


Звіт i-Tree Eco Система аналізу екосистем



**Ділянка парку «Феофанія»
Голосіївського району
міста Києва**

Вплив та цінність міських зелених зон 2022

переклад з англійської



Український екологічний клуб
Зелена Хвиля
ecoclubua.com

Анотація

Розуміння структури, функції та цінності зелених зон у містах сприяє прийняттю управлінських рішень, що дозволять покращити добробут населення та стан довкілля. Аналіз даних щодо структури, функцій та цінності зелених насаджень (52 дерева), розташованих на території парку “Феофанія” Голосіївського району, проводився у 2022 році за допомогою системи i-Tree Eco, розробленої Північною науково-дослідницькою станцією Служби охорони лісу США. Даний звіт адаптовано за матеріалами Davey Institute (USA) на основі польових даних, зібраних у Києві на території парку “Феофанія” (Голосіївський район), у вересні-жовтні 2022 та автоматично згенерованих результатів аналізу польових даних у програмному додатку i-Tree Eco v.6.0.22.

Вихідні дані:

Кількість дерев: 52

Лісопокрита площа: 3 488 м².

Найпоширеніші види дерев: клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.)

Відсоток дерев зі стовбуром менше 15,2 см в діаметрі: 21,1 %

Очищення повітря: 20,39 кг/ рік (3,99 тис. грн/рік)

Зберігання вуглецю: 30,9 т (171 тис. грн./рік)

Поглинання вуглецю: 843, 6 кг (4,66 тис. грн./рік)

Продуктування кисню: 2,25 т /рік

Запобігання поверхневим стокам: 83,38 м³/рік (5,73 тис. грн./рік)

Відновна вартість: 5,09 млн. грн.

Опис методології, що використовується у системі i-Tree Eco, наведено у Додатку І.

Даний звіт адаптовано та перекладено з англійської ГО «Український екологічний клуб «Зелена Хвиля» у рамках проєкту «Прозора та партисипативна система інвентаризації зелених зон в Україні: iTree4UA» за фінансової підтримки US Forestry Service International Programs у партнерстві з Davey Tree Expert Company (розробники продуктів i-Tree у США). Відповідальність за зміст несе виключно ГО УЕК «Зелена Хвиля».

*Результати оцінки екосистемних послуг наведено стосовно дерев.

ЗМІСТ

1. Характеристика лісових насаджень
парку “Феофанія”

4

2. Лісовий покрив та листкова поверхня

7

3. Зниження рівня забруднення повітря

8

4. Поглинання та зберігання вуглецю

9

5. Продукування кисню

11

6. Запобігання поверхневого стоку

12

7. Відновна та функціональна вартість

14

8. Потенційний вплив шкідників

15

Додатки

18

1. Характеристика лісових насаджень парку “Феофанія”

Парк «Феофанія» розташований на півдні правобережної частини м. Києва, на одній із ділянок лесового плато Київського підвищеного лісостепу, де він межує з Поліссям. За геоботанічним районуванням територія парку належить до Подільсько-Середньопридніпровської підпровінції. Основний морфологічний елемент рельєфу – Феофанійська балка, днище якої має каскад ставків і заболочені ділянки, а схили вкриті широколистяним лісом та невеликими фрагментами остепненої луки. Ґрунти – здебільшого сірі опідзолені лісові, трапляються дерново-підзолисті та лучно-болотні. За флористичною класифікацією ліси урочища відносять до асоціації *Galeobdoloni luteae-Carpinetum Shevchyk, Vakaľyna et V.Sl. 1996* (Honcharenko et al., 2013; Netsvetov and Prokopuk, 2016). Значну частку у насадженнях парку складають екзоти.



Рис 1. Межі досліджуваної території та точки розташування дерев

Досліджувана ділянка на території парку “Феофанія” нараховувала 52 дерева. Трьома найпоширенішими видами дерев тут є клен гостролистий (*Acer platanoides*, 36,5 %), дуб звичайний (*Quercus robur*, 23,1 %) та липа серцелиста (*Tilia cordata*, 21,2 %).

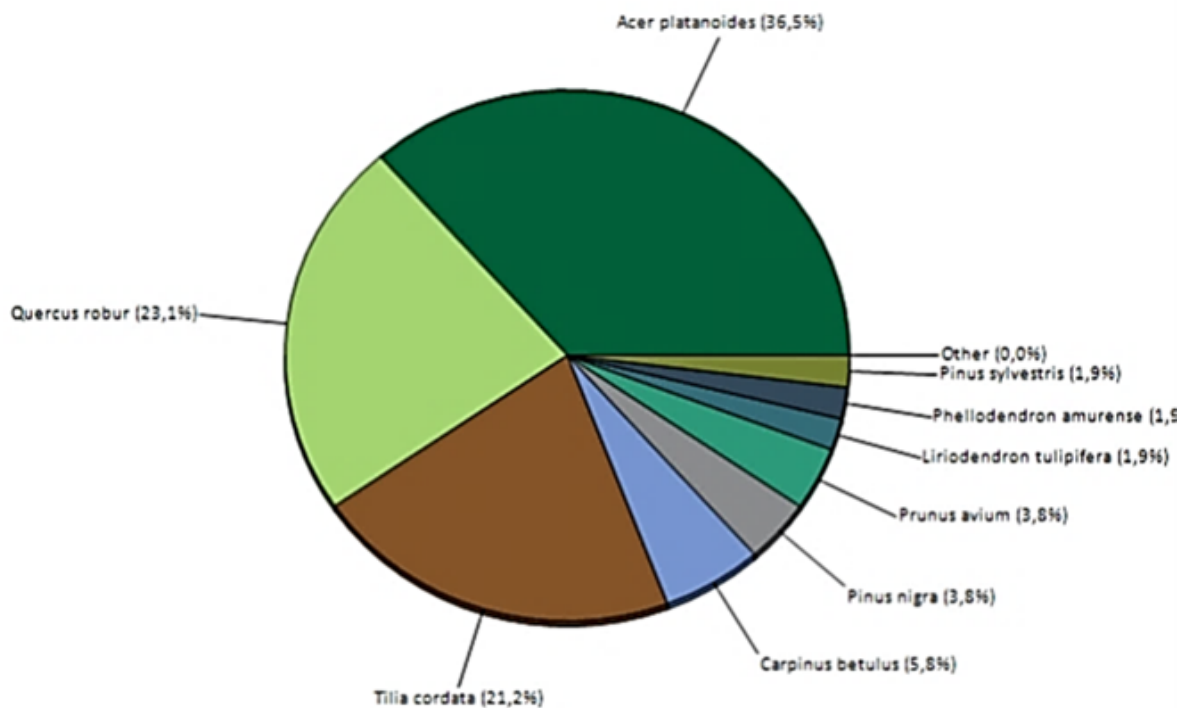


Рис 2. Співвідношення деревних порід на досліджуваній ділянці парку “Феофанія” (у %)

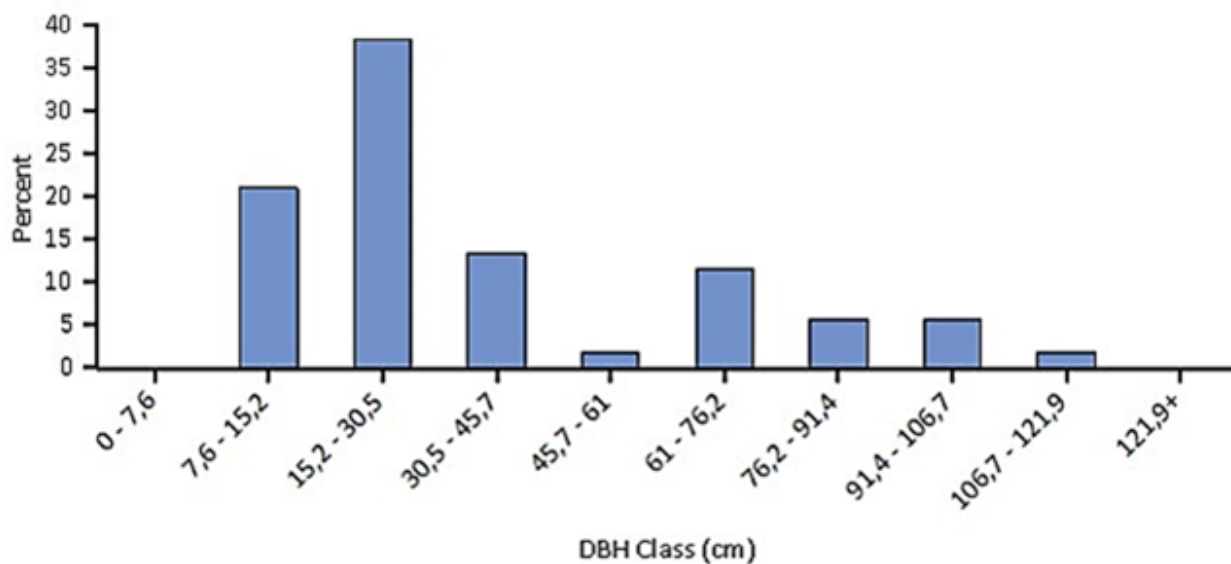


Figure 3. Percent of tree population by diameter class (DBH - stem diameter at 1.37 meters)

