

В. П. Подлегаєв,
аспірант кафедри земельного кадастру,
Національного університету біоресурсів і природокористування України
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-4164-5091>

DOI: 10.32702/2306-6814.2025.4.173

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАРУБІЖНОГО ДОСВІДУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ МІСЬКИХ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ

V. Podliegaev,
Postgraduate student, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

PROSPECTIVE DIRECTIONS FOR IMPLEMENTING FOREIGN EXPERIENCE IN RATIONAL USE OF URBAN FOREST RESOURCES IN UKRAINE

У статті досліджено перспективні напрями впровадження зарубіжного досвіду раціонального використання міських лісових ресурсів в Україні. На основі аналізу практик США встановлено, що міські ліси забезпечують значний еколого-економічний ефект, зокрема за рахунок поглинання CO₂, очищення повітря, енергозбереження, рекреаційних послуг, зниження рівня шуму та водопоглинання. Досліджено можливість використання технології "i-Tree" як інструменту для комплексної оцінки екосистемних послуг міських лісів, що широко застосовується у США та інших країнах. Запропоновано математичну модель, яка дозволяє кількісно оцінити економічну вартість лісових ресурсів та взаємозв'язок між їхнім екологічним станом і рівнем наданих екосистемних послуг. Результати дослідження свідчать про необхідність адаптації найкращих світових практик управління міськими лісами до українських умов. Використання запропонованої моделі дозволить оцінити потенціал міських лісів, розробити ефективні стратегії їхнього збереження та обґрунтувати доцільність інвестицій у зелену інфраструктуру міст. Це сприятиме покращенню екологічної ситуації, підвищенню якості життя населення та забезпеченню сталого розвитку урбанізованих територій України.

This article explores the promising directions for implementing international best practices in the rational use of urban forest resources in Ukraine. Based on an in-depth analysis of U.S. experience, it has been determined that urban forests generate substantial ecological and economic benefits, including carbon dioxide absorption, air purification, energy savings for cooling, recreational services, noise reduction, and water absorption. The study emphasizes that urban forest ecosystems provide critical services that contribute to environmental sustainability and improve the quality of life for urban populations. A key focus of the research is the application of the i-Tree technology, which serves as a powerful tool for assessing the ecological and economic advantages of urban forest resources. This technology is widely implemented in the United States and other countries, enabling comprehensive evaluations of urban tree canopies in terms of carbon sequestration, pollutant absorption, and economic value. The study highlights the potential for adapting this tool to Ukrainian

cities, taking into account their specific climatic conditions, urbanization trends, and forestry characteristics. Additionally, the research presents a mathematical model designed to quantitatively assess the economic value of urban forests by establishing strong correlations between key indicators such as tree cover, carbon storage, air pollution mitigation, and financial benefits derived from these ecosystem services. The model accurately reflects real-world interdependencies between urban green infrastructure and economic sustainability, providing a scientifically grounded basis for informed decision-making in municipal forest management. The findings suggest that integrating best international practices into Ukraine's urban forest management strategies could significantly enhance the effectiveness of conservation and development initiatives. The proposed model offers a reliable approach to evaluating the potential of urban forests and developing targeted strategies for their preservation and expansion.

Ключові слова: раціональне використання лісів, лісові ресурси, лісове господарство, міські лісові ресурси, кореляційний аналіз.

Key words: sustainable forest management, forest resources, forestry, urban forest resources, correlation analysis.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

В умовах інтенсивних урбанізаційних змін питання раціонального використання лісових ресурсів набуває особливого значення, оскільки міські лісові ресурси виконують надзвичайно важливі екологічні, соціальні та економічні функції. Вони не лише сприяють зменшенню рівня забруднення повітря та створюють комфортне середовище для життєдіяльності міського населення, але й забезпечують умови для відпочинку, поліпшують мікроклімат міста та підтримують біорізноманіття [1, 2].

Вивчення зарубіжного досвіду раціонального використання лісових ресурсів в умовах урбанізованого середовища є надзвичайно важливим для розуміння ефективних підходів до управління цими ресурсами, зокрема, інтеграція екосистемних послуг у планування міських територій, економічна оцінка переваг від лісових ресурсів в умовах міста, активна участь громади у догляді за лісовими масивами та використання сучасних технологій для моніторингу стану лісових екосистем [1].

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Значний науковий внесок у розвиток досліджень які стосуються раціонального використання міських лісових ресурсів у зарубіжних країнах здійснили такі вчені, як М. О. Лакида [3], Р. Д. Василишин [3], І. Д. Лакида [3], О. М. Мельник [3], І. А. Опенько [4, 5, 6, 7], Х. Дейвіс (Davies H.) [8], К. Доік (Doick K.) [8], П. Хендлі (P. Handley) [8], Л. О'Брайен (L. O'Brien) [8], Дж. Вілсон (J. Wilson) [8] та інші.

