



Н. О. Власенко

Полтавський національний педагогічний університет ім. В. Г. Короленка, м. Полтава, Україна

СТРАТЕГІЇ АДАПТАЦІЇ ДЕРЕВ ДО УМОВ УРБАНІЗОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

Проаналізовано роль дерев в урбанізованих середовищах, зокрема – їх значення для забезпечення тіні, зниження температури, запобігання затопленням, зменшення шуму і забруднення, сприяння запиленню рослин, а також естетичної привабливості. Досліджено залежність ефективності надання екосистемних послуг від розміру та життєздатності дерев. Встановлено, що більші, здорові дерева надають значно більше користі. З'ясовано, що близько 30 % із понад 70 000 відомих видів дерев у світі перебувають під загрозою зникнення через вирубування лісів, урбанізацію, зміну клімату та біобезпекові ризики. Встановлено, що площа світових лісів зменшилася на 40 % за останні три століття, що супроводжується значними екологічними втратами. Оцінено внесок міських дерев у регулювання клімату, очищення повітря, збереження біорізноманіття та забезпечення рекреаційних функцій. Виявлено, що густота міської забудови, дефіцит води, тепловий стрес, поширення шкідників і патогенів значно обмежують тривалість життя дерев у міських умовах. Оцінено вплив урбанізованого середовища Полтави на життєздатність дерев та охарактеризовано основні виклики, такі як "теплові острови", посухи, обмеження простору для кореневих систем, поширення інвазивних видів. Встановлено, що місцеві види дерев, зокрема – липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), демонструють високу адаптацію до несприятливих умов міського середовища. У дослідженні наведено результати оцінювання стану дерев у Полтаві на семи дослідних ділянках. Проаналізовано 380 дерев, з яких 21,2 % були здоровими, 60,9 % – частково пошкодженими, а 17,9 % – значно пошкодженими або з ознаками відмирання. Найбільшу частку здорових дерев виявлено у парку "Перемога" (30,0 %), а найменшу – у парку обласної лікарні (10,0 %). Найвищий рівень значних пошкоджень зафіксовано у паркових насадженнях біля обласної лікарні (26,0 %) та вздовж проспекту Миру (20,0 %). Отримані дані свідчать про різний рівень антропогенного впливу та екологічного стану міських насаджень. Розроблено рекомендації з підвищення стійкості міських насаджень, зокрема – впровадження адаптованих видів, забезпечення належного догляду та створення оптимальних умов для розвитку дерев. Результати дослідження підтверджують доцільність впровадження комплексних заходів для покращення стійкості зелених зон до змін клімату, збереження екосистемних послуг та підвищення якості життя міського населення.

Ключові слова: міські екосистеми; стресові чинники середовища; фізіологічні показники дерев; оцінювання життєздатності; стійкість до посухи; механізми адаптації.

Вступ / Introduction

Близько 30 % із понад 70 000 відомих видів дерев у світі перебувають під загрозою зникнення. Основними загрозами для різноманіття дерев є вирубування лісів для сільськогосподарства та урбанізації, безпосереднє використання деревини та інших продуктів, а також тиск, спричинений змінами клімату та біобезпековими ризиками. За останні 300 років площа світових лісів зменшилася приблизно на 40 %, причому 29 країн втратили понад 90 % свого лісового покриву. У період з 2000 по 2020 рр. світ втратив понад 100 млн га (близько 2,4 %) деревного покриву [5].

Дерева мають величезне екологічне значення, оскільки вони формують основні структурні компоненти лісових екосистем, які займають приблизно 31 % суходолу планети. Ліси відіграють ключову роль у біогео-

хімічних процесах Землі, впливаючи на утворення ґрунтів, гідрологічні, поживні та вуглецеві цикли, а також на глобальний клімат. Вони зберігають близько 50 % наземних вуглецевих запасів світу, а понад 75 % доступної прісної води надходить із лісових водозборів. Ліси є середовищем існування не тільки дерев, а й багатьох інших видів, підтримуючи щонайменше половину відомих наземних видів рослин і тварин [1].

Зелені зони – це спеціально організовані території, вкриті рослинністю, які виконують екологічну, рекреаційну та естетичну функції. Вони сприяють покращенню якості повітря, регуляції міського клімату, зниженню рівня шуму, забезпечують умови для рекреації мешканців та є важливим компонентом збереження біорізноманіття в урбанізованих територіях. Зелені зони відіграють роль буфера між природними та антропоген-

Інформація про автора:

Власенко Наталія Олександрівна, канд. біол. наук, доцент, кафедра початкової освіти. Email: vlasnataliia@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0002-3811-6493>

Цитування за ДСТУ: Власенко Н. О. Стратегії адаптації дерев до умов урбанізованого середовища. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 1. С. 09–15.

Citation APA: Vlasenko, N. O. (2025). Strategies for tree adaptation to urban environments. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(1), 09–15.

<https://doi.org/10.36930/40350101>

ними екосистемами, сприяючи гармонізації впливу міського середовища на довкілля [5].

