

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан факультету захисту  
рослин біотехнологій та екології

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Коломієць Ю.В.**  
(ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри фізіології,  
біохімії рослин та біоенергетики

\_\_\_\_\_  
(підпис) **Прилуцька С.В.**  
(ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему «Оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища»

Спеціальність G21 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітня програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

**Гарант освітньої програми**

д. с.-г. наук, професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Лісовий М.М.**

\_\_\_\_\_  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

Кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри фізіології, біохімії  
рослин та біоенергетики

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Нестерова Н.Г.**

\_\_\_\_\_  
(ПІБ)

**Виконала**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Савіцька Л.В.**

\_\_\_\_\_  
(ПІБ студента)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**  
**Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**фізіології, біохімії рослин та**  
**біоенергетики**  
д.б.н., професор \_\_\_\_\_ Прилуцька С.В.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**  
**Савіцькій Людмилі Володимирівні**

Спеціальність G21 Біотехнології та біоінженерія

Освітня програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика» Орієнтація освітньої програми  
Освітньо-професійна \_\_\_\_\_

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних  
рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища»

затверджена наказом від “07” листопада 2024р. № 2005 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: наукова література по темі дослідження,  
рослинний матеріал родини *Fagaceae*, міські території для озеленення.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Дослідити екологічні умови зростання зелених насаджень міста Києва та здійснити відбір модельних екземплярів деревних рослин родини *Fagaceae*.
2. Оцінити життєвий і фітосанітарний стан вибраних дерев та визначити особливості їхньої адаптації до антропогенних чинників.
3. Визначити вміст основних фотосинтетичних пігментів і вільного проліну як індикаторів функціонального стану фотосинтетичного апарату.
4. Проаналізувати зв'язок фізіолого-біохімічних показників із техногенним навантаженням та оцінити перспективність видів *Fagaceae*.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) \_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “23” жовтня 2025 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
( підпис ) (прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота виконана на тему «Оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища» в обсязі 79 сторінок комп'ютерного тексту формату А4, містить 10 таблиць, 27 рисунків та 3 додатки. Список використаної літератури включає 43 джерела. Робота складається з розділів: зміст, вступ, огляд літератури, огляд методів та результатів дослідження, висновків та списку використаних джерел.

**Актуальність теми.** Оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин у межах урбанізованого середовища дає змогу не лише оцінити рівень їхньої фізіологічної стійкості, а й виявити потенційні ризики деградації зелених насаджень під впливом техногенних чинників. Отримані результати можуть бути використані з метою наукового обґрунтування добору деревних порід, здатних підтримувати стабільні показники інтенсивності фотосинтезу і декоративності у напружених умовах міста Києва.

**Метою** даної роботи було оцінити стан фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища міста Києва та визначити їхню адаптивну стійкість до антропогенних чинників.

Для досягнення цієї мети було поставлено наступні **завдання**:

- проаналізувати літературні джерела та провести відбір модельних екземплярів представників родини *Fagaceae* у різних екологічних зонах міста Києва;
- оцінити життєздатність досліджуваних видів та виявити найстійкіші до дії антропогенних чинників рослини;
- визначити вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, b, каротиноїдів і феофітинів) у листках деревних рослин;
- охарактеризувати вміст вільного проліну у листках рослин та порівняти зі значеннями пігментного комплексу.

**Об'єктами досліджень** слугували деревні рослини родини *Fagaceae*, які широко використовують у зеленому будівництві міста Києва , а саме:

гірकोкаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.), дуб черешчатий (*Quercus robur* L.) та бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.).

**Предметом дослідження** є морфофункціональні та фізіолого-біохімічні показники стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* (*A. hippocastanum*, *Q. robur*, *F. sylvatica*) за умов урбанізованого середовища міста Києва.

**Методи дослідження.** У роботі використано методики візуального оцінювання життєвого стану деревних рослин (за Кузнецовим С. І., Левоним Ф. М., Пилипчуком В. Ф. та Шумиком М. І.), фітосанітарного стану, ступеня ураження листкової поверхні шкідниками й патогенами (за методикою фітосанітарного обстеження, ДСТУ 4861:2007), а також декоративності та фенологічних фаз розвитку (за стандартною методикою фенологічних спостережень). Проведено спектрофотометричне визначення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, b, каротиноїдів, феофітинів) (за методом Холма–Веттштайна) та вільного проліну як показника адаптаційних реакцій (за методом Бейтса — Bates et al., 1973). Апробовано аналіз впливу антропогенних чинників урбанізованого середовища на функціональний стан фотосинтетичного апарату деревних видів родини *Fagaceae*. Обробку отриманих результатів здійснювали статистичними методами із використанням пакета програм *Microsoft Excel*, визначаючи середні значення ( $M \pm m$ ) та достовірність різниць між показниками, коефіцієнти кореляції та регресії та їхні статистичні помилки.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1. Структурно-функціональна організація фотосинтетичного апарату .....	9
1.2. Біохімічні маркери стресу та їх взаємозв'язок із функціонуванням пігментного апарату деревних рослин в умовах урбанізованого середовища....	13
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1. Об'єкти досліджень.....	20
2.2. Біолого-екологічна характеристика видів рослин родини <i>Fagaceae</i> .....	22
2.3. Характеристика об'єктів дослідження в умовах міста Києва.....	30
2.4. Аналіз ґрунтово-кліматичних умов м. Києва .....	33
2.5. Методика досліджень.....	35
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ .....	39
3.1. Оцінка потенційної життєздатності деревних видів рослин родини <i>Fagaceae</i> в умовах міста Києва.....	39
3.2. Вміст фотосинтетичних пігментів у представників родини <i>Fagaceae</i> в умовах урбанізованого середовища .....	53
3.3. Вміст вільного проліну в листках деревних рослин родини <i>Fagaceae</i> .....	59
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	63
ДОДАТКИ.....	67

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ФСА – фотосинтетичний апарат

ЛНС – light-harvesting complex

ДНК – дезоксирибонуклеїнова кислота

РНК – рибонуклеїнова кислота

ФСІ – фотосистема I

ФСII – фотосистема II

НАДФ<sup>+</sup> – окислена форма нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату

НАДФН – відновлена форма нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату

НАДФН<sub>2</sub> – відновлена двохатомна форма  
нікотинамідаденіндинуклеотидфосфату

АТФ – аденозинтрифосфат

## ВСТУП

Сучасна урбанізація є одним із найпотужніших чинників антропогенного впливу на довкілля. Розвиток міської інфраструктури супроводжується збільшенням кількості промислових і транспортних викидів, підвищенням температури повітря, зміною вологості та ущільненням ґрунтів. Ці процеси призводять до формування складних екологічних умов, у яких зростають деревні насадження міст. Стійкість фізіолого-біохімічного стану міських екосистем значною мірою залежить від функцій, які вони виконують, а саме зниження рівня забрудненості повітря, регулювання мікроклімату та збереження біорізноманіття тощо.

Одним із ключових показників стану зелених насаджень є функціонування фотосинтетичного апарату – системи, що визначає енергетичний потенціал рослин. Коливальні зміни вмісту та співвідношення пігментів (хлорофілів, каротиноїдів, феофітинів) є інформативними індикаторами дії техногенних чинників. Розбалансування роботи фотосинтетичного апарату відображає не лише реакцію окремих рослин на забруднення, а й загальний стан міських біоценозів.

Значної уваги заслуговують представники родини *Fagaceae* (дуб черешчатий (*Quercus robur* L.), бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.) та гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum* L.)), які широко використовуються у міському озелененні завдяки своїй довговічності, декоративності та високій екологічній пластичності. Разом із тим, вони характеризуються підвищеною чутливістю фотосинтетичного апарату саме до забруднення повітря, високих температур і дефіциту вологи. Тому дослідження адаптаційних механізмів деревних рослин родини *Fagaceae* є надзвичайно актуальним у контексті сталого розвитку міських урбогенних ландшафтів.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Структурно-функціональна організація фотосинтетичного апарату

Фотосинтез – це фундаментальний процес, який лежить в основі життя рослин і підтримання біосфери загалом. Саме завдяки фотосинтезу відбувається трансформація енергії сонячного випромінювання у хімічну енергію органічних сполук, що забезпечує існування більшості трофічних ланцюгів на Землі. Його реалізація відбувається завдяки фотосинтетичному апарату – складному структурно-функціональному комплексу, який об'єднує систему пігментів, мембранні структури, фотосистеми та ферментативні механізми [30].

Фотосинтетичний апарат (ФСА) рослин являє собою інтегровану систему, здатну не лише ефективно уловлювати та перетворювати енергію світла, а й адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища. Його морфофункціональна організація включає два основні рівні – світлозбиральні комплекси (ЛНС), які відповідають за поглинання фотонів і передачу енергії, та реакційні центри фотосистем I і II, де відбуваються первинні фотохімічні реакції. Ця система надзвичайно чутлива до впливу абіотичних чинників, тому вважається індикатором функціонального стану рослин і ступеня їхньої стійкості [1].

Хлоропласти – це спеціалізовані органели, у яких локалізований фотосинтетичний апарат. Вони мають подвійну мембрану, зовнішня з яких є напівпроникною, а внутрішня формує складну систему тилакоїдів, що об'єднуються у грани. Саме у тилакоїдах розташовані фотосистеми та ферментні комплекси, які забезпечують перетворення енергії світла у хімічну. Внутрішній простір хлоропласта, строма, містить ДНК, РНК, рибосоми, ферменти циклу Кальвіна та синтетичні механізми для відновлення вуглекислого газу до вуглеводів [2–3, 30].

У процесі фотосинтезу енергія фотонів, поглинута пігментами, збуджує електрони у фотосистемі II (ФСII), що ініціює фотоліз води – розщеплення

молекул  $\text{H}_2\text{O}$  на кисень, протони та електрони. Кисень виділяється в атмосферу, а електрони проходять через електронотранспортний ланцюг до фотосистеми I (ФСІ), де беруть участь у відновленні  $\text{НАДФ}^+$  до  $\text{НАДФН}$ . Паралельно на мембранах формується протонний градієнт, енергія якого використовується АТФ-синтазою для утворення молекул АТФ. У сукупності ці процеси формують Z-схему електронного транспорту, що є класичною моделлю світлової фази фотосинтезу [2–3, 30].

Світлові реакції фотосинтезу протікають у тилакоїдах і забезпечують утворення основних енергетичних сполук — АТФ та  $\text{НАДФН}_2$ . Темнові реакції, що відбуваються у стромі хлоропластів, спрямовані на фіксацію  $\text{CO}_2$  у процесі циклу Кальвіна–Бенсона–Бассема. У цьому циклі ключовим ферментом є Рубіско (рибулозо-1,5-бісфосфаткарбоксилаза/оксигеназа), який каталізує приєднання вуглекислого газу до рибулозобісфосфату з утворенням фосфогліцеринової кислоти. З отриманих продуктів утворюються вуглеводи, що накопичують енергію, необхідну для росту та метаболізму рослин [42].

Невід'ємним компонентом фотосинтетичного апарату є пігментна система, до складу якої входять хлорофіли, каротиноїди та фікобіліни. Ці сполуки виконують як світлозбиральну, так і захисну функції. Хлорофіли забезпечують поглинання світла у синьо-червоній частині спектра, тоді як каротиноїди розширюють спектр поглинання, особливо у синьо-зеленій зоні, що підвищує ефективність використання сонячної енергії [4–5].

Основними пігментами є хлорофіли а та b. Хлорофіл а виконує роль реакційного центру фотосистем і безпосередньо бере участь у фотохімічних реакціях, тоді як хлорофіл b є допоміжним пігментом, який передає енергію збудження до хлорофілу а. Важливим діагностичним параметром є співвідношення  $\text{Chl a/Chl b}$ , оскільки воно відображає структурно-функціональний стан фотосинтетичних мембран. Його підвищення свідчить про перевагу фотохімічних процесів і добру освітленість, тоді як зниження – про перебудову світлозбиральних комплексів і зменшення активності фотосинтезу.

В умовах урбанізованого середовища часто спостерігається зниження загального вмісту хлорофілів через ушкодження мембран хлоропластів токсичними газами та посилення оксидативного стресу. Наприклад, у листках дуба й липи, що ростуть поблизу транспортних магістралей Києва та Харкова, кількість хлорофілів була на 20–30 % нижчою, ніж у контрольних зразках із зелених зон [24–25].

Каротиноїди відіграють дві ключові ролі – беруть участь у поглинанні світла й захищають фотосистеми від фотопошкодження. Їх антиоксидантна функція полягає у гасінні збуджених станів хлорофілу та запобіганні утворенню активних форм кисню, які можуть руйнувати мембрани. У стресових умовах (посуха, перегрів, забруднення довкілля) рівень каротиноїдів зростає, що вважається адаптивною реакцією. Особливо важливу роль у цьому відіграє ксантофіловий цикл, який включає перетворення віолаксантину на антероксантин і зеаксантин, що забезпечують розсіювання надлишкової енергії у вигляді тепла [26–27].

У стресових умовах, зокрема за підвищеної температури, каротиноїди виконують функцію стабілізаторів ліпідного шару тилакоїдних мембран, запобігаючи фотоокисленню та деградації хлорофілів. Це особливо важливо для деревних видів, таких як *Q. Robur* та *F. sylvatica*, які часто зазнають комбінованої дії високих температур і забрудненого повітря в містах.

Феофітини утворюються внаслідок деметалізації молекули хлорофілу, коли центральний атом магнію заміщується двома атомами водню. Цей процес є маркером деградації фотосинтетичних пігментів і свідчить про пошкодження апарату. У нормальних умовах концентрація феофітинів незначна, однак під впливом надмірного освітлення, дефіциту вологи чи токсичних газів вона істотно зростає. Дослідження в Харкові показали, що у листках дуба звичайного з ділянок із високим транспортним навантаженням вміст феофітинів був удвічі більшим, ніж у паркових зонах [28–29].

Зміни у кількісному складі пігментів, їх співвідношенні та появі продуктів деградації є відображенням реакцій фотосинтетичного апарату на дію

стресових факторів і можуть використовуватись як біоіндикатори стану рослин. Вимірювання вмісту хлорофілів, каротиноїдів і феофітинів дає змогу оцінити стійкість рослин і ступінь їхнього пошкодження [30, 42].

Фотосинтетичний апарат надзвичайно чутливий до дії абіотичних і антропогенних факторів. Серед основних стресів, що впливають на його стабільність, температурні коливання, водний дефіцит, надлишкове освітлення, а також забруднення атмосфери оксидами сірки, азоту й важкими металами [6–7, 30].

Температурний стрес змінює стабільність мембран і активність ферментів циклу Кальвіна, що призводить до зниження ефективності фотосинтезу. Водний дефіцит, спричинений посухою чи засоленням, викликає закриття продихів, зменшення вмісту CO<sub>2</sub> у мезофілі та порушення рівноваги між світловими й темновими реакціями. Надлишкове освітлення спричиняє фотопошкодження – утворення активних форм кисню, які руйнують пігменти, ліпіди та білки тилакоїдів.

В умовах урбанізованого середовища ці фактори діють комплексно. Транспортні викиди, пилові частки, ущільнення ґрунту, дефіцит вологи та підвищені температури створюють багатофакторний стрес, що впливає на стабільність фотосинтетичного апарату. Для деревних рослин родини *Fagaceae* це проявляється у зменшенні вмісту хлорофілів, зміні співвідношення Chl a/Chl b, підвищенні частки каротиноїдів і феофітинів [8, 40–41].

Зокрема, у міських екосистемах *Q. robur* і *F. sylvatica* демонструють характерні ознаки адаптації – підвищення вмісту каротиноїдів і стабільність співвідношення хлорофілів навіть за підвищених рівнів забруднення повітря. Це свідчить про активацію фотозахисних механізмів, що дають змогу підтримувати функціонування фотосистем у стресових умовах.

Крім того, у дерев родини *Fagaceae* спостерігаються морфологічні зміни – зменшення товщини мезофілу листка, ущільнення епідермісу, зниження кількості продихів. Такі адаптації спрямовані на мінімізацію втрат води та зменшення шкідливого впливу поллютантів. Водночас на біохімічному рівні

відбувається зростання антиоксидантної активності та вмісту пігментів, які беруть участь у нейтралізації активних форм кисню [6–8].

Дослідження стану фотосинтетичного апарату деревних рослин у міських умовах має важливе практичне значення, адже дозволяє оцінити рівень стійкості видів до техногенного навантаження та підібрати оптимальні породи для озеленення міст. Зокрема, дерева родини *Fagaceae* – характеризуються високою екологічною пластичністю, але їхні пігментні системи чутливо реагують навіть на помірні зміни довкілля.

У міських насадженнях Києва та Харкова було показано, що вміст хлорофілів у листках дуба червоного на 25–30 % нижчий порівняно з контрольними ділянками, тоді як концентрація каротиноїдів зростала на 20 %. Такі зміни свідчать про активацію захисно-приспосувальних механізмів, спрямованих на збереження функціонування фотосистем і запобігання фотоокисленню [24–27].

Таким чином, фотосинтетичний апарат виконує не лише основну енергетичну функцію клітини, а й виступає високочутливим індикатором дії абіотичних та антропогенних чинників. Для деревних рослин родини *Fagaceae*, які широко використовуються в озелененні міст, вивчення пігментного складу має ключове значення для оцінки їхньої адаптивності, стійкості та довговічності в урбанізованому середовищі.