При вивченні зарубіжних практик раціонального використання лісових ресурсів в умовах урбанізованого середовища, поняття "міського лісового господар-

ства" набуває особливої значущості. Така концепція початково розвинулася в Північній Америці, а з часом здобуло міжнародне визнання серед науковців і практиків, хоча її точне визначення та зміст залишаються предметом дискусій [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Міське лісове господарство охоплює всі аспекти, пов'язані з вирощуванням лісових насаджень, збереженням та управлінням лісовими ресурсами в міських районах і прилеглих територіях. Враховуючи три основні сфери ефективного міського лісокористування — дизайн, технічні аспекти, управління лісами [12, 13, 14]. Традиційно лісовий сектор зосереджувався на сільських територіях, нехтуючи міським середовищем, проте у зарубіжних країнах активно інтегрується концепція "дерева поза лісами" (з англ. "trees outside forests"), що сприяє покращеному управлінню міськими лісовими ресурсами та ландшафтами, а також агролісомеліораційними практиками [13, 14].

Згідно з Продовольчою та сільськогосподарською організацією Об'єднаних Націй (з англ. Food and Agriculture Organization, FAO), міське лісове господарство охоплює системи на основі дерев, що здебільшого розташовані в міських районах або прилеглих до них. Цей підхід забезпечує стійкий розвиток природних і соціальних систем, що покращують умови життя міських жителів, при цьому зберігаючи екологічну рівновагу [12, 15].

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою цієї публікації є дослідження та узагальнення існуючих практик раціонального використання міських лісових ресурсів у зарубіжних країнах.

Основними завданнями є:

— проведення аналізу інноваційних технологій щодо оцінювання екологічних, соціальних і економічних факторів раціонального використання міських лісових ресурсів;

— розробка рекомендацій щодо впровадження ефективних моделей управління міськими лісовими ресурсами, які сприятимуть покращенню екологічної ситуації, підвищенню якості життя населення та забезпеченню сталого розвитку міських територій України.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для проведення дослідження, нами було обрано країни Північної Америки, а саме Сполучені Штати Америки (далі США). Такий вибір обґрунтований кількома ключовими аспектами, зокрема, країни Північної Америки, такі як США та Канада, мають багаторічний досвід впровадження концепції міського лісового господарства. Саме в цих країнах сформувались інтегровані підходи до управління лісовими ресурсами у містах. Їхні програми з озеленення міст, управління міськими лісами та використання дерев як частини стратегії сталого розвитку є прикладом високої ефективності та інновацій [16].

Крім того, в країнах Північної Америки сформувалась потужна база наукових досліджень у сфері міського лісового господарства. Це дозволяє ґрунтуватися на емпіричних даних та практичних результатах, що підвищує достовірність і релевантність отриманого досвіду [16].

Рациональне міське та приміське лісове господарство у Північній Америці стало можливим завдяки діяльності потужних організацій та ефективній координації програм, які забезпечують моніторинг, комунікацію, організацію та реалізацію дій через партнерства на різних рівнях. Зокрема, Міністерство сільського господарства США (з англ. United States Department of Agriculture, USDA) розробляє інноваційні інструменти управління та ініціативи, що сприяють сталому розвитку догляду за деревами та розумінню стратегій збереження й розширення деревних ресурсів. Національна асоціація державних лісівників (з англ. National Association for Surface Finishing, NASF) відіграє ключову роль у розробці політик і планів дій для захисту лісів, включаючи міські, забезпечуючи координацію між державними лісовими службами. Крім того, утворені різноманітні місцеві організації для підтримки здорових міських екосистем, та ефективному використанню деревини в урбанізованому середовищі [16].

Федеральні інвестиції в міське та приміське лісове господарство в США значно зросли завдяки національному лідерству, яке враховує потреби місцевих і регіональних громад. Починаючи з 1974 року, Конгрес фінансував лісові дослідження в міських районах, а згодом об'єднав різні аспекти лісового господарства, такі як управління пожежами, здоров'я лісів, використання деревини та міське лісництво, під керівництвом Лісової служби США (U. S. Department of Agriculture Forest Service). У 1990 році прийняття Закону про продовольство, сільське господарство, збереження та торгівлю (відомого як "Farm Bill") забезпечило федеральне фінансування та створення механізмів підтримки міського лісового господарства. Було засновано Національну консультативну раду з питань міського та громадського лісового господарства (NUCFAC), яка розробляє десятирічні плани дій і координує грантові програми,

спрямовані на розробку інструментів і програм для практиків, таких як "i-Tree", із щорічним фінансуванням до 1 млн дол. [16].

Технологія "i-Tree", передбачає проведення комплексного аналізу екологічних і економічних переваг міських лісових ресурсів, яка широко використовується в США, Канаді, Мексиці та Колумбії. Цей інструмент дозволяє проводити комплексну оцінку дерев і лісових насаджень, враховуючи їхню роль у вуглецевому балансі, якість повітря, вплив на зливові стоки, економію енергії та інші важливі аспекти. Цей інструмент використовується як науковцями, так і місцевими органами управління для планування, моніторингу та управління міськими лісами, що сприяє розробці більш ефективних стратегій розвитку лісових насаджень [17].

Основними перевагами i-Tree є здатність оцінювати екологічний вплив дерев та економічний прибуток від екосистемних послуг. Зокрема, в режимі реального часу є можливість визначити кількість вуглекислого газу, що поглинається і зберігається, тим самим сприяючи зниженню рівня парникових газів у містах. Інструмент також оцінює обсяги забруднюючих речовин, які видаляються деревами, такі як озон і дрібнодисперсний пил, покращуючи якість повітря. Крім того, інформаційна система "i-Tree" дозволяє розрахувати економію енергії завдяки охолоджувальному ефекту дерев і їхній ролі у зменшенні обсягів зливових стоків, що знижує навантаження на міську інфраструктуру. Завдяки таким функціям цей інструмент сприяє ефективному використанню лісових ресурсів і підвищенню якості життя в містах [17].