Водночас, зелені зони трапляються у містах, селищах і селах, і вони мають життєво важливе значення для розв'язання сучасних і майбутніх соціальних, економічних та екологічних викликів. Нині 55 % населення світу (4,2 млрд людей) проживають у містах, і ця частка може зрости до 70 % до 2050 року. Отже, міські дерева є важливими для більшості населення планети [8].

Рослини демонструють високу здатність адаптуватися до урбанізованого середовища завдяки активації численних фізіологічних-біохімічних механізмів. У відповідь на стресові чинники відбувається перебудова метаболічних процесів, зокрема – синтез біологічно активних речовин, які забезпечують подолання впливу негативних умов. Серед таких механізмів особливе значення має синтез вторинних метаболітів, таких як фенольні сполуки, що беруть участь у регуляції фотосинтезу, дихання та захисних реакцій на екстремальні температури й інші абіотичні стресори [14].

Тривалість життя міських дерев часто становить тільки 50 % від їхнього потенційного вікового діапазону, тоді як тривалість життя вуличних дерев – тільки 25 % [18]. До таких ускладнювальних умов належать обмежені місця для росту, ущільнення ґрунту, знижений газо- та водообмін, нестача дощової води через асфальтування та наявність забруднювачів у навколишньому середовищі (наприклад, дорожньої солі та автомобільних викидів). Це призводить до значно коротшої тривалості життя та нижчої продуктивності дерев, попит на які залишається високим [3, 15].

Також дерева в міських умовах забезпечують численні вигоди для людей, враховуючи регулювання, культурні, забезпечувальні та підтримувальні екосистемні послуги, які є критичними для сталого розвитку міст та добробуту людини. Багато з цих переваг тісно пов'язані з розміром і життєздатністю дерев: більші та здоровіші дерева ефективніше забезпечують екосистемні послуги [5].

Однак зростання густоти міст із високою часткою асфальтованих та непроникних поверхонь створює складні умови для успішного розвитку міських дерев. Із кліматичними змінами зростає вплив численних стресових факторів, таких як теплові хвилі, посухи та тимчасові затоплення, що обмежують ріст дерев у міських умовах і спричиняють підвищення смертності дерев, а отже, втрату важливих їхніх екосистемних послуг. Глобальне дослідження показало, що для 56–65 % дерев у 164 містах 75 країн можливість толерантності до прогнозованих умов уже перевищена. Для забезпечення довгострокової стабільності міських лісів рекомендуємо обирати дерева, стійкі до змін клімату, щоб вони могли виживати та розвиватися [13].

Окрім цього, глобальний рух товарів і людей посилює поширення інвазивних шкідників і патогенів. Критично важливо, щоб зміни клімату давали змогу рослинам шкідникам і патогенам укорінюватися в регіонах, які раніше були для них непридатними, що призводить до підвищення смертності поширених міських видів дерев. Поєднання змін кліматичної сумісності та нових біотичних загроз обмежить спектр видів дерев, здатних забезпечувати стійкість до екосистемних викликів, що постають перед міськими лісами.

Окрім цього, підвищена температура повітря через ефект теплових островів робить дерева у міських райо-

нах дедалі вразливішими до погодних екстремумів, особливо літньої спеки та посухи. Показано, що місцеві міські дерева, такі як липа широколиста (*Tilia platyphyllos*), липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) та клен несправжньо-платановий (*Acer pseudoplatanus*), наближаються до меж своєї адаптаційної здатності. Натомість континентальні, немісцеві види часто характеризуються вищою стійкістю до стресу, підвищеною життєздатністю та довшим періодом листяності [4].

Листя липи дрібнолистої (*Tilia cordata*) має щільний шар зіркоподібних волосків на нижньому боці, що надає їм сріблястого вигляду і забезпечує важливі функції [18], такі як:

- захист від ураження попелицею;
- зменшення виділення пади;
- запобігання надмірному випаровуванню.

Під час екстремальної спеки липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) повертає листя так, що сріблястий бік спрямований догори, відбиваючи сонячне випромінювання. Це сприяє зниженню температури листяного покриву, температури повітря під кроною та навколо стовбура [9].

Якщо оцінки вказують на значний локальний чи мікрокліматичний вплив певного виду дерев, такого як липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), на її безпосереднє оточення, будуть розроблені рекомендації для адаптації міського планування. Ці рекомендації будуть особливо корисні для вирішення потреби в зеленій інфраструктурі в урбанізованих умовах, зосереджуючи увагу на інтеграції відповідних видів дерев, їх ролі в публічних просторах і проєктуванні міських зелених зон.

Об'єкт дослідження – адаптація дерев до умов урбанізованого середовища, які функціонують у змінених екологічних, кліматичних та антропогенних умовах семи дослідних ділянок Полтави, а саме: парк "Перемога", Корпусний сад, Прирічковий парк, Ботанічний сад Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка, зона біля залізничного вокзалу, придорожні насадження проспекту Миру та парк обласної лікарні.