## **1.2. Біохімічні маркери стресу та їх взаємозв'язок із функціонуванням пігментного апарату деревних рослин в умовах урбанізованого середовища**

Пролін є однією з найважливіших сполук, що відіграють ключову роль у формуванні стресостійкості рослин, зокрема деревних видів у міських умовах. Це протейногенна амінокислота, бічний радикал якої утворює п'ятичленний піролідиновий цикл, замкнений на аміногрупу. Така структура зумовлює специфічний вплив проліну на просторову конфігурацію білків, сприяє формуванню вигинів і поворотів у поліпептидному ланцюзі, стабілізуючи білкові молекули та визначаючи їхні фізико-хімічні властивості [9].

У рослин пролін синтезується з глутамінової кислоти й існує як у складі білків, так і у вільному стані. Саме вільний пролін має найбільше значення у фізіолого-біохімічних дослідженнях, оскільки його концентрація швидко змінюється під впливом умов середовища. У нормі його рівень невисокий, але за дії стресових факторів відбувається інтенсивне накопичення внаслідок активації шляхів синтезу й пригнічення катаболізму [10].

Пролін належить до найпоширеніших осмолітів, що накопичуються не лише у вищих рослин, а й у бактерій, водоростей і найпростіших організмів [38]. На ранніх етапах дії помірного стресу його вміст підвищується в межах фізіологічної норми, забезпечуючи адаптаційний ефект. Проте у фазі незворотних пошкоджень концентрація проліну може досягати токсичних рівнів, що свідчить про тяжкий стрес і незворотні зміни в клітині [39]. Таким чином, пролін є універсальним, але водночас двозначним маркером стресових реакцій.

У сучасній фізіології рослин стрес визначається як стан, що виникає під дією надмірних або несприятливих чинників середовища, які перевищують оптимальні для росту й розвитку межі. До найважливіших абіотичних стресів належать температурні коливання, дефіцит або надлишок води, засолення ґрунту, надмірне освітлення, забруднення атмосфери токсичними газами й важкими металами [30]. Саме в таких умовах пролін виконує функцію універсального маркера стану клітин і важливого елемента адаптивної відповіді рослин.

Багатофункціональність проліну зумовлює його участь у різноманітних біохімічних процесах. Він є ефективним осмопротектором, який допомагає клітинам підтримувати водний баланс при посусі або засоленні, стабілізує мембрани, запобігає денатурації білків і ферментів, а також нейтралізує активні форми кисню, виконуючи антиоксидантну функцію. Крім того, пролін може виступати сигнальною молекулою, активуючи гени, що кодують захисні білки й антиоксидантні ферменти, забезпечуючи довготривалу адаптацію до стресових умов [11].

Таблиця 1.2

## Основні функції проліну у рослин за дії стресових факторів

Функція проліну	Біологічне значення
Осмопротекторна	Підтримання осмотичного балансу, утримання води в клітинах при посусі або засоленні
Мембранопротекторна	Стабілізація клітинних мембран, захист від руйнування ліпідного шару
Стабілізація білків	Запобігання денатурації ферментів і білкових комплексів
Антиоксидантна	Нейтралізація активних форм кисню (гідроксильних радикалів, супероксидів)
Сигнальна	Активація захисних генів і ферментів, залучення в сигнальні шляхи
Регуляція генетичних процесів	Дестабілізація ДНК-спіралі, полегшення реплікації та репарації ДНК

Сучасні дослідження показують, що пролін здатний дестабілізувати подвійну спіраль ДНК, полегшуючи процеси реплікації, транскрипції та репарації [40]. Крім того, він проявляє антиоксидантну активність, інактивує гідроксильні радикали та захищає фотосинтетичний і дихальний апарати від окисних пошкоджень [41].

Для деревних видів, які зростають у міському середовищі, роль проліну особливо велика. Урбанізовані екосистеми характеризуються поєднанням стресових чинників – підвищеною температурою, нестачею вологи, забрудненням атмосфери газами й пилом, ущільненням ґрунту. У відповідь на такі умови у тканинах дерев, зокрема у *F. sylvatica* та *Q. robur*, спостерігається

значне підвищення рівня проліну – у кілька разів порівняно з контролем [12]. Це свідчить про ефективність проліну як біохімічного маркера адаптації дерев родини *Fagaceae*.

Біохімічно накопичення проліну пов'язане з активацією ферменту  $\Delta^1$ -піролін-5-карбоксилат синтетази (P5CS), який каталізує ключовий етап його синтезу з глютамінової кислоти. Водночас зменшується активність ферментів катаболізму проліну, що сприяє його швидкому накопиченню в клітинах [13]. Встановлено, що рівень проліну змінюється залежно від поєднання стресів. Наприклад, при сольовому стресі у проростків гороху його вміст у коренях підвищувався у 2–3 рази, а між рівнем проліну та водним балансом існує сильна зворотна кореляція ( $r = -0,87$ ), що підкреслює його роль у регуляції водного режиму [42].

У практичних дослідженнях вміст проліну визначають за методом Бейтса (Bates et al., 1973), який базується на екстракції амінокислоти сульфосаліциловою кислотою та подальшій реакції з нінгідрином у кислому середовищі. Інтенсивність забарвлення вимірюється спектрофотометрично при 520 нм. Метод простий, надійний і широко застосовується у фізіології рослин [14].

Значення проліну тісно пов'язане зі станом пігментного апарату рослин, оскільки обидва ці показники відображають реакцію клітини на стрес. В умовах міста рослини зазнають комплексного впливу – забруднення атмосфери, дефіциту вологи, температурних коливань і ущільнення ґрунту. Саме ці фактори спричиняють не лише підвищення вмісту проліну, а й зміну пігментного складу листків.

Деревні насадження виконують важливу роль у підтриманні екологічної рівноваги в містах, однак самі перебувають під впливом техногенного навантаження [31]. Унаслідок тривалого впливу антропогенних факторів – газового, пилового й теплового забруднення – спостерігається зменшення фітомеліоративної ефективності та декоративної цінності зелених насаджень [32–36]. Адаптація рослин до полютантів можлива лише в межах певного

діапазону концентрацій, коли природні умови не ускладнюються додатковими стресами [37].

Пігментний апарат є одним із найчутливіших індикаторів впливу урбанізації. Дерева зазнають дії комплексу стресів: забруднення газами (оксиди сірки, азоту, чадний газ, озон), частинками пилу, підвищеної температури, дефіциту вологи, ущільнення ґрунтів. Усі ці фактори впливають на стабільність хлорофілів, каротиноїдів і феофітинів, що призводить до зміни їх співвідношень.

Найхарактернішою реакцією є зменшення загального вмісту хлорофілів у листках. Забруднювальні гази та активні форми кисню ушкоджують мембрани хлоропластів, дестабілізують тилакоїдні комплекси та прискорюють деградацію хлорофілу до феофітинів. У листках *Q. robur* та *T. cordata*, які ростуть поблизу транспортних магістралей Києва та Харкова, кількість хлорофілу була на 20–30 % нижчою, ніж у рослин із зелених зон [24–25, 30].

Важливим діагностичним показником є зміна співвідношення Chl a/Chl b, яке знижується під впливом забруднення. Це свідчить про перебудову світлозбиральних комплексів і зменшення ефективності фотохімічних процесів. Одночасно спостерігається підвищення рівня каротиноїдів, що розглядається як адаптивна реакція. У листках *Q. Rubra*, які ростуть у центрі Києва, вміст каротиноїдів був на 15–25 % вищим, ніж у контрольних зразках [26–27].

Феофітини, як продукти деградації хлорофілів, накопичуються у міських умовах і є маркерами руйнування фотосинтетичного апарату. У Харкові їхній рівень у листках дуба звичайного поблизу транспортних розв'язок був удвічі більшим, ніж у зелених зонах [28–29] (табл. 1.2.1).

Таблиця 1.2.1

Зміни пігментного апарату деревних рослин в умовах урбанізованого середовища

Пігмент	Контрольні умови (парки, ліси)	Урбанізоване середовище (транспортні магістралі, промислові зони)
Хлорофіл а	Високий стабільний рівень, основний фотосинтетичний пігмент	Зниження на 15–30 % через ушкодження мембран і фотосистем
Хлорофіл b	Допоміжний пігмент, співвідношення Chl a/Chl b $\approx$ 3:1	Зменшення концентрації, зміна співвідношення Chl a/Chl b (до 2:1), перебудова фотосистем
Загальні хлорофіли	Високий вміст, забезпечують ефективний фотосинтез	Сумарне зменшення на 20–40 %; зниження фотосинтетичної активності
Каротиноїди	Помірний рівень, участь у світлозбиранні та фотозахисті	Підвищення на 10–25 % як адаптивна реакція (ксантофіловий цикл)
Феофітини	Мінімальний вміст, утворюються лише у старіючих листках	Значне зростання (у 1,5–2 рази), маркер деградації хлорофілів і

		стресу
--	--	--------

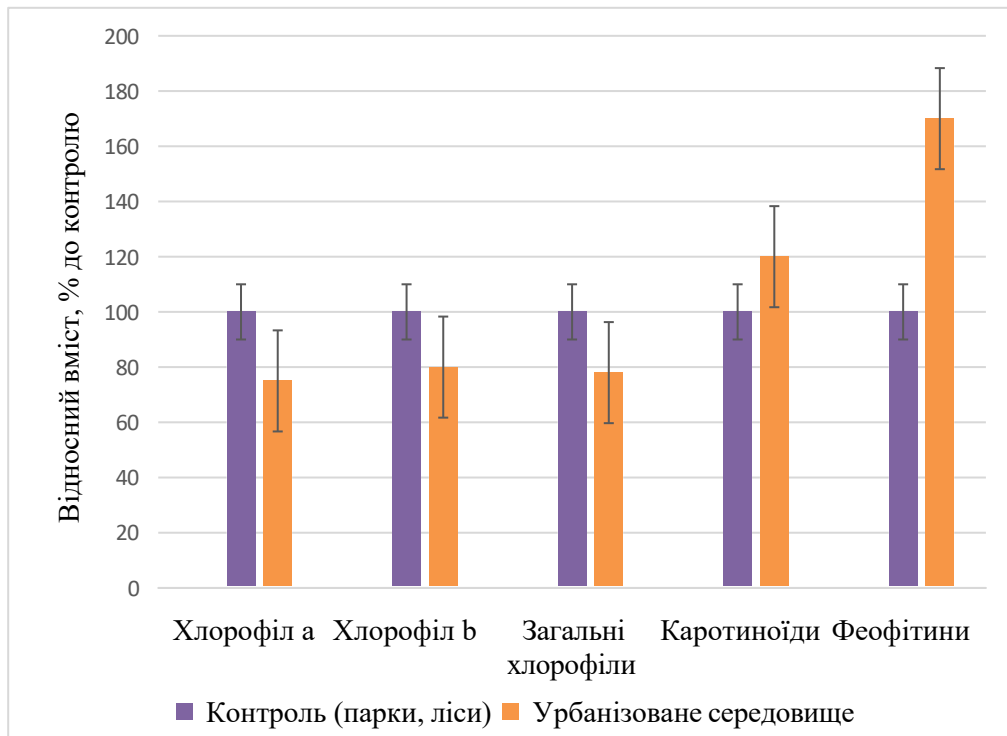


Рис.1.2. Зміни пігментного апарату деревних рослин в умовах урбанізованого середовища (за власними результатами досліджень)

Таким чином, урбанізоване середовище викликає комплексні зміни у біохімічних показниках стану рослин – підвищення вмісту проліну та перебудову пігментного апарату. Зменшення кількості хлорофілів, зміна співвідношення Chl a/Chl b, зростання рівня каротиноїдів і проліну відображають адаптаційні реакції дерев родини *Fagaceae*. Ці зміни є не лише показниками фізіологічного стану, а й основою для оцінки стійкості деревних насаджень у міських умовах (рис. 1.2.)

## РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Об'єкти досліджень

Для дослідження було залучено деревні рослини родини *Fagaceae*, які широко використовують у зеленому будівництві м. Києва (табл. 2.1.).

Таблиця 2.1.

#### Об'єкти досліджень

№	Види деревних рослин
1	Гіркокаштан звичайний ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.)
2	Дуб черешчатий ( <i>Quercus robur</i> L.)
3	Бук лісовий ( <i>Fagus sylvatica</i> L.)



Рис. 2.1. *Aesculus hippocastanum* (джерело: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Гіркокаштан\\_звичайний](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гіркокаштан_звичайний))



Рис. 2.1.2. *Quercus robur* (джерело:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Дуб\\_черешчатий\\_\(Яхники\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Дуб_черешчатий_(Яхники)))



Рис. 2.3. *Fagus sylvatica* (джерело:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Бук\\_звичайний](https://uk.wikipedia.org/wiki/Бук_звичайний))

## 2.2. Біолого-екологічна характеристика видів рослин родини

### *Fagaceae*

Родина Букових (*Fagaceae*) належить до однієї з найбільших груп деревних рослин, яка охоплює близько 900–1000 видів, згрупованих у 7–10 родів, серед яких найвідоміші *Quercus* (дуб), *Fagus* (бук) і *Castanea* (каштан). Представники цієї родини поширені насамперед у Північній півкулі — від помірних широт Європи й Азії до субтропіків і тропіків Південно-Східної Азії, Центральної Америки та Північної Африки. У Південній Америці та Австралії їхнє поширення обмежене, що зумовлює певну регіональну спеціалізацію [31; 37].

Для родини характерні переважно великі листопадні або вічнозелені дерева, хоча трапляються й чагарникові форми. Вони відзначаються тривалістю життя — окремі дуби та буки здатні існувати понад кілька сотень років. Листки, як правило, прості, чергові, з чітко вираженим перистим жилкуванням і різноманітними формами країв — від цілокраїх до зубчастих. Чоловічі квітки зібрані в сережки або колоски, жіночі — дрібні, розташовані по кілька в обгортці. Однією з найбільш характерних ознак родини є плоди — жолуді або каштани, укриті знизу жорсткою купулою, що формуються з видозмінених приквітків. Вони мають не лише біологічне значення, забезпечуючи відтворення популяцій і харчування для численних видів тварин, а й вагоме господарське значення. Жолуді здавна використовувалися як корм для свійських тварин, плоди каштанів — у харчуванні людини, а кора дуба та пробковий шар *Quercus suber* — у промисловості [32; 37].

В Україні родина *Fagaceae* представлена трьома родами (*Quercus*, *Fagus*, *Castanea*) та близько 19 видами. Найбільш поширеним і різноманітним є рід дуб (*Quercus*), який охоплює понад десяток видів, тоді як бук і каштан представлені лише окремими видами з обмеженим ареалом. Найбільші масиви насаджень утворюють дуб звичайний (*Q. robur*), бук лісовий (*F. sylvatica*) та каштан їстівний (*C. sativa*). Основними регіонами поширення є Карпати, Закарпаття, Полісся та Лісостеп, а також гірський Крим. Історичні флористичні дослідження показали

збільшення таксономічного складу роду дуб у другій половині ХХ ст., що пов'язано з уточненням класифікації й описом нових видів [33].

Рід *Quercus* об'єднує близько 600 видів, поширених у помірному та субтропічному поясах Північної півкулі. В Україні росте 3 дикорослих види. Найпоширенішим є дуб звичайний, черешчатий (*Quercus robur*), який досягає 40–50 м заввишки, живе до 1500 років і відзначається високою екологічною пластичністю. Росте на різних типах ґрунтів – від родючих чорноземів до сухих піщаних та вапнякових. Світлолюбний, посухостійкий, витримує короткочасні затоплення, але погано переносить солонці та солончаки. Дуб червоний (*Quercus rubra* L.), інтродукований з Північної Америки, поширений у декоративних насадженнях. Має швидший ріст, декоративне яскраво-червоне забарвлення восени, відносно морозостійкий, стійкий проти борошнистої роси, але менш довговічний, ніж дуб звичайний.



Рис.2.2. Основні морфологічні ознаки *Quercus robur* (за [24])



Рис. 2.2.1. Основні морфологічні ознаки: а) *Q. rubra*, б) *Q. palustris*

Рід *Fagus* налічує близько 10 видів, поширених у помірних регіонах Північної півкулі. Найважливішим видом є бук лісовий (*F. sylvatica*), який в Україні трапляється в Карпатах, Прикарпатті та Криму. Це тіньовитривале, теплолюбне дерево заввишки до 40–50 м, яке формує густі ліси з високим біорізноманіттям. Вибагливе до вологи, погано переносить посуху та сильні морози. Добре росте на свіжих, вологих, нейтральних або слабокислих ґрунтах, особливо на вапнякових. Живе до 500 років.



Рис. 2.2.3. Основні морфологічні ознаки *F. sylvatica*

Бук східний (*Fagus orientalis*) – дерево, природний ареал якого охоплює Східну Болгарію, Кавказ, Крим та Малу Азію. У горах Криму його поширення перетинається з ареалом *F. sylvatica*, що призводить до формування проміжних форм. Відрізняється від *F. sylvatica* більш видовженими й еліптичними або обернено-яйцеподібними листками з 7–15 парами бічних жилок. Плюска плодів має ширші нижні придатки. В Україні вирощується з початку ХІХ століття, зустрічається здебільшого в парках західних регіонів. Характеризується швидким ростом і добре пристосовується до культурних насаджень.



Рис. 2.2.4. Основні морфологічні ознаки *F. orientalis*

Рід *Castanea* об'єднує близько 14 видів, поширених у Європі, Китаї, Японії та Північній Америці. В Україні зрідка трапляється каштан їстівний (*Castanea sativa*), який культивують у західних регіонах. Це дерево до 35–40 м заввишки, теплолюбне, вибагливе до родючості й вологості ґрунтів, не переносить застою води та високого вмісту вапна. Дає їстівні плоди (горіхи), які мають господарське значення. Живе до 300–500 років.