Результати оцінювання екосистемних послуг отриманих від наявності лісових ресурсів у Вашингтоні, округ Колумбія, США, за допомогою системи "i-Tree" показують, що міські ліси займають 34,12 % міської території (5,396 тис. га) [17, 18].

Загальні річні економічні надходження від екосистемних послуг лісових ресурсів у Вашингтоні, оцінюються у 13,651 млн дол. США. Зокрема, міські ліси поглинають 9,324 тис. т вуглецю (еквівалентно 34,189 тис. т CO₂) на суму 1,753 млн дол. США. Зниження стоків у розмірі 1,044 млн м³ на рік і затримка дощових вод обсягом 3,039 млн м³ на рік генерують економічний ефект у 2,465 млн дол. США за рік. Крім того, очищення повітря лісовими ресурсами у дослідному місті забезпечує надходжень у розмірі 9,433 млн дол. США на рік, завдяки видаленню значних обсягів шкідливих речовин, таких як чадний газ, озон, діоксид азоту, діоксид сірки та тверді частки (рис. 1.13) [17, 18].

Моделювання впливу міського лісу на основі польових результатів дослідження показало, що міські лісові ресурси у різних містах США очищують атмосферне повітря від забруднюючих речовин в обсязі від 19 т/рік у Фріхолді, штат Нью-Джерсі, до понад 1500 т/рік в Атланті та Нью-Йорку. Найбільша кількість забруднюючих речовин у вигляді озону, діоксид азоту, діоксид сірки та чадного газу. Економічна цінність міських лісових ресурсів в наслідок очищення повітря варіюється від 109,00 тис. дол. США у Фріхолді до 8,3 млн дол. США в Атланті [19].

Середньорічне видалення забруднюючих речовин з атмосферного повітря міськими лісовими ресурсами

Таблиця 1. Результати впливу міських лісів на навколишнє середовище в умовах урбанізованого середовища США

Населений пункт	Покриття лісовими насадженнями (%)	Кількість дерев, тис. шт.	Запас вуглецю, тис. т	Кількість вуглецю, що поглинається лісовими деревами, тис. т/рік	Обсяг забруднень, що видаляються деревами, тис. т/рік	Економічна вартість послуг, які генерують лісові дерева очищуючи атмосферне повітря, тис. дол. США
Атланта	36,70	9415,000	1344,000	46400,000	1663,000	8321,000
Нью-Йорк	20,90	5212,000	1350,000	42300,000	1677,000	8071,000
Балтимор	21,00	2627,000	597,000	16200,000	430,000	2129,000
Філадельфія	15,70	2113,000	530,000	16100,000	576,000	2826,000
Вашингтон	28,60	1928,000	523,000	16100,000	418,000	1956,000
Бостон	22,30	1183,000	319,000	10500,000	284,000	1426,000
Вудбрідж	29,50	986,000	160,000	5560,000	210,000	1037,000
Міннеаполіс	26,40	979,000	250,000	8900,000	306,000	1527,000
Сіракузи	23,10	876,000	173,000	5420,000	109,000	568,000
Сан-Франциско	11,90	668,000	194,000	5100,000	141,000	693,000
Моргантаун	35,50	658,000	93,000	2890,000	72,000	333,000
Мурестаун	28,00	583,000	117,000	3760,000	118,000	576,000
Джерсі-Сіті	11,50	136,000	21,000	890,000	41,000	196,000
Фріхолд	34,40	48,000	20,000	545,000	22,000	110,000

Джерело: створено за даними [20].

на квадратний метр покриття крони дерев становило 9,3 г, варіюючи від 6,6 г/м² у Сіракузах до 12,0 г/м² в Атланті. Річна економічна вигода на гектар покриття деревами в умовах урбанізованого середовища в середньому становить 500 дол. США (від 378 дол. США/га у Сіракузах до 663 дол. США /га в Атланті). Оскільки існуючий покрив дерев у містах значно знижує рівень забруднення повітря, збільшення кількості міських лісових насаджень у міських районах сприятиме покращенню атмосферного повітря в урбанізованому середовищі [19].

Загалом міські лісові ресурси та поодинокі дерева в США наразі зберігають близько 700 млн т вуглецю, що еквівалентно 14,3 млрд дол. США. Щорічна здатність міських лісових ресурсів поглинати вуглець становить 22,8 млн т, що оцінюється в 460 млн дол. США, що відповідає 4,4 % загального обсягу вуглецю, що зберігається у лісових ресурсах за межами міських територій у США. Розрахункове накопичення вуглецю

міськими лісовими насадженнями в США еквівалентно кількості вуглецю, що викидається в цій країні приблизно за 5,5 місяців. Національне щорічне поглинання вуглецю міськими деревами еквівалентно викидам в США за 5-денний період. Ці показники підкреслюють важливість міських дерев у зменшенні вуглецевого навантаження та пом'якшенні наслідків зміни клімату [19].

