



Звіт i-Tree Eco

Система аналізу екосистем

Ділянка «Совські ставки»
Голосіївського району
міста Києва

Вплив та цінність міських зелених зон
2021

Переклад з англійської



Анотація

Розуміння структури, функції та цінності зелених зон у місті сприяє прийняттю управлінських рішень, що дозволять покращити якість життя населення та стан довкілля. Аналіз даних щодо структури, функцій та цінності зелених насаджень (70 дерев), розташованих на території Голосіївського району, проводився у 2021 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 “Урочище Совки” (Голосіївський район) у березні 2021 та автоматично згенерованих результатів аналізу польових даних у програмному додатку i-Tree Eco v.6.0.22. Вихідні дані:

- Кількість дерев: 70
- Лісовкрита площа: 3 866 кв. м.
- Найпоширеніші види дерев: Клен ясенелистий (Ash-leaved maple), тополя біла (White poplar), тополя чорна (Black poplar)
- Відсоток дерев зі стовбуром менше 15,2 см в діаметрі: 12,9%
- Зберігання вуглецю: 60,43 метричні тони (318 тис. грн.)
- Поглинання вуглецю: 1,82 метричні тони (9,56 тис. грн./рік)
- Продуктування кисню: 4,853 метричні тони/рік
- Запобігання поверхневим стокам: 84,25 кубічних метрів/рік (5,56 тис. грн./рік)

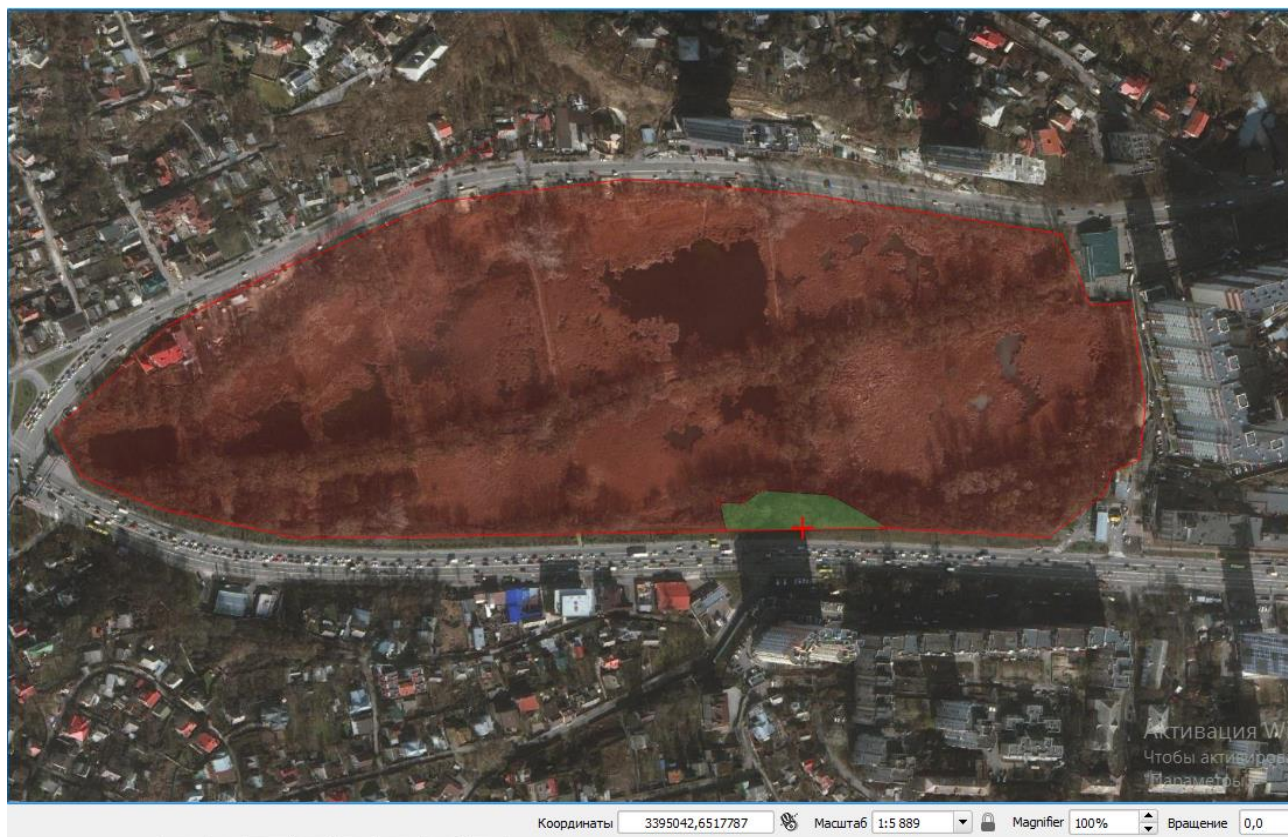
Опис методології, що використовується у системі i-Tree Eco, наведено у Додатку I.