Предмет дослідження – механізми адаптації дерев до стресових чинників урбанізованого середовища, зокрема – їх фізіологічні, морфологічні та біохімічні особливості, що забезпечить розроблення ефективних стратегій управління міськими насадженнями та оптимальний підбір деревних видів для підвищення їх стійкості та адаптаційного потенціалу.

Мета роботи – проаналізувати стратегії адаптації дерев до умов урбанізованого середовища для підвищення їх стійкості та ефективності надання екосистемних послуг, що дасть змогу ідентифікувати ключові стресові чинники, визначити найгірше адаптовані види, а також сформулювати рекомендації для вибору найпридатніших деревних видів для озеленення міських територій.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- 1) проаналізувати вплив урбанізованого середовища на фізіологічний стан дерев, що дасть змогу визначити ключові стресові чинники, які впливають на їх життєздатність;
- 2) дослідити механізми адаптації дерев до умов обмеженого простору та дефіциту води, що дасть можливість розробити рекомендації з оптимального підбору видів для міських насаджень;
- 3) оцінити роль вторинних метаболітів, таких як фенольні сполуки, у забезпеченні стійкості дерев до екстремаль-

них температур і забруднення, що забезпечить глибше розуміння біохімічних адаптаційних процесів;

- 4) з'ясувати ефективність різних стратегій догляду за деревами в міських умовах, що дасть змогу впровадити практичні заходи для підвищення їхньої стійкості;
- 5) розробити рекомендацій щодо інтеграції зелених зон у міське середовище з урахуванням екологічних і соціальних чинників, що забезпечить довгострокову стабільність міських екосистем.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання оцінювання стану дерев у міському середовищі активно досліджують як в Україні, так і за кордоном. Так, у роботі [14] проаналізовано стан вуличних насаджень Сум, зокрема – придорожніх алей, які перебувають під впливом високого рівня забруднення. Автори зазначають, що деревні види демонструють різну стійкість до несприятливих умов: найкращі показники спостерігаються у роду *Populus*, тоді як *Tilia cordata* значно частіше потерпає від негативного впливу.

У дослідженні [12] здійснено аналіз стану насаджень в Умані. Автор виявив, що щільність руху транспорту та близькість до промислових зон значно впливають на життєздатність дерев. Визначено, що середній вік дерев у центральній частині міста є нижчим через регулярну заміну зелених насаджень.

Автор роботи [8] досліджувала фітосанітарний стан насаджень у Хмельницькому. Згідно з отриманими даними, основними чинниками, що знижують стійкість дерев, є дефіцит вологи, тепловий стрес та ураження шкідниками. Автор наголошує на важливості використання адаптованих видів для міських умов.

Питання оцінювання стану придорожніх насаджень у Житомирі розглянуто в роботі [17]. Автори стверджують, що деревні насадження міста виконують найважливіші ґрунтозахисні, рекреаційні, кліматорегулюючі, екологічні та санітарно-гігієнічні функції, оптимізуючи екологічні умови міського середовища. Проте, їхні результати показали, що міські дерева мають значно коротший період життя порівняно з лісовими екземплярами через вплив урбаністичних факторів, таких як ущільнення ґрунту та нестача поживних речовин.

У дослідженні [2] оцінено видове різноманіття та життєвий стан придорожніх насаджень пр. С. Нігояна у Дніпрі. Автор встановила, що впродовж одного вегетаційного періоду кількість дерев у доброму стані зменшується втричі через вплив автомобільних викидів та дефіцит вологи. Виявлено, що найбільш стійкими є види роду *Acer*, тоді як *Tilia cordata* та *Sorbus aucuparia* демонструють слабку адаптацію.

Окрім цього, у підручнику "Ландшафтний фітодизайн з основами біотехнології" [10] розглянуто вплив мікрокліматичних факторів на стан дерев у міських умовах. Автори акцентують увагу на проблемі утворення "теплових островів" у центральних частинах міст, які істотно скорочують тривалість життя деревних насаджень. У роботі зазначено важливість використання інноваційних підходів до проектування міських зелених зон з метою підвищення їхньої стійкості та екологічної ефективності.

Загалом, хоча в Україні є чимало досліджень, спрямованих на оцінювання стану дерев у міських умовах, проте роботи, зокрема для різних міст України (Умань, Житомир, Суми та інші), переважно обмежуються центральними районами або аналізують тільки окремі вікові групи дерев. Це свідчить про потребу більш ком-

плексного підходу до дослідження процесу адаптації дерев до умов урбанізованого середовища.

Матеріали та методи дослідження. Дослідження спрямоване на оцінювання адаптаційного потенціалу дерев до міських умов Полтави, для яких характерні високі антропогенні навантаження, змінений мікроклімат та обмежені природні ресурси. Робота базується на комплексному підході, що містить польові дослідження, лабораторний аналіз та аналіз літературних джерел, враховуючи останні дослідження та публікації. Предметною областю дослідження були дерева, що ростуть у міських екосистемах Полтави, зокрема – в парках, скверах і придорожніх насадженнях. Особливу увагу приділено таким видам, як липа широколиста (*Tilia platyphyllos*), липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) та клен несправжньо-платановий (*Acer pseudoplatanus*), які широко використовуються для озеленення.