Крім того, за результатами досліджень впливу лісових насаджень на стан атмосферного повітря, у деяких містах США. Нами було проведено кореляційно-регресійний аналіз, за такими показниками: лісистість у містах, кількість дерев, запас вуглецю, обсяг вуглецю, що поглинається деревами, кількість забруднень, що видаляються деревами, економічна вартість екосистемних послуг, які генерують лісові дерева очищуючи атмосферне повітря (табл. 1).

На основі кореляційного аналізу, результати показують дуже високий прямий кореляційний зв'язок між економічною вартістю послуг, які генерують лісові де-

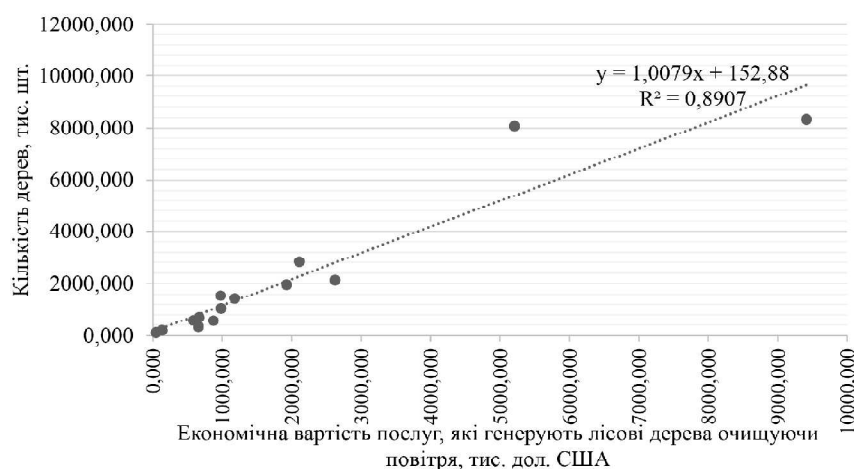


Рис. 1. Графік залежності між економічною вартістю послуг від міських лісових насаджень та кількістю поглинутого вуглецю

Джерело: розраховано автором за даними [20].

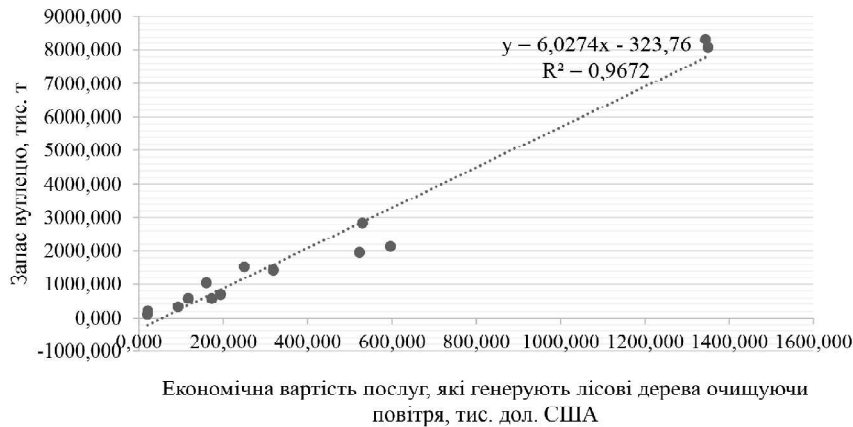


Рис. 2. Графік залежності між економічною вартістю послуг від міських лісових насаджень та запасом вуглецю

Джерело: розраховано автором за даними [20].

рева в умовах міста, очищуючи повітря, та іншими показниками: кількістю дерев ($R = 0,94$) (рис. 1), запасом вуглецю ($R = 0,98$) (рис. 2), кількістю поглинутого вуглецю ($R = 0,99$) (рис. 3) і обсягом забруднень, що видаляються лісовими деревами ($R = 1,00$) (рис. 4). Це свідчить про те, що збільшення кількості дерев та їхніх екосистемних функцій, таких як поглинання вуглецю та очищення повітря, прямо пропорційно підвищує економічну вартість цих послуг. Водночас, зв'язок із покриттям лісовими насадженнями є слабким ($R = 0,15$), що може вказувати на більшу залежність економічної вигоди від інших факторів, окрім загальної площі міських лісів у дослідній країні.

Результати дисперсійного аналізу вказують на високу якість підбраної регресійної моделі оцінки економічної вартості послуг від міських лісових насаджень, які очищуючи повітря у містах США. Математична модель пояснює 100 % дисперсії залежної змінної ($R^2 = 1,00$), що свідчить про ідеальну відповідність моделі використаним даним. Значення F-статистики є досить високим (15987,48), а відповідне р-значення наближене до нуля, що дозволяє відхилити нульову гіпотезу про відсутність зв'язку між незалежними та залежною змінними з надзвичайно високим рівнем значущості. Крім того, всі коефіцієнти регресії є статистично значу-

щими, що підтверджує їхній вплив на залежну змінну. Таким чином, можна зробити висновок, що побудована модель оцінки економічної вартості послуг від міських лісових насаджень, які очищуючи повітря є адекватною та дозволяє точно прогнозувати значення залежної змінної на основі значень незалежних змінних (формула 1).

$$Y = 9,965 + 0,069 \times X_1 - 0,296 \times X_2 + 0,002 \times X_3 + 4,783 \times X_4 \quad (1),$$

де Y — економічної вартості послуг від міських лісових насаджень, які очищуючи повітря, тис. дол. США;

X_1 — кількість дерев, тис. шт.;

X_2 — кількість вуглецю, що накопичився у деревах, тис. т;

X_3 — кількість вуглецю, що поглинається деревами, тис. т/рік;

X_4 — обсяг забруднень, що видаляються деревами з атмосферного повітря, тис. т/рік.