Рис. 3. Співвідношення дерев за категоріями діаметру стовбура на досліджуваній ділянці парку “Феофанія”

Міські зелені масиви складаються як з аборигенних, так і з екзотичних видів дерев. Тому різноманіття видів дерев у міських зелених масивах є часто вищим порівняно із навколишніми природними лісами. Різноманіття видів дерев може мінімізувати загальний негативний вплив, спричинений пошкодженням специфічними для певного виду хворобами або комахами, однак при цьому може створювати ризики для місцевих видів рослин, якщо у насадженнях є інтродуковані види, які відносяться до інвазійних. На досліджуваній території парку “Феофанія” приблизно 50 % дерев відносяться до видів, що є аборигенними для Європи. Значна частка видів дерев (44%) походять з Європи та Азії.

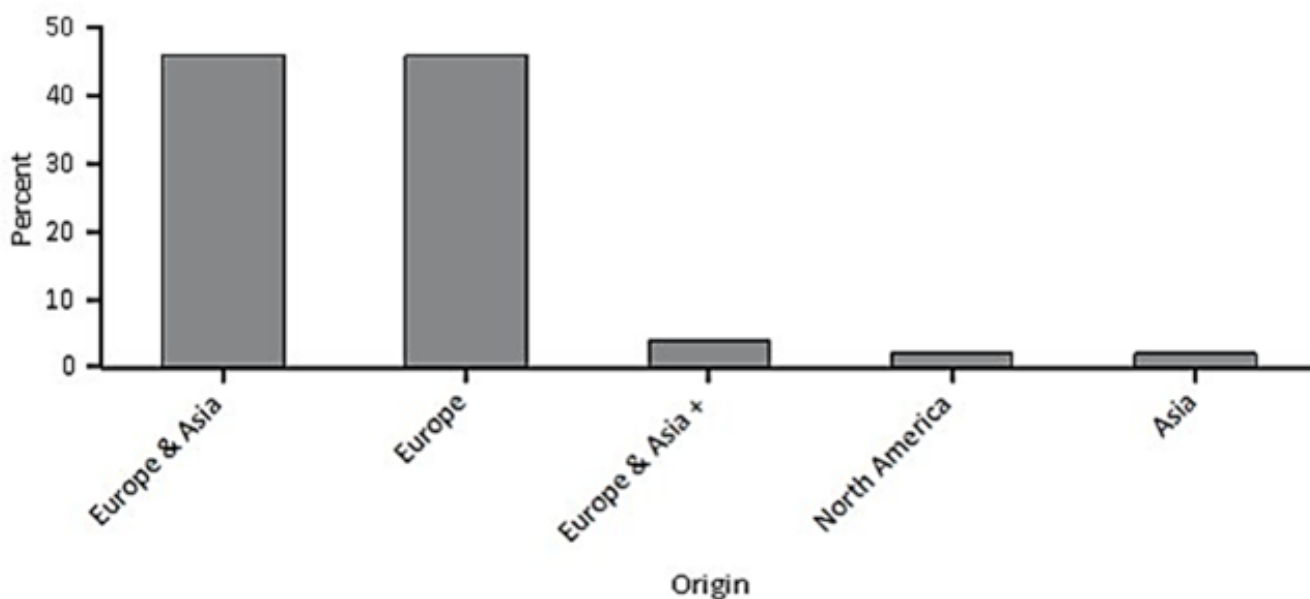


Figure 4. Percent of live tree population by area of native origin, Київ

Рис 4. Розподіл видів дерев на досліджуваній ділянці парку “Феофанія” за територією походження (у %)

Інвазивні види рослин часто характеризуються здатністю до експансії, адаптивністю, високою репродуктивною здатністю та майже повною відсутністю природних ворогів. Ці здібності дозволяють їм витіснити аборигенні види, що робить їх загрозою у природному середовищі.

2. Лісовий покрив та листкова поверхня

Більшість екосистемних послуг дерева напряду пов'язані із площею його здорової листкової поверхні. Дерева покривають близько 3 488 м² площі досліджуваної ділянки парку “Феофанія” та забезпечують 1 609 га площі листкової поверхні.

На досліджуваній ділянці парку “Феофанія” за площею листкової поверхні домінуючими є *Quercus robur*, *Tilia cordata*, та *Acer platanoides*. У таблиці 1 наведені види дерев із найбільшим індексом важливості за часткою у загальній площі листкової поверхні. Індекс важливості (*Importance values, IV*) визначається як сума відсотків частки виду у популяції та частки листкової поверхні. Високі значення важливості не обов'язково означають, що необхідно сприяти поширенню цих видів дерев у майбутньому; скоріше наразі вони є домінуючими у структурі лісового насадження.

Назва виду	Частка виду у популяції, %	Частка листкової поверхні, %	Індекс важливості (IV)
<i>Quercus robur</i>	23,1	31,5	54,6
<i>Acer platanoides</i>	36,5	17,7	54,3
<i>Tilia cordata</i>	21,2	28,8	50,0
<i>Carpinus betulus</i>	5,8	7,2	13,0
<i>Pinus sylvestris</i>	1,9	8,0	9,9
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1,9	4,6	6,5
<i>Prunus avium</i>	3,8	1,0	4,9
<i>Pinus nigra</i>	3,8	0,4	4,2
<i>Phellodendron amurense</i>	1,9	0,8	2,7

Таблиця 1. Найбільш важливі дерева на досліджуваній ділянці парку “Феофанія” за площею листкової поверхні

3. Зниження рівня забруднення повітря

Погана якість повітря є загальною проблемою багатьох міст. Це може призвести до погіршення здоров'я людей, порушення функціонування екосистем, спотворення ландшафтів, погіршення видимості через смог та інших наслідків. Міські зелені зони можуть допомогти покращити якість повітря шляхом зниження температури повітря, безпосереднього видалення забруднювачів з повітря та зменшення споживання енергії в будівлях, що, як наслідок, зменшує викиди забруднюючих речовин у повітря від джерел електроенергії.

Зниження рівня забруднення повітря деревами на ділянці в парку “Феофанія” оцінювалося з використанням польових даних, даних щодо забруднення повітря та метеорологічних даних. Зниження рівня забруднення було найбільшим по відношенню до озону (рис. 5). Згідно проведеного дослідження дерева видаляють 20,39 кг забруднювачів повітря (озон (O3), чадний газ (CO), діоксид азоту (NO2), тверді частинки розміром менше 2,5 мікрон (PM2,5), тверді частинки розміром менше 10 мікрон і понад 2,5 мкм (PM10*)² та діоксиду сірки (SO2)) на рік, що становить близько 3,99 тис. грн. (детальніше у Додатку І).