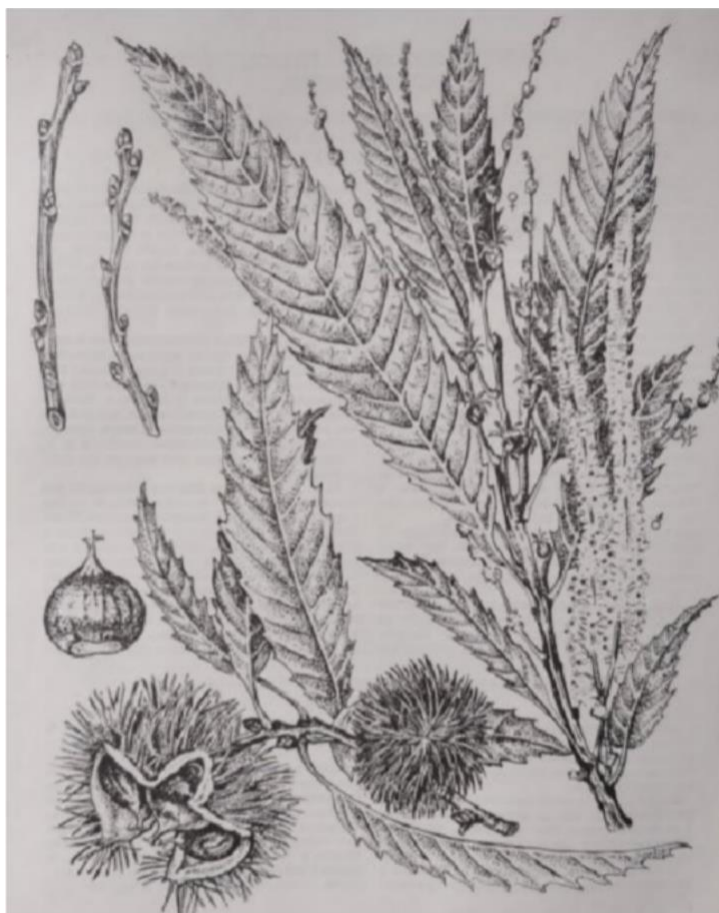


Рис. 2.2.5. Основні морфологічні ознаки *Castanea sativa*

Рід *Aesculus* налічує близько 20 видів, природно поширених у Північній Америці та Південно-Східній Європі. В Україні культивується гіркокаштан звичайний (*A. hippocastanum*), поширений у парках та скверах. Це дерево до 25–30 м заввишки з великою кроною та пальчасто-складними листками. Відносно морозостійке, вибагливе до родючості й вологості ґрунтів, у містах страждає від забруднення повітря та шкідників, зокрема мінуючої молі (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic). Живе до 200–300 років, вирізняється високою декоративністю завдяки пишному цвітінню.



Рис. 2.2.6. Основні морфологічні ознаки *A. hippocastanum* <https://agrarii-razom.com.ua/plants/girkokashtan-zvichayniy>.

Екологічні потреби представників цієї родини досить різноманітні, але загалом вони є вибагливими до тепла й вологи. Дуб і бук належать до відносно морозостійких порід, здатних витримувати зниження температури до  $-25\dots-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тоді як каштан чутливіший і часто пошкоджується навіть від нетривалих морозів. У спекотних умовах виживанню сприяють такі морфологічні риси, як товста кутикула, опушення чи восковий наліт на листках, що зменшують перегрів і втрату води [34]. Водний режим для *Fagaceae* має вирішальне значення: бук потребує значного зволоження та добре росте у

вологих ґрунтах, тоді як дуби більш посухостійкі. Каштани займають проміжне положення, але в міських умовах їх ріст гальмується нестачею вологи.

Важливою є й освітленість: дуби й каштани – світлолюбні породи, які формують густі насадження за достатнього доступу сонця, тоді як бук здатний витримувати тінь, що забезпечує йому конкурентні переваги у гірських лісах. Атмосферні умови мають подвійне значення: з одного боку, кисень і вуглекислий газ необхідні для дихання й фотосинтезу, а з іншого – шкідливі гази та тверді частинки в урбанізованому середовищі часто призводять до пошкодження фотосинтетичного апарату. Дуби зазвичай вважаються більш стійкими до газо- і димового забруднення, тоді як каштани уразливіші, що підтверджується поширенням некрозів листків у містах [35–36].

Ґрунтові умови значною мірою визначають ріст і життєздатність цих дерев. Більшість видів віддають перевагу родючим, добре дренованим ґрунтам, хоча дуби адаптуються й до більш бідних або навіть засолених субстратів. Бук потребує ґрунтів з достатньою вологою та кальцієвмісними компонентами. У міському середовищі, де ґрунти часто ущільнені, малородючі та забруднені, їхній розвиток значно ускладнюється, що вимагає додаткових агротехнічних заходів.

Вітростійкість представників родини залежить від типу кореневої системи. Дуб і бук, завдяки своєму глибокому корінню, досить стійкі до вітрових поривів, тоді як каштани більш схильні до пошкоджень у вітряних районах. Здатність протистояти сильним вітрам особливо важлива при створенні доріжок і насаджень вздовж доріг, де втрата дерев може становити загрозу безпеці.

З огляду на урбанізовані умови, дерева родини *Fagaceae* мають фундаментальне екологічне та практичне значення. Вони не лише створюють декоративний ефект, але й служать біологічними фільтрами, затримуючи пил і гази, знижуючи температуру повітря, створюючи рекреаційні зони та покращуючи якість життя мешканців міст. Їхня довговічність, міцність та відносна стійкість до стресу роблять їх одним із найцінніших елементів

ландшафтної архітектури, враховуючи їхні екологічні потреби та адаптивні характеристики.

Таким чином, представники родини *Fagaceae* поєднують високу екологічну цінність, економічне значення і здатність відігравати ключову роль у формуванні як природних та міських екосистем. Вони можуть служити індикаторами стану навколишнього середовища та залишаються одним із найважливіших елементів сучасних стратегій озеленення міст.

### **2.3. Характеристика об'єктів дослідження в умовах міста Києва**

Урбанізоване середовище міста Києва характеризується складним поєднанням кліматичних і техногенних чинників, які суттєво впливають на стан і функціонування деревних рослин. До основних стресових факторів належать підвищена температура повітря, ущільнення ґрунтів, дефіцит вологи, надмірне освітлення, забруднення атмосфери викидами транспорту та промислових підприємств. Такі умови зумовлюють порушення водного режиму, зниження фотосинтетичної активності, пошкодження асиміляційних органів і підвищену вразливість рослин до фітопатогенів та шкідників. У контексті даного дослідження об'єктами спостереження виступають деревні представники родини *Fagaceae* – *A. hippocastanum*, *Q. robur* та *F. sylvatica*, які мають різний рівень стійкості до умов урбанізованого середовища.

Гіркокаштан звичайний є одним із найхарактерніших видів у зелених насадженнях Києва. Незважаючи на декоративність, цей вид досить чутливий до високих температур, сухості повітря та дефіциту ґрунтової вологи. У міських умовах дерева часто висаджують у замкнених ґрунтових просторах, оточених асфальтовим покриттям, що призводить до перегрівання кореневої системи та порушення водного балансу. Надлишок тепла від теплотрас і відбите сонячне випромінювання з поверхонь будівель і доріг створюють ефект локального «теплового острова», який викликає висихання камбію, некроз листкових пластинок і передчасне листопадіння. За умов інтенсивної спеки влітку

температура поверхні ґрунту може перевищувати +46 °С, що є критичним для листків каштанів, тоді як у дуба цей поріг становить близько +50 °С [34].

Типовими проявами теплового стресу є побуріння країв листків, поява некротичних плям і скручування листкових пластинок у трубку. У районах із ущільненим асфальтовим покриттям спостерігається сильне пригнічення росту та відмирання бічних коренів, що призводить до порушення водопостачання надземних частин. У результаті відбувається передчасне старіння і зниження декоративності зелених насаджень. Поширеним явищем у Києві є також «сонячні опіки» листків і кори, які проявляються у вигляді жовто-коричневих плям на листках і сухих ділянок кори. Такі пошкодження зумовлюють порушення фотосинтезу, зниження інтенсивності ростових процесів і підвищення чутливості до вторинних інфекцій.

Гіркокаштан звичайний у міських насадженнях часто уражується шкідниками, серед яких найбільш небезпечна – каштанова мінуюча міль (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimic). Вона була завезена в Україну наприкінці 1990-х років і нині поширена по всій території Києва. Її личинки утворюють ходи (міни) у тканинах листків, що призводить до втрати асиміляційної поверхні, передчасного опадання листя та ослаблення дерев. За літній період розвивається до трьох генерацій шкідника, тому листки каштанів часто зникають уже на початку серпня, що викликає повторне, так зване «осіннє цвітіння каштана» (second flowering in autumn). Такі дерева не встигають підготуватися до зими, втрачають стійкість і через декілька років гинуть [38, 39]. Ситуація погіршується під впливом міських забруднень – важких металів, вихлопних газів і пилу, які знижують природну резистентність дерев. Крім того, ураження грибковими патогенами, зокрема *Guignardia aesculli*, спричиняє некроз листків і повну втрату декоративності [40].

*Q. robur* є одним із найбільш стійких видів родини *Fagaceae* в умовах Києва. Він характеризується високою посухо- та жаростійкістю, здатний переносити короточасні періоди водного дефіциту завдяки добре розвиненій кореневій системі, що проникає глибоко в ґрунт. Оптимальними для його росту

є родючі, глибокі ґрунти з помірним зволоженням, тоді як надмірно ущільнені або засолені ґрунти негативно впливають на ріст і розвиток. У міських насадженнях дуб зазвичай демонструє добрий фітосанітарний стан, однак у роки з тривалими посухами спостерігається часткове всихання верхівок пагонів.

Найпоширенішими стресовими чинниками для дуба є пошкодження листкової поверхні листогризучими шкідниками та ураження грибковими інфекціями. Особливу небезпеку становлять борошниста роса (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.) і судинні мікози (*Ceratocystis fagacearum* (Bretz) Hunt), що викликають блокування провідної системи, ослаблення фотосинтезу та передчасне всихання дерев. Проте у порівнянні з гіркокаштаном, дуб черешчатий краще пристосований до урбанізованих умов і може витримувати дію токсичних газів та пилу без значних втрат у фотосинтетичному апараті [33, 32]. Це пояснює його поширене використання у міському озелененні, зокрема в парках, лісопарках і вздовж магістралей.

*F. sylvatica* у Києві представлений переважно у паркових і лісопаркових зонах, де створено сприятливі умови для його розвитку. Це тіньовитривалий, теплолюбний вид, який потребує високої вологості повітря та помірного зволоження ґрунтів. Він чутливо реагує на посуху, надмірне освітлення і високу температуру, тому в умовах ущільненого міського середовища зростає переважно в затінених ділянках або парках із глибокими суглинковими ґрунтами.

Основними шкідниками бука є попелиця (*Phyllaphis fagi*), жук-листоїд (*Orchestes fagi*) та ложнощитівка (*Cryptococcus fagisuga*), що висмоктують соки з листків і кори, викликаючи деформацію листкових пластинок і ослаблення рослин. Ураження грибами *Nectria coccinea* призводить до розвитку букової гнилі, яка пошкоджує деревину стовбурів і знижує їх механічну міцність. Однак загалом бук лісовий виявляє відносно високу стійкість до більшості шкідників і хвороб завдяки міцній будові тканин і хімічним захисним механізмам [31].

У міських умовах важливим чинником для нормального розвитку бука є достатній простір для кореневої системи. Через поверхневий тип коренів він

може пошкоджувати асфальтові та тротуарні покриття, тому найдоцільніше висаджувати його у великих зелених зонах. За умови належного догляду дерева цього виду в Києві характеризуються доброю вегетацією, рівномірним листовим покривом, відсутністю ознак дефоліації та високими декоративними якостями.

#### **2.4. Аналіз ґрунтово-кліматичних умов м. Києва**

Територія міста Києва характеризується значною різноманітністю природно-кліматичних умов, що зумовлено її розташуванням на межі двох фізико-географічних зон – Полісся та Лісостепу. Північна частина міста охоплює Поліську низовину, тоді як південний захід (правобережжя) розташований у межах Придніпровської височини, а південний схід (лівобережжя) – на Придніпровській низовині. Така територіальна мозаїчність рельєфу формує складну структуру мікрокліматів і ґрунтового покриву.

Клімат Києва помірно континентальний із теплим літом і відносно м'якою зимою. На формування кліматичних умов суттєво впливає річка Дніпро, яка перетинає місто у субмеридіальному напрямку. Атмосферна вологість у більшості сезонів перебуває в межах, сприятливих для росту й розвитку деревних порід. Переважає антициклонічний тип погоди, що забезпечує малохмарність і стабільність атмосферних процесів. Середньорічний тиск повітря становить близько 995 гПа (746 мм рт. ст.) з максимальними значеннями у січні (до 997 гПа) і мінімальними в червні (приблизно 992 гПа). Найбільші амплітуди тиску спостерігаються в зимовий період, тоді як найменші – у серпні. Панівними є західні та північно-західні вітри, що приносять опади восени, сприяють потеплінню взимку та дещо знижують температуру влітку.

Кліматичні особливості столиці зазнають відчутного впливу урбанізаційних процесів. Теплове випромінювання від будівель, транспортної інфраструктури, промислових об'єктів і теплотрас створює ефект «міського теплового острова». Унаслідок цього температура повітря у місті на 1–2 °С вища,

ніж у навколишніх районах. За останні десятиліття це явище посилюється, що призводить до частішого формування ґрунтових і атмосферних посух.

За багаторічними спостереженнями середньорічна температура повітря в Києві коливається від +7,7 °С до +11,1 °С. Стійкий сніговий покрив зазвичай формується наприкінці грудня й зберігається до початку березня, хоча у теплі зими може бути відсутнім. У періоди відлиг температура в січні іноді піднімається до +10...+11 °С. Останні весняні заморозки спостерігаються у першій декаді квітня, після чого встановлюються стабільні плюсові температури. Середина травня відзначається стійким потеплінням до +15...+17 °С. У найспекотніші періоди температура повітря сягає +36...+40 °С, кількість спекотних днів перевищує 40. Осінь, як правило, тривала, тепла і суха, з першими заморозками у першій декаді жовтня. Безморозний період триває приблизно 187 днів, а середньодобова температура понад +5 °С зберігається близько 214 днів на рік.

Сумарна тривалість сонячного сяйва становить у середньому 1927 годин на рік (близько 43 % від можливої тривалості), а сумарна сонячна радіація – близько  $4,0 \times 10^9$  Дж/м<sup>2</sup>, з максимумом у червні та мінімумом у грудні [21]. Річна кількість опадів сягає приблизно 700 мм, що відповідає зоні нестійкого зволоження. Оподи випадають переважно влітку, а найменше – восени. Максимальна кількість опадів припадає на липень (близько 88 мм), мінімальна – на жовтень (близько 35 мм). У середньому впродовж року фіксується 160–165 днів із опадами, переважно у вигляді снігу в зимовий період.

Для столиці характерні часті тумани – до 40–45 днів на рік. В умовах високого рівня забруднення атмосфери тумани сприяють накопиченню шкідливих газів і твердих частинок, що разом із низькою циркуляцією повітря зумовлює формування смогу. Антициклональні погодні умови перешкоджають розсіюванню поллютантів, що призводить до підвищення концентрації токсичних речовин у приземному шарі повітря [21].

Ґрунтовий покрив міста Києва відзначається значною різноманітністю. На півночі переважають дерново-підзолисті ґрунти, сформовані під хвойними

лісами, у центральній частині поширені сірі лісові ґрунти, а на півдні – чорноземи, утворені на лесових відкладах і суглинках. У місцях активного антропогенного впливу значні площі займають техногенні насипні ґрунти, які відрізняються нестабільною структурою та низькою біологічною активністю.

Рослинність Києва представлена як залишками природних лісів Полісся і Лісостепу, так і штучними насадженнями, створеними після Другої світової війни. Міська флора налічує близько 360 видів судинних рослин. Розвинений рослинний покрив відіграє важливу екологічну роль: він запобігає ерозійним процесам, покращує мікроклімат, очищує повітря від пилу та газів, знижуючи негативний вплив урбанізації.

## 2.5. Методика досліджень

Спостереження за представниками родини *Fagaceae* проведено в трьох екологічних зонах міста Києва: зона №1 (умовний контроль) – Ботанічний сад НУБіП України; зона №2 – паркові насадження та сквери (парк Феофанія, Голосіївський парк); зона №3 – вуличні зелені насадження поблизу магістралей з інтенсивним рухом автотранспорту (вул. Заболотного, вул. Метрологічна, вул. Васильківська, проспект Академіка Глушкова) (рис. 2.5.)