Зважаючи що міські лісові ресурси формують тінь від насаджень влітку, що знижує температуру атмосферного повітря, а також блокуючи вітри взимку, ці ресурси, як вже було згадано в ході нашого дослідження, здатні знижувати енергетичні потреби домогосподарств для опалення та охолодження. Однак затінення будівель

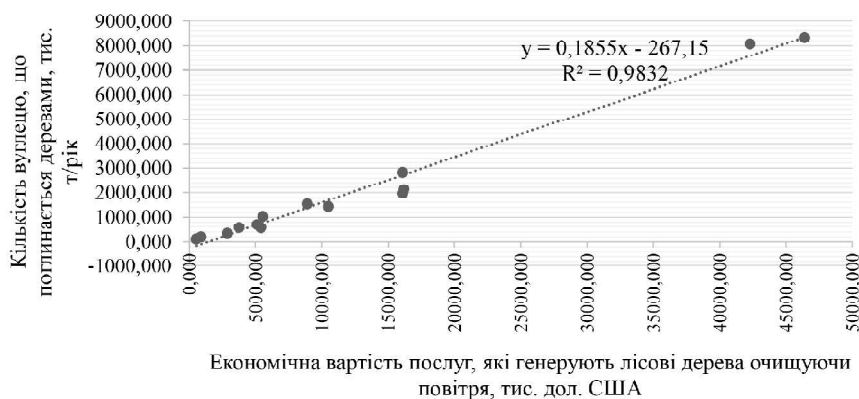


Рис. 3. Графік залежності між економічною вартістю послуг від міських лісових насаджень та кількістю поглинутого вуглецю

Джерело: розраховано автором за даними [20].

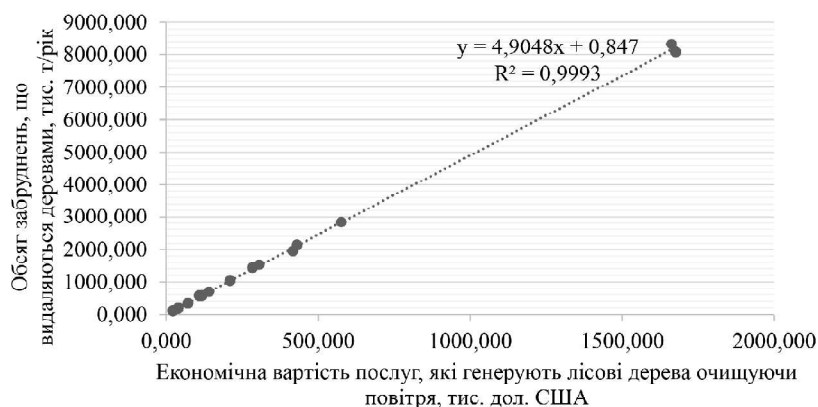


Рис. 4. Графік залежності між економічною вартістю послуг від міських лісових насаджень та обсягом забруднень, що видаляються лісовими деревами

Джерело: розраховано автором за даними [20].

деревами взимку може збільшити потребу в опаленні. Ефективність енергозбереження залежить від природно-кліматичних умов регіону, характеристики лісових насаджень, а також їх розташування навколо житлових будівель. Зрештою, найкращі умови досягаються при затіненні східних і західних стін та дахів влітку та захисті від зимових вітрів із переважаючого напрямку. Хоча зменшення вітру влітку може трохи підвищити споживання енергії на кондиціонування, однак комбінований ефект тіні та захисту від вітру все ж таки знизить споживання енергії влітку, згідно результатів досліджень вчених. Енерговитрати домогосподарств, біля лісових насаджень, можуть бути на 20—25 % нижчими, ніж у будинках на відкритій території. За даними оцінки вчених, створення 100 мільйонів зрілих лісових насаджень поряд з житловою нерухомістю у США могла б заощадити близько 2 млрд дол. США щорічно на енергетичні витрати [19].

Досвід США вказує, що наявність міських лісів та зелених насаджень на поблизу нерухомості сприяє зростанню її ринкової вартості. Зокрема, у Афінах, штаті Джорджія, продажі приватних будинків із ландшафтным дизайном з деревною рослинністю супроводжувалися підвищенням цін на 3,5 % — 4,5 %. Водночас домогосподарства із наявною лісистістю на прибудинкових територіях, продавалися в середньому на 7 % дорожче, ніж аналогічні будинки на ділянках без лісових насаджень. У Батон-Руж, штат Луїзіана, міські лісові насадження сприяли зростанню ринкової вартості житлової нерухомості на 2 %, а кожен додатковий відсоток деревного покриття асоціювався зі збільшенням вартості нерухомості на 296 дол. США. У деяких районах густота міських лісів підвищувала вартість нерухомості на 5 % — 20 %. Крім того, торговельні центри, що використовують озеленення, залучають більше покупців, підвищуючи цінність як бізнесу, так і об'єкта нерухомості [19].