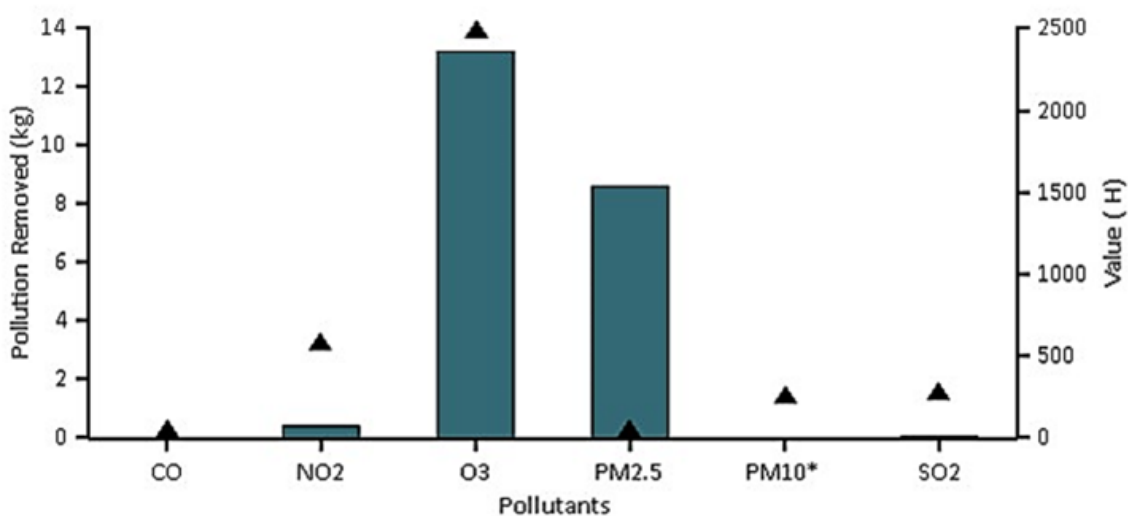


Рис 5. Щорічне видалення забруднювачів повітря деревами (точки, у кг) та його вартість (стовпці, грн.) на досліджуваній ділянці парку “Феофанія”

У 2022 році дерева з досліджуваної ділянки парку “Феофанія” виділили приблизно 13,42 кг летких органічних сполук (5,613 кг ізопрену та 7,804 кг монотерпенів). Виділення відрізняються для різних видів залежно від характеристик виду (наприклад, деякі породи, такі як дуби, мають високий рівень виділення ізопрену). Дев'яносто шість відсотків викидів летких органічних сполук на досліджуваній ділянці припадає на *Quercus robur* і *Pinus sylvestris*.

4. Поглинання та зберігання вуглецю

Зміна клімату є проблемою глобального масштабу. Зелені зони міста сприяють пом'якшенню змін клімату шляхом поглинання вуглецю з атмосфери (у вигляді вуглекислого газу), а також впливаючи на рівень споживання енергії в будівлях, і, отже, змінюючи викиди вуглекислого газу від джерел енергії, що працюють на викопному паливі (Abdollahi et al 2000).

Дерева зменшують рівень вуглецю в атмосфері шляхом його поглинання під час росту. Обсяг вуглецю, що поглинається, щорічно зростає по мірі збільшення розміру та за стану здоров'я дерев. Сумарний обсяг вуглецю, поглинутого деревами досліджуваної території парку “Феофанія”, становить 1,82 т на рік (що в грошовому еквіваленті становить 9,56 тис. грн.). Детальний опис методики розрахунку наведено у Додатку І.

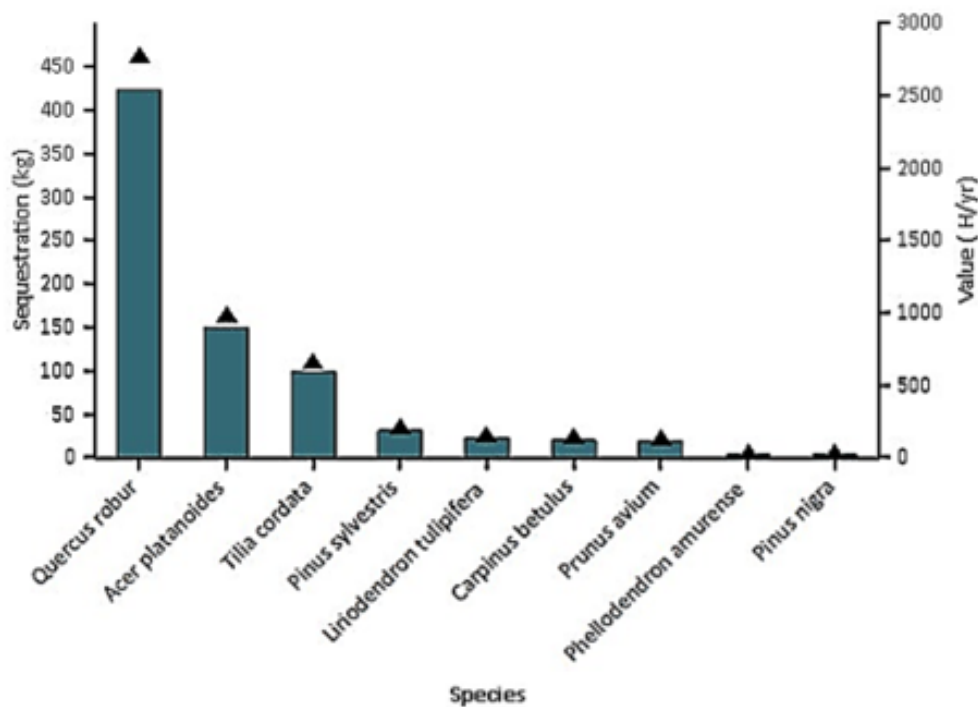


Рис 6. Розрахункові річні загальні обсяги поглинання вуглецю деревами (точки) та їх вартість (стовпці) на досліджуваній ділянці парку “Феофанія”

По мірі зростання дерево накопичує у своїх тканинах все більше вуглецю. Зберігання вуглецю є показником обсягу вуглецю, який може бути виділений у атмосферу у разі загибелі та розкладання дерев. Підтримка дерев у здоровому стані дозволить утримувати вуглець в деревах тривалий час (Nowak et al., 2002c).

У деревах досліджуваної ділянки парку “Феофанія” зберігається 30,9 тонн вуглецю (у грошому еквіваленті це 171 тис. грн.). Було визначено, що з усіх видів, представлених на досліджуваній ділянці, найбільшу кількість вуглецю акумулює дуб звичайний (*Quercus robur*) – приблизно 67,1 % від загального обсягу запасів вуглецю та 54,6 % від загального обсягу вловленого вуглецю.

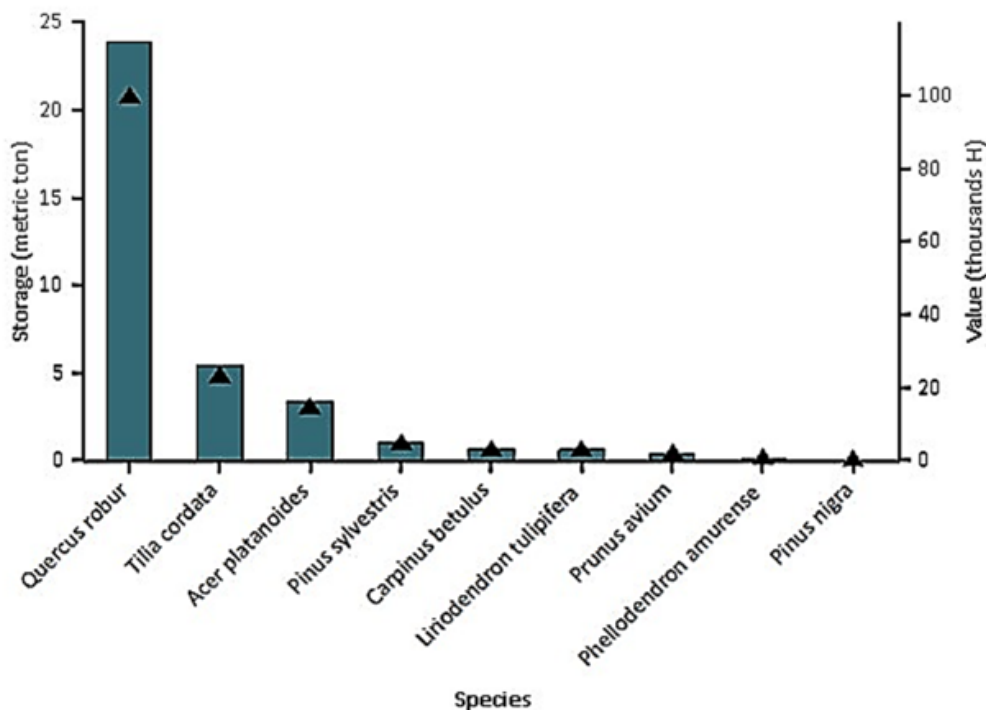


Рис 7. Розрахункові річні загальні обсяги зберігання вуглецю деревами (точки) та їх вартість (стовпці) на досліджуваній ділянці парку “Феофанія”

5. Продукування кисню

Продукування кисню є одним із найпоширеніших аргументів на користь зелених насаджень у місті. Річний обсяг виділення кисню деревом напряму пов'язаний із обсягом вуглецю, поглинутого деревом, що, в свою чергу, пов'язане із накопиченням біомаси дерева.