Для оцінювання стану міських дерев у дослідженні застосовували польові, лабораторні, картографічні та статистичні методи. Польові методи містили фенологічні спостереження для визначення сезонної стійкості дерев, візуальне оцінювання пошкоджень та біометричні вимірювання. Лабораторні методи передбачали аналіз фенольних сполук у листках і корі, оцінювання фотосинтетичної активності та транспірації, а також фізико-хімічне дослідження ґрунту. Для просторового аналізу використовували геоінформаційні системи (ГІС) для картування та оцінювання рівня озеленення. Статистичний аналіз дав змогу встановити зв'язки між екологічними умовами, антропогенним навантаженням і станом дерев за допомогою кореляційного аналізу. Застосування комплексного підходу дало можливість оцінити адаптаційні механізми міських дерев до стресових умов і запропонувати практичні рекомендації з підвищення їхньої стійкості.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Міські дерева відіграють важливу роль у підтримці екологічного балансу, але вони стикаються з численними викликами через урбанізацію, зміну клімату та поширення шкідників. У Полтаві ці загрози мають специфічні особливості, які потребують детального аналізу та розроблення заходів для їх подолання. У табл. 1 наведено основні категорії викликів, їхній вплив та особливості життєздатності дерев у умовах Полтави.

Урахування цих викликів дає змогу планувати ефективні стратегії адаптації міських насаджень до несприятливих умов. Комплексні підходи, включно з підбором стійких видів і управлінням зеленими зонами, можуть сприяти підвищенню екологічної стійкості та покращенню умов проживання в місті.

Для забезпечення міського середовища перевагами, які надають дерева, важливо обирати види, краще пристосовані до змін клімату. Наприклад, липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) демонструє значну стійкість до спеки та посухи. Цей вид, що природно поширений у південно-східній Європі та Україні, був активно інтегрований у міські ландшафтні проекти завдяки своїй здатності витримувати складні умови міського середовища. Дослідження, проведені в межах проекту "Urban Green 2021", підтвердили, що липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) зберігає нижчу температуру листя під час теплових хвиль порівняно з липою дрібнолистою (*Tilia cordata*). В умо-

вах урбанізації в Україні важливо враховувати специфіку місцевого клімату та рівень антропогенного навантаження. Адаптація стратегій озеленення міст повинна охоплювати використання видів, стійких до тепла, по-

сухи та забруднення. Зокрема, липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), завдяки своїм адаптаційним властивостям, може стати ефективним рішенням для підвищення життєздатності міських насаджень.

Табл. 1. Виклики та стратегії адаптації дерев до умов урбанізованого середовища Полтави / Challenges and strategies for tree adaptation to urban environmental conditions in Poltava

Категорія	Виклики	Опис ситуації у Полтаві
Міський розвиток	Зростання щільності забудови	Обмеження простору для насаджень дерев через щільну забудову. Утворення "теплових островів", що підвищують стрес рослин.
Посуха	Дефіцит води	Тривалі періоди посухи впливають на життєвий стан дерев у придорожніх насадженнях і парках.
Тепло	Теплові хвилі	Підвищення середньорічних температур спричиняє тепловий стрес, особливо у районах із недостатньою кількістю зелених насаджень.
Шкідники та патогени	Поширення шкідників	Завдання шкоди деревам, зокрема – каштанам, через каштанову мінуючу міль.
	Поширення патогенів	Активізація патогенів через зміну клімату, що призводить до зниження життєздатності міських дерев.
Обмеження видового складу	Зменшення кількості стійких видів	Ускладнення висаджування нових видів через екологічні та кліматичні виклики, що впливає на біорізноманіття.

Урахування стратегій адаптації дерев, таких як липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), до умов урбанізованого середовища допоможе підвищити стійкість міст і одночасно сприяти збереженню біорізноманіття та кліматичному регулюванню (рисунок) [7].

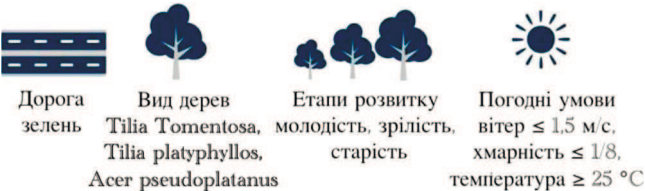


Рисунок. Огляд об'єктів та умов дослідження / Overview of research objects and conditions [7]

Окрім вибору стійких видів, необхідно забезпечувати належний догляд за деревами, що містить створення оптимальних умов для кореневої системи, покращення водопостачання та мінімізацію негативного впливу забруднювачів. Це сприятиме збереженню екосистемних послуг міських дерев і забезпеченню їхньої стійкості до змін клімату в Україні [20].

Біологічні особливості липи дрібнолистої (*Tilia cordata*). Липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) цвіте у липні, утворюючи пониклі суцвіття, які частково прикріплені до сріблясто-білих, гладких приквітків. Квіти майже білі, запилюються бджолами та іншими комахами. Плоди представлені загостреними, яйцеподібними горіхами, які досягають у вересні-жовтні та розповсюджуються вітром [1]. Раніше вважали, що липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) може бути причиною підвищеної смертності джмелів через токсичність її нектару. Проте сучасні дослідження спростували цю гіпотезу. Справжньою причиною є конкуренція між комахами за харчові ресурси [16].