Дослідження свідчать, що лісо-паркові ділянки з відкритими просторами також впливають на збільшення вартості прилеглих об'єктів. Частина цієї доданої вартості пов'язана з видом, який відкривається з об'єкта нерухомості. Наприклад, гарний вид може додати до 8 % до вартості приватного будинку. Однак, якщо лісо-паркові масиви є недоглянуті або сприймаються як місця

скупчення небажаних чи кримінальних елементів, це може негативно вплинути на вартість нерухомості [19].

Підвищення вартості нерухомості завдяки лісовим насадженням також приносить економічну вигоду місцевим громадам через збільшення податків на майно. Зокрема, зростання вартості житла на 5 % може додати 25 дол. США/рік до податкового рахунку у 500 дол. США, що еквівалентно 1,5 млрд дол. США/рік для 62 млн приватних будинків у США. Проте для власників будинків це впливає на додаткові податкові витрати, пов'язані з утриманням лісових насаджень, що варто також враховувати [19].

Досвід США демонструє важливість обчислення компенсаційної вартості дерев. Методика оцінки дерев, зокрема, посібник Ради оцінювачів дерев і ландшафтів, дозволяє визначити компенсацію власникам за втрату лісових дерев. Для молодих дерев застосовується вартість заміщення, тоді як для стиглих лісових ресурсів враховується видовий склад, діаметр, розташування та стан дерева. Хоча така оцінка не завжди відповідає екологічним та економічним вигодам, які надають дерева, дослідження свідчать, що компенсаційна вартість може бути наближена до впливу дерев на вартість житлової нерухомості [19].

Для України впровадження подібних систем оцінки допомогло б мінімізувати еколого-економічні втрати, зберігаючи важливі функції міських лісів і підвищуючи стійкість міського середовища до змін. Крім того такі управлінські підходи є важливими за умови вирубування міських лісів в українських містах для будівництва житлових комплексів, що може суттєво вплинути на екологічний, економічний і соціальний стан міських територій.

Загальний внесок міських дерев у рекреаційну сферу США оцінюється у понад 2 млрд дол. США на рік. Міські лісові ресурси створюють комфортні умови для життєдіяльності міського населення, покращуючи якість міського середовища. Дослідження показують, що міські жителі готові платити за можливість відпочивати в лісо-паркових зонах — в середньому 1,60 дол. США за один візит. Крім того, лісові насадження вздовж доріг сприяють відновленню від стресу у водіїв та підвищують якість транспортної логістики. Вони також слугують важливим інструментом екологічної освіти, адже різноманіття міських лісів створює унікальну можливість для навчання управлінню лісовими ресурсами [19].

Наявність лісових насаджень у міських зонах також зменшує потребу мешканців у тривалих поїздках на природу, що економить паливо та скорочує викиди вуглекислого газу. Водночас існують прямі витрати на утримання міських дерев: посадка, обрізка лісових насаджень, а також ремонт тротуарів через пошкодження корінням. Проте ці витрати компенсуються економічними вигодами: дерева знижують витрати на енергопостачання завдяки створенню тіні та захисту від вітру, підвищують вартість нерухомості, сприяють зниженню витрат на управління зливовими стоками. Таким чином,

при плануванні міських зелених насаджень важливо враховувати баланс між їхніми витратами та вигодами для громади [19].

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

В результаті дослідження зарубіжного досвіду США в контексті раціонального використання міських лісових ресурсів, визначено, що основний еколого-економічний ефект, який генерують міські лісові ресурси, характеризується вартістю поглинання вуглекислого газу, очищення повітря, економії енергії на кондиціонуванні, рекреаційних послуг, зниження шуму та водопоглинання. Запропоновані математичні функції дозволяють кількісно оцінити вигоди від екосистемних послуг міських лісів, забезпечуючи науково обгрунтовану основу для прийняття рішень у сфері сталого управління урбанізованими територіями.

Досліджено, що технологія "i-Tree" є потужним інструментом для комплексної оцінки екологічних та економічних переваг міських лісових ресурсів, що активно застосовується в зарубіжних країнах, зокрема США. Вона дозволяє враховувати різноманітні аспекти, від вуглецевого балансу до економії енергії, що важливо для оптимізації управління лісами в урбанізованому середовищі. Оцінка досвіду цих країн може бути корисною для України, адже він дає змогу розробити ефективні рішення щодо управління міськими лісами.

Розроблена математична модель демонструє високу кореляційну залежність між різними показниками, що характеризують стан міських лісів та їхню економічну цінність. Це свідчить про те, що модель адекватно відображає реальні взаємозв'язки між кількістю дерев, запасом вуглецю, поглинанням забруднень та економічною вартістю цих екосистемних послуг від лісових насаджень в умовах урбанізованого середовища. Запропонована модель може бути ефективним інструментом для оцінки екологічних і економічних переваг зелених насаджень у дослідних містах. Для українських населених пунктів окреслену модель можна адаптувати та використовувати для проведення аналогічних оцінок. Однак, необхідно врахувати специфіку українських міст, кліматичні умови, а також особливості лісових насаджень. Адаптація моделі дозволить оцінити потенціал міських лісів в Україні, розробити ефективні стратегії їхнього збереження та розвитку, а також обгрунтувати необхідність інвестицій у лісові ресурси урбанізованого середовища. Це сприятиме покращенню екологічного стану міст, підвищенню якості життя населення та зміцненню економіки.