Метрична тонна: 1000 кг

Грошова цінність (Н) зазначена у гривнях (якщо окремо не зазначено інше)

Результати оцінки екосистемних послуг наведено стосовно дерев.

-
- ☐ Даний звіт адаптовано та перекладено з англійської ГО «Український екологічний клуб «Зелена Хвиля» у рамках проєкту «Можливості прозорості, партисипативної та дієвої інвентаризації зелених зон Києва задля адаптації міста до зміни клімату» за фінансової підтримки Міжнародного фонду «Відродження» та Посольства Швеції в Україні в межах Ініціативи з розвитку екологічної політики й адвокації в Україні.
 - ☐ Зміст звіту не обов'язково відображає погляди Уряду Швеції. Відповідальність за зміст несе виключно ГО УЕК «Зелена Хвиля».



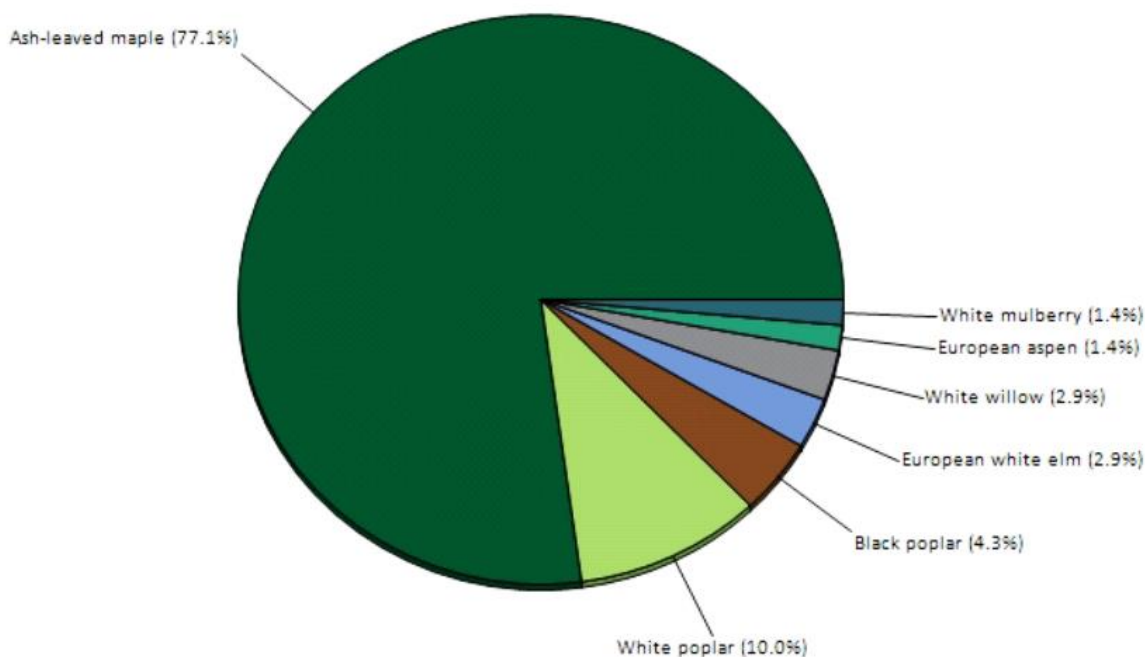
Мал. 1. Межі досліджуваної території у парку “Урочище Совки” (виділені червоним)



