought. *STSM Scientific Report*, Ljubljana, Slovenia.

118. Gravatt, D. A., & Kirby, C. J. (1998). Patterns of photosynthesis and starch allocation in seedlings of four bottomland hardwood tree species subjected to flooding. *Tree physiology*, 18, 411–417.

119. Gren, I.-M., Groth, K.-H., & Sylven, M. (1995). Economic values of Danube Floodplains. *Journal of Environmental Management*, 45(4), 333–345. <https://doi.org/10.1006/jema.1995.0080>.

120. Gričar, J., de Luis, M., Hafner, P., & Levanič, T. (2013). Anatomical characteristics and hydrologic signals in tree-rings of oaks (*Quercus robur* L.). *Trees*, 27(6), 1669–1680. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0914-9>.

121. Gurnell, A. M., & Petts, G. (2011). Trees as riparian engineers: The Tagliamento River, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(12), 1558–1574. <https://doi.org/10.1002/esp.1342>.

122. Hadaš, P. (2003). Temperature and humidity conditions of the floodplain forest with respect to stand microclimate and mesoclimate. *Ekológia (Bratislava)*, 22, 19–46.
123. Hafner, P., Gričar, J., Skudnik, M., & Levanič, T. (2015). Variations in environmental signals in tree-ring indices in trees with different growth potential. *PLoS ONE*, 10, e0143918. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143918>.
124. Hainard, P., Bressoud, B., Guigni, G., & Moret, J.-L. (1987). Wasserentnahme aus Fließgewässern. Auswirkung verminderter Abflussmenge auf die Pflanzenwelt. *Schriftenreihe für Umweltschutz* 72. Bern: Bundesamt für Umweltschutz.
125. Halberg, F., Cornélissen, G., Sothorn, R. B., Czaplicki, J., & Schwartzkopff, O. (2010). Thirty-five-year climatic cycle in heliogeophysics, psychophysiology, military politics, and economics. *Atmospheric and Oceanic Physics*, 46, 844–864. <https://doi.org/10.1134/S0001433810070054>.
126. Haneca, K., Boeren, I., Van Acker, J., & Beeckman, H., (2006). Dendrochronology insuboptimal conditions: tree rings from medieval oak from Flanders (Belgium) as dating tools and archives of past forest management. *Vegetation History and Archaeobotany*, 15(2), 137–144. <https://doi.org/10.1007/s00334-005-0022-x>.
127. Haneca, K., Čufar, K., & Beeckman, H. (2009). Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: a review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe. *Journal of Archaeological Science*, 36, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.07.005>.
128. Heklau, H., Jetschke, G., Bruelheide, H., Seidler, G. & Haider, S. (2019). Species-specific responses of wood growth to flooding and climate in floodplain forests in Central Germany. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 12, 226–236. <https://doi.org/10.3832/ifor2845-012>.
129. Helama, S., Läänelaid, A., Raisio, J., & Tuomenvirta, H. (2009). Oak decline in Helsinki portrayed by tree-rings, climate and soil data. *Plant Soil*, 319, 163–174. <https://doi.org/10.1007/s11104-008-9858-z>.

130. Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., & Rejšková–Procházková, A. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: consequences for the local climate. *Ecological Engineering*, 54, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.036>.
131. Holmes, R. L. (1983). Computer assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 43, 69–78.
132. Hughes, M. K., Kelly, P. M., Pilcher, J. R., & LaMarche, V. C. (1982). *Climate from tree rings*. Cambridge: Cambridge University Press.
133. Hughes, F., & Richards, K. S. (2003). *The flooded forest: guidance for policy makers and river managers in Europe on the restoration of floodplain forests*. Cambridge: Department of geography, University of Cambridge, 96 p.
134. IPCC (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, et al. (Eds.) *A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1–582). Cambridge, UK, and New York: Cambridge University Press.
135. Kalbarczyc, R., Ziemańska, M., & Machowska-Molik, A. (2018). Deendroclimatological analysis of radial growth of old-growth oak (*Quercus robur* L.) on the Oder River floodbank in the city of Wrocław, South-Western Poland. *Drvna Industrija*, 69(2), 149-161. <https://doi.org/0.5552/drind.2018.1745>.
136. Kern, Z., Patkó, M., Kázmér, M., Fekete, J., Kele, S., & Pályi, Z. (2013). Multiple tree-ring proxies (earlywood width, latewood width and (13C) from pedunculate oak (*Quercus robur* L.)), Hungary. *Quaternary International*, 293, 257–267. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.05.037>.
137. Killick, R., & Eckley, I. A. (2014). changepoint: An R Package for Change-point Analysis. *Journal of Statistical Software*, 58(2), 1–19. <https://doi.org/10.18637/jss.v058.i03>.
138. Kirilyanov, A., Hughes, M., Vaganov, E., Schweingruber, F., & Silkin, P. (2003). The importance of early summer temperature and date of snow melt for tree growth in the Siberian Subarctic. *Trees – Structure and Function*, 17, 61–69. <https://doi.org/10.1007/s00468-002-0209-z>.