Встановлено, що дерева досліджуваної ділянки парку “Феофанія” виділяють 2,25 тонн кисню на рік. Однак цей аспект позитивного впливу дерев є відносно незначним з огляду на великий та відносно стабільний обсяг кисню в атмосфері, а також кисню, що виробляється водними системами. Наша атмосфера має величезні запаси кисню. Якщо спалити всі запаси викопних видів палива, всі дерева та всі органічні речовини у ґрунтах, рівень атмосферного кисню впаде лише на кілька відсотків (Broecker, 1970).

Назва виду	Кисень (кг)	Валове поглинання вуглецю (кг/рік)	Кількість дерев	Листкова поверхня (га)
<i>Quercus robur</i>	1 228,11	460,54	12	0,51
<i>Acer platanoides</i>	434,28	162,85	19	0,28
<i>Tilia cordata</i>	287,29	107,73	11	0,46
<i>Pinus sylvestris</i>	91,63	34,36	1	0,13
<i>Liriodendron tulipifera</i>	63,61	23,85	1	0,07
<i>Carpinus betulus</i>	57,25	21,47	3	0,12
<i>Prunus avium</i>	55,17	20,69	2	0,02
<i>Phellodendron amurense</i>	8,99	3,37	1	0,01
<i>Pinus nigra</i>	8,63	3,24	2	0,01

Таблиця 2. Продукування кисню деревами досліджуваної ділянки парку “Феофанія”

6. Запобігання поверхневого стоку

Поверхневий стік може стати причиною занепокоєння у багатьох міських зонах через загрозу забруднення заболочених ділянок, річок, озер, морів та океанів. Певну частину опадів «перехоплює» рослинність (особливо дерева та кущі), а решта досягає поверхні землі. Та частина опадів, що досягає поверхні землі та не поглинається ґрунтами, становить поверхневий стік (Hirabayashi, 2012). У містах обсяг поверхневого стоку є вищим з огляду на велику кількість водонепроникних поверхонь.

Дерева та кущі сприяють зменшенню обсягу поверхневого стоку у містах. Вони «перехоплюють» опади, а їхня коренева система сприяє просочуванню та зберіганню води у ґрунті. За розрахунками, дерева досліджуваної ділянки парку “Феофанія” допомагають зменшити обсяг поверхневого стоку на 83,4 м³ (грошовий еквівалент – 5,7 тис. грн.) (див. Додаток І). Розрахунки зменшення обсягу поверхневого стоку базуються на локальних метеорологічних даних, отриманих з визначеної користувачем метеостанції. У 2021 році загальний обсяг річних опадів досліджуваної території становив 1031 мм.

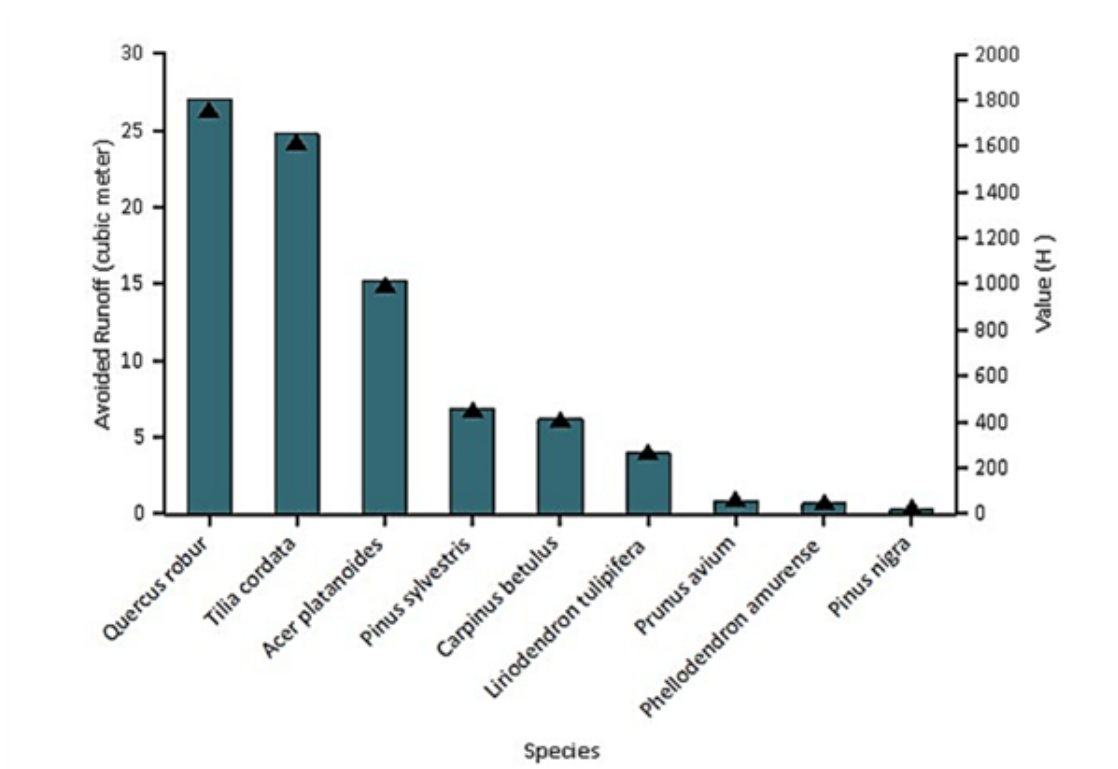


Рис 8. Поверхневий стік (точки), який було затримано різними видами дерев на досліджуваній ділянці парку “Феофанія” та вартість його затримки (стовпці)

7. Відновна та функціональна вартість

Відновна вартість міських зелених зон залежить від самих дерев (наприклад, вартість заміни дерева на подібне); проте, існують також показники функціональності (позитивні чи негативні), що розраховуються на основі функцій, які виконують дерева, та вартості цих функцій.

Відновна вартість міських зелених зон, зазвичай, зростає зі збільшенням кількості та розміру здорових дерев (Nowak et al., 2002a). Річні показники функціональності також мають тенденцію до збільшення зі збільшенням кількості та розміру здорових дерев. Завдяки належному управлінню цінність міських зелених зон можна збільшити; однак цінність та вигоди, що створюють міські зелені зони можуть і зменшуватися у випадку зменшення площі здорових дерев.

Досліджувана ділянка парку “Феофанія” має таку **відновну вартість**:

- Відновна вартість – 5,09 млн. грн.
- Зберігання вуглецю – 171 тис. грн.

Досліджувана ділянка парку “Феофанія” має таку **функціональну вартість**:

- Поглинання вуглецю – 4,66 тис. грн.
- Запобігання поверхневого стоку – 5,73 тис. грн.
- Зниження рівня забруднення повітря – 3,99 тис. грн.