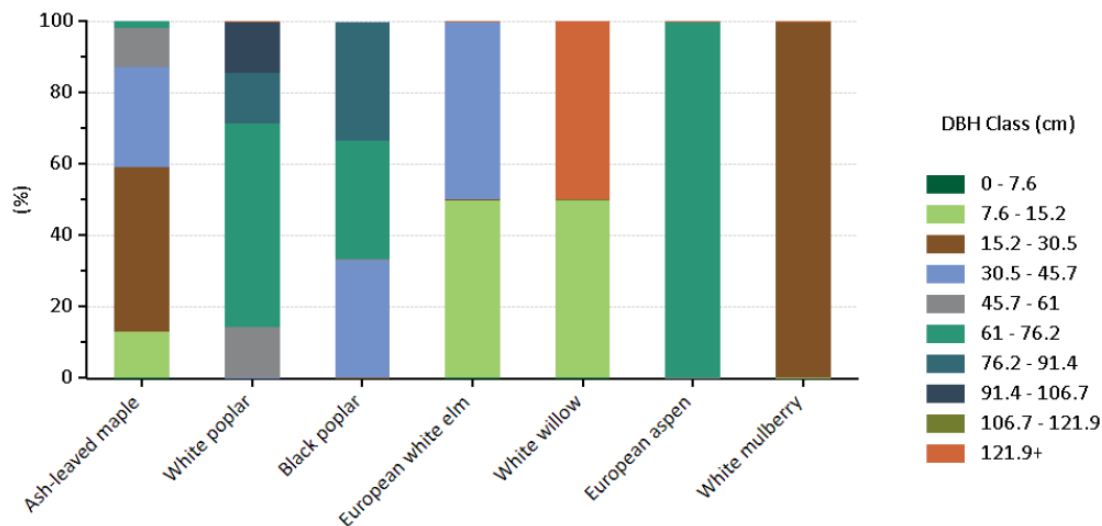
Мал. 2. Межі досліджуваної території та точки розташування дерев

I. Характеристики досліджуваних дерев території

Досліджувана територія Голосіївського району нараховувала 70 одиниць дерев. Найпоширенішими видами тут є клен ясенелистий (Ash-leaved maple) (77,1%), тополя біла (White poplar) (10,0%) та тополя чорна (Black poplar) (4,3%).



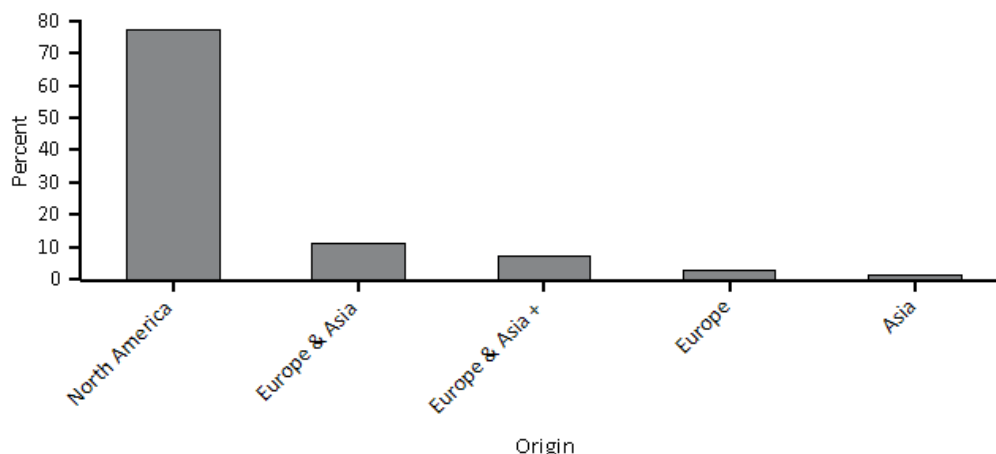
Мал. 3. Склад зелених зон досліджуваної території Голосіївського району за видами дерев
 клен ясенелистий (Ash-leaved maple) (77,1%), тополя біла (White poplar) (10,0%), тополя чорна (Black poplar) (4,3%), верба біла (White willow) (2,9%), в'яз гладкий (European white elm) (2,9%), осика (European aspen) (1,4%), шовковиця біла (White mulberry) (1,4%)