Для оцінювання життєвого стану липи дрібнолистої (*Tilia cordata*) проведено дослідження на семи дослідних ділянках Полтави: парк "Перемога", корпусний сад, прирічковий парк, ботанічний сад Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка, зона біля залізничного вокзалу, придорожні насадження проспекту Миру, парк обласної лікарні.

Загалом обстежено 380 дерев липи дрібнолистої (*Tilia cordata*). Для оцінювання стану дерев застосовано метод візуального оцінювання за чотирибальною шкалою життєвого стану (здорові, частково пошкоджені, значно пошкоджені або з ознаками відмирання). Додатково проведено біометричні вимірювання, враховуючи

висоту дерев, діаметр стовбура, площу крони та індекс листової асиметрії (табл. 2).

Табл. 2. Результати дослідження здорових, частково та значно пошкоджених дерев у Полтаві / Research results of healthy, partially damaged, and severely damaged trees in Poltava

Дослідна ділянка	Кількість обстежених дерев, екз.	Здорові дерева, %	Частково пошкоджені, %	Значно пошкоджені або з ознаками відмирання, %
Парк "Перемога"	60	30,0	55,0	15,0
Корпусний сад	55	28,0	60,0	12,0
Прирічковий парк	50	25,0	62,0	13,0
Ботанічний сад ПНПУ	45	22,0	61,0	17,0
Залізничний вокзал	50	15,0	63,0	22,0
Придорожні насадження просп. Миру	65	18,0	62,0	20,0
Парк обласної лікарні	55	10,0	64,0	26,0
Середній показник	380	21,2	60,9	17,9

Для перевірки значущості відмінностей між дослідними ділянками застосовано дисперсійний аналіз. Отримані результати свідчать про статистично значущі відмінності між групами ($p < 0,05$), що вказує на неоднорідність стану дерев залежно від рівня антропогенного навантаження.

Ключові статистичні показники з середнім діаметром стовбура у здорових дерев: $24,8^{+2,1}$ см, із середнім діаметром стовбура у частково пошкоджених дерев $22,3^{+1,8}$ см та із середнім діаметром стовбура у значно пошкоджених дерев $19,5^{+2,5}$ см. Індекс листової асиметрії для значно пошкоджених дерев становить $0,27^{+0,05}$, що на 38 % більше порівняно з контролем.

Окрім цього, наше дослідження вказує на низку важливих питань, таких як економічну доцільність таких адаптацій, вплив урбанізації на вибір видів і те, як дерева взаємодіють з іншими елементами урбанізованого середовища. Важливо також враховувати потенційні стратегії заміни або пересаджування дерев. Ці стратегії можуть передбачати вибір видів, які добре адаптуються до міського мікроклімату, і поступову заміну старих дерев на молоді саджанці для забезпечення безперервності зеленої інфраструктури, незважаючи на виклики повільного росту. Ця інформація є важливою для практичних рішень у міському плануванні та ландшафтній архітектурі, що інтегрують стійкі види дерев у забудоване середовище.

У процесі дослідження проведено повну інвентаризацію деревних насаджень на семи дослідних ділянках Полтави, загальна кількість обстежених дерев становила 810 екземплярів. Основними видами, що переважають у міських насадженнях, є липа дрібнолиста (*Tilia cordata*), яка трапляється на всіх ділянках і становить значну частку зеленого покриву, клен несправжньо-платановий (*Acer pseudoplatanus*), береза повисла (*Betula pendula*), каштан кінський (*Aesculus hippocastanum*), тополя біла (*Populus alba*) та робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia*).

Найбільшу кількість дерев зареєстровано в парку "Перемога" (150 дерев) та на придорожніх насадженнях проспекту Миру (130 дерев), що пов'язано з великою площею цих територій. Найменшу кількість дерев зафіксовано в ботанічному саду ПНПУ (90 дерев), що пояснюють науково-дослідним характером території та контрольованою чисельністю насаджень.

Стан дерев значно змінюється залежно від рівня урбанізаційного навантаження. Найкращі показники життєздатності мають насадження в парках "Перемога" та Корпусному саду, де 30 і 28 % дерев відповідно перебувають у здоровому стані, що пояснюють сприятливими умовами зростання, регулярним доглядом та відносно низьким рівнем забруднення. Найбільші пошкодження зафіксовано в зоні біля залізничного вокзалу та парку обласної лікарні, де значно пошкодженими або такими, що мають ознаки відмирання, є 22 та 26 % дерев відповідно. Основними чинниками стресу для дерев у цих зонах є високий рівень забруднення повітря, обмежений простір для кореневої системи, теплові хвилі та дефіцит води.