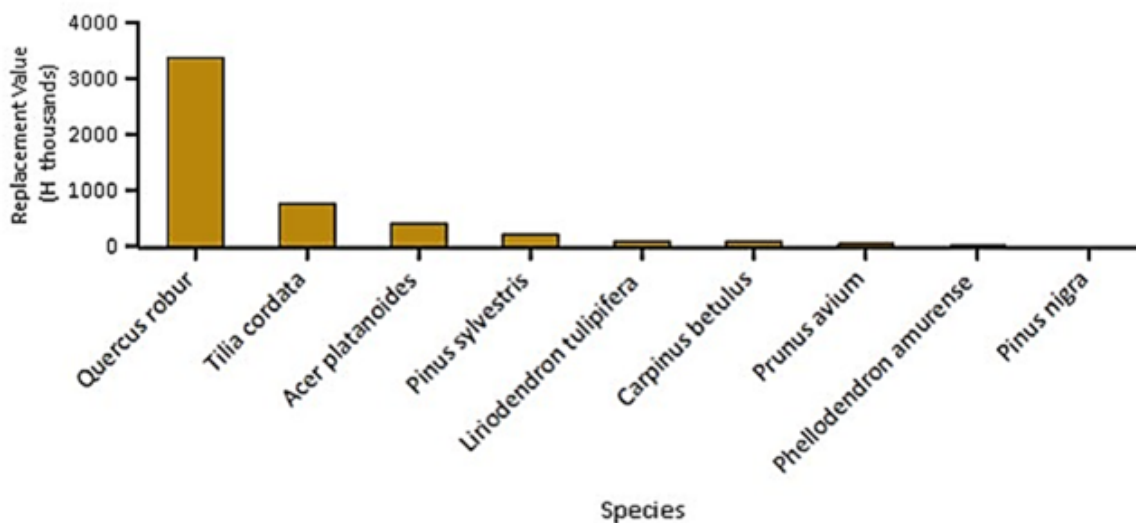


Рис 9. Види дерев із найвищою відновною вартістю на досліджуваній ділянці парку “Феофанія”

8. Потенційний вплив шкідників

Зелені зони міст мають потенційний ризик зараження різноманітними комахами та хворобами, які можуть негативно впливати на стан лісових фітоценозів, знижуючи їх здоров'я, відновну цінність і стійкість, а у крайніх випадках спричиняючи загибель як окремих дерев, так і цілих лісових масивів.


Оскільки комахи та хвороби, як правило, пов'язані із певними видами дерев, то потенційна шкода або ризик зараження різними видами комах та хвороб може відрізнятися в різних містах. Тридцять шість шкідників були проаналізовані на предмет їх потенційного впливу на дерева досліджуваної ділянки. Але оскільки, не всі вони поширені в Україні, то лише чотири види можуть становити потенційну загрозу зараження для досліджуваної ділянки парку “Феофанія” (Рис. 10).



Рис 10. Види комах, що становлять потенційну загрозу для дерев на досліджуваній ділянці парку “Феофанія” (зліва направо): непарний шовкопряд (*Lymantria dispar*), сосновий лубоїд (*Tomicus piniperda*), фіолетовий рогохвіст (*Sirex noctilio*) та п’ядун зимовий (*Operophtera brumata*) (Фото із gbif.org).

Непарний шовкопряд (*Lymantria dispar*) є дефоліатором, який живиться багатьма видами дерев, спричиняючи масову дефоліацію та загибель дерев за умови, що спалахи тривають кілька років (Northeastern Area State and Private Forestry, 2005). Цей шкідник загрожує 44,2 % дерев на досліджуваній ділянці, що означає потенційну втрату 4,18 млн. грн. у відновній вартості. Такі значні втрати у відновній вартості пояснюються тим, що *Lymantria dispar* загрожує *Quercus robur* (23,1% на ділянці) та *Tilia cordata* (21,1% на ділянці), а саме вони складають більшу частину відновної вартості дерев на досліджуваній ділянці. Зокрема, відновна вартість на досліджуваній ділянці для дуба звичайного складає 3,4 млн. грн., а для липи серцелистої – 773 тис. грн.

Сосновий лубоїд (*Tomicus piniperda*) пошкоджує деревину, зазвичай атакує різні види сосен (Ciesla, 2001). Сосновий лубоїд може становити загрозу для 1,9 % дерев досліджуваної ділянки (223 тис. грн. у відновній вартості).



Фіолетовий рогохвіст (*Sirex noctilio*) переважно атакує різні види сосен (Naugen and Ноебек, 2005), і становить загрозу для 1,9 % дерев досліджуваної ділянки парку “Феофанія”, що становить потенційну втрату у еквіваленті 223 тис. грн. відновної вартості.

П'ядун зимовий (*Operophtera brumata*) є шкідником для більшості широко поширених листяних порід дерев (Childs 2011). Найбільшої шкоди завдає на стадії гусениці. На досліджуваній ділянці парку “Феофанія” даний вид становить загрозу для 38,5 % дерев через (448 тис. грн. у відновній вартості).

Додаток І.

Модель i-Tree Eco та польові вимірювання

i-Tree Eco створено, щоб за допомогою стандартизованих даних, отриманих під час польових досліджень, а також локальних метеорологічних даних та даних про забруднення повітря, здійснити кількісну оцінку структури та екосистемних послуг міських зелених зон (Nowak and Crane, 2000), у тому числі програма дозволяє визначити:

- Структуру міських зелених масивів (зокрема, видовий склад, стан здоров'я дерев, листкова поверхня тощо).
- Забруднення повітря, обсяг якого знижено за рахунок міських зелених зон протягом року.
- Загальний обсяг запасів вуглецю та чистий річний обсяг вуглецю, вловленого зеленими насадженнями.
- Вплив дерев на використання електроенергії в будинках та відповідний вплив на обсяг викидів вуглекислого газу з електростанцій.
- Структурну та функціональну цінність зеленого масиву.
- Потенційні впливи від зараження комахами.

Зазвичай збір всіх даних відбувається протягом теплої пори року, щоби належним чином дослідити крону дерев. До стандартного переліку даних (фактичний перелік визначається користувачем) відноситься тип цільового призначення земельної ділянки, ґрунтовий покрив та лісовкрита площа, окремі характеристики певних видів, діаметр стовбура, висота, широта крони, відсоток відмерлої або відсутньої крони, а також відстань до житлових будинків та напрямок до них (Nowak et al 2005; Nowak et al 2008).

Під час збору даних дерева ідентифікуються за якомога точнішою таксономічною класифікацією. Дерев, не ідентифіковані до рівня виду, можуть бути класифіковані за родом (наприклад, ясен) або за групою (наприклад, листяні). У цьому звіті види, роди або групи видів дерев колективно іменовані як види дерев.

Характеристики дерев:

Листкова поверхня дерев визначалася за допомогою показників розміру крони та відсоткового показнику відсутньої крони. У тих випадках, коли такі змінні не було зібрано, вони розраховувалися відповідно до моделі.

Аналіз інвазійних видів для досліджень за межами США недоступний.

Зниження рівня забруднення повітря:

Зниження рівня забруднення повітря визначається стосовно озону, двоокису сірки, двоокису азоту, монооксиду вуглецю та твердих частинок менше 2,5 мікрон. Ще одним значним забруднювачем повітря є тверді частинки менше 10 мікрон (PM10). Оскільки комплекс i-Tree Eco аналізує тверді частинки розміром менше 2,5 мікрон (PM2.5), що входить до PM10, то PM10 в цей аналіз включено не було. Частинки PM2.5 зазвичай є більш актуальними для визначення впливу забруднення повітря на здоров'я населення.

Зниження рівня забруднення повітря визначалося за розрахунковою погодинною резистентністю крони дерев до озону, двоокисів сірки та азоту відповідно до гібридних моделей осадження частинок для крони дерев з великими листками та багаточарової крони (Baldocchi, 1988; Baldocchi et al., 1987). Оскільки усунення монооксиду вуглецю та твердих частинок рослинністю не пов'язане напряму із транспірацією, швидкість усунення (швидкість осадження частинок) цих забруднювачів визначалася за середніми показниками відповідно до наукових джерел (Bidwell and Fraser, 1972; Lovett, 1994), скоригованими залежно від фенології листка та листкової поверхні.

Видалення твердих частинок включало 50-відсоткову швидкість ресуспендування частинок назад в атмосферу (Zinke, 1967). Результати нещодавніх (2011 р.) оновлень моделювання якості повітря базуються на уточнених результатах моделювання показника листової поверхні, метеорологічних даних, інтерполяції та процесу забруднення, а також уточнених даних щодо грошової вартості забруднювачів (Hirabayashi et al., 2011; Hirabayashi et al., 2012; Hirabayashi, 2011).