Мал. 4. Відсоткові показники популяції дерев за категоріями діаметру стовбуру на висоті 1,37 м

Міські зелені масиви складаються як з нативних, так і з екзотичних видів дерев. Тому різноманіття видів дерев у міських зелених масивах є часто вищим порівняно із навколишніми природними зеленими зонами. Різноманіття видів дерев може мінімізувати загальний негативний вплив, спричинений пошкодженням специфічними для виду хворобами або комахами, однак при цьому може створювати ризики для нативних видів рослин, якщо певні інтродуковані види відносяться до інвазійних, що потенційно можуть витіснити

нативні види та замінити їх. На досліджуваній території Голосіївського району приблизно 3% дерев відносяться до видів, що є нативними для Європи. Більшість видів дерев (77%) походять з Північної Америки.



Мал. 5. Відсоток популяції живих дерев за ареалом природного походження, Голосіївський район

Позначкою «плюс» (+) позначено види дерев, що є походять із іншого континенту, аніж ті, що наведені у виборці.

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

Таблиця 1. Стан крони досліджуваних дерев за видами

Crown Health of Trees by Species

Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine

Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018

Generated: 4/22/2021



Species	Excellent		Good		Fair		Poor		Critical		Dying		Dead	
	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE
Ash-leaved maple	3.7	0.0	35.2	0.0	25.9	0.0	27.8	0.0	3.7	0.0	3.7	0.0		
White mulberry									100.0	0.0				
White poplar			28.6	0.0	28.6	0.0	42.9	0.0						
Black poplar					66.7	0.0	33.3	0.0						
European aspen					100.0	0.0								
White willow							100.0	0.0						
European white elm	50.0	0.0	50.0	0.0										
Total	4.3	0.0	31.4	0.0	27.1	0.0	30.0	0.0	4.3	0.0	2.9	0.0		

Таблиця 2. Стан досліджуваних дерев за видами

Condition of Trees by Species

Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine

Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018

Generated: 4/22/2021



Species	Excellent		Good		Fair		Poor		Critical		Dying		Dead	
	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE	%	SE
Ash-leaved maple	3.7	0.0	35.2	0.0	25.9	0.0	27.8	0.0	3.7	0.0	3.7	0.0		
White mulberry									100.0	0.0				
White poplar			28.6	0.0	28.6	0.0	42.9	0.0						
Black poplar					66.7	0.0	33.3	0.0						
European aspen					100.0	0.0								
White willow							100.0	0.0						
European white elm	50.0	0.0	50.0	0.0										
Total	4.3	0.0	31.4	0.0	27.1	0.0	30.0	0.0	4.3	0.0	2.9	0.0		

II. Покриття зеленими зонами та листкова площа

Дуже часто цінність дерева напряду пов'язана із площею його здорової листкової поверхні. Деревна покривають близько 3 866 квадратних метрів площі досліджуваної території Голосіївського району та забезпечують 1 924 гектари листкової площі.

На досліджуваній території Голосіївського району за листковою площею домінуючими є клен ясенелистий (Ash-leaved maple), тополя біла (White poplar) та тополя чорна (Black poplar). У таблиці 3 наведено 7 видів дерев, що мають найвищі показники впливу. Показники впливу визначаються як сума відсоткової частки популяції та відсоткової частки листкової площі. Високі показники впливу не обов'язково означають, що необхідно сприяти поширенню цих видів дерев у майбутньому – скоріше, що наразі вони є домінуючими у структурі зеленого масиву.