Література:

1. Peterson K. S., Straka T. J. Urban Forest and Tree Valuation Using Discounted Cash Flow Analysis: Impact of Economic Components. *Open Journal of Forestry*. 2012. Vol. 2, № 3, pp. 174—181. URL: https://www.scirp.org/pdf/OJF20120300006_99288258.pdf
2. Цвях О. М., Опенько І. А. Промислові території, як просторовий базис оптимізації використання земель в місті Києві. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2017. № 1. С. 83—91.

3. Лакида М. О., Васишин Р. Д., Лакида І. П., Мельник О. М. Міські ліси Києва: біопродуктивність та еколого-енергетичний потенціал. Монографія. Київ. ТОВ "ЦП "Компринт", 2022. 313 с.

4. Опенько І. А. Еколого-економічна продуктивність використання земель лісгосподарського призначення в Україні. *Агросвіт*. № 13—14, 2019, С. 44—52. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/13-14_2019/8.pdf

5. Опенько І. А. Кореляційний аналіз впливу існуючої системи державного управління на використання земель лісгосподарського призначення в Україні. *Економіка та держава*. 2019, № 7, С. 55—62. http://www.economy.in.ua/pdf/7_2019/12.pdf

6. Openko I., Shevchenko O., Tykhenko R., Tsvyakh O., Stepchuk Ya.. Economic analysis of deforestation impact on the yield of agricultural cultures in Ukraine. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. 2019, Vol. 19, Issue 4, pp. 233—237.

7. Kryvoviaz E., Openko I., Tykhenko R., Shevchenko O., Tykhenko O., Tsvyakh O., Chumachenko O. Recovery of losses for inappropriate use of land. *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. 2020, vol. IX, pp. 175—182.

8. Davies H., Doick K., Handley P., O'Brien L., Wilson J. Delivery of ecosystem services by urban forests *Forestry Commission Research Report Forestry Commission*, Edinburgh. 2017. pp. 1—28. URL: <https://cdn.forestrysearch.gov.uk/2017/02/fcrp026.pdf>

9. Jorgensen E. Towards an urban forestry concept. *Proceedings of the 10th Commonwealth Forestry Conference*. Ottawa, Canada; Forestry Service. 1974, 14 p. URL: https://books.google.com.ua/books/about/Towards_an_Urban_Forestry_Concept.html?id=41y-RHAAACA&redir_esc=y

10. Tree Canada. Compendium of best urban forest management practices. Chapter 1. Definition of urban forests. URL: <https://treecanada.ca/resources/canadian-urban-forest-compendium/1-definition-of-urban-forests/>

11. Deneke F. Urban Forestry in North America: Towards a Global Ecosystem Perspective. In G. Blouin & R. Comeau (Eds.), *Proceedings of the First Canadian Urban Forests Conference* May 30—June 2, 1993. Winnipeg MB. 151 p. (pp. 4—8).

12. Randrup T. B., Konijnendijk C. C., Kaennel Dobbartin M., Pruller R. The concept of urban forestry in Europe. In: Konijnendijk CC, Nilsson K, Randrup TB & Schipperijn J (eds), *Urbanforests and trees* (Springer, Berlin), 2005, pp. 9—21.

13. Konijnendijk C., Gauthier M. Urban forestry for multifunctional urban land use. In book: *Cities Farming for the Future*. Chapter: 14. 2006. pp. 414—442. URL: https://www.researchgate.net/publication/280563037_Urban_Forestry_for_Multifunctional_Urban_Land_Use

14. Miller R. W., Hauer R. J., Werner, L. P. *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*. Waveland Press, Illinois. 2015.

15. FAO. *Trees outside forests (TOF): Towards rural and urban integrated resources management. Contribution to the FRA 2000 report*. FRA Working Papers on case studies. FAO, Rome. 2001.