Дерева видаляють PM_{2.5}, коли тверді частинки осідають на поверхні листка (Nowak et al., 2013). Ті частинки PM_{2.5}, що осіли, можуть повторно піднятися в атмосферу, або бути змитими під час опадів та розчинитися або перейти у ґрунт. Така комбінація факторів може призвести до позитивного або негативного усунення забруднення та показника цінності залежно від різноманітних атмосферних факторів. В цілому, видалення PM_{2.5} є позитивним. Однак у певних випадках видалення може бути негативним, або ресуспендування частинок може призводити до зростання концентрації забруднення та негативних показників. У певні місяці (наприклад, під час відсутності опадів) дерева ресуспендують більше часток, ніж видаляють. Ресуспендування також може призвести до загального збільшення концентрації PM_{2.5}, якщо стан граничного шару є нижчим протягом періодів чистого ресуспендування порівняно із періодами чистого видалення. Оскільки показник видалення забруднення базується на змінах рівня концентрації забруднення, може статися ситуація, коли дерева видаляють PM_{2.5}, однак при цьому підвищується рівень концентрації і, таким чином, з'являються негативні показники протягом періодів загального позитивного видалення. Такі випадки не є поширеними, однак можливі.

Для міжнародних звітів використовуються локальні показники рівня забруднення, визначені користувачем. Для міжнародних звітів, щодо яких локальні показники недоступні, розрахунки здійснюються або на основі середньозважених європейських показників вартості впливу (van Essen et al., 2011), або на основі регресійних рівнянь BenMAP (Nowak et al., 2014).

Вони містять задані користувачем розрахунки чисельності населення. Після цього показники конвертуються у місцеву валюту за визначеним користувачем курсом.

Для цього аналізу вартість зниження забруднення розраховувалася на основі наступних цін: 0 грн. за т для CO; 170 540 грн. за т для O₃; 25 452 грн. за т для NO₂; 9 269 грн. за т для SO₂; 5 922 760 грн. за т для PM2.5; 0 грн. за тонну для PM10.

Поглинання та зберігання вуглецю:

Запаси вуглецю – це кількість вуглецю, що зберігається у надземних та підземних частинах дерев'янистої рослинності. Для визначення поточного обсягу запасів вуглецю проводилися розрахунки обсягу біомаси кожного дерева з використанням рівнянь з наукових джерел та результатів вимірювань. Дерева, що ростуть на відкритих ділянках та доглядаються, зазвичай мають меншу біомасу, аніж та, яка прогнозується рівняннями для лісної рослинності (Nowak, 1994). Щоби скоригувати цю розбіжність, показники біомаси для дерев, що ростуть на відкритих ділянках у містах, було помножено на 0,8. Щодо дерев, які ростуть у природних умовах, коригування не застосовувалося. Показник запасів вуглецю було отримано у результаті множення сухої ваги біомаси дерева на 0,5.

Поглинання вуглецю – це уловлювання вуглекислого газу з повітря деревами. Загальний річний обсяг вловленого вуглецю розраховується шляхом додавання середнього збільшення діаметру стовбуру відповідного виду, класу діаметру та стану дерева до поточного діаметру дерева (рік x) для визначення діаметру стовбуру дерева та обсягів запасів вуглецю для року $x+1$.

Показники вартості зберігання та поглинання вуглецю базуються на розрахункових або скоригованих локальних показниках вартості вуглецю. Для міжнародних звітів, для яких локальні показники вартості відсутні.

Розрахунки базуються на вартості вуглецю для США (U.S. Environmental Protection Agency 2015, Interagency Working Group on Social Cost of Carbon 2015) та конвертуються у місцеву валюту за визначеним користувачем курсом. Для цілей цього дослідження показники вартості зберігання та поглинання вуглецю визначаються за курсом 5 255 грн. за метричну тонну.

Продукування кисню:

Обсяг виробленого кисню у зв'язку із поглинанням вуглецю розраховується за атомною масою: чистий обсяг виділеного O₂ (кг/рік) = чистий обсяг вловленого C (кг/рік) × 32/12. Для визначення чистої швидкості поглинання вуглецю від обсягу вуглецю, вловленого в результаті росту дерева, віднімається кількість, втрачена у результаті загибелі дерева. Таким чином, чисте поглинання вуглецю та чисте річне вироблення кисню зеленими масивами міста визначається з урахуванням розкладу (Nowak et al., 2007). При проведенні повної інвентаризації обсяг вироблення кисню визначається за загальним обсягом уловлювання вуглецю без урахування розкладу.

Запобігання поверхневим стокам:

Показник річного обсягу запобігання поверхневим стокам визначається за кількістю перехоплених опадів рослинністю, зокрема, різницею між річним обсягом поверхневих стоків за наявності рослинності та за її відсутності. Хоча листя, гілки та кора дерев може перехоплювати опади і таким чином перешкоджати формуванню поверхневих стоків, для цілей цього дослідження враховуються лише опади, перехоплені листям.

Вартість запобігання поверхневим стокам визначається за розрахунковими або за заданими користувачем показниками.

Для міжнародних звітів, для яких відсутні локальні показники, використовується середній показник для США та конвертується у місцеву валюту за визначеним користувачем курсом. Показник запобігання поверхневим стокам базується на серії Посібників Служби охорони лісу США щодо поводження з деревами у громадах (McPherson et al., 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Peper et al., 2009; 2010; Vargas et al., 2007a; 2007b; 2008). У цьому дослідженні вартість запобігання поверхневим стокам визначається за ставкою 68,68 грн./м³.

Відновна вартість:

Відновна вартість — це вартість дерева на основі його фізичного ресурсу (наприклад, вартість заміни дерева подібним деревом). Відновна вартість базувалася на процедурах оцінки Ради оцінювачів дерев і ландшафтів (Council of Tree and Landscape Appraisers), яка використовує інформацію про види дерев, їх діаметр, стан і розташування (Nowak et al., 2002a; 2002b). Відновна вартість може не бути включена для міжнародних проектів, якщо недостатньо локальних даних для завершення процедур оцінки.

Потенційний вплив шкідників:

Повний аналіз потенційного ризику шкідників недоступний для досліджень за межами США. Програма i-Tree Eco аналізує кількість дерев, яким загрожують потенційні шкідники, хоча список шкідників базується на відомих комах і хворобах у США. Для США потенційний ризик шкідників базується на картах поширення шкідників і відомих видах їх хазяїнів, які, ймовірно, зазнають ураження. Для даного дослідження всі запропоновані види потенційних шкідників програмою i-Tree Eco були проаналізовані на ймовірність поширення на досліджуваній ділянці за допомогою Global Biodiversity Information Facility (gbif.org).

Відносний вплив дерев:

Відносна вартість позитивного впливу дерев, наведена у Додатку II, визначається з метою продемонструвати, що поглинання та зберігання вуглецю, а також видалення забруднювачів повітря є кількісно еквівалентним обсягам викидів від легкових автомобілів та викидів від домогосподарств.

Показники викидів легкових автомобілів (г/миль) (CO, NO_x, VOCs, PM₁₀, SO₂ за 2010 рік (Bureau of Transportation Statistics, 2010), PM_{2.5} за 2011–2015 рр. (California Air Resources Board, 2013) та CO₂ за 2011 рік (U.S. Environmental Protection Agency, 2010)) було помножено на середній показник пробігу станом на 2011 рік (Federal Highway Administration, 2013) для визначення середнього показника викидів від одного автомобіля.

Викиди домогосподарств було визначено за середніми показниками споживання електроенергії (кВт/год.), споживання природного газу (британські термальні одиниці (Btu)), споживання паливно-мастильних матеріалів (Btu), споживання керосину (Btu), споживання скрапленого газу (Btu) та споживання деревини (Btu) одним домогосподарством станом на 2009 рік (Energy Information Administration, 2013; 2014).

Показники викидів CO₂, SO₂ та NO_x на електростанціях (кВт/год.) наведено за даними Leonardo Academy (2011). Показник викидів CO (кВт/год.) визначено за припущенням, що 1/3 одного відсотку викидів C становить CO (Energy Information Administration, 1994). Показник викидів PM₁₀ (кВт/год) обраховано за даними Layton (2004). Показники викидів CO₂, NO_x, SO₂ та CO (Btu) для природного газу, пропану та бутану (середні значення для скрапленого газу), Палива №4 та №6 (середнє значення для ПММ та керосину) за даними Leonardo Academy (2011). Показник викидів CO₂ (Btu) з деревини за даними Energy Information Administration (2014). Показники викидів CO, NO_x та SO_x (Btu) базуються на загальних обсягах викидів та спалювання деревини (в тонах) за даними (British Columbia Ministry, 2005; Georgia Forestry Commission, 2009).