Таблиця 3. Основні види дерев на досліджуваній території Голосіївського району

Найменування виду	Відсоткова частка популяції	Відсоткова частка листкової площі	Показник впливу
Клен ясенелистий (Ash-leaved maple)	77,1	52,6	129,7
Тополя біла (White poplar)	10,0	25,7	35,7
Тополя чорна (Black poplar)	4,3	6,2	10,5
Верба біла (White willow)	2,9	7,4	10,3
В'яз гладкий (European white elm)	2,9	3,9	6,8
Осика (European aspen)	1,4	3,5	5,0
Шовковиця біла (White mulberry)	1,4	0,6	2,0

За розрахунками, у 2020 році дерева, що ростуть на досліджуваній території Голосіївського району, виділили 17,83 кг летких органічних сполук (14,69 кг ізопрену та 3,148 кг монотерпенів). Структура викидів залежить від характеристик виду (наприклад, певні роди, такі як дуби, викидають велику кількість ізопропену) та обсягу листкової біомаси. Джерелом сімдесяти двох відсотків летких органічних сполук, що виділялися зеленим масивом, були тополя біла (White poplar) та тополя чорна (Black poplar). Ці леткі органічні сполуки сприяють збереженню озонового шару.¹

Structure Summary by Species

Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine

Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018

Generated: 4/22/2021



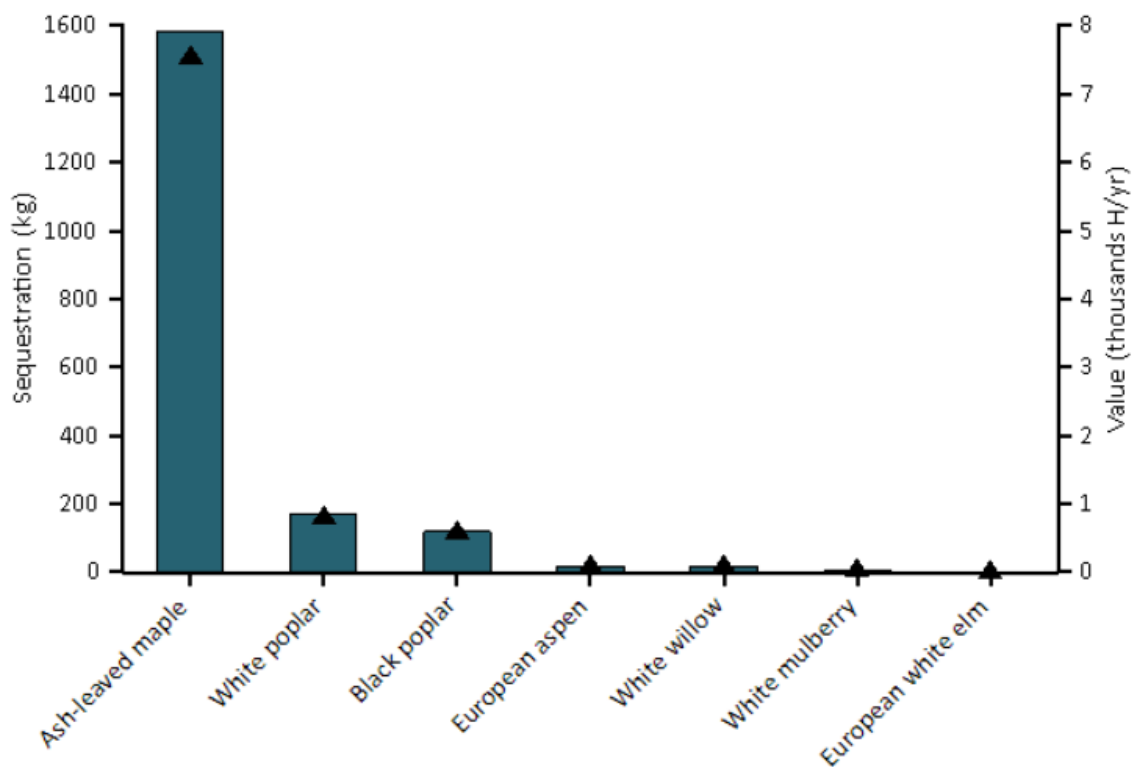
Species	Trees		Leaf Area (ha)		Leaf Biomass (metric ton)		Tree Dry Weight Biomass (metric ton)		Average Condition (%)
	Number	SE		SE		SE		SE	
Ash-leaved maple	54	±0	1.012	±0.000	0.569	±0.000	69.330	±0.000	77.56
White poplar	7	±0	0.494	±0.000	0.429	±0.000	23.188	±0.000	77.36
Black poplar	3	±0	0.120	±0.000	0.087	±0.000	8.890	±0.000	75.83
White willow	2	±0	0.143	±0.000	0.091	±0.000	15.027	±0.000	62.50
European white elm	2	±0	0.075	±0.000	0.051	±0.000	1.278	±0.000	97.00
White mulberry	1	±0	0.012	±0.000	0.009	±0.000	0.264	±0.000	37.50
European aspen	1	±0	0.068	±0.000	0.049	±0.000	2.874	±0.000	82.50
Study Area	70	±0	1.924	±0.000	1.285	±0.000	120.851	±0.000	77.09