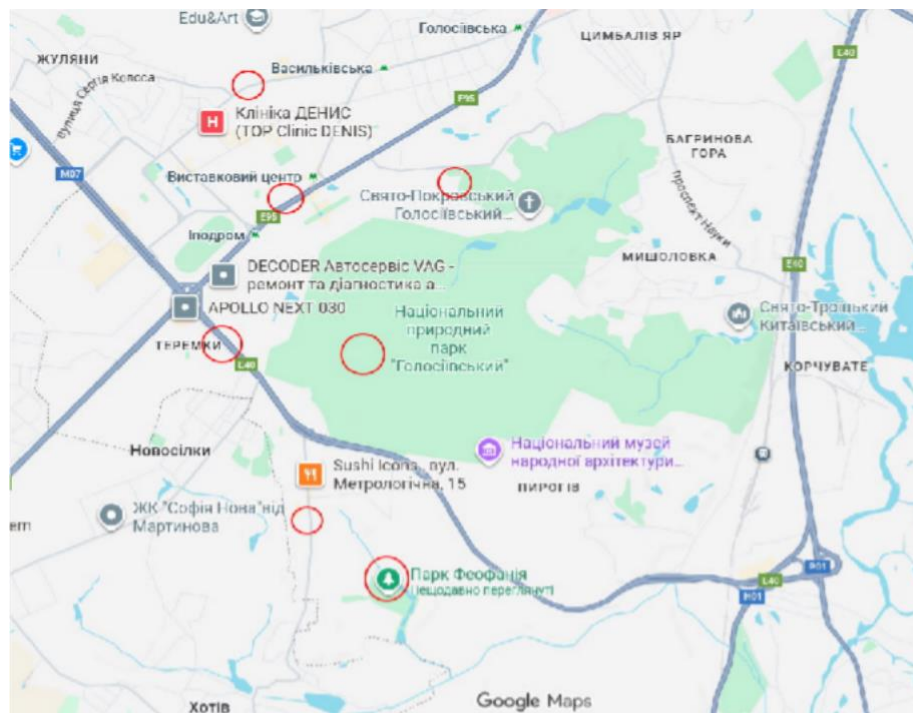


Рис. 2.4. Екологічні зони досліджуваних деревних рослин

Від кожного виду на кожній ділянці відбирали по 5 модельних дерев віком 20–40 років, зі схожим фітосанітарним станом. Листки збирали з південної сторони крони на висоті 1,5–2 м у ранкові години (9:00–11:00) за стабільних погодних умов без опадів. Для аналізів використовували листки поточного приросту без видимих пошкоджень.

Після відбору зразки поміщали у герметичні поліетиленові пакети та транспортували до лабораторії у холодильнику (+4 °C). Екстракцію пігментів проводили не пізніше ніж через 4 години після відбору. Частину зразків використовували для визначення фотосинтетичних пігментів (хлорофіли а, б, каротиноїди, феофітини), частину — для визначення вмісту проліну.

Загальний стан дерев оцінювали за п'ятибальною шкалою, розробленою Кузнецовим С. І., Леоном Ф. М., Пилипчуком В. Ф. та Шумиком М. І. [35], яка враховує ступінь розвитку асиміляційного апарату та частку втраченої листової маси (табл. 2.5.)

Таблиця 2.5.

## Шкала оцінки загального стану дерев

Оцінка, бал	Пояснення
5	дерева без ознак пригнічення росту з повноцінною листовою поверхнею
4	дерева з незначним послабленням росту, до 25 % недієвої листової поверхні
3	рослини з послабленим ростом, із близько 50 % пошкоджених або недієвих листків
2	дерева зі значним пригніченням росту (до 80 % недієвої поверхні)
1	всихаючі або мертві екземпляри, без поточного приросту

Для гіркокаштана звичайного визначали також ступінь ураження листової поверхні каштановою мінуючою міллю (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimic). Візуальну оцінку пошкоджень проводили за п'ятибальною шкалою [36]:

1 бал – до 10 % пошкоджених листків;

2 бали – до 25 %;

3 бали – до 50 %;

4 бали – до 75 %;

5 балів – ураження до 100 % листкової поверхні.

Життєздатність і стійкість до високих температур оцінювали візуально за ступенем пошкодження асиміляційного апарату та крони відповідно до шкали П'ятницького [41], що враховує ступінь прояву некротичних плям, опіків та висихання листкових пластинок.

Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, б, каротиноїдів та феофітинів) у рослинному матеріалі проводили спектрофотометричним методом за Холмом-Веттштайном.

Наважку свіжого рослинного матеріалу (100-200 мг) подрібнювали і поміщали у фарфорову ступку. До матеріалу додавали невелику кількість  $\text{CaCO}_3$  та 4-5 мл ацетону і ретельно розтирали. Отриманий екстракт фільтрували через обеззолені фільтри, при необхідності доливали ще невелику кількість ацетону. Процедуру повторювали доти, доки розчин не став безбарвним. Екстракт переливали в мірну колбу на 25 мл, доводили чистим ацетоном до об'єму у мірній колбі до мітки. Визначали оптичну густину витягу при довжинах хвиль, яка відповідала максимуму поглинання хлорофілів – 662 нм, 644 нм і 440 нм. Концентрації хлорофілів а, б та каротиноїдів визначали за формулами Хольма-Веттшайна:

$$C_{\text{хл. а, мг/л}} = 9,784 * D_{662} - D_{644}$$

$$C_{\text{хл. б, мг/л}} = 21,426 * D_{644} - D_{662}$$

$$C_{\text{хл. а+б, мг/л}} = 5,134 * D_{662} + 20,436 * D_{644}$$

$$C_{\text{карот, мг/л}} = 4,695 * D_{440,5} - 0,268 * (C_{\text{хл. а}} + C_{\text{хл. б}})$$

потім розраховували вміст пігментів у рослинному матеріалі, мг/г сирої маси:

$$A = (C * V) / (H * 1000),$$

де С – концентрація пігментів, мг/л; V – об'єм екстракту, мл; H – наважка рослинного матеріалу, г.

Для кількісного визначення феофітину до 5 мл розведеного екстракту пігментів додавали краплю 25% HCl, таким чином усі хлорофіли витягу повністю перетворюються до феофітинів. Після ретельного перемішування вмісту пробірок вимірювали їх адсорбцію при довжинах хвиль 653 нм, 665 і 670 нм. Розраховували концентрації феофітину а, феофітину b за такими формулами:

$$C_{pha} = 22,42 * D_{665} - 6,81 * D_{653} \text{ (мкг/мл);}$$

$$C_{phb} = 40,17 * D_{653} - 18,58 \text{ (мкг/мл).}$$

За різницею визначених концентрацій хлорофілу а та b і феофітинів виходили вміст феофітинів а та b.

Вміст проліну визначали за методом Бейтца.

Зразки масою 0,25 г гомогенізували в 5 мл 3% водного розчину сульфосаліцилової кислоти. Одержаний гомогенат центрифугували при 3000 об/хв протягом 20 хв. До одержаного фільтрату (2 мл) додавали 2 мл льодової оцтової кислоти і 2 мл нінгідринового реактиву. Одержаний розчин нагрівали на киплячій водній бані протягом 1 год. Реакцію призупиняли різким охолодженням і додавали до кожного зразка по 4 мл толуолу і нагрівали до кімнатної температури. Вимірювали інтенсивність поглинання червоного кольору за 520 нм з L-проліном як стандартом. Вміст проліну виражали в мкмоль/г маси сирової речовини. Результати опрацьовували статистично з визначенням середнього арифметичного зі стандартною похибкою ( $M \pm m$ ), а також коефіцієнти кореляції та регресії за визначеною вибіркою.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

### 3.1. Оцінка потенційної життєздатності деревних видів рослин родини *Fagaceae* в умовах міста Києва

Якісний стан деревних рослин є одним із найважливіших показників життєздатності міських насаджень, що характеризує їхню екологічну стабільність, декоративність та адаптаційні можливості. Оцінювання цього показника дозволяє ефективно оцінити придатність деревних видів до умов урбанізованого середовища та виявити зміни, що відбуваються під впливом антропогенних чинників.

Відповідно до проведених спостережень у трьох екологічно контрастних зонах міста Києва (Ботанічний сад НУБіП України – умовний контроль; паркові насадження Голосіївського району; зелені насадження вздовж магістралей), стан деревних рослин родини *Fagaceae* виявився різним за ступенем пригнічення, пошкодження асиміляційного апарату та загальної життєздатності (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.).

У процесі візуального оцінювання життєвого стану дерев були задокументовані фотоілюстрації (рис. 3.1.1–3.1.5), які демонструють характерні ознаки зниження фізіологічного стану представників родини *Fagaceae* за даними власних спостережень 2024–2025 рр.

Нами проведено порівняння стану дерев у різних екологічних зонах Києва. На рисунках наведено фото автора досліджуваних видів (*A. hippocastanum*, *Q. robur*, *F. sylvatica*), зроблені упродовж 2024–2025 рр., які відображають як здорові, так і пошкоджені екземпляри.



Рис. 3.1.1. *F. sylvatica* у контрольній зоні – дерево без видимих ушкоджень стовбура, добре сформована крона (Ботанічний сад НУБіП України, 2025 р.).



Рис. 3.1.2. *F. sylvatica* – ураження стовбура мохами та лишайниками, поява зон некрозу кори (зона № 3, 2025 р.).



Рис. 3.1.3. *A. hippocastanum* – листки з ознаками хлорозу та краєвого підсихання, початкова стадія пошкодження мінючою міллю (зона № 2, 2024 р.).



Рис. 3.1.4. *A. hippocastanum* – сильне ураження листкової поверхні мінючою міллю (*Cameraria ochridella* Deschka & Dimic), значне побуріння та скручування листків (зона № 3, 2024 р.).



Рис. 3.1.5. *Q. robur* – передчасне побуріння листків унаслідок посухи та антропогенного навантаження (зона № 3, 2024 р.).

Переважає більшість представників *F. sylvatica* отримала високу оцінку життєвого стану – 59,3 % дерев мали повноцінну листкову поверхню та не проявляли ознак пригнічення росту. *Q. robur* характеризувався середнім рівнем стійкості: 22,8 % обстежених екземплярів відповідали оцінці “4”, що свідчить про задовільний стан асиміляційного апарату та незначне пошкодження листків. Для *A. hippocastanum* зафіксовано найнижчі показники – дерева здебільшого відповідали оцінкам “2” і “3”, що зумовлено значним ураженням листкової поверхні (12,7 % та 5,2 % відповідно) у всіх екологічних зонах досліджень (рис. 3.1.6).

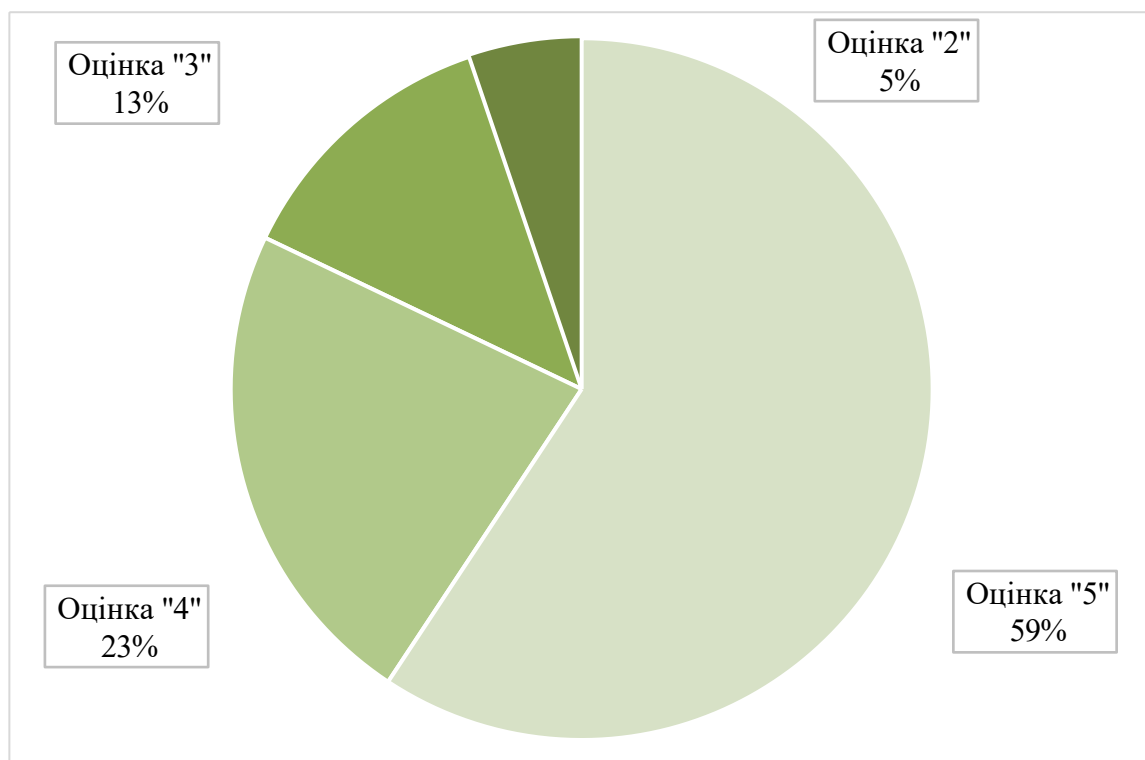


Рис. 3.1.6. Оцінка загального стану представників родини *Fagaceae* (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

Водночас зафіксовано, що загальний стан деревних насаджень безпосередньо залежить від місця розташування. Так, найвищі показники життєздатності спостерігалися у межах зони №1 – Ботанічного саду НУБіП України. Представники цієї групи практично не мали зовнішніх ознак пошкодження крони та стовбура, а відмерлі гілки траплялися переважно у нижній частині крони. Ознак масового ураження комахами чи грибковими хворобами нами не виявлено.

Натомість, деревні рослини, що зростають поблизу автомагістралей (зона №3), перебувають у найгіршому фітосанітарному стані. У них спостерігаються численні механічні пошкодження стовбурів і скелетних гілок, утворення морозобоїн, розвиток водяних пагонів, а також прояви грибкових уражень (рис. 3.1.7–3.1.11). Листки мають меншу площу та світліше забарвлення, що вказує на зменшення сумарного вмісту фотосинтетичних пігментів та, як наслідок – зниження активності фотосинтезу. Вірогідно, що основним чинником деградації є інтенсивний автомобільний рух, який зумовлює забруднення повітря газами, переущільнення ґрунту та механічні пошкодження дерев.



Рис. 3.1.7. Пошкодження стовбурів дерев родини *Fagaceae* (фото автора, 2024–2025 рр.)



Рис. 3.1.8. Пошкодження *F. sylvatica* трутовиком справжнім (*Fomes fomentarius*) (фото автора, 2024–2025 рр.)

Додатковими комплексуючими негативними чинниками виступають ознаки зниження вологості ґрунту через асфальтування та бетонування, обмеження об'єму живлення, дефіцит поживних речовин та зниження аерації, що призводить до ослаблення фізіологічних процесів.

Особливо значні пошкодження виявлено у дерев зони №3 – у середньому 50–75 % гілок у кронах є сухими, спостерігається асиметрія та деформація крони, суховершинність, злами гілок (рис. 3.1.8).

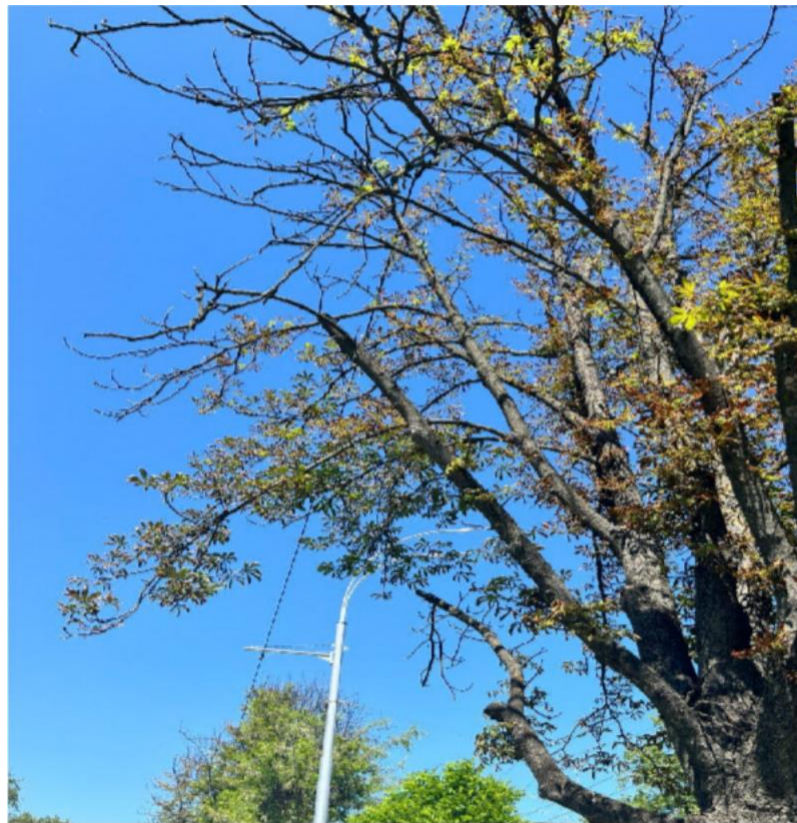


Рис. 3.1.9. Пошкодження крони *A. hippocastanum* (фото автора, 2024–2025 рр.)

У дерев *Q. robur* спостерігалися відшарування кори та оголення кореневої системи, а у *A. hippocastanum* – характерні пошкодження листкової поверхні каштановою мінуючою міллю (*Cameraria ochridella*). Листки таких дерев передчасно буріють і опадають, що знижує їхню фотосинтетичну активність і здатність накопичувати поживні речовини (рис. 3.1.9).



Рис. 3.1.10. Пошкодження листків гіркокаштана звичайного каштановою мінуючою міллю (фото автора, 2024–2025 рр.)

Характеристика пошкоджень гіркокаштана звичайного у межах міста Києва наведена в таблиці (табл 3.1.).

Таблица 3.1.

Характеристика пошкоджень гіркокаштана звичайного у межах міста Києва (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

Діаметр, см	Пошкодження листя, %	Оцінка санітарного стану, бал
Зона № 1		
48	10±0,3	1
50	20±0,6	2
52	30±0,9	3
Зона № 2		

57	25±0,75	3
54	50±1,5	4
64	75±2,25	5
Зона № 3		
60	80±2,4	5
66	75±2,25	5
52	90±2,7	5

Окрім пошкоджень мінуючою міллю, у листках деяких видів зафіксовано розвиток рудої плямистості, спричиненої грибами *Coniothyrium austral* (Saac.) та *Phyllosticta sphaeropsoidea* (Ellis et Everh). Часто фіксувалася комбінація ураження цими грибами та розвиток *Guignardia aesculi* (Peck) (V. B. Stewart), що викликає некротичні плями на листках у період посухи (рис. 3.1.11).