Додаток II. Відносний вплив дерев

Досліджувана ділянка парку “Феофанія” надає низку вигід, до яких відносяться поглинання та зберігання вуглецю, а також зниження рівня забруднення повітря. З метою оцінки відносної вартості цих переваг їх було порівняно із розрахунковими середніми показниками викидів від легкових автомобілів та викидів від домогосподарств. Опис методики наведено у Додатку I.

Зберігання вуглецю дерев досліджуваної ділянки еквівалентне:

- Річній емісії вуглецю (C) від 24 автомобілів
- Річній емісії вуглецю (C) з 10 односімейних домогосподарств.

Видалення діоксиду азоту еквівалентне 1 автомобілю, а діоксиду сірки – 18 автомобілям.

Додаток III. Вартість та вигоди окремих дерев на досліджуваній ділянці у парку “Феофанія”

№ Дерева	Назва виду	ДВН (см)	Відновна вартість (грн)	Зберігання вуглецю		Секвестрація вуглецю		Затримка стоку		Видалення забрудників		Сумарні річні послуги (грн/рік)
				(кг)	(грн)	(кг/рік)	(грн/рік)	(м ³ /рік)	(грн/рік)	(г/рік)	(грн/рік)	
1	Prunus avium	15,0	16 747,64	57,1	315,35	5,9	32,42	0,2	15,74	56,0	10,96	59,12
2	Quercus robur	83,0	310 936,64	2 139,6	11 822,69	37,2	205,43	4,0	275,70	981,5	192,01	673,15
3	Pinus nigra	11,0	7 015,04	12,0	66,33	1,6	8,66	0,0	2,41	8,6	1,68	12,76
4	Quercus robur	94,0	384 926,49	2 743,7	15 160,61	40,0	220,93	2,5	169,02	601,7	117,72	507,67
5	Quercus robur	68,0	240 188,99	1 436,9	7 939,59	34,0	187,94	1,2	80,72	287,4	56,22	324,89
6	Phellodendron amurense	18,0	19 013,77	57,8	319,11	3,4	18,62	0,7	46,43	165,3	32,34	97,39
7	Quercus robur	8,0	4 888,91	22,1	121,97	4,2	23,08	1,6	113,01	402,3	78,71	214,80
8	Pinus nigra	11,0	7 015,04	15,0	83,08	1,7	9,23	0,3	18,01	64,1	12,54	39,78
9	Liriodendron tulipifera	45,0	103 136,60	545,1	3 012,16	23,9	131,81	3,9	264,85	942,9	184,45	581,10
10	Tilia cordata	65,4	225 536,34	1 259,1	6 957,33	28,1	155,17	11,0	755,08	2 688,2	525,88	1 436,13
11	Acer platanoides	17,0	19 111,79	82,9	458,16	8,2	45,35	1,1	72,76	259,0	50,67	168,78
12	Quercus robur	76,0	267 564,77	1 435,4	7 931,66	48,7	268,96	2,1	145,03	516,3	101,00	514,98
13	Quercus robur	98,0	457 877,50	2 385,6	13 181,81	60,9	336,67	2,8	189,24	673,7	131,79	657,69
14	Acer platanoides	13,0	14 445,51	42,9	236,80	5,6	31,11	0,5	37,66	134,1	26,23	95,00
15	Acer platanoides	26,0	34 160,56	223,0	1 231,98	11,3	62,31	1,3	91,34	325,2	63,61	217,26
16	Carpinus betulus	17,0	20 456,75	80,8	446,20	5,2	28,96	2,2	149,27	531,4	103,96	282,18
17	Acer platanoides	11,0	3 638,88	31,2	172,55	1,9	10,41	0,2	15,27	54,3	10,63	36,31
18	Acer platanoides	31,0	42 784,13	349,0	1 928,55	17,7	97,58	2,6	176,39	628,0	122,84	396,81
19	Acer platanoides	31,0	42 784,13	323,0	1 784,93	16,6	91,98	1,6	110,85	394,6	77,20	280,03
20	Quercus robur	78,0	307 457,17	1 511,9	8 354,09	55,7	307,98	2,3	161,17	573,8	112,25	581,40
21	Tilia cordata	94,6	393 525,18	2 402,2	13 273,38	55,5	306,91	7,7	530,53	1 888,7	369,49	1 206,93
22	Pinus sylvestris	73,2	222 624,63	894,0	4 940,14	34,4	189,86	6,7	456,90	1 626,6	318,20	964,96
23	Quercus robur	110,2	513 282,94	3 016,0	16 665,51	47,2	260,81	5,1	349,51	1 244,3	243,41	853,73
24	Acer platanoides	8,0	0,00	14,2	78,74	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
25	Acer platanoides	15,6	4 145,82	75,9	419,59	1,5	8,14	0,2	13,34	47,5	9,29	30,77
26	Acer platanoides	21,7	24 761,63	164,3	907,73	11,7	64,61	1,2	81,77	291,1	56,95	203,32
27	Tilia cordata	32,5	48 207,65	241,7	1 335,78	6,8	37,57	2,0	136,79	487,0	95,27	269,62
28	Acer platanoides	15,2	0,00	76,2	421,28	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,00
29	Prunus avium	28,9	35 222,49	281,8	1 557,19	14,8	81,93	0,6	42,72	152,1	29,75	154,41
30	Tilia cordata	19,7	4 660,47	74,2	410,25	0,8	4,18	0,1	6,98	24,9	4,86	16,03

№ Дерева	Назва виду	ДВН (см)	Відновна вартість (грн)	Зберігання вуглецю		Секвестрація вуглецю		Затримка стоку		Видалення забрудників		Сумарні річні послуги (грн/рік)
				(кг)	(грн)	(кг/рік)	(грн/рік)	(м ³ /рік)	(грн/рік)	(г/рік)	(грн/рік)	
31	Tilia cordata	21,3	12 965,29	89,3	493,20	2,1	11,53	0,2	15,78	56,2	10,99	38,29
32	Acer platanoides	36,6	63 222,44	493,2	2 725,14	23,8	131,62	1,3	89,93	320,2	62,63	284,19
33	Carpinus betulus	35,3	51 060,40	414,9	2 292,63	10,8	59,65	2,6	181,67	646,7	126,52	367,84
34	Acer platanoides	12,7	4 920,24	47,5	262,66	1,7	9,12	0,2	10,83	38,6	7,54	27,50
35	Tilia cordata	16,8	4 804,64	51,0	281,82	0,8	4,37	0,0	2,89	10,3	2,01	9,27
36	Tilia cordata	23,5	15 145,63	112,5	621,85	2,4	13,17	0,4	29,71	105,8	20,69	63,57
37	Quercus robur	90,7	363 220,05	2 043,7	11 292,54	58,0	320,54	1,9	129,30	460,3	90,05	539,90
38	Quercus robur	61,4	156 455,92	1 171,9	6 475,43	19,2	105,91	0,8	54,26	193,2	37,79	197,96
39	Tilia cordata	17,8	5 205,57	58,5	322,99	0,9	4,72	0,1	6,33	22,5	4,41	15,46
40	Acer platanoides	23,2	27 238,25	177,2	979,19	12,0	66,31	1,2	79,99	284,8	55,71	202,01
41	Acer platanoides	15,2	10 444,62	73,4	405,57	3,8	20,99	0,0	3,27	11,6	2,27	26,54
42	Tilia cordata	32,8	39 456,29	247,0	1 365,04	5,5	30,58	1,5	101,93	362,9	70,99	203,50
43	Acer platanoides	20,7	19 202,06	137,0	757,19	6,7	37,15	0,4	24,07	85,7	16,76	77,98
44	Acer platanoides	28,9	35 965,51	282,3	1 559,65	14,6	80,64	0,5	32,51	115,7	22,64	135,78
45	Acer platanoides	18,4	21 038,97	109,0	602,56	7,6	42,27	0,9	59,23	210,9	41,25	142,75
46	Acer platanoides	12,4	11 594,27	44,2	244,20	3,8	21,26	0,1	5,93	21,1	4,13	31,31
47	Tilia cordata	17,8	9 937,91	58,5	322,99	2,1	11,51	0,1	8,00	28,5	5,57	25,08
48	Quercus robur	74,2	255 328,75	1 710,4	9 451,07	33,3	183,75	1,1	77,55	276,1	54,01	315,30
49	Tilia cordata	24,5	14 278,02	124,2	686,06	2,8	15,59	0,8	57,42	204,4	39,99	113,01
50	Carpinus betulus	18,7	21 050,67	99,4	549,22	5,4	30,02	1,2	83,25	296,4	57,98	171,25
51	Quercus robur	59,9	139 481,48	1 115,4	6 163,50	22,2	122,77	0,8	58,06	206,7	40,43	221,26
52	Acer platanoides	24,8	33 517,81	200,7	1 108,98	14,3	79,01	1,6	109,16	388,6	76,02	264,20
	Сума		5 091 652	30 856	170 498	838	4 631	83	5 730	20 398	3 990	14 351