Ці результати можуть допомогти у виборі видів дерев, які підтримують стратегії адаптації до кліматичних змін, мінімізують ефект "міських теплових островів" і покращують якість життя в містах. Інтеграція цих адаптивних стратегій у процеси міського планування є основою для створення більш стійких і сталих урбанізованих середовищ.

Унаслідок дослідження було підтверджено, що урбанізоване середовище, в тому числі в Полтаві, створює низку викликів для росту та розвитку дерев. Основними стресовими чинниками є високий рівень антропогенного навантаження, зміни клімату, обмежений простір для кореневих систем та забруднення довкілля. Важливою проблемою є зменшення життєвого потенціалу дерев у міських умовах, зокрема – через обмеження в доступі води, погіршення якості ґрунтів і підвищення температури через ефект теплових островів. Виявлено, що для міських дерев типово скорочення тривалості життя до 50 % їхнього потенційного вікового діапазону, що значно знижує ефективність наданих екосистемних послуг.

Незважаючи на це, дерева демонструють значну здатність до адаптації, зокрема – завдяки активації метаболічних процесів, таких як синтез фенольних сполук, що допомагають їм зберігати життєздатність у стресових умовах. Виявлено, що місцеві види дерев, такі як липа широколиста та дрібнолиста, явір, наближаються до меж своїх адаптаційних можливостей в умовах урбанізації. Континентальні види дерев, що не є місцевими, демонструють вищу стійкість до стресових умов, таких як спека та посуха, завдяки кращій здатності до адаптації.

Дослідження також показало важливість правильного вибору видів для міських озелень, зокрема – для зменшення впливу зміни клімату. Наприклад, липа дріб-

нолиста (*Tilia cordata*), яка має високу стійкість до спеки та посухи, є перспективним видом для урбанізованих територій. Однак важливо враховувати кліматичні умови та екологічні особливості конкретних міських територій.

Додатково зауважимо, що поширення шкідників і патогенів, посилене змінами клімату, також стало серйозною загрозою для здоров'я міських дерев. Визначення конкретних видів шкідників і патогенів, які активно поширюються в умовах зміни клімату, допоможе краще адаптувати стратегії управління зеленими насадженнями в містах.

Загалом для забезпечення екологічної стійкості міських насаджень та збереження їхніх екосистемних послуг та запобігання викликам важливо розробити ефективні стратегії управління, які містять вибір стійких видів дерев, моніторинг екологічних умов та регулярне оцінювання стану міських дерев.

Обговорення результатів дослідження. Результати дослідження підтверджують важливість адаптації міських лісів і дерев до впливу кліматичних змін та антропогенних факторів. Виявлено, що такі явища, як екстремальні температури, посухи, підтоплення, засолення ґрунту, а також поширення шкідників і хвороб, значно впливають на міські екосистеми, що відповідає висновкам авторів [6], що досліджували толерантність деревних видів до стресових умов у міському середовищі.

Важливість використання кількісно-якісного підходу для оцінювання адаптаційних властивостей близько 70 видів міських дерев також підтверджує потребу розроблення цифрових геотехнологій для догляду за міськими деревами, як це зазначено у дослідженні [5]. Окрім цього, підвищення біорізноманіття шляхом ретельного добору видів для покращення стійкості міських дерев є одним із основних принципів успішного озеленення, що збігається з рекомендаціями. Отже, для збереження міських лісів важливо не тільки зосереджуватися на кількості висаджених дерев, а й забезпечувати їхнє доглянуте зростання, залучаючи міські громади до процесу озеленення.

Наприклад, у роботі [9] наголошують на впливі урбанізаційних факторів на анатомічні та фізіологічні властивості листя декоративних дерев, що підтверджує кореляцію між зменшенням площі листя та підвищеним рівнем стресу. Дослідження авторів [19] також показали, що показники флуктуючої асиметрії можуть слугувати надійними індикаторами стресу у міських екосистемах. Отже, отримані дані дають змогу стверджувати, що функціональні характеристики листків можуть бути використані як ефективні біоіндикатори для моніторингу стану урбанізованих екосистем.

Отже, аналіз літератури показав, що, попри численні дослідження впливу стресових чинників на фізіологічні характеристики дерев, комплексного дослідження процесу їхніх адаптаційних механізмів до урбанізованого середовища з акцентом на розроблення стратегій підвищення їхньої стійкості та ефективності екосистемних послуг, у науковій літературі не наведено. Відсутність системного підходу до дослідження фізіологічних, морфологічних та біохімічних особливостей адаптації дерев до міських умов, а також розроблення практичних рекомендацій для покращення стану міських насаджень зумовлює актуальність і доцільність проведення цього дослідження.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше удосконалено метод адаптації деревних рослин до впливу стресових факторів міського середовища, що дало змогу розробити рекомендації з підвищення стійкості деревних насаджень у міських екосистемах.

Практична значущість результатів дослідження – результати дослідження використано для розроблення рекомендацій з адаптації міських зелених насаджень до несприятливих умов урбанізованого середовища, які можна впровадити у міське планування, застосувати для вибору стійких видів дерев, підвищення ефективності догляду за зеленими зонами та забезпечення екологічної стійкості в умовах змін клімату.