Рис. 3.1.11. Симптоми одночасного ураження листків гіркокаштана звичайного рудою плямистістю і пошкодження каштановою мінуючою міллю (фото автора, 2024–2025 рр.)

Фітопатологічна оцінка показала, що понад 45 % обстежених дерев уражені плямистостями (*Septoria*, *Guignardia aesculi*) та борошнистою россою (*Erysiphaceae*). У зоні №3 значна частка представників мала ушкодження листків

комахами рядів *Homoptera* та *Orthoptera*, що проявлялося у вигляді об’їдання та дірчастого виїдання. Найчастіше такі пошкодження спостерігалися у *Q. robur*.

Узагальнені результати оцінки життєвого стану деревних рослин м. Києва наведено у таблиці 3.1.2.

Таблиця 3.1.2.

Оцінка життєвого стану деревних рослин м. Києва (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

Вид	Загальний стан	Пошкодження		Життєздатність
		Шкідниками	Хворобами	
Гіркокаштан звичайний	3	5	5	5
Дуб звичайний	5	4	4	3
Бук лісовий	4	3	3	1

Для поглибленої оцінки життєздатності деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах міського середовища було проведено порівняльний аналіз за екологічними групами.

Для цього у дослідження включено супутні деревні види, що формують загальний фітоценоз міських насаджень Києва – *Robinia pseudoacacia*, *Betula pendula*, *Populus nigra*, *Acer platanoides* та інші. Це дозволило об’єктивно оцінити положення представників родини *Fagaceae* у структурі зелених насаджень та визначити їхню адаптивну стійкість порівняно з іншими поширеними породами (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.).

Результати розподілу дерев паркового комплексу за відношенням до зволоження наведено на рис. 3.1.12.

Мезофіти та ксерофіти є найпредставленішими групами рослин, їх відсотковий склад майже однаковий – 35,11 % та 33,14 % відповідно. До мезофітів належать *A. hippocastanum*, *B. pendula*, *A. platanoides*, які потребують достатнього вмісту вологи в ґрунті та активно реагують на тривалі періоди посухи в’яненням листкової поверхні.

Групу ксерофітів представляють, зокрема, *R. pseudoacacia* та *F. sylvatica*, які здатні витримувати короточасний дефіцит вологи без суттєвих порушень фізіологічного стану.

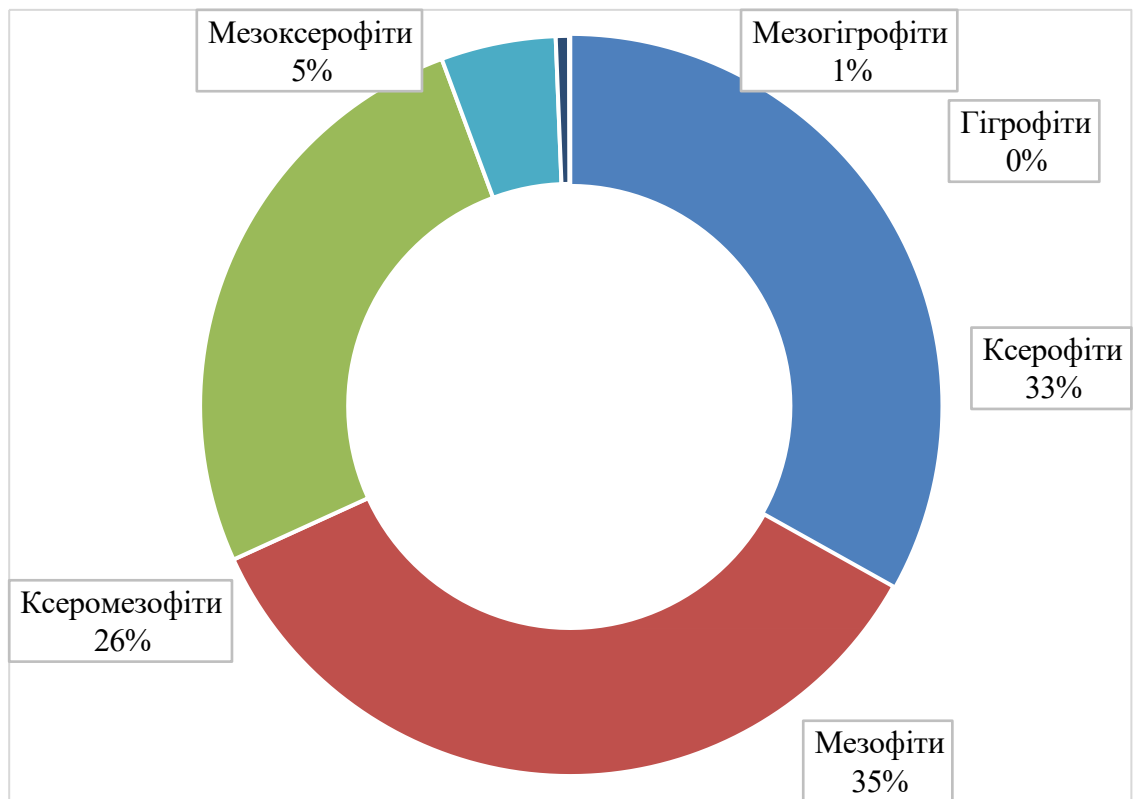


Рис. 3.1.12. Результати розподілу дерев за вимогами до режиму зволоження, % до загальної кількості екземплярів (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

Ксеромезофіти є найбільшою групою з внеском 26,19 % у парковий фітоценоз. Мезоксерофіти представлені незначною кількістю видів – *A. saccharinum* та *F. excelsior* (5,02 %). Мезогірофіти та гірофіти складають найменшу частку, представлену поодинокими екземплярами *P. nigra* та *Q. robur* (відповідно 0,58 % та 0,05 %).

За вимогами до освітлення переважають світлолюбні види, які становлять 44,59 % усіх досліджених дерев (рис. 3.1.13). До цієї групи належать *Q. robur* та *R. pseudoacacia*. У міських умовах вони часто ростуть у частковому затіненні, що призводить до витягування стовбура та формування рідкої крони з обмеженим боковим гілкуванням.

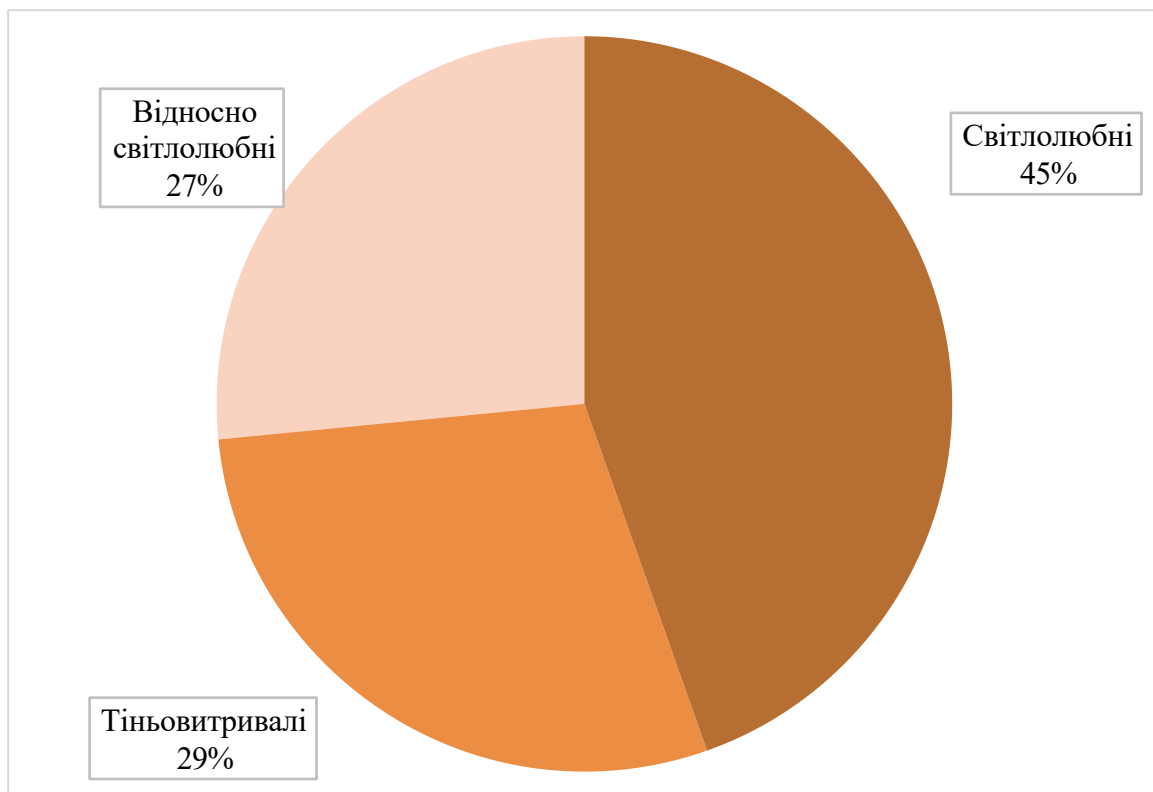


Рис. 3.1.13. Результати розподілу дерев за вимогами до інтенсивності освітлення, % до загальної кількості екземплярів (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

Аналіз отриманих даних щодо стійкості деревних рослин до антропогенного забруднення показав, що майже половина усіх обстежених екземплярів належить до стійких та високостійких груп (загалом 50,14 %) (рис. 3.1.14).

До високостійких видів належать *Q. robur* та *F. sylvatica*, які демонструють стабільний стан листкового апарату навіть у зоні інтенсивного транспортного навантаження. Натомість, *A. hippocastanum*, навпаки, характеризується низькою толерантністю до дії забруднювачів повітря та ґрунту.

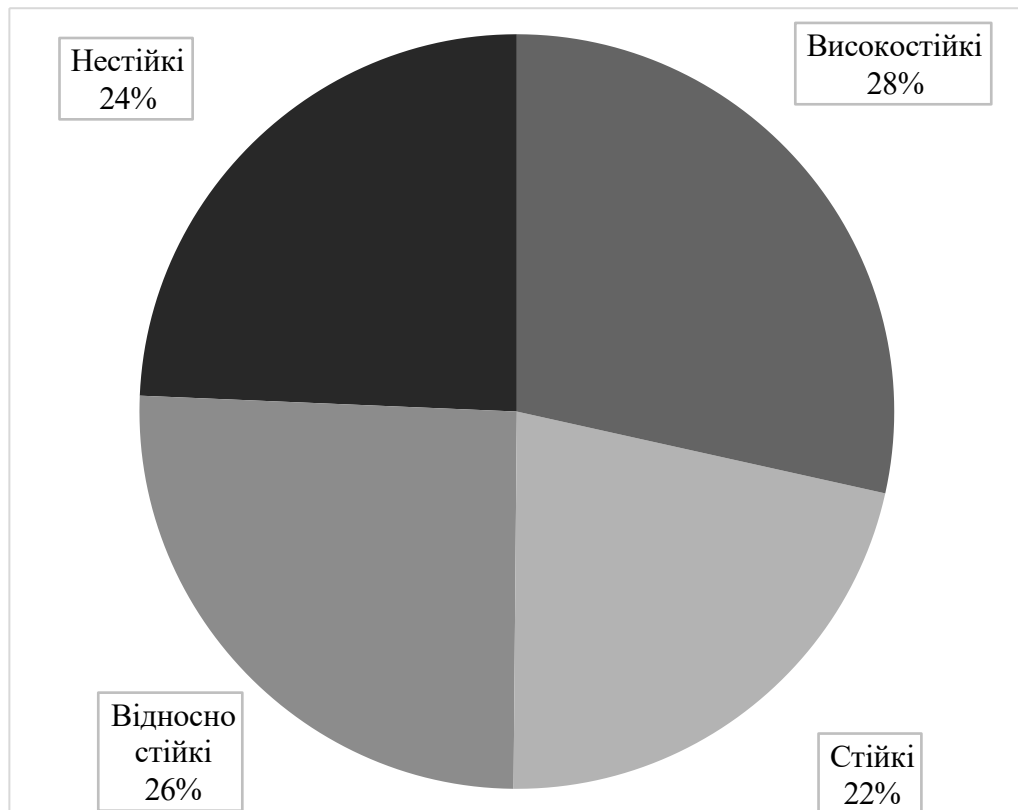


Рис. 3.1.14. Розподіл деревних рослин за толерантністю до антропогенного забруднення, % до загальної кількості екземплярів (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

За показниками відношення до родючості ґрунтів (вміст гумусу) (рис. 3.1.15) найчисельнішою групою є мегатрофи (41,19 %), до яких належать *A. hippocastanum*, *A. saccharinum* та *F. excelsior*. Ці види відзначаються високими потребами у поживних речовинах і краще розвиваються на глибоких суглинках та незадовільно – на глинистих та солончаках.

Оліготрофи (33,87 %) – *Q. robur* та *T. platyphyllos* – характеризуються меншою вибагливістю до родючості ґрунтів. Мезотрофи займають проміжне положення, становлячи 24,94 % від усіх досліджених видів.

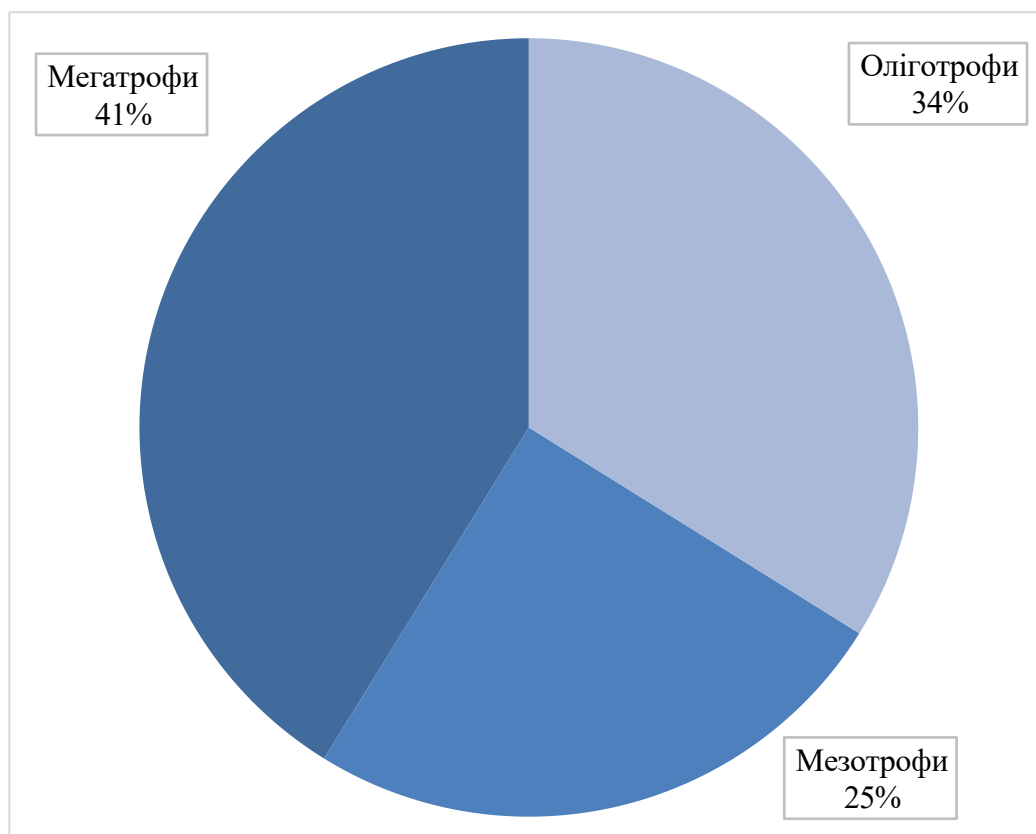


Рис. 3.1.15. Розподіл деревних рослин за вимогами до родючості ґрунтів, % до загальної кількості екземплярів (за даними власних досліджень, 2024–2025 рр.)

Високостійкими до комплексу урбогенних чинників виявилися *Q. robur*, *F. sylvatica* та *R. pseudoacacia*, які зберігають стабільний стан фотосинтетичного апарату і оптимальну регенераційну здатність.

До відносно стійких належать *A. platanoides*, *T. platyphyllos*, *P. nigra*. Найнестійкішими виявилися *A. hippocastanum* та *C. sativa*, які мають високий рівень ураження листкової поверхні та передчасне опадання листя.

Отже, за сукупністю показників (волога, освітленість, родючість ґрунту, толерантність до антропогенного навантаження) найадаптованішими до умов міського урбогенного середовища виявилися дуб черешчатий і бук лісовий, тоді як гіркокаштан звичайний проявляє найнижчий рівень життєздатності в урбанізованих екосистемах Києва (за результатами власних досліджень, 2024–2025 рр.).

### 3.2. Вміст фотосинтетичних пігментів у представників родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища

У результаті досліджень встановлено, що вміст фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, b, каротиноїдів та феофітинів) у представників родини *Fagaceae*, які зростали в різних екологічних зонах міста Києва, істотно залежав від рівня антропогенного навантаження (табл. 3.2–3.2.2).

Таблиця 3.2.