¹ У рамках деяких економічних досліджень було визначено вартість викидів летких органічних сполук. Ці розрахунки не наведено тут з огляду на тенденцію додавати позитивні розрахунки (у доларах) впливу видалення озону разом із негативними доларовими показниками впливу викидів летких органічних сполук з метою визначення того, позитивний чи негативний вплив мають дерева по відношенню до озону. Недоцільно сумувати доларові показники для визначення впливу дерев; скоріше, має сенс провести розрахунок впливу летких органічних сполук на формування озонового шару (наприклад, за допомогою фотохімічних моделей) та порівняти результати із даними щодо видалення озону деревами (тобто вплив на озон необхідно порівняти напряду, без наведення доларових розрахунків). Окрім цього, доведено, що зниження температури повітря завдяки деревам значно зменшує рівень концентрації озону (Cardelino and Chameides 1990; Nowak et al 2000), однак ці дані не фігурують у цьому дослідженні. Для визначення загального впливу дерев на концентрацію озону можна застосувати метод фотохімічного моделювання, що поєднує показники впливу дерев на температуру повітря, рівень забруднення, викиди летких органічних сполук та викиди електростанцій.

III. Поглинання та зберігання вуглецю

Зміна клімату є проблемою глобального масштабу. Зелені зони міста сприяють протидії зміні клімату шляхом поглинання вуглецю з атмосфери (з вуглекислого газу) та, зрештою, шляхом впливу на викиди вуглекислого газу з джерел генерації електроенергії, 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 покращення стану здоров'я дерев. Сумарний обсяг вуглецю, вловленого деревами досліджуваної території Голосіївського району, становить 1,82 метричні тони на рік (що в грошовому еквіваленті становить 9,56 тис. грн.) Детальний опис методики наведено у Додатку І.