139. Klimo, E. (1998). History, condition and management of floodplain forest ecosystems in Europe. In Sassa K. (eds.), *Environmental Forest Science* (pp. 173–186). Dordrecht: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5324-9\\_18](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5324-9_18).
140. Klimo, E., Hager, H., Matič, S., Anič, I., & Kulhavý, J. (eds.) (2008). Floodplain forests of the temperate zone of Europe. Czech Republic: Lesnická práce s.r.o., Kostelec nad Černými lesy, 623 p.
141. Klimo, E., & Hager, H. (eds.) (2000). The Floodplain Forests in Europe: Current Situations and Perspectives. Leiden, Boston, Köln: Brill, 267 p.
142. Kolář, T., Kyncl, T., & Rybníček, M. (2012). Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia*, 30(3), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.02.002>.
143. Koprowski, M., Okoński, B., Gričar, P., & Puchałka, R. (2018). Streamflow as an ecological factor influencing radial growth of European ash (*Fraxinus excelsior* [L.]). *Ecological Indicators*, 85, 390–399. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.051>.
144. Kozłowski, T. (1984). Responses of woody plants to flooding. In T. T. Kozłowski (eds.). *Flooding and Plant Growth* (pp. 129–163), Orlando, FL: Academic Press.
145. Kozłowski, T. (1997). Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph*, 1, 1–29.
146. Kreuzwieser, J., Papadopoulou, E., & Rennenberg, H. (2004). Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. *Plant Biology*, 6, 299–306. <https://doi.org/10.1055/s-2004-817882>.
147. Kudzewicz, Z. W. (2008). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8, 195–203. <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0015-y>.
148. Land, A. (2014). Holzanatomische veränderungen als reaktion auf extreme umweltereignisse in rezenten und subfossilen eichen und deren verifizierungim experiment. Doktorgrades der Naturwissenschaften (Dr.rer.nat.), Universität Hohenheim, Hohenheim.



149. Leal, S., Campelo, F., Luz, A. L., Carneiro, M. F., & Santos, J. A. (2015). Potential of oaktree-ring chronologies from Southern Portugal for climate reconstructions. *Dendrochronologia*, 35, 4–13. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2015.05.003>.
150. LeBlanc, D. C. (1993). Temporal and spatial variation of oak growth-climate relationships along a pollution gradient in the Midwestern United States. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(5), 772–782. <https://doi.org/10.1139/x93-102>.
151. Levanič, T., Čater, M., & McDowell, N. G. (2011). Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination, and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree Physiology*, 31, 298–308. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq111>.
152. Lévy, G., Lefèvre, Y., Becker, M., Frochot, H., Picard, J. F., Wagner, P. A., & Aussenac, G. (1999). Excess water: effects on growth of oak. *Revue Forestière Française*, 51, 151–161.
153. Lovelius, N. V. (1997). *Dendroindication of natural processes and anthropogenic influences*. St.-Peterburg: World and Family-95, 320 p.
154. Matisons, R., Elferts, D., & Brumelis, G. (2013). Pointer years in tree-ring width and earlywood-vessel area time series of *Quercus robur* – Relation with climate factors near its northern distribution limit. *Dendrochronologia*, 31, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.10.001>.
155. Matthews, G. (1993). The carbon content of trees. *Forestry Commission Technical Paper*, 4, 21 p.
156. Meco, D. M., & Baisan, C. H. (2001). Pilot study of latewood-width of conifers as an indicator of variability of summer rainfall in the North American monsoon region. *International Journal of Climatology*, 21(6), 697–708. <https://doi.org/10.1002/joc.646>.
157. Megonigal, J. P., Conner, W. H., Kroeger, S., & Sharitz, R.R. (1997). Aboveground production in southeastern floodplain forests: A test of the subsidy-stress hypothesis. *Ecology*, 78, 370–384. <https://doi.org/10.2307/2266014>.
158. Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F. M.,

Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatzcak, K., Máge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., van Vliet, A. J. H., Wielgolaski, F.-M., & Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 1969–1976. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>.

159. Michelot, A., Simard, S., Rathgeber, C., Dufrêne, E., & Damesin, C. (2012). Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and nonstructural carbohydrate dynamics. *Tree Physiology*, 32, 1033–1045. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps052>.