Вміст фотосинтетичних пігментів у листках деревних рослин екологічних зон м. Київ (червень, мкг/г сирої маси)

Вид	Екологічн і зони	Показники			
		Вміст хл a+b	Вміст каротиноїді в	Вміст феофітині в	Співвідношенн я a/b
Гіркокашта н звичайний	Зона №1	1,21±0,0 3	0,36±0,02	0,12±0,01	3,17±0,05
	Зона №2	1,26±0,0 4	0,32±0,01	0,12±0,01	3,10±0,05
	Зона №3	1,01±0,0 3	0,29±0,03	0,19±0,01	3,02±0,06
Дуб черешчатий	Зона №1	1,94±0,0 5	0,49±0,02	0,13±0,01	3,90±0,06
	Зона №2	1,97±0,0 5	0,41±0,02	0,16±0,02	3,84±0,04
	Зона №3	1,24±0,0 5	0,41±0,01	0,15±0,01	3,80±0,04
Бук лісовий	Зона №1	2,65±0,0 5	0,62±0,01	0,13±0,02	4,26±0,07
	Зона №2	2,84±0,0 4	0,60±0,03	0,13±0,02	4,20±0,06
	Зона №3	1,78±0,0 4	0,59±0,03	0,16±0,02	4,09±0,06

Таблиця 3.2.1.

Вміст фотосинетичних пігментів у листках деревних рослин екологічних зон м. Київ (липень, мкг/г сирої маси)

Вид	Екологічн і зони	Показники			
		Вміст хл a+b	Вміст каротиноїді в	Вміст феофітині в	Співвідношенн я a/b
Гіркокашта н звичайний	Зона №1	1,26±0,0 4	0,39±0,02	0,29±0,02	3,26±0,05
	Зона №2	1,29±0,0 4	0,34±0,03	0,24±0,02	3,08±0,04
	Зона №3	1,09±0,0 5	0,28±0,03	0,32±0,01	3,01±0,05
Дуб черешчатий	Зона №1	1,89±0,0 5	0,56±0,02	0,41±0,03	3,95±0,05
	Зона №2	1,91±0,0 5	0,49±0,04	0,46±0,02	3,97±0,05
	Зона №3	1,42±0,0 4	0,53±0,02	0,40±0,02	3,93±0,04
Бук лісовий	Зона №1	2,61±0,0 5	0,63±0,02	0,18±0,02	4,32±0,06
	Зона №2	2,80±0,0 4	0,69±0,05	0,24±0,02	4,24±0,04
	Зона №3	1,82±0,0 5	0,52±0,04	0,20±0,02	4,29±0,05

Таблиця 3.2.2.

Вміст фотосинтетичних пігментів у листках деревних рослин екологічних зон м. Київ (серпень, мкг/г сирої маси)

Вид	Екологічн і зони	Показники			
		Вміст хл a+b	Вміст каротиноїді в	Вміст феофітині в	Співвідношенн я a/b
Гіркокашта н звичайний	Зона №1	1,02±0,0 3	0,31±0,03	0,49±0,02	2,61±0,04
	Зона №2	1,11±0,0 4	0,34±0,03	0,41±0,02	2,69±0,04
	Зона №3	0,91±0,0 3	0,21±0,02	0,51±0,02	2,51±0,03
Дуб черешчатий	Зона №1	1,46±0,0 3	0,51±0,02	0,47±0,02	3,65±0,05
	Зона №2	1,80±0,0 5	0,59±0,04	0,51±0,03	3,60±0,06
	Зона №3	1,39±0,0 3	0,40±0,03	0,49±0,02	3,47±0,04
Бук лісовий	Зона №1	1,81±0,0 4	0,64±0,03	0,29±0,01	4,08±0,04
	Зона №2	2,26±0,0 5	0,67±0,05	0,31±0,02	4,10±0,07
	Зона №3	1,75±0,0 4	0,49±0,04	0,42±0,01	4,05±0,06

Найвищі концентрації пігментів спостерігалися у контрольній зоні (зона №1 – територія Ботанічного саду НУБіП України), тоді як у придорожній зоні (зона №3) їхній вміст зменшувався у всіх видів. Це свідчить щодо пригнічення фотосинтетичних процесів під впливом урбанізаційних чинників.

Так, у *A. hippocastanum* у червні вміст хлорофілів *a+b* знижувався з 1,21 до 1,01 мкг/г, тобто на 17 %, у липні – з 1,26 до 1,09 мкг/г (на 13 %), а в серпні – з 1,02 до 0,91 мкг/г (на 11 %). При цьому, вміст феофітинів у зоні №3 зростав майже у 1,5 раза (з 0,12 до 0,19–0,20 мкг/г у червні та до 0,42 мкг/г у серпні), що вказує на інтенсивну деградацію хлорофілів. Одночасно спостерігалось достовірне збільшення вмісту каротиноїдів – з 0,36 до 0,42 мкг/г, що вірогідно свідчить про активацію антиоксидантного захисту рослин.

У каштана різке зростання феофітинів пояснюється високим рівнем стресу у липні–серпні в зоні №3, а також високою пошкодженістю листкової пластинки каштановою мінуючою міллю та загальною низькою посухостійкістю виду в межах мегаполісу, що корелюється із власними попередніми дослідженнями [43]. У бука феофітинізація відбувається найповільніше – через нижчу активність шкідників і наявність захисних стрес-протекторних білків.

У *Q. Robur* вміст хлорофілів  $a+b$  у червні зменшувався з 1,94 до 1,24 мкг/г (на 36 %), у липні — з 1,89 до 1,42 мкг/г (на 25 %), а в серпні — з 1,46 до 1,39 мкг/г (на 5 %). Співвідношення  $a/b$  поступово знижувалося від 3,9 у контролі до 3,5–3,6 у зоні 3, що свідчить про адаптивне зменшення частки фотосистеми II у загальну інтенсивність темнових реакцій фотосинтезу. Дуб витримує помірне урбанізаційне навантаження, однак у зоні комплексування стресових чинників (зона 3) вміст хлорофілів  $a+b$  достовірно зменшується, що особливо фіксується у серпні.

*F. sylvatica* виявив найвищу стабільність пігментного комплексу. Так, у червні вміст хлорофілів  $a+b$  зменшувався з 2,65 до 1,78 мкг/г (на 33 %), у липні – з 2,61 до 1,82 мкг/г (на 30 %), а в серпні – з 1,81 до 1,75 мкг/г (на 3 %). Співвідношення  $a/b$  залишалося найвищим серед досліджених видів – у межах 4,0–4,3, що свідчить про ефективну роботу фотосинтетичного апарату навіть за умов забруднення.

Натомість співвідношення  $chl\ a/b$  у бука було вищим, оскільки системи його захисту передбачають різке збільшення кількості додаткових пігментів каротиноїдів і раціональне використання хлорофілу  $b$  під час стресу для збереження ефективності фотосинтезу та захисту хлоропластів від зневоднення.

Упродовж вегетаційного періоду (червень – серпень) у всіх видів відзначалося поступове зниження загального вмісту хлорофілів і збільшення частки феофітинів. Найінтенсивніше зниження пігментів і підвищення феофітинів спостерігалось у гіркокаштану звичайного, що свідчить про його нижчу стійкість до умов міського середовища та низьку адаптаційну пластичність.

Окремо було розраховано співвідношення загального вмісту хлорофілів до каротиноїдів ( $chl\ a+b$ )/Car, яке є чутливим індикатором стабільності фотосинтетичного апарату та інтенсивності захисних реакцій рослин. Зниження цього співвідношення свідчить про підвищення відносної частки каротиноїдів і посилення антиоксидантної відповіді під дією стресових факторів. Розраховані значення наведено у таблиці 3.2.3.

Таблиця 3.2.3

Співвідношення загального вмісту хлорофілів ( $a+b$ ) до каротиноїдів у листках деревних рослин родини *Fagaceae* екологічних зон м. Києва

Вид	Екологічна зона	Червень	Липень	Серпень
Гіркокаштан звичайний	Зона №1	3,36	3,23	3,29
	Зона №2	3,94	3,79	3,26
	Зона №3	3,48	3,89	4,33
Дуб черешчатий	Зона №1	3,96	3,37	2,86
	Зона №2	4,80	3,90	3,05
	Зона №3	3,02	2,68	3,47
Бук лісовий	Зона №1	4,27	4,14	2,83
	Зона №2	4,73	4,06	3,37
	Зона №3	3,02	3,50	3,57

У контрольній зоні значення ( $chl\ a+b$ /Car) перебували в межах 3,2–4,8, причому найвищі показники зареєстровано у *F. sylvatica* та *Q. robur*. Це свідчить про добре збережений пігментний комплекс і низьку інтенсивність стресових впливів. У *A. hippocastanum* співвідношення було нижчим (3,2–3,3), що вже у контролі вказує на підвищену роль каротиноїдів у підтриманні стабільності хлоропластів.

У парковій зоні (зона №2) значення співвідношення у дуба та бука залишалися високими (3,9–4,8), тоді як у каштана показники знижувалися до

3,26–3,79, що свідчить про більшу чутливість виду до помірного урбанізаційного навантаження.

У придорожній зоні (зона №3) *A. hippocastanum* демонстрував несприятливий тренд: співвідношення знижувалося або коливалося хаотично (3,26–4,33), що узгоджується з різким підвищенням феофітинів та нестабільністю пігментного апарату. *Q. robur* показав помірну адаптивну відповідь: у серпні співвідношення зросло до 3,47, що може свідчити про часткове відновлення пігментного комплексу. *F. sylvatica* зберігав найвищі значення у більшості варіантів (3,02–3,57), демонструючи високу пластичність і низьку чутливість до забруднення повітря.

У цілому встановлено, що *F. sylvatica* і *Q. robur* характеризуються більш стабільним співвідношенням хлорофілів до каротиноїдів і високою адаптивною здатністю, тоді як *A. hippocastanum* має виражену чутливість до комплексної дії урбанізаційних стресорів та швидше втрачає пігменти, що обмежує його перспективність для використання у міському середовищі.

### 3.3. Вміст вільного проліну в листках деревних рослин родини

#### *Fagaceae*

Таблиця 3.3.

Вміст вільного проліну у листках деревних рослин екологічних зон м. Київ  
(мкмоль/г сирової маси)

Вид	Екологічні зони	Етапи спостережень		
		Червень	Липень	Серпень
Гірकोкаштан звичайний	Зона №1	0,10±0,01	0,19±0,02	0,35±0,02
	Зона №2	1,12±0,01	0,17±0,03	0,29±0,02
	Зона №3	0,15±0,02	0,18±0,03	0,24±0,03
Дуб черешчатий	Зона №1	0,17±0,01	0,21±0,02	0,24±0,02
	Зона №2	0,18±0,01	0,26±0,01	0,30±0,03
	Зона №3	0,13±0,02	0,19±0,02	0,39±0,02
Бук лісовий	Зона №1	0,17±0,02	0,25±0,02	0,28±0,02
	Зона №2	0,25±0,01	0,35±0,03	0,35±0,02
	Зона №3	0,12±0,01	0,17±0,02	0,23±0,03

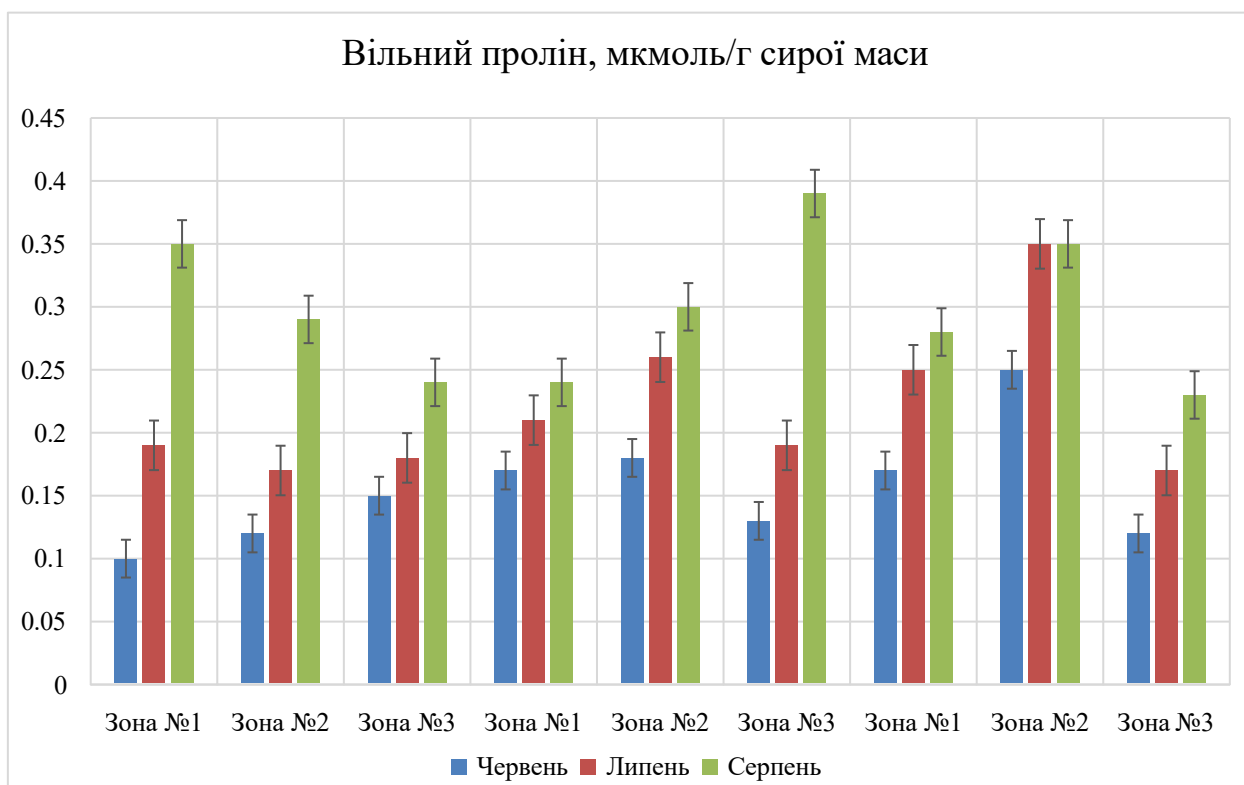


Рис. 3.3. Вільний пролін, мкмоль/г сирової маси

Вміст вільного проліну є важливим індикатором стійкості рослин до дії стресових чинників, зокрема посухи, забруднення атмосфери та високих

температур. У ході дослідження встановлено, що кількість проліну в листках дерев родини *Fagaceae*, які зростали в різних екологічних зонах м. Києва, функціонально змінювалась залежно від рівня антропогенного навантаження (табл. 3.2, рис. 3.2).

У *A. hippocastanum* спостерігалось зростання вмісту проліну від контрольної зони (зона №1) до зони №3. У червні показник становив 0,10 мкмоль/г у зоні 1, 0,12 – у зоні 2, та 0,15 – у зоні 3. У липні – відповідно 0,19, 0,21 і 0,18 мкмоль/г, а в серпні – 0,35, 0,29 і 0,24 мкмоль/г. Найвищі значення у серпні свідчать щодо активної адаптаційної реакції на підвищення рівня забруднення та високотемпературного стресу.

У *Q. robur* спостерігалась подібна тенденція. Так, вміст проліну поступово зростав від 0,13–0,18 мкмоль/г у контрольній зоні до 0,21 мкмоль/г у зоні 3 в червні. У липні – 0,20–0,26 мкмоль/г, а в серпні – до 0,30–0,32 мкмоль/г. Підвищення вмісту проліну достовірно вказує на накопичення осмопротекторів, які підтримують стабільність клітинних мембран під впливом стресу.

*F. sylvatica* характеризувався вищим рівнем проліну, ніж каштан і дуб, що свідчить про його активні механізми осморегуляції. У червні показники становили 0,17–0,21 мкмоль/г, у липні – 0,25–0,30 мкмоль/г, у серпні – 0,33–0,35 мкмоль/г у контрольній і стресовій зонах відповідно. Це свідчить про високу стійкість даного виду до урбанізаційного навантаження. Водночас, бук лісовий накопичує пролін помірніше, оскільки в нього активуються інші стрес-протекторні сполуки, зокрема алкалоїд фаригін, який виконує захисну функцію клітинних мембран. У зоні №3 достовірно вищі значення проліну, ніж у контрольній зоні №1, що пояснюється підвищеним рівнем стресового навантаження та необхідністю активізації цілісних механізмів захисту клітин від зневоднення.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі представлено результати комплексних досліджень, спрямованих на оцінку стану фотосинтетичного апарату та потенційної життєздатності деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища міста Києва. Дослідження проводили у трьох екологічно контрастних зонах: зоні №1 (умовний контроль) – Ботанічний сад НУБіП України; зоні №2 – паркові насадження та сквери (парк «Феофанія», Голосіївський парк); зоні №3 – вуличні зелені насадження поблизу магістралей з інтенсивним рухом транспорту (вулиці Заболотного, Метрологічна, Васильківська, проспект Академіка Глушкова).

Проведені дослідження засвідчили, що рівень життєздатності деревних рослин родини *Fagaceae* істотно залежить від ступеня антропогенного навантаження. У зоні з мінімальним техногенним впливом (зона №1) представники *F. sylvatica* та *Q. robur* мали повноцінну листову поверхню та не проявляли ознак пригнічення росту. У придорожніх насадженнях (зона №3) відзначено послаблення росту, механічні пошкодження стовбурів, асиметричність крони, хлороз і передчасне побуріння листків. Такі зміни супроводжуються зниженням фотосинтетичної активності, що підтверджує пригнічення функціонування асиміляційного апарату під впливом урбанізаційних чинників.

Найвищу адаптивну стійкість до дії комплексу антропогенних факторів проявив *F. sylvatica*, який зберігав стабільний стан фотосинтетичного апарату навіть за умов інтенсивного транспортного навантаження. *Q. robur* характеризувався середнім рівнем толерантності, тоді як *A. hippocastanum* виявив найнижчу життєздатність через масове ураження листової поверхні каштановою мінуючою міллю (*Cameraria ochridella*) та розвиток грибкових плямистостей (*Guignardia aesculi*, *Phyllosticta sphaeropsoides*).