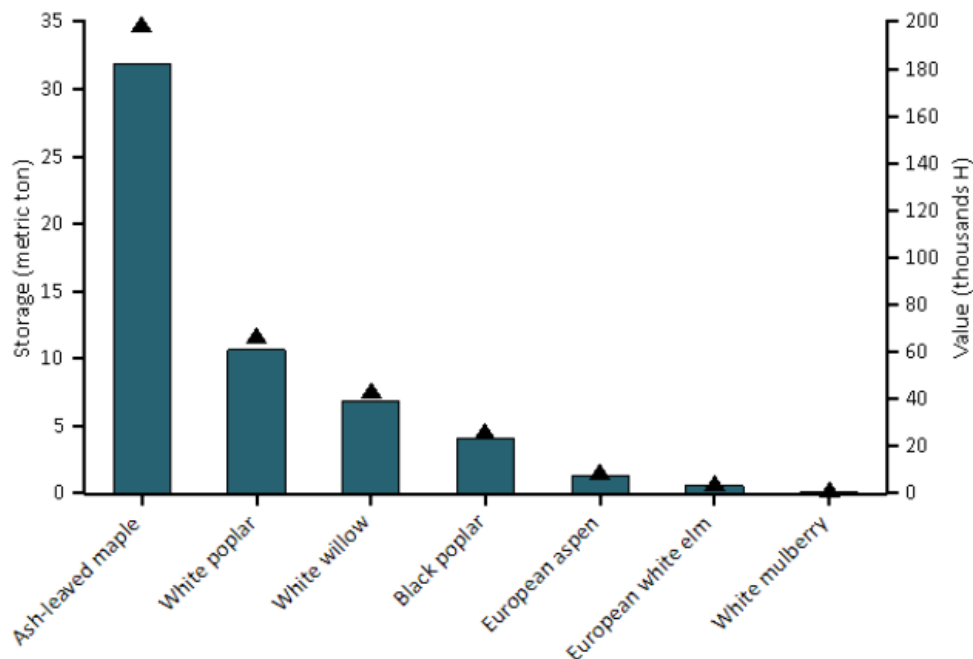


Мал. 6. Розрахункові річні загальні обсяги поглинання вуглецю та вартості міських видів дерев, що забезпечують найбільші обсяги поглинання

Клен ясенелистий (Ash-leaved maple), Тополя біла (White poplar), Тополя чорна (Black poplar), Осика (European aspen), Вербка біла (White willow), Шовковиця біла (White mulberry), В'яз гладкий (European white elm)

Ще один спосіб, у який дерева можуть впливати на глобальні зміни клімату, полягає у зберіганні вуглецю. По мірі зростання дерево накопичує у своїх тканинах все більше вуглецю. Коли дерево вмирає та розкладається, воно випускає більшу частину накопиченого вуглецю назад в атмосферу. Таким чином, зберігання вуглецю є показником обсягу вуглецю, який може бути випущений у разі гибелі та розкладання дерев. Підтримання дерев у здоровому стані дозволить утримувати вуглець в деревах, однак такі заходи можуть сприяти формуванню викидів вуглецю (Nowak et al 2002c). Після смерті дерева використання деревини для виготовлення дерев'яних виробів, опалення будинків або генерування енергії дозволить зменшити обсяг викидів від розкладання деревини або від електростанцій, що працюють на видобувному або деревному пальному.

За оцінками, дерева досліджуваної території Голосіївського району зберігають 60,4 метричних тон вуглецю (318 тис. грн.). Було визначено, що з усіх видів, які фігурували у дослідженні, найбільшу кількість вуглецю вловлює та утримує клен ясенелистий (Ash-leaved maple) – приблизно 57,4% від загального обсягу запасів вуглецю та 82,9% від загального обсягу вловленого вуглецю.



Мал. 7. Розрахункові річні загальні обсяги зберігання вуглецю та вартості міських видів дерев, що забезпечують найбільші обсяги зберігання

Клен ясенелистий (Ash-leaved maple), Тополя біла (White poplar), Верба біла (White willow), Тополя чорна (Black poplar), Осика (European aspen), В'яз гладкий (European white elm), Шовковиця біла (White mulberry)

Таблиця 5, 6. Розрахункові річні загальні обсяги поглинання та зберігання вуглецю

Annual Carbon Sequestration of Trees by Species

Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine
Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018
Generated: 4/28/2021



Species	Gross Carbon Sequestration (metric ton/yr)	CO ₂ Equivalent (metric ton/yr)
Ash-leaved maple	1.51	5.53
White mulberry	0.00	0.01
White poplar	0.16	0.59
Black poplar	0.11	0.42
European aspen	0.02	0.06
White willow	0.02	0.06
European white elm	0.00	0.00
Total	1.82	6.67

Carbon Storage of Trees by Species

Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine
Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018
Generated: 4/22/2021



Species	Carbon Storage (metric ton)	Carbon Storage (%)	CO ₂ Equivalent (metric ton)
Ash-leaved maple	34.7	57.4%	127.1
White mulberry	0.1	0.2%	0.5
White poplar	11.6	19.2%	42.5
Black poplar	