160. Middelkoop, H., Daamen, K., Gellens, D., Grabs, W., Kwadijk, J. C. J., Lang, H., Parmet, B. W. A. H., Schädler, B., Schulla, J., & Wilke, K. (2001). Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. *Climatic Change*, 49, 105–128. <https://doi.org/10.1023/A:1010784727448>.

161. Mikac, S., Žmegač, A., Trlin, D., Paulić, V., Oršanić, M., & Anić, I. (2018). Drought-induced shift in tree response to climate in floodplain forests of Southeastern Europe. *Scientific reports*, 8, 16495. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34875-w>.

162. Morid, R., Delavar, M., Eagderi, S., & Kumar, L. (2016). Assessment of climate change impacts on river hydrology and habitat suitability of *Oxyaemacheilus bergianus*. Case study: Kordan River, Iran. *Hydrobiologia*, 771, 83–100. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2617-2>.

163. Naiman, R. J., Décamps, H., & McClain, M. E. (2005). *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Cambridge: Academic Press.

164. Nechita, C., Popa, I., & Eggertsson, Ó. (2017). Climate response of oak (*Quercus* spp.), an evidence of a bioclimatic boundary induced by the Carpathians. *Science of the total environment*, 599–600, 1598–1607. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.118>.

165. Nechita, C., Eggertsson, Ó, Badea, O. N. & Popa, I. (2018). A 781-year oak tree-ring chronology for the Middle Ages archaeological dating in Maramureş (Eastern Europe). *Dendrochronologia*, 52, 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2018.10.006>.
166. Netsvetov, M., Prokopuk, Y., Didukh, Y., & Romensky, M. (2018). Climatic sensitivity of *Quercus robur* L. in floodplain near Kyiv under river regulation. *Dendrobiology*, 79, 20–33. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.079.003>.
167. Netsvetov, M., Sergeyev, M., Nikulina, V., Korniyenko, V., & Prokopuk, Y. (2017). The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*, 44, 31–38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004>.
168. Nilsson, C., & Berggren, K. (2000). Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation: Dam operations have caused global-scale ecological changes in riparian ecosystems. How to protect river environments and human needs of rivers remains one of the most important questions of our time. *Bioscience*, 50, 783–792. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0783:AORECB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0783:AORECB]2.0.CO;2).
169. Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308, 405–408. <https://doi.org/10.1126/science.1107887>.
170. Norton, D. A., Palmer, J. G., & Ogden, J. (1987). Dendroecological studies in New Zealand 1. An evaluation of tree age estimates based on increment cores. *New Zealand Journal of Botany*, 25, 373–383. <https://doi.org/10.1080/0028825X.1987.10413355>.
171. Nuhoglu, Y. (2006). A New approach to air pollution determination using annual rings: dendro-chemical elemental analysis of annual rings by SEM-EDS. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 111–119.
172. Okoński, B. (2017). Radial growth of pedunculate oak and European ash on active river terraces. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, III, 1075–1091. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2017.3.1.083>.
173. Orwig, D. A., & Abrams, M. D. (1997). Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. *Trees*, 11(8), 474–484. <https://doi.org/10.1007/s004680050110>.

174. Parelle, J., Brendel, O., Bodénès, C., Berveiller, D., Dizengremel, P., Jolivet, Y., & Dreyer, E. (2006). Differences in morphological and physiological responses to water-logging between two sympatric oak species (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl., *Quercus robur* L.). *Annals of Forest Science*, 63, 849–859. <https://doi.org/10.1051/forest:2006068>.
175. Parelle, J., Brendel, O., Jolivet, Y., & Dreyer, E. (2007). Intra- and interspecific diversity in the response to waterlogging of two co-occurring white oak species (*Quercus robur* and *Q. petraea*). *Tree Physiology*, 27, 1027–1034. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.7.1027>.
176. Parent, C., Crèvecoeur, M., Capelli, N., & Dat, J. F. (2011). Contrasting growth and adaptive re-sponses of two oak species to flooding stress: role of non-symbiotic haemoglobin. *Plant, Cell & Environment*, 34, 1113–1126. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02309.x>.
177. Pérez-de-Lis, G., García-González, I., Rozas, V., & Olano, J. M. (2016). Feedbacks between earlywood anatomy and non-structural carbohydrates affect spring phenology and wood production in ring-porous oaks. *Biogeosciences*, 13, 5499–5510. <https://doi.org/10.5194/bg-13-5499-2016>.
178. Pérez-de-Lis, G., Olano, J. M., Rozas, V., Rossi, S., Vázquez-Ruiz, R. A., & García-González, I. (2017). Environmental conditions and vascular cambium regulate carbon allocation to xylem growth in deciduous oaks. *Functional Ecology*, 31, 592–603. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12789>.
179. Pérez-de-Lis, G., Rossi, S., Vázquez-Ruiz, R. A., Rozas, V., & García-González, I. (2016b). Do changes in spring phenology affect earlywood vessels? Perspective from the xylogenesis monitoring of two sympatric ring-porous oaks. *New Phytologist*, 209, 521–530. <https://doi.org/10.1111/nph.13610>.
180. Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., & Stromberg, J. C. (1997). The natural flow regime: a paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, 47, 769–784.
181. Poff, N. L., Olden, J. D., Merritt, D. M., & Pepin, D. M. (2007). Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity

implications. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 104, 5732–5737. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609812104>.

182. Politti, E., Egger, G., Angermann, K., Rivaes, R., Blamauer, B., Klösch, M., Tritthart, M., & Habersack, H. (2014). Evaluating climate change impacts on Alpine floodplain vegetation. *Hydrobiologia*, 737, 225–243. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1801-5>.

183. Polomski, J., & Kuhn, N. (1998). *Wurzelsysteme*. Bern: Haupt Verlag, 290 p.

184. Pritzkow, C., Wazny, T., Heußner, K. U., Słowiński, M., Bieber, A., Dorado Liñáne, I., Helle, G., & Heinrich, I. (2016). Minimum winter temperature reconstruction from average earlywood vessel area of European oak (*Quercus robur*) in N-Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 449, 520–530. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2016.02.046>.

185. Prokop, O., Kolář, T., Büntgen, U., Kyncl, J., Kyncl, T., Bošela, M., Choma, M., Barta, P., & Rybníček, M. (2016). On the palaeoclimatic potential of a millennium-long oak ring width chronology from Slovakia. *Dendrochronologia*, 40, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.08.001>.

186. Puchałka, R., Koprowski, M., Gričar, J., & Przybylak, R. (2017). Does tree-ring formation follow leaf phenology in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.)? *European Journal of Forest Research*, 136, 259–268. <https://doi.org/10.1016/10.1007/s10342-017-1026-7>.

187. Puchałka, R., Koprowski, M., Przybylak, J., Przybylak, R., & Dąbrowski, H. P. (2016). Did the late spring frost in 2007 and 2011 affect tree-ring width and earlywood vessel size in Pedunculate oak (*Quercus robur*) in northern Poland? *International Journal of Biometeorology*, 60, 1143–1150. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1107-6>.

188. Pukienė, R., & Ūzalas, E. (2007). Medieval oak chronology from the Vilnius lowercastle. *Dendrochronologia*, 24(2–3), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2006.10.007>.

189. R Core Team, (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

190. Rieger, I., Kowarik, I., Cherubini, P., & Cierjacks, A. (2017). A novel dendrochronological approach reveals drivers of carbon sequestration in tree species of riparian forests across spatiotemporal scales. *The Science of the Total Environment*, 574, 1261–1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.174>.
191. Rieger, I., Kowarik, I., & Cierjacks, A. (2015). Drivers of carbon sequestration by biomass compartment of riparian forests. *Ecosphere*, 6(10), art185. <https://doi.org/10.1890/ES14-00330.1>.
192. Rieger, I., Lang, F., Kleinschmit, B., Kowarik, I., & Cierjacks, A. (2013). Fine root and aboveground carbon stocks in riparian forests: the roles of diking and environmental gradients. *Plant and Soil*, 370(1–2), 497–509. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1638-8>
193. Rozas, V. (2005). Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science*, 62, 209–218. <https://doi.org/10.1051/forest:2005012>.
194. Rozas, V. (2003). Tree age estimates in *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: testing previous and improved methods. *Plant Ecology*, 167(2), 193–212. <https://doi.org/10.1023/A:1023969822044>.
195. Rozas, V., & García-González, I. (2012). Non-stationary influence of El Niño-Southern Oscillation and winter temperature on oak latewood growth in NW Iberian Peninsula. *International Journal of Biometeorology*, 56, 787–800. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0479-5>.
196. Ruseckas, J. (2006). Impact of climatic fluctuations on radial increment of English oak (*Quercus robur* L.). *Ekologia*, 1, 16–24.
197. Santini, A., Bottacc,i A., & Gellini, R. (1994). Preliminary dendroecological survey on pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Tuscany (Italy). *Annales des Sciences forestières*, 51, 1–10.
198. Sass-Klassen, U., & Hanraets, E. (2006). Woodlands in the past the excavation of wetland woods at Zwolle-Standshagen (the Netherlands): growth pattern and population dynamics of oak and ash. *Netherlands Journal of Geoscience*, 85, 61–71.

199. Sass-Klassen, U., Sabajo ,C.R., & den Ouden, J. (2011). Vessel formation in relation to leaf phenology in pedunculate oak and European ash. *Dendrochronologia*, 29, 171–175. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.01.002>.
200. Schneider, C, Laizé, C. L. R., Acreman, M. C., & Flörke, M. (2013). How will climate change modify river flow regimes in Europe? *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 325–339. <https://doi.org/10.5194/hess-17-325-2013>.
201. Scharnweber, T., Couwenberg, J., Heinrich, I., & Wilmking, M. (2015). New insights for the interpretation of ancient bog oak chronologies? Reactions of oak (*Quercus robur* L.) to a sudden peatland rewetting. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 417, 534–543. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.10.017>.
202. Scharnweber, T., Manthey, M., & Wilmking, M. (2013). Differential radial growth patterns between beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on periodically waterlogged soils. *Tree Physiology*, 33, 425–437. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt020>.
203. Schweingruber, F. H. (1988). *Tree rings — basics and applications of dendrochronology*. Kluwer: Academic Publishers, 276 p.
204. Siebel, H. N., Van Wijk, M., & Blom, C. W. P. M. (1998). Can tree seedlings survive increased flood levels of rivers? *Acta Botanica Neerlandica*, 47, 219–230.
205. Singer, M. B., Stella, J. C., Dufour, S., Piégay, H., Wilson, R. J. S., & Johnstone, L. (2013). Contrasting water-uptake and growth responses to drought in co-occurring riparian tree species. *Ecohydrology*, 6, 402–416. <https://doi.org/10.1002/eco.1283>.
206. Sohar, K., Läänelaid, A., Eckstein, D., Helama, S., & Jaagus, J. (2014). Dendroclimatic signals of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Estonia. *European Journal of Forest Research*, 133(3), 535–549. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0783-9>.
207. Sonderegger, D. L. (2018). SiZer: Significant Zero Crossings. R package version 0.1–5.
208. Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkipää, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A., & Weiss, P. (2007). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation.

*European Journal of Forest Research*, 126, 197–207. <https://doi.org/10.1007/s10342-006-0125-7>.

209. Späth, V. (1988). Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen. *Natur und Landschaft*, 63, 312–315.

210. Sperry, J. S., Meinzer, F. C., & McCulloh, K. A. (2008). Safety and efficiency conflict in hydraulic architecture: scaling from tissues to trees. *Plant, Cell & Environment*, 31, 632–645. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01765.x>.

211. Spieß, N., Oufir, M., Matušíkova, I., Stierschneider, M., Kopecky, D., Homolka, A., Burg, K., Fluch, S., Hausman, J.-F., & Wilhelm, E. (2012). Ecophysiological and transcriptomic responses of oak (*Quercus robur*) to long-term drought exposure and rewatering. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 117–126. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.11.010>.

212. Stella, J. C., & Bedndix, J. (2019). Multiple stressors in riparian ecosystems. In S. Sabater, A. Elosegi, & R. Ludwig (Eds.), *Multiple Stressors in River Ecosystems. Status, Impacts and Prospects for the Future* (pp.81–110). New York, NY: Elsevier.

213. Stella, J. C., Riddle, J., Piégay, H., Gagnage, M., & Trémélo, M.-L. (2013). Climate and local geomorphic interactions drive patterns of riparian forest decline along a Mediterranean Basin river. *Geomorphology*, 202, 101–114. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.01.013>.

214. St. George, S., Nielsen, E., Conciatori, F., & Tardif, J. (2002). Trends in *Quercus macrocarpa* vessel areas and their implications for tree-ring paleoflood studies. *Tree-Ring Research*, 58, 3–10.

215. Stojanović, D. B., Levanić, T., Matović, B., & Orlović, S. (2015a). Growth decrease and mortality of oak floodplain forests as a response to change of water regime and climate. *European Journal of Forest Research*, 134, 555–567. <https://doi.org/10.1016/10.1007/s10342-015-0871-5>.

216. Stojanović, D., Levanić, T., Matović, B., & Bravo-Oviedo, A. (2015b). Climate change impact on a mixed lowland oak stand in Serbia. *Annals of Silvicultural Research*, 39, 94–99. <https://doi.org/10.12899/asr-1126>.



217. Ström, L., Jansson, R., Nilsson, C., Johansson, M. E., & Xiong, S. (2011). Hydrologic effects on riparian vegetation in a boreal river: an experiment testing climate change predictions. *Global Change Biology*, 17, 254–267. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02230.x>.
218. Stromberg, J. C., & Patten, D. T. (1992). Mortality and age of black cottonwood stands along diverted and undiverted streams. *Madrono*, 39, 205–223.
219. Stuijzand, S., Ek, E. V., Manen, H. V., Hommel, P. W. F. M., Waal, R. W. D., Pol, J. V. D., Daling, J., Pelsma, T., Belien, E., Olsthoorn, A., Sass-Klaassen, U., den Ouden, J., Kuijper, M., & van Rooij, S. (2008). *Onderzoek naar Effecten van Waterberging in een Jong Kleibos: Achtergrondrapport Harderbos*. Alterra rapport 1630, 138 p.
220. Suzuki, R. & Shimodaira, H. (2006). Pvclust: an R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering. *Bioinformatics*, 22(12), 1540–1542. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btl117>.
221. Tardif, J. C., & Conciatori, F. (2006). Influence of climate on tree rings and vessel features in red oak and white oak growing near their Northern distribution limit, Southwestern Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 2317–2330. <https://doi.org/10.1139/x06-133>.
222. Tatin-Froux, F., Capelli, N., & Parelle, J. (2014). Cause-effect relationship among morphological adaptations, growth, and gas exchange response of pedunculate oak seedlings to waterlogging. *Annals of Forest Science*, 71, 363–369. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0340-6>.
223. Tkach, V. P. (2000). Ukrainian lowland forests. In: E. Klimo, & H. Hager (Eds.), *Floodplain forests in Europe: current situation and perspectives* (pp. 169–183). Leiden, Boston, Köln: Brill.
224. Tumajer, J., & Treml, V. (2016). Response of floodplain pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring width and vessel anatomy to climatic trends and extreme hydroclimatic events. *Forest Ecology and Management*, 379, 185–194. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.013>.

225. Tumajer, J., & Treml, V. (2017). Influence of artificial alteration of groundwater level on vessel lumen area and tree-ring width of *Quercus robur*. *Trees*, 31, 1945–1957. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1598-3>.
226. Urli, M., Lamy, J.-B., Sin, F., Burlett, R., Delzon, S., & Porté, A. J. (2015). The high vulnerability of *Quercus robur* to drought at its southern margin paves the way for *Quercus ilex*. *Plant Ecology*, 2, 177–187. <https://doi.org/10.1007/s11258-014-0426-8>
227. Vaganov, E. A., Hughes, M. K., & Shashkin, A. V. (2006). *Growth dynamics of conifer tree rings: images of past and future environments*. Berlin Heidelberg, New York, USA: Springer-Verlag.
228. Vasilas, B., Vasilas, L., Thompson, J., Rizzo, A., Fuhrmann, J. J., Evans, T., Pesek, J., & Kunkle, K. (2004). Ectomycorrhizal mantles as indicators of hydrology for jurisdictional wetland determinations. *Wetlands*, 24, 784–795. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2004\)024\[0784:EMAIOH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0784:EMAIOH]2.0.CO;2).
229. Villalba, R., & Veblen, T. T. (1997). Improving estimates of total tree ages based on increment core samples. *Ecoscience*, 4, 534–542. <https://doi.org/10.1080/11956860.1997.11682433>.
230. Vincke, C., & Delvaux, B. (2005). Porosity and available water of temporarily waterlogged soils in a *Quercus robur* (L.) declining stand. *Plant and Soil*, 271, 189–203. <https://doi.org/10.1007/s11104-004-2388-4>.
231. Wang, L., Payette, S., & Bégin, Y. (2002). Relationships between anatomical and densitometric characteristics of black spruce and summer temperature at tree line in northern Quebec. *Canadian Journal of Forest Research*, 32, 477–486. <https://doi.org/10.1139/x01-208>.
232. Ważny, T., & Eckstein, D. (1991). The dendrochronological signal of oak (*Quercus* spp.) in Poland. *Dendrochronologia*, 9, 35–49.
233. Ważny, T., Lorentzen, B., Köse, N., Akkemik, Ü., Boltryk, Y., Güner, T., Kyncl, J., Kyncl, T., Nechita, C., Sagaydak, S., & Vasileva, J. K. (2014). Bridging the gaps in tree-ring records: Creating a high-resolution dendrochronological network for southeastern Europe. *Tree-Ring Research*, 70(3), S39–S50. <https://doi.org/10.3959/1536-1098-70.3.39>.

234. Webb, R.H., & Leake, S.A. (2006). Ground-water surface-water interactions and long-term change in riverine riparian vegetation in the southwestern United States. *Journal of Hydrology*, 320, 302–323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.022>.
235. Webb, R. W., Rosenzweig, C. E., & Levine, E. R. (2000). Global soil texture and derived water-holding capacities. Data set. Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A. <http://www.daac.ornl.gov/> Accessed 18 May 2016.
236. Weissbrod, M., & Binder, F. (2017). Effect of a barrage on radial increment of pedunculate oaks (*Quercus robur* L.) at the Bavarian Danube. *Forstarchiv*, 88, 102–110.
237. Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time series, with applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23, 201–213.
238. Wilson, R., Miles, D., Loader, N. J., Melvin, T., Cunningham, L., Cooper, R., & Briffa, K. (2012). A millennial long March-July precipitation reconstruction for southern-central England. *Climate Dynamics*, 40(3–4), 997–1017. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1318-z>.
239. Wright, R. B., & Lockaby, B. G., & Walbridge, M. R. (2001). Phosphorus availability in an artificially flooded southeastern floodplain forest soil. *Soil Science Society of America Journal*, 65(4), 1293–1302. <https://doi.org/10.2136/sssaj2001.6541293x>.
240. Zang, C., & Biondi, F. (2013). Dendroclimatic calibration in R: The bootRes package for response and correlation function analysis. *Dendrochronologia*, 31, 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.001>.
241. Zang, C., & Biondi, F. (2015). treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relationships. *Ecography*, 38, 431–436. <https://doi.org/10.1111/ecog.01335>.