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. 2000. Global climate change and the urban forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press. 77 p.
2. Baldocchi, D. 1988. A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy. *Atmospheric Environment*. 22: 869–884.
3. Baldocchi, D.D.; Hicks, B.B.; Camara, P. 1987. A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces. *Atmospheric Environment*. 21: 91–101.
4. Bidwell, R.G.S.; Fraser, D.E. 1972. Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves. *Canadian Journal of Botany*. 50: 1435–1439.
5. British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. Residential wood burning emissions in British Columbia. British Columbia.
6. Broecker, W.S. 1970. Man's oxygen reserve. *Science* 168(3939): 1537–1538.
7. Bureau of Transportation Statistics. 2010. Estimated National Average Vehicle Emissions Rates per Vehicle by Vehicle Type using Gasoline and Diesel. Washington, DC: Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation. Table 4-43.
8. California Air Resources Board. 2013. Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.
9. Ciesla, W. M. 2001. *Tomicus piniperda*. North American Forest Commission. Exotic Forest Pest Information System for North America (EXFOR).
10. Energy Information Administration. 1994. Energy Use and Carbon Emissions: Non-OECD Countries. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
11. Energy Information Administration. 2013. CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
12. Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.

13. Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.
14. Georgia Forestry Commission. 2009. Biomass Energy Conversion for Electricity and Pellets Worksheet. Dry Branch, GA: Georgia Forestry Commission.
15. Hirabayashi, S. 2011. Urban Forest Effects-Dry Deposition (UFORE-D) Model Enhancements, http://www.itreetools.org/eco/resources/UFORE-D_enhancements.pdf
16. Hirabayashi, S. 2012. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions, http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf
17. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2011. Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modeling and Software*. 26(6): 804-816.
18. Hirabayashi, S.; Kroll, C.; Nowak, D. 2012. i-Tree Eco Dry Deposition Model Descriptions V 1.0
19. Honcharenko I.V., Ihnatyuk O.A., Shelyah-Sosonko Yu.R. *Ekolohiya ta noosferolohiya (Ecology and Noosferology)*, 2013, 24(3-4): 51-63. [Гончаренко І.В., Ігнатюк О.А., Шеляг-Сосонко Ю.Р. Лісова рослинність урочища Феофанія та її антропогенна трансформація // Екологія та ноосферологія. – 2013. – Т. 24, № 3-4. – С. 51-63].
20. Layton, M. 2004. 2005 Electricity Environmental Performance Report: Electricity Generation and Air Emissions. CA: California Energy Commission.
21. Leonardo Academy. 2011. Leonardo Academy's Guide to Calculating Emissions Including Emission Factors and Energy Prices. Madison, WI: Leonardo Academy Inc.
22. Lovett, G.M. 1994. Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*. 4: 629-650.
23. McPherson, E.G.; Maco, S.E.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; VanDerZanden, A.M.; Bell, N. 2002. *Western Washington and Oregon Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting*. International Society of Arboriculture, Pacific Northwest, Silverton, OR.

24. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Crowell, A.M.N.; Xiao, Q. 2010. Northern California coast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-228. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-228. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
25. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Maco, S.E.; Xiao, Q. 2006a. Coastal Plain Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting PSW-GTR-201. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
26. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2007. Northeast community tree guide: benefits, costs, and strategic planting.
27. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Cozad, S.K.; Xiao, Q. 2006b. Midwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting PSW-GTR-199. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
28. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Gardner, S.L.; Vargas, K.E.; Xiao, Q. 2006c. Piedmont Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting PSW-GTR 200. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
29. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Maco, S.E.; Xiao Q.; Mulrean, E. 2004. Desert Southwest Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting. Phoenix, AZ: Arizona Community Tree Council, Inc. 81 :81.
30. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Scott, K.I.; Xiao, Q. 2000. Tree Guidelines for Coastal Southern California Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.
31. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Maco, S.E.; Hoefler, P.J. 2003. Northern Mountain and Prairie Community Tree Guide: Benefits, Costs and Strategic Planting. Center for Urban Forest Research, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
32. McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Xiao, Q.; Pittenger, D.R.; Hodel, D.R. 2001. Tree Guidelines for Inland Empire Communities. Local Government Commission, Sacramento, CA.
33. Netsvetov M.V., Prokopuk Yu.S. Age and radial growth of age-old trees of *Quercus robur* in Feofania Park. Ukr. Bot. J., 2016, 73(2): 126–133. [Нецветов М.В., Прокопук Ю.С. Вік і радіальний приріст старовікових дерев *Quercus robur* парку «Феофанія». — Укр. ботан. журн. — 2016. — 73(2): 126–133].

34. Northeastern Area State and Private Forestry. 2005. Gypsy moth digest. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
35. Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.
36. Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 193:119-129.
37. Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM_{2.5} removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. 178: 395-402.
38. Nowak, D.J.; Crane, D.E. 2000. The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions. In: Hansen, M.; Burk, T., eds. Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. Proceedings of IUFRO conference. Gen. Tech. Rep. NC-212. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.
39. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28(4): 194 - 199.
40. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Hoehn, R.E. 2005. The urban forest effects (UFORE) model: field data collection manual. V1b. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station, 34 p. http://www.fs.fed.us/ne/syracuse/Tools/downloads/UFORE_Manual.pdf
41. Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Ibarra, M. 2002b. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 107 p.
42. Nowak, D.J.; Dwyer, J.F. 2000. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: Kuser, John, ed. Handbook of urban and community forestry in the northeast. New York, NY: Kluwer Academics/Plenum: 11-22.
43. Nowak, D.J.; Hoehn, R.; Crane, D. 2007. Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33(3):220-226.

44. Nowak, D.J.; Hoehn, R.E.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Walton, J.T; Bond, J. 2008. A ground-based method of assessing urban forest structure and ecosystem services. *Arboriculture and Urban Forestry*. 34(6): 347-358.
45. Nowak, D.J.; Stevens, J.C.; Sisinni, S.M.; Luley, C.J. 2002c. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture*. 28(3): 113-122.
46. Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Albers, S.N.; Xiao, Q. 2010. Central Florida community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-230. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
47. Peper, P.J.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Vargas, K.E.; Xiao Q. 2009. Lower Midwest community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-219. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-219. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
48. U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-420- R-10-012a
49. van Essen, H.; Schroten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. External Costs of Transport in Europe. Netherlands: CE Delft. 161 p.
50. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007a. Interior West Tree Guide.
51. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2007b. Temperate Interior West Community Tree Guide: Benefits, Costs, and Strategic Planting.
52. Vargas, K.E.; McPherson, E.G.; Simpson, J.R.; Peper, P.J.; Gardner, S.L.; Xiao, Q. 2008. Tropical community tree guide: benefits, costs, and strategic planting. PSW-GTR-216. Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-216. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
53. Zinke, P.J. 1967. Forest interception studies in the United States. In: Sopper, W.E.; Lull, H.W., eds. *Forest Hydrology*. Oxford, UK: Pergamon Press: 137-161.