Додатковим інформативним показником стало співвідношення загального вмісту хлорофілів (a+b) до каротиноїдів, яке відображає баланс між світлозбиральними та захисними пігментами. Встановлено, що це

співвідношення закономірно знижувалося у напрямку від контрольної до придорожньої зони, що свідчить про зростання ролі каротиноїдів у нейтралізації оксидативного стресу. Найвищу стабільність показника зберігали *F. sylvatica* та *Q. robur*, тоді як у *A. hippocastanum* спостерігалися найбільші коливання, що додатково підтверджує його нижчу стійкість до урбанізаційного навантаження.

Результати екологічного аналізу свідчать, що у зелених насадженнях міста Києва переважають мезофіти та ксерофіти (35,11 % і 33,14 % відповідно), які є найбільш пристосованими до умов урбанізованого середовища. За рівнем стійкості до антропогенного забруднення *F. sylvatica* та *Q. robur* належать до високостійких видів, тоді як *A. hippocastanum* віднесено до найчутливіших.

Отримані результати дозволили вдосконалити підхід до комплексної оцінки життєвого стану деревних рослин у міських умовах шляхом поєднання візуальних, морфометричних і фізіолого-біохімічних показників. Це дало змогу встановити чіткі взаємозв'язки між рівнем урбанізаційного навантаження, станом фотосинтетичного апарату та загальною життєздатністю дерев.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрієнко, Т. Л. Урбоекологія: навч. посібник. — Київ: Либідь, 2018. — 296 с.
2. Бей, М. М. Біоіндикація стану довкілля за участю деревних рослин. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2019. — 212 с.
3. Бойко, В. В. Стійкість деревних порід до урбанізованих умов / В. В. Бойко // Лісівництво і агролісомеліорація. — 2020. — №136. — С. 45–52.
4. Вакуленко, О. П., Козлова, Л. М. Урбанізаційні зміни міських фітоценозів Києва. — Київ: Наукова думка, 2020. — 198 с.
5. Василенко, І. М. Методика екологічних досліджень у зелених насадженнях. — Київ: НУБіП України, 2021. — 75 с.
6. Виговська, Г. О. Біоекологічна оцінка стану насаджень у міських умовах. — Вінниця: Нова книга, 2018. — 144 с.
7. Гаврилюк, І. В. Фотосинтетична активність рослин у забрудненому середовищі. — Київ: Логос, 2019. — 184 с.
8. Григорюк, І. П. Методика визначення посухостійкості рослин. — Київ: НУБіП України, 2016. — 62 с.
9. Гринько, В. М. Біологічні особливості рослин родини Fagaceae у штучних насадженнях. — Харків: УкрДЛТУ, 2022. — 104 с.
10. Денисенко, С. О. Урбанізоване середовище і рослини: адаптація, стійкість, біоіндикація. — Київ: КНЕУ, 2021. — 228 с.
11. Діденко, А. П. Біологічні основи фотосинтезу: навч. посіб. — Київ: Кондор, 2017. — 240 с.
12. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. — 38 с.
13. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. — Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. — 16 с.

14. Кузнецов, С. І., Левон, Ф. М., Пилипчук, В. Ф., Шумик, М. І. Методика оцінки загального стану деревних насаджень. — Київ: Агроосвіта, 2015. — 64 с.
15. Кучерявий, В. П. Урбоекологія. — Львів: Світ, 2018. — 440 с.
16. Лісовий, В. М. Урбаністична фітоіндикація та її практичне значення. — Харків: ХНАУ, 2020. — 180 с.
17. Григорюк, І. П., Смірнова, І. В. Оцінка посухостійкості деревних рослин урбанізованих територій // Біологічні системи. — 2019. — Т. 11, №1. — С. 33–39.
18. Всесоюзний інститут рослинництва (ВІР). Методика визначення зимостійкості рослин. — Ленінград, 1986. — 45 с.
19. П'ятницький, М. М. Оцінка стану асиміляційного апарату деревних рослин за візуальними ознаками. — Харків: Агроцентр, 2017. — 80 с.
20. *Coniothyrium australe* Saac. Fungal pathogens of *Aesculus hippocastanum* in Europe // *Mycological Progress*. — 2015. — Vol. 14. — P. 255–263.
21. *Phyllosticta sphaeropsoidea* Ellis et Everh. Pathogenicity and morphology of leaf spot fungi // *European Journal of Plant Pathology*. — 2018. — Vol. 151. — P. 89–97.
22. Stewart, V. B. *Guignardia aesculi* (Peck) as a pathogen on horse chestnut trees // *Plant Disease*. — 2020. — Vol. 104(4). — P. 875–880.
23. Deschka, G., Dimic, N. *Cameraria ochridella* — a new leaf miner on *Aesculus hippocastanum* // *Acta Entomologica Jugoslavica*. — 1986. — Vol. 22(1). — P. 11–23.
24. Борисенко, Л. А. Урбоекологічна стійкість деревних рослин. — Київ: Основа, 2020. — 190 с.
25. Дерев'янка, О. Ю. Фітопатологічна оцінка стану зелених насаджень міста Києва. — Київ: НУБіП, 2022. — 102 с.
26. Жмурко, О. М. Екологічна оцінка зелених насаджень у мегаполісі. — Київ: Видавництво КНУ, 2020. — 150 с.

27. Федоренко, В. П. Біологічна роль асиміляційного апарату деревних рослин у формуванні стійкості до техногенного навантаження // Наукові записки НУБіП. — 2021. — №5. — С. 122–129.
28. Сидоренко, О. В. Методичні підходи до аналізу фотосинтетичних пігментів у рослин. — Київ: НУБіП України, 2020. — 59 с.
29. Ткаченко, М. М. Екологічна оцінка життєвого стану деревних насаджень у міському середовищі // Агроекологічний журнал. — 2021. — №3. — С. 47–53.
30. Smirnova, I., Grygoryuk, I. Urban environmental stress effects on photosynthetic activity of woody plants // Journal of Environmental Biology. — 2020. — Vol. 41. — P. 545–552.
31. Borovyk, O. Adaptive responses of Fagaceae species to air pollution in urban ecosystems of Eastern Europe // Environmental Monitoring and Assessment. — 2022. — Vol. 194(7). — P. 911–923.
32. Fomes fomentarius as a decay factor of beech trees in urban areas // Urban Forestry & Urban Greening. — 2021. — Vol. 64. — 127264.
33. Klimenko, O., Lavrentieva, O. Tree health and stress markers in Kyiv green zones // Ecology and Noosphere. — 2023. — Vol. 32(2). — P. 48–57.
34. Лаврентьєва, О. М. Біоіндикація урбанізованих екосистем. — Київ: Центр екології, 2023. — 136 с.
35. European Environment Agency (EEA). Urban green infrastructure and biodiversity. — Copenhagen: EEA Report No 6, 2022. — 98 p.
36. Nowak, D. J. Urban trees and air pollution mitigation // Environmental Pollution. — 2020. — Vol. 261. — 114037.
37. Pretzsch, H., Biber, P. Tree growth under urban climate conditions: a comparative study // Urban Forestry & Urban Greening. — 2019. — Vol. 38. — P. 367–379.
38. United Nations Environment Programme (UNEP). State of the World's Urban Forests. — Nairobi, 2023. — 122 p.

39. Ward, J. S. Assessing the vitality of trees exposed to chronic pollution stress // *Ecological Indicators*. — 2021. — Vol. 125. — 107528.
40. Zhang, Y., et al. Morphological and physiological traits of *Quercus* species under urban stress // *Trees*. — 2022. — Vol. 36(3). — P. 601–615.
41. Шевченко, І. А. Стан деревних насаджень міста Києва: біоіндикаційні аспекти. — Київ: НУБіП України, 2023. — 102 с.
42. Кузьмич, Н. М. Фотосинтетичні пігменти деревних рослин родини *Fagaceae* як показник адаптації до урбанізованого середовища // *Вісник екологічної біотехнології*. — 2024. — №1. — С. 67–75.
43. Савіцька Л. В., Нестерова Н. Г. Перспективи використання рослин роду *Fagaceae* для озеленення міського середовища // *Матеріали міжнародної наукової конференції Bioscience–2024*. Тернопіль, 2024. – С. 87–90.

## ДОДАТКИ

Додаток А

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ

### ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ В ЗАХИСТІ ТА КАРАНТИНІ РОСЛИН

*Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції  
здобувачів вищої освіти, присвяченій 127-річчю НУБПУ України*

*(13 травня 2025 р.)*



**Київ-2025**

<i>Дейнека Н. В., Дмитрієва О. Є.</i> МОНИТОРИНГ ТА ЗАХИСТ ВІД БУР'ЯНОВИХ УГРУПУВАНЬ В ПОСІВАХ КУКУРУДЗИ В ГОСПОДАРСТВІ «НАТАША-АГРО».....	123
<i>Тофан А.М., Бабич А.Г.</i> ВПЛИВ <i>GLOBODERA ROSTOCHIENSIS</i> НА ПРОДУКТИВНІСТЬ КАРТОПЛІ В УКРАЇНІ.....	126
<i>Тофан А.М., Бабич А.Г.</i> ОСНОВНІ ПРИЧИННИ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТА ОЗНАКИ УРАЖЕННЯ РОСЛИН ЗОЛОТИСТОЮ КАРТОПЛЯНОЮ НЕМАТОДОЮ ( <i>GLOBODERA ROSTOCHIENSIS</i> ).....	127
<i>Твердовський Н., Статкевич О.І.</i> Особливості біології та розвитку американського білого метелика ( <i>Hyrphantria cunea</i> Drury.).....	129
<i>Чеберяк О.Ю., Бабич О.А.</i> ВПЛИВ <i>DITYLENCHUS DIPSACI</i> НА УРОЖАЙНІСТЬ КОНЮШИНИ.....	132
<i>Чеберяк О.Ю., Бабич О.А.</i> ПОШИРЕННЯ, РОСЛИНИ-ЖИВИТЕЛІ ТА МОНИТОРИНГ КОЮШИННОЇ ЦИСТОУТВОРЮЮЧОЇ НЕМАТОДИ <i>HETERODERA TRIFOLII</i> .....	134
<i>Черненко Я. М., Дмитрієва О. Є.</i> ЗАХИСТ АГРОФІТОЦЕНОЗУ КУКУРУДЗИ ВІД БУР'ЯНОВОГО КОМПОНЕНТУ В УМОВАХ «ТОВ ІЧНЯНСЬКЕ».....	135
<b>СЕКЦІЯ: IV. БІОЛОГІЧНИЙ ЗАХИСТ, ОХОРОНА ЗДОРОВ'Я</b>	
<i>Варварчук О., Статкевич О.І.</i> ПРОМИСЛОВЕ ЗНАЧЕННЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЛАБОРАТОРНИХ КУЛЬТУР ВИДІВ РОДУ <i>TRICHOGRAMMA</i> SPP.....	138
<i>Рибальченко Т.О., Кляченко О.Л.</i> ВВЕДЕННЯ В КУЛЬТУРУ <i>IN VITRO</i> ВАЛЕРІАНИ ЛІКАРСЬКОЇ ( <i>VALERIANA OFFICINALIS</i> L.).....	140
<i>Александров Б. В., Полков В.С., Мороз С.Ю.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ВИДІВ ФІТОФАГІВ ЗА РЕСУРСООЦІДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ПОЛЬОВИХ КУЛЬТУР У ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ.....	143
<i>Богданова С.С., Бондарева Л.М., Бондарева М.В.</i> ДОВГОСТРОКОВИЙ КОНТРОЛЬ МИШОВИДНИХ ГРИЗУНІВ: БІОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ПРОТИ ХІМІЧНОГО.....	144
<i>Буляк В. О., Гнатюк Т. Т., Бородай В. В.</i> АНТИФУГАЛЬНА АКТИВНІСТЬ МІКРОЕЛЕМЕНТНОГО КОМПЛЕКСНОГО ДОБРИВА ЩОДО ФІТОПАТОГЕННИХ МІКРОМІЦЕТІВ.....	145
<i>Гончарук М.В., Кляченко О.Л.</i> ОТРИМАННЯ АСЕПТИЧНОЇ КУЛЬТУРИ <i>IN VITRO</i> <i>GOSSYPIUM HIRSUTUM</i> L.....	147
<i>Гончарук М.В., Кляченко О.Л.</i> ОСОБЛИВОСТІ КУЛЬТИВУВАННЯ <i>IN VITRO</i> <i>GOSSYPIUM HIRSUTUM</i> L.....	149
<i>Кучер Т.Р., Мороз С.Ю.</i> БІОХІМІЧНІ ТА МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧНІ МЕХАНІЗМИ СТІЙКОСТІ БУР'ЯНІВ ДО ГЕРБИЦІДІВ.....	151
<i>Пустова Ю.М., Кляченко О.Л.</i> ОТРИМАННЯ АСЕПТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ РОЗМАРИНУ ЛІКАРСЬКОГО ( <i>ROSMARINUS OFFICINALIS</i> L.).....	152
<i>Радзіцький А.В., Мороз С.Ю.</i> ФЕРМЕНТНІ ШЛЯХИ ДЕТОКСИКАЦІЇ ГЕРБИЦІДІВ У КУЛЬТУРНИХ РОСЛИНАХ ЗА ДІЇ АНТИДОТІВ.....	154
<i>Савіцька Л. В., Нестерова Н. Г.</i> АСПЕКТИ ДІЯЛЬНОСТІ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ УРБОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА М. КИЇВ.....	156
<i>Шишкіна Д.С., Кляченко О.Л.</i> ФІТОПАТОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КУЛЬТИВУВАННЯ <i>ORCHIDACEAE VANDA</i> ТА ЇХ ВИРІШЕННЯ.....	158
<i>Кулик К. В., Субін О. В.</i> РОЗРОБКА ПРАЙМЕРІВ ДЛЯ ДЕТЕКЦІЇ ВІРУСУ ОПІКУ ЛОХИНИ ( <i>SARLAVIRUS VACCINII</i> ) МЕТОДОМ ЗТ-ПЛР.....	163
<i>Панова О.Ю., Кляченко О.Л.</i> ОТРИМАННЯ АСЕПТИЧНИХ РОСЛИН БАРБАРІСУ ТУНБЕРГІА ( <i>BERBERIES THUNBERGII</i> ).....	164
<i>Бойко В.В., Глим'язий В.А.</i> ПЕРОНОСПОРОЗ СОЇ ТА ЗАХОДИ ЗАХИСТУ КУЛЬТУРИ ВІД ХВОРОБИ В УМОВАХ КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	166

## АСПЕКТИ ДІЯЛЬНОСТІ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УМОВАХ УРБОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА М. КИЇВ

**Савицька Л. В.**, студентка 1 року магістратури,  
Науковий керівник: **Нестерова Н. Г.**, доцент, кандидат с/г наук  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У сучасних умовах урбанізації питання збереження, ефективного захисту та раціонального використання зелених насаджень у межах міст набуває особливої актуальності. Деревна рослинність є невід'ємною частиною міських екосистем, виконуючи низку життєво важливих екологічних функцій: фільтрацію забруднювачів повітря, регуляцію мікроклімату, зниження шумового забруднення, фіксацію пилу, збереження біорізноманіття та створення сприятливих умов для рекреації населення. В умовах зростаючого антропогенного навантаження захист зелених насаджень від дії стресових чинників стає ключовим аспектом сталого розвитку міст і підтримання екосистемних послуг.

Урбанізоване середовище чинить значний тиск на рослини через вплив комплексу несприятливих чинників: забруднення повітря, зміну газового режиму, ущільнення ґрунту, підвищення температури, зниження вологості повітря і ґрунту тощо. Одним з ефективних підходів до моніторингу стану та розробки стратегій захисту рослин є дослідження стану фотосинтетичного апарату, який включає морфофункціональні елементи, що забезпечують перебіг фотосинтезу. Порушення в цій системі безпосередньо впливають на виживання, адаптивний потенціал та екологічну стійкість деревної рослинності в умовах міського середовища.

Метою роботи є комплексна оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища з різним рівнем антропогенного навантаження для визначення найбільш стійких та ефективних у плані зеленого озеленення видів.

Об'єктами дослідження стали: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), дуб червоний (*Quercus rubra* L.), дуб скельний (*Quercus petraea*), бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.) і каштан їстівний (*Castanea sativa* Mill.). Дослідження проводилися у межах зелених насаджень м. Києва з різним рівнем техногенного впливу (паркові зони, сквери, придорожні посадки). Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілів а, b та каротиноїдів) здійснювали спектрофотометрично за методом A.R. Wellburn [3], морфологічний аналіз листків включав візуальне оцінювання забарвлення, наявності некрозів, тургору та деформацій.

Встановлено, що в умовах високого забруднення атмосферного повітря спостерігається достовірне зниження вмісту хлорофілу а (на 20–30 %) та хлорофілу b (на 15–25 %) у листках рослин порівняно з контрольними зразками з паркових зон. Також виявлено тенденцію до зменшення вмісту каротиноїдів, що може свідчити про зниження ефективності антиоксидантного захисту [3]. Найвищі показники вмісту пігментів виявлені у листках *Q. robur* та *Q. petraea* в умовах чистіших екотопів.

Серед досліджуваних видів *F. sylvatica* та *C. sativa* проявили вищу чутливість до стресових факторів: зниження тургору, поява некрозів, деформації листків, накопичення пилу в зоні кутикули, що додатково знижувало фотосинтетичну активність [1].

Натомість *Q. robur* та *Q. petraea* виявилися найстійкішими до умов урбанізованого середовища. Вони зберігали відносно стабільний пігментний профіль навіть у зонах з високим техногенним навантаженням, що зумовлено їхньою природною пластичністю та здатністю адаптувати фотосинтетичну систему до стресу [2].

Таким чином, результати дослідження свідчать про доцільність пріоритетного використання *Q. robur* та *Q. petraea* для озеленення урбанізованих територій. Ці види не лише мають високий рівень адаптації до стресових чинників, але й забезпечують стабільне виконання екологічних функцій у міських екосистемах. Проведена оцінка стану фотосинтетичного апарату дозволяє науково обґрунтовано підходити до формування стійких зелених насаджень, що відіграють ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги, зниженні ризиків для здоров'я населення та формуванні сприятливого урбаністичного середовища.

Список використаних джерел:

1. Пономаренко С.В. Адаптація деревних рослин до урбанізованих умов / С.В. Пономаренко // *Урбоекологія*. – 2021. – №3. – С. 45–50.
2. Коваленко О.М. Біохімічні показники рослин в умовах антропогенного навантаження / О.М. Коваленко // *Біологічний вісник*. – 2020. – №2. – С. 55–60.
3. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // *Journal of Plant Physiology*. – 1994. – Vol. 144. – P. 307–313.

Додаток Б



**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ  
І ЕКОЛОГІЇ**

## **ЗБІРНИК**

матеріалів доповідей

**XI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ  
КОНФЕРЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ, АСПРАНТІВ**

**І МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**



**«ЕКОЛОГІЯ – ФІЛОСОФІЯ ІСНУВАННЯ  
ЛЮДСТВА»**

**23-24 квітня 2025 р.**

**Київ – 2025**

<i>Нікітін П.С., Львіна В.Г.</i> АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ ВИДІВ І НОРМ ДОБРІВ НА ЯКІСНІ ТА КІЛЬКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВРОЖАЮ ЯРОГО ЯЧМЕНЮ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	120
<i>Наумовська О.І., Нікітченко Б.Я.</i> БІОТЕСТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ЗА УМОВ ЛОКАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	122
<i>Овдієнко Є.В., Сербенюк Г.А.</i> ВЕСНЯНО-ОСІННЯ МІГРАЦІЯ ПТАХІВ СЕЛА СЕРГІЇВКИ (ПРИЛУЦЬКИЙ РАЙОН, ЧЕРНІГІВСЬКА ОБЛАСТЬ): АНАЛІЗ ВИДОВОГО СКЛАДУ ТА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН.....	124
<i>Остапюк У.В., Павлюк С.Д.</i> ЕКОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ ЦУКРОВОЇ ПРОМІСЛОВОСТІ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ В УКРАЇНІ: АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ.....	126
<i>Павелко В.О., Сапожник Н.І.</i> ЩОДО ПИТАННЯ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В М. ЗАПОРІЖЖЯ.....	129
<i>Павлюк С.Д.</i> ВАЖЛИВІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ.....	132
<i>Панова О.Ю., Кляченко О.Л.</i> МОРФОГЕНЕЗ БАРБАРІСУ ТУНБЕРГА ( <i>BERBERIS THUNBERGII</i> ) <i>IN VITRO</i> .....	134
<i>Петракова А.В., Сербенюк Г.А.</i> РОЛЬ РЛШ «ТРАХТЕМІРІВ» У ЗБЕРЕЖЕННІ ОСОБЛИВО ЦІННИХ ЛАНДШАФТІВ.....	136
<i>Пласюк Н., Кляченко О.Л.</i> ОСОБЛИВОСТІ ВВЕДЕННЯ В КУЛЬТУРУ <i>IN VITRO</i> ЯЛІНИ БЛАКІТНОЇ.....	138
<i>Полотнянко Л.В., Мірошник В.І.</i> ЗМІНИ ВМІСТУ РЕЧОВИНИ ЦИКЛУ КРЕБСА В ТКАНИНАХ КАРАСЯ ЗА ДІЇ МІКОТОКСИНУ Т <sub>2</sub> .....	140
<i>Пустова Ю.М., Кляченко О.Л.</i> МОРФОГЕНЕЗ <i>IN VITRO</i> РОЗМАРІНУ ЛІКАРСЬКОГО <i>ROSMARINUS</i> <i>OFFICINALIS</i> .....	142
<i>Пшінка М.А., Філітнов А.І., Сафіна О.В., Бондарчук І.М.</i> ГУРТОК «ЕКОЖИТТЯ» ЯК ЕФЕКТИВНА ПЛАТФОРМА ЕКОЛОГІЧНОГО ВИХОВАННЯ МОЛОДІ: ДОСВІД, ЗАХОДИ, ДОСЯГНЕННЯ.....	144
<i>Рибальченко Т.О., Кляченко О.Л.</i> МОРФОГЕНЕЗ <i>IN VITRO</i> ВАЛЕРІАНИ ЛІКАРСЬКОЇ ( <i>VALERIANA OFFICINALIS</i> <i>L.</i> ).....	146
<i>Савіцька Л.В., Нестерова Н.Г.</i> КОЛІВАЛЬНІ ЗМІНИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН МАГІСТРАЛЬНИХ ПОСАДОК КИЄВА.....	148

УДК 581.1:504.5

## КОЛИВАЛЬНІ ЗМІНИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФОТОСИНТЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН МАГІСТРАЛЬНИХ ПОСАДОК КИЄВА

**Савіцька Л.В.**, магістр I року навчання, факультету захисту рослин, біотехнологій та екології

**Нестерова Н.Г.**, кандидат с.-г. наук, доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

У сучасних умовах урбанізації проблема збереження та раціонального використання зелених насаджень у межах міст набуває пріоритетного значення. Деревна рослинність є невід'ємною частиною міських екосистем, виконуючи важливі екологічні функції: фільтрацію забруднювачів повітря, регуляцію мікроклімату, зниження шумового забруднення, фіксацію пилу, збереження біорізноманіття та забезпечення умов для рекреації населення. Захист та підтримання життєздатності зелених насаджень є основою сталого розвитку міст та збереження екосистемних послуг.

Урбанізоване середовище чинить значний тиск на рослини через вплив комплексу несприятливих чинників: забруднення повітря, зміну газового режиму, ущільнення ґрунту, підвищення температури, зниження вологості повітря і ґрунту тощо. Одним з ключових підходів до оцінки впливу стресових факторів є дослідження стану фотосинтетичного апарату, який включає морфофункціональні елементи, що забезпечують перебіг фотосинтезу. Стан цієї системи безпосередньо впливає на виживання, адаптивний потенціал та екологічну ефективність зелених насаджень.

Метою роботи є комплексна оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища з різним рівнем антропогенного навантаження для визначення найбільш стійких та ефективних у плані зеленого озеленення видів.

Об'єктами дослідження стали: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), дуб червоний (*Quercus rubra* L.), дуб скельний (*Quercus petraea*), бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.) і каштан їстівний (*Castanea sativa* Mill.). Дослідження проводилися у межах зелених насаджень м. Києва з різним рівнем техногенного впливу (паркові зони, сквери, придорожні посадки). Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілів a, b та каротиноїдів) здійснювали спектрофотометрично за методом A.R. Wellbush [3], морфологічний аналіз листків включав візуальне оцінювання забарвлення, наявності некрозів, тургору та деформацій.

Встановлено, що в умовах високого забруднення атмосферного повітря спостерігається достовірне зниження вмісту хлорофілу а (на 20–30 %) та хлорофілу b (на 15–25 %) у листках рослин порівняно з контрольними зразками з паркових зон. Також виявлено тенденцію до зменшення вмісту каротиноїдів, що може свідчити про зниження ефективності антиоксидантного захисту [3]. Найвищі показники вмісту пігментів виявлені у листках *Q. robur* та *Q. petraea* в умовах чистіших екотопів.

Серед досліджуваних видів *F. sylvatica* та *C. sativa* проявили вищу чутливість до стресових факторів: зниження тургору, поява некрозів, деформації листків, накопичення пилу в зоні кутикули, що додатково знижувало фотосинтетичну активність [1].

Натомість *Q. robur* та *Q. petraea* виявилися найстійкішими до умов урбанізованого середовища. Вони зберігали відносно стабільний пігментний профіль навіть у зонах з високим техногенним навантаженням, що зумовлено їхньою природною пластичністю та здатністю адаптувати фотосинтетичну систему до стресу [2].

Таким чином, результати дослідження свідчать про доцільність пріоритетного використання *Q. robur* та *Q. petraea* для озеленення урбанізованих територій. Ці види не лише мають високий рівень адаптації до стресових чинників, але й забезпечують стабільне виконання екологічних функцій у міських екосистемах. Проведена оцінка стану фотосинтетичного апарату дозволяє науково обґрунтовано підходити до формування стійких зелених насаджень, що відіграють ключову роль у підтриманні екологічної рівноваги, зниженні ризиків для здоров'я населення та формуванні сприятливого урбаністичного середовища.

#### Список використаних джерел

1. Пономаренко С.В. Адаптація деревних рослин до урбанізованих умов / С.В. Пономаренко // Урбоекологія. – 2021. – №3. – С. 45–50.
2. Коваленко О.М. Біохімічні показники рослин в умовах антропогенного навантаження / О.М. Коваленко // Біологічний вісник. – 2020. – №2. – С. 55–60.
3. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // Journal of Plant Physiology. – 1994. – Vol. 144. – P. 307–313.

Додаток В



**ТЕРНОПІЛЬСЬКІ БІОЛОГІЧНІ  
ЧИТАННЯ –  
TERNOPIL BIOSCIENCE – 2025**

Тернопіль  
2025

## 85-річчя хіміко-біологічного факультету ТНПУ

ЗОЛОТОТИСЯЧНИК ЗВИЧАЙНИЙ ( <i>CENTAURIUM ERYTHRAEA</i> RAFN.) – ЦІННИЙ ЛІКАРСЬКИЙ ВИД: ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ЗАСТОСУВАННЯ.....	51
Кравченко Є. Я., Ядчишин О. О., Колісник Х. М., Дробик Н. М. МАГОНЯ ПАДУБОЛИСТА - ПЕРСПЕКТИВНА ЛІКАРСЬКА РОСЛИНА.....	54
Марчишин С. М., Ластовиченко Є. А., Джуренко Н. І., Слободянюк Л. В., Будняк Л. І. ТРАВЯНИСТІ МЕДОНОСИ ТА ПИЛКОНОСИ ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ.....	56
Мацюк О. Б., Герц Н. В., Базилюк М. Л., Амброзюк О. Б. МОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ НАСІННЯ ІНТРОДУКОВАНИХ КВІТНИКОВО-ДЕКОРАТИВНИХ РОСЛИН ВИДІВ РОДУ <i>VERBENA</i> L.....	58
Машковська С. П., Горай Г. О. ВПЛИВ РЕКУЛЬТИВАНТУ КОМПОЗИЦІЙНОГО TREVITAN® НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ПЛОДІВ ПЕРЦЮ ОДНОРІЧНОГО ( <i>CAPSICUM ANNUUM</i> L.).....	60
Москалюк Н. В., Кравець М. Я., Прокопів І. Б., Явна В. В., Мальована Л. П. ГІДРОЛІЗАТИ З ЛИЧИНОК ЯК ПОТЕНЦІЙНІ СТИМУЛЯТОРИ РОСТУ КУКУРУДЗИ.....	64
Нужина Н. В., Ніколаюк А. О., Ракша Н. Г. ПАРАМЕТРИ ВОДООБМІНУ ЛИСТКІВ <i>FABA VONA</i> MEDIC. ЗА ВПЛИВУ МІКРОБНИХ ПРЕПАРАТІВ.....	67
Піда С. В., Опацький І. І., Мацюк О. Б. МОРФОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ ГАРБУЗА ЗВИЧАЙНОГО ( <i>CUCURBITA PEPO</i> ) ЗА ДІЇ ФУЛЕРЕНУ C <sub>60</sub> ТА УМОВ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ.....	70
Погрібна А. С., Прилуцька С. В. ОЦІНКА СТАНУ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДИНИ <i>FAGACEAE</i> В УМОВАХ КИЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ.....	73
Савицька Л. В., Нестерова Н. Г. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН <i>ARMILLARIA MELLEA</i> (VANL) P. KUMM. ДЛЯ СТИМУЛЯЦІЇ РОСТУ ТА РОЗВИТКУ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР.....	76
Сушицька К. С., Бойко О. А. УРОЖАЙНІСТЬ СОНЯШНИКА ОДНОРІЧНОГО В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОГО СТАНУ.....	78
Щлянта Т. Б., Гуменюк Г. Б., Чень І. Б., Волошин О. С., Мацюк О. Б.	

**ОЦІНКА СТАНУ ФОТОСИНТЕТИЧНОГО АПАРАТУ  
ДЕРЕВНИХ РОСЛИН РОДИНИ *FAGACEAE* В УМОВАХ  
КИЇВСЬКОГО МЕГАПОЛІСУ**

Савіцька Л. В., Нестерова Н. Г.

Національний університет біоресурсів і  
природокористування України

E-mail: savitska21sl@gmail.com

Проблема збереження та раціонального використання зелених насаджень у мегаполісах набуває першочергового значення в умовах посилення антропогенного навантаження на довкілля. Рослини, що зростають у міських екосистемах, зазнають дії комплексу несприятливих чинників: забруднення повітря, зміни газового режиму, підвищення температури повітря, ущільнення ґрунту та зменшення водозабезпечення тощо.

Одним із ключових критеріїв оцінки стану рослин у стресових умовах є дослідження стану фотосинтетичного апарату рослин. Діяльність фотосинтезуючої системи рослин включає сукупність структурних та функціональних елементів листка, які забезпечують процес фотосинтезу. Очевидно, що оптимальний стан цієї системи безпосередньо залежить від дії чинників навколишнього середовища. Метою роботи є комплексна оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* в умовах урбанізованого середовища з різним рівнем антропогенного навантаження. Дослідження стану фотосинтетичної системи дає можливість прогнозувати потенційний рівень стійкості дерев до стресових чинників довкілля та доцільності використання представників даної родини у міському озелененні.

Об'єктами дослідження слугували представники родини *Fagaceae*: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), дуб чевоний (*Quercus rubra* L.), дуб скельний (*Quercus petraea*), бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.) і каштан їстівний (*Castanea sativa* Mill.). Дослідження проводилися у межах насаджень деревних рослин м. Києва, що відрізнялися різним рівнем антропогенного

*Експериментальна ботаніка, фізіологія рослин і мікробіологія*

навантаження (парки, сквери, магістральні посадки). Визначення фотосинтетичних пігментів проводили спектрофотометрично, а морфологічний аналіз листків включав візуальне оцінювання пошкоджень, забарвлення та наявності некрозів.

Встановлено, що стан фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae* суттєво залежить від ступеня антропогенного навантаження у досліджуваних екотопах. Так, показано, що у зонах підвищеного рівня забруднення атмосферного повітря (поблизу автомагістралей та промислових підприємств) спостерігалось суттєве зниження вмісту пігментів у листках дерев. Найвищий вміст хлорофілу *a* та *b* був зафіксований у листках *Q. robur* та *Q. petraea*, що зростали в умовах паркових насаджень з відносно чистим повітрям та оптимальним рівнем водозабезпечення. Водночас, у забруднених районах міста вміст хлорофілу *a* знижувався у середньому на 20–30 %, а хлорофілу *b* – на 15–25 % порівняно із зоною контролю, що співвідноситься з даними інших дослідників [1, 2]. При цьому, показники вмісту каротиноїдів демонстрували тенденцію до зменшення у більшості досліджуваних видів у стресових умовах середовища, що свідчить про зниження функціонування системи антиоксидантного захисту рослин [3]. Варто зазначити, що *F. sylvatica* та *C. sativa* проявляли вищу чутливість до дії стресових чинників: спостерігалось послаблення тургору, поява некротичних плям, деформація листкових пластинок та сумарне зменшення площі. В окремих випадках візуально зафіксовано накопичення пилу у зоні кутикули листків, що додатково ускладнювало фотосинтетичну діяльність [1].

Найстійкішими виявилися рослини *Q. robur* та *Q. petraea*, які зберігали високу інтенсивність фотосинтетичних процесів навіть у несприятливих умовах урбанізованого середовища, що пояснюється їх природними адаптаційними механізмами, високою пластичністю та здатністю до накопичення пігментів навіть за умов стресу [2]. Також, важливо відзначити, що морфологічний аналіз листків показав вищу цілісність та меншу кількість пошкоджень видів *Q. robur* та *Q. petraea* порівняно з іншими представниками родини.

Отже, зафіксовано коливальний характер показників стану фотосинтетичного апарату деревних рослин родини *Fagaceae*

*Експериментальна ботаніка, фізіологія рослин і мікробіологія*

залежно від рівня урбанізаційного навантаження. Найстійкішими до стресових умов мегаполісу виявилися *Q. robur* та *Q. petraea*, які характеризувалися найвищими показниками вмісту фотосинтетичних пігментів та мінімальними ознаками пошкоджень листкового апарату за дії стресу. Рослини видів *F. sylvatica* та *C. sativa* проявляли нижчу стійкість до дії забруднювачів повітря та ґрунту, що відобразалося у достовірному зниженні вмісту пігментів та значних морфологічних змінах листків. Таким чином, проведена оцінка стану фотосинтетичного апарату деревних рослин дозволяє пропонувати найперспективніші види для використання в озелененні мегаполісів для формуванні стійких зелених насаджень, що здатні ефективно виконувати соціоекологічні, природоохоронні та містобудівні функції в урбанізованих умовах.

Список літератури

1. Пономаренко С. В. Адаптація деревних рослин до урбанізованих умов / С. В. Пономаренко // Урбоекологія. – 2021. – №3. – С. 45–50.
2. Коваленко О. М. Біохімічні показники рослин в умовах антропогенного навантаження // Біологічний вісник. – 2020. – №2. – С. 55–60.
3. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // Journal of Plant Physiology. – 1994. – Vol. 144. – P. 307–313.