Висновки / Conclusions

Проаналізовано стратегії адаптації дерев до умов урбанізованого середовища для підвищення їх стійкості та ефективності надання екосистемних послуг, що дало змогу ідентифікувати ключові стресові чинники, визначити найгірше адаптовані види, а також сформулювати рекомендації для вибору найпридатніших деревних видів для озеленення міських територій. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Систематизовано вплив основних стресових чинників, таких як теплові хвилі, обмеження простору для кореневої системи та забруднення повітря, на фізіологічний стан дерев. Це дало можливість визначити ключові чинники, які впливають на їх життєздатність.
2. Проаналізовано механізми адаптації дерев до дефіциту простору їхнього перебування та водопостачання, що дало змогу обґрунтувати оптимальний підбір видів для міських насаджень. Зокрема, липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) показала високу стійкість до зазначених умов, що робить її пріоритетним видом для висаджування у міських зелених зонах.
3. Досліджено роль вторинних метаболітів, зокрема – фенольних сполук, у забезпеченні стійкості дерев до екстремальних температур і забруднення. Ці результати розширюють розуміння біохімічних адаптаційних процесів дерев та їхньої здатності до виживання в умовах урбанізованого середовища.
4. Оцінено життєвий стан дерев у зелених зонах Полтави, зокрема – липи дрібнолистої: 21,2 % дерев цього виду належать до категорії здорових, 60,9 % мають незначні пошкодження, а менше 20 % демонструють значні ознаки відмирання. Ці дані свідчать про потребу посиленого догляду за зеленими зонами, що містять забезпечення раціонального водопостачання, боротьбу зі шкідниками та патогенами, а також використання адаптованих видів дерев.
5. Розроблено рекомендації з ефективного управління міськими насадженнями. Зокрема, липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) рекомендована для висаджування в міських умовах завдяки її стійкості та здатності виконувати важливі екосистемні функції. Практичне значення дослідження полягає у впровадженні розроблених підходів для моніторингу стану дерев, планування озеленення територій та підвищення екологічної стійкості міського середовища.

References

1. Bacher, M., & Mayer, J. (2021). Der Kosmos-Baumführer: 370 Bäume und Sträucher Mitteleuropas. Franckh-Kosmos Verlag GmbH & Co. KG. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:24-epflicht-1826545>
2. Bessonova, V. P., & Ivanchenko, O. Ye. (2019). Assessment of species diversity and vitality of roadside plantings on S. Nigoi Avenue in the city of Dnipro. *Questions of Bioindication and Ecology*, 24(1), 36–56. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/pbte_2019_24_1_5
3. Breuste, J. (2019). Die Grüne Stadt: Stadtnatur als Ideal, Leistungsträger und Konzept für Stadtgestaltung (1. Aufl. 2019). Springer Berlin Heidelberg. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1532125>
4. Database of commercial wood species. (2024). [In Ukrainian]. URL: <https://www.timberpolis.com.ua/wood-species>
5. Dudyak, N., Barulina, I., & Barulin, D. (2024). Integration of nature-based solutions into urban ecosystems under rapid urbanization and climate change conditions. *Journal of Innovations and Sustainability*, 8(1), 10. <https://doi.org/10.51599/is.2024.08.01.10>
6. Esperon-Rodriguez, M., et al. (2020). Functional adaptations and trait plasticity of urban trees along a climatic gradient. *Urban Forestry & Urban Greening*, Vol. 54, article ID 126771. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126771>
7. Geib, J., & Henninger, S. (2023). Mikroklimatische Wirkungen blattwendender Baumarten: Verbesserte lokalklimatische Bedingungen im urbanen Raum durch die Silberlinde (*Tilia tomentosa*). Transforming Cities Urbane Systeme im Wandel. *Das Technisch-wissenschaftliche Fachmagazin*, 3, 42–45. <https://doi.org/10.48494/REALCORP2024.2001>
8. Hanaba, D. V. (2016). Species diversity and phytosanitary state of tree plantings in the central part of the city of Khmelnytskyi. Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering. *Agricultural Sciences*, 2(74), 47–55. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvsg_sg_2016_2_8
9. Henninger, S. (2020). Wenn sich das Blatt wendet – Anpassungsstrategien und mikroklimatische Auswirkungen im Siedlungsraum. <https://doi.org/10.26084/12DFNS-P009>
10. Kabarn., A. M., et al. (2021). Landscape phytodesign with basics of biotechnology: Textbook. Oles Honchar Dnipro National University. Dnipro: LIRA. Part 1, 195. [In Ukrainian]. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1083366/mod_resource/content/0/c8935d46465a1e50db64ccb28f915a75Landsh-fitodizajn_maket_Web.pdf
11. Knapp, S., & Dushkova, D. (2024). Straßenbäume im Klimawandel: Ein Beispiel für die Gestaltung resilienter grüner Infrastrukturen mithilfe der Biodiversität und partizipativer Prozesse, 181–197. In: Kabisch, S., Rink, D., Banzhaf, E. (Eds). Die Resiliente Stadt. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-66916-7_12
12. Mamo-Kutsa, O. Yu. (2016). Green plantings of settlements in Cherkasy region: Current state and development prospects. *Forest, Science, Youth: Materials of the IV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (November 23, 2016, Zhytomyr), 341–342. URL: https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=vOxVpTQAAAAJ&citation_for_view=vOxVpTQAAAAJ:2osOgNQ5qMEC
13. McPherson, Susan, et al. (2018). Evaluating integrative services in edge-of-care work. *Journal of Social Welfare and Family Law*, 40(2), 1–221. <https://doi.org/10.1080/09649069.2018.1493651>
14. Melnyk, T. I., & Melnyk, A. V. (2013). Species composition and quantitative participation of tree species in street plantings of the city of Sumy. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Forestry and Ornamental Horticulture*, 187(3), 49–55. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2022/12/Theoretical-methods-and-improvement-of-science.pdf>
15. Posudin, Y. I. (2004). *Biophysics of plants: A textbook*. Vinnytsia: Nova Knyha, 252 p. [In Ukrainian]. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/1822>
16. Pototska, S. O. (2014). Analysis of the current state of dendroflora and prospects for optimizing plantings in the city of Chernihiv. *Nature of Western Polissia and Adjacent Territories*, 11, 225–231. [In Ukrainian]. URL: <https://scholar.google.com.ua/citati>

- ons?view_op=view_citation&hl=uk&user=g0CHKw8AAAAJ&citation_for_view=g0CHKw8AAAAJ:5nxA0vEk-isC
17. Rekhner, T. S., & Muzh, H. V. (2017). Species composition and phytosanitary state of tree plantings on Serhiy Paradzhanov Street, Zhytomyr. *Biological Research*, 207–210. URL: <http://ep-rints.zu.edu.ua/24214/1/Rehner.pdf>
 18. Roloff, A. (2013). Bäume in der Stadt: Besonderheiten, Funktion, Nutzen, Arten, Risiken. *Verlag Eugen Ulmer*. URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:24-epflucht-1395134>
 19. Shumyk, M. I., & Popil, N. I. (2024). The concept of landscape optimization of urbanized ecosystems. *Plants and Urbanization: Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference* (Dnipro, February 1, 2024). Dnipro, 151 p. URL: https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/9817/1/24_Roslini_ta_urbanizatsiia.pdf
 20. Veklych, O. (2018). The urgency of taking into account the value appraisal of ecosystem services of the territory. *Sustainable Development – XXI Century: Management, Technology, Models*, Kyiv Polytechnic Institute, pp. 518–526. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-02>

N. O. Vlasenko

Poltava V. G. Korolenko National Pedagogical University, Poltava, Ukraine

STRATEGIES FOR TREE ADAPTATION TO URBAN ENVIRONMENTS

The study analyzes the role of trees in urban environments, emphasizing their importance in providing shade, reducing temperatures, preventing flooding, minimizing noise and pollution, supporting plant pollination, and enhancing aesthetic appeal. In the course of research, it is established that the effectiveness of these ecosystem services depends significantly on tree size and vitality, with larger, healthier trees offering greater benefits. The importance of selecting suitable tree species for specific locations and functional purposes to maximize their potential is highlighted as well. The article investigates strategies for tree adaptation in urban areas characterized by high anthropogenic pressure, altered microclimates, and resource limitations. The fundamental role of trees in Earth's biogeochemical processes, such as soil formation, hydrological, nutrient, and carbon cycles, and their impact on the global climate, is examined. It is determined that urban trees play a critical role in maintaining ecosystem balance, mitigating climate change effects, and enhancing urban quality of life, making them indispensable for sustainable urban development. Approximately 30 % of the world's 70,000 known tree species are identified as being at risk of extinction due to deforestation, urbanization, climate change, and biosecurity threats. This study explores the adaptive mechanisms of urban trees to abiotic stressors, focusing on their physiological and biochemical responses, including the synthesis of secondary metabolites such as phenolic compounds that enhance resilience to extreme temperatures and other stress factors. The research evaluates the challenges that urban trees face in Poltava, Ukraine, including limited root space, high urban density, drought, heat stress, and the spread of invasive pests and pathogens. A total of 380 trees were analyzed, of which 21.2 % were healthy, 60.9 % were partially damaged, and 17.9 % were severely damaged or showed signs of decay. The highest percentage of healthy trees was recorded in Peremoga Park (30.0 %), while the lowest was in Regional Hospital Park (10.0 %). The highest level of severe damage was observed in the green spaces near the Regional Hospital (26.0 %) and along Myru Avenue (20.0 %). The obtained data indicate varying levels of anthropogenic impact and the environmental state of urban plantations. The findings underscore the importance of integrated approaches, such as biodiversity conservation and proactive green space management, to sustain urban forests and their ecosystem services. Future research directions are outlined, focusing on refining species selection and developing innovative management practices to address the dynamic challenges posed by urbanization and climate change.

Keywords: urban ecosystems; environmental stress factors; physiological indicators of trees; vitality assessment; drought resistance; adaptation mechanisms.