## ДОДАТОК А

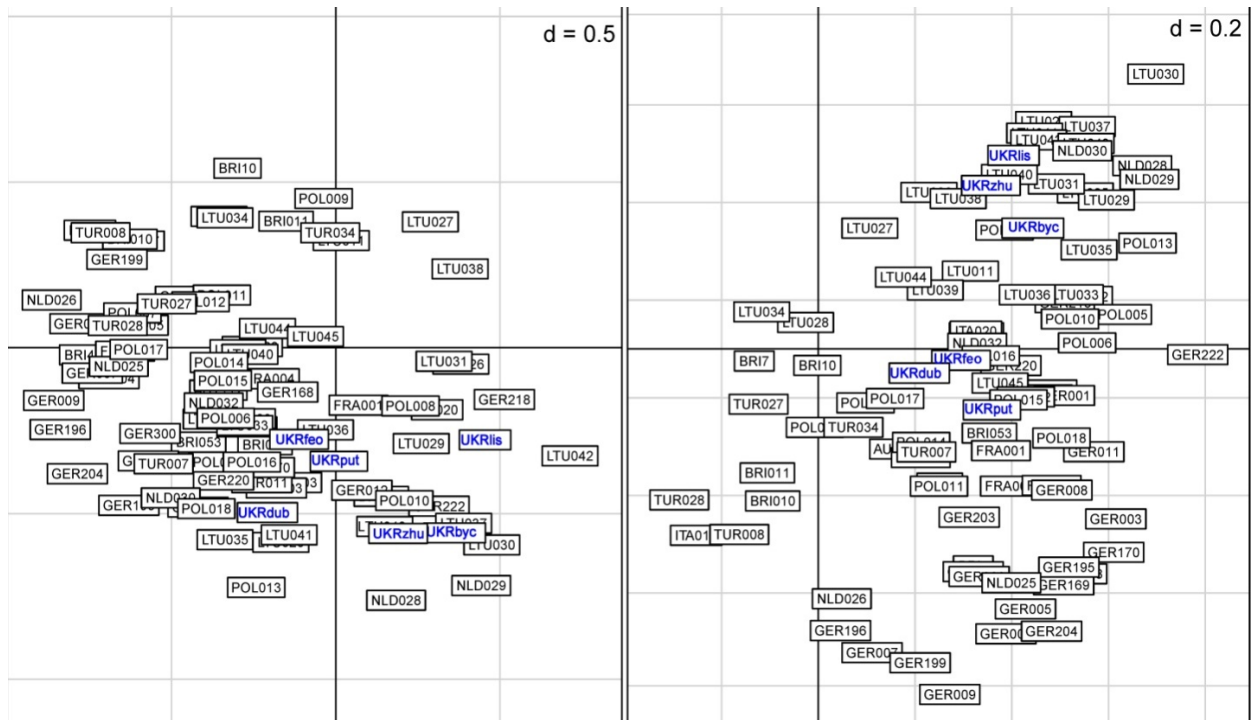


Рис. А.1. Графіки навантажень хронологій *Quercus robur*, *Q. petraea* + *Quercus* spp. методом головних компонент. Зліва — необроблені хронології, справа — з видаленим трендом

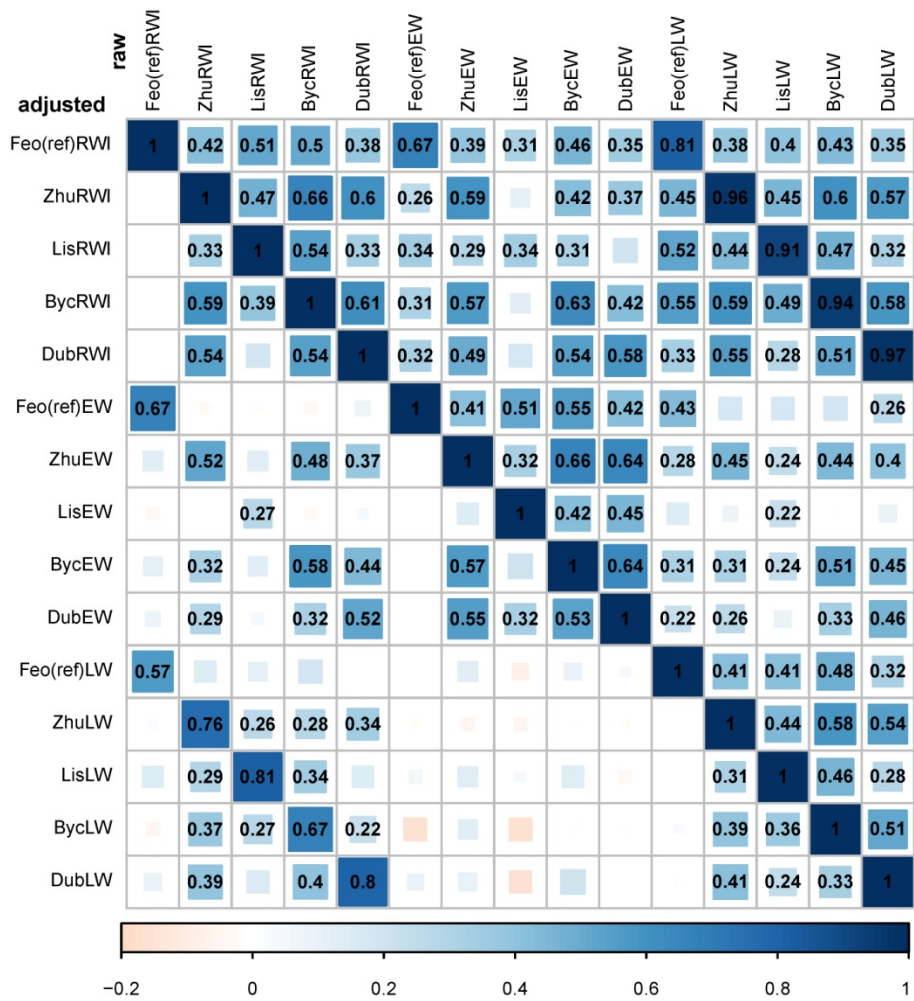


Рис. А.2. Коефіцієнти кореляції між необробленими (raw) та скоригованими (adjusted) хронологічними серіями. RWI — індекси річного приросту, EW — індекси приросту ранньої деревини, LW— індекси приросту пізньої деревини. Наведено лише статистично значущі значення ( $p < 0,01$ )

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТУСА



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи

І.В. Хаджинов

\_\_\_\_\_ 2019 р.

**АКТ №**

**впровадження результатів дисертаційного дослідження Прокопук Юлія Сергіївна "Кліматогенна варіація радіального приросту *Quercus robur* L. в біотопах заплави Дніпра в м.Києві"**

Комісія у складі:

Голова:

Овчинникова Ю.Ю., в.о. декана біологічного факультету

Члени комісії:

Євтухова О.В., завідувач навчального відділу

О.В. Машталер, голова навчально-методичної комісії біологічного факультету

Лялюк Н.М., завідувач кафедри ботаніки та екології

у період 17.05.2019 р. по 22.05.2019 р. розглянула матеріали впровадження результатів зазначеної дисертаційної роботи у навчальний процес.

2. Комісія постановила:

Результати дисертаційного дослідження Прокопук Юлії Сергіївни "Кліматогенна варіація радіального приросту *Quercus robur* L. в біотопах заплави Дніпра в м.Києві" було впроваджено у навчально-виховний процес кафедри ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса шляхом використання викладачами кафедри наступних науково-методичних матеріалів із формуванням фахових компетентностей студентів, які навчаються за освітніми програмами 091 «Біологія» та 101 «Екологія»:

1. Методичні рекомендації до проведення лабораторних робіт з курсу «Загальна екологія» розділ «Біоіндикація»

Результати кандидатської дисертації Прокопук Ю.С. використовуються при виконанні курсових та магістерських робіт, а також при викладанні навчальних курсів у межах навчального навантаження кафедри ботаніки та екології «Загальна екологія», «Моніторинг довкілля».



Позитивний вплив впровадження результатів дисертаційного дослідження обговорено на засіданні кафедри ботаніки та екології (протокол №19 від 16.06.19 р.).

Акт виданий для пред'явлення до спеціалізованої Вченої ради К26.880.02 Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління

Голова комісії

В.о. декана біологічного факультету



Ю.Ю. Овчинникова

Члени комісії:

Завідувач навчального відділу



О.В. Євтухова

Голова навчально-методичної комісії  
біологічного факультету



О.В. Машталер

Завідувач кафедри ботаніки та екології



Н.М. Лялюк