16. FAO. Urban forests: a global perspective. FAO, Rome. 2023. 230 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8af23c55-0476-448c-a539-d366c648937a/content>
 17. i-Tree. Tools for Assessing Individual Trees. URL: <https://www.itreetools.org/>
 18. i-Tree. Our Trees. URL: <https://ourtrees.itreetools.org/#/location>
 19. Nowak D. J., Dwyer, J. F. Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. Urban and Community Forestry in the Northeast. 2007. URL: https://www.researchgate.net/publication/226897077_Understanding_the_Benefits_and_Costs_of_Urban_Forest_Ecosystems
 20. Nowak D. J., Hoehn R. E., Crane D. E., Stevens J. C., Walton J. T. Assessing urban forest effects and values. Minneapolis' Urban Forest. Resour. Bull. NE-166. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 2006. 20 p. URL: <https://www.itreetools.org/documents/330/Minneapolis%20Urban%20Forest.pdf>
- References:
1. Peterson, K. S., Straka, T. J. (2012) "Urban Forest and Tree Valuation Using Discounted Cash Flow Analysis: Impact of Economic Components", Open Journal of Forestry, vol. 2, no. 3, pp. 174—181, available at: https://www.scirp.org/pdf/OJF20120300006_99288258.pdf (Accessed 30 January 2025).
 2. Tsvyakh, O. M. and Openko, I. A. (2017), "Industrial territories as a spatial basis for optimizing the use of land in the city of Kyiv", Zemleustrij, kadastr i monitorynh zemel', vol. 1, pp. 83—91.
 3. Lakyda, M. O., Vasylyshyn, R. D., Lakyda, I. P., Melnyk, O. M. (2022), Mis'ki lisy Kyieva: bioproduktyvnist' ta ekoloho-enerhetychnyy potentsial [Urban forests of Kyiv: bioproductivity and ecological and energy potential], Kompyrnt, Kyiv, Ukraine.
 4. Openko, I. A. (2019), "Ecological and economic productivity of land use in Ukraine", Ahrosvit, vol. 13—14, pp. 44—52, available at: http://www.agrosvit.info/pdf/13-14_2019/8.pdf (Accessed 30 January 2025).
 5. Openko, I. A. (2019), "Correlation analysis of the impact of the existing public administration system on forest land use in Ukraine", Ekonomika ta derzhava, vol. 7, pp. 55—62, available at: http://www.economy.in.ua/pdf/7_2019/12.pdf (Accessed 30 January 2025).
 6. Openko, I., Shevchenko, O., Tykhenko, R., Tsvyakh, O. and Stepchuk, Ya. (2019), "Economic analysis of deforestation impact on the yield of agricultural cultures in Ukraine", Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development, vol. 19, Issue 4, pp. 233—237.
 7. Kryvoviaz, E., Openko, I., Tykhenko, R., Shevchenko, O., Tykhenko, O., Tsvyakh, O. and Chumachenko, O. (2020), "Recovery of losses for inappropriate use of land", Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, vol. IX, pp. 175—182.
 8. Davies, H., Doick, K., Handley, P., O'Brien, L. and Wilson, J. (2017), "Delivery of ecosystem services by urban forests Forestry Commission Research Report Forestry Commission", Edinburgh, pp. 1—28, available at: <https://cdn.forestresearch.gov.uk/2017/02/fcrp026.pdf> (Accessed 30 January 2025).
 9. Jorgensen, E. (1974), "Towards an urban forestry concept", Proceedings of the 10th Commonwealth Forestry Conference, Forestry Service, Ottawa, Canada, available at: https://books.google.com.ua/books/about/Towards_an_Urban_Forestry_Concept.html?id=41yRHAAACAAJ&redir_esc=y (Accessed 30 January 2025).
 10. Tree Canada (2024), "Compendium of best urban forest management practices. Chapter 1. Definition of urban forests", available at: <https://treecanada.ca/resources/canadian-urban-forest-compendium/1-definition-of-urban-forests/> (Accessed 30 January 2025).
 11. Deneke, F. (1993), "Urban Forestry in North America: Towards a Global Ecosystem Perspective", Proceedings of the First Canadian Urban Forests Conference, Winnipeg MB, Canada, May 30—June 2, pp. 4—8).
 12. Randrup, T. B., Konijnendijk, C. C., Kaennel Dobbertin, M. and Pr'ller, R. (2005), "The concept of urbanforestry in Europe", Urbanforests and trees, Springer, Berlin, pp. 9—21.
 13. Konijnendijk, C. and Gauthier, M. (2006), "Urban forestry for multifunctional urban land use", Cities Farming for the Future, Chapter: 14, pp. 414—442, available at: https://www.researchgate.net/publication/280563037_Urban_Forestry_for_Multifunctional_Urban_Land_Use (Accessed 30 January 2025).
 14. Miller, R. W., Hauer, R. J. and Werner, L. P. (2015), "Urban forestry: planning and managing urban green-spaces", Waveland Press, Illinois.
 15. FAO. (2001) "Trees outside forests (TOF): Towards rural and urban integrated resources management", Contribution to the FRA 2000 report. FRA Working Papers on case studies, FAO, Rome.
 16. FAO. (2023), "Urban forests: a global perspective", FAO, Rome, available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8af23c55-0476-448c-a539-d366c648937a/content> (Accessed 30 January 2025).
 17. i-Tree. "Tools for Assessing Individual Trees", available at: <https://www.itreetools.org/> (Accessed 30 January 2025).
 18. i-Tree (2025), "Our Trees", available at: <https://ourtrees.itreetools.org/#/location> (Accessed 30 January 2025).
 19. Nowak, D. J. and Dwyer, J. F. (2007), "Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems", Urban and Community Forestry in the Northeast, available at: https://www.researchgate.net/publication/226897077_Understanding_the_Benefits_and_Costs_of_Urban_Forest_Ecosystems (Accessed 30 January 2025).
 20. Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Crane, D. E., Stevens, J. C. and Walton, J. T. (2006), "Assessing urban forest effects and values. Minneapolis' Urban Forest. Resour. Bull. NE-166. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service", Northeastern Research Station, available at: <https://www.itreetools.org/documents/330/Minneapolis%20Urban%20Forest.pdf> (Accessed 30 January 2025).

Стаття надійшла до редакції 30.01.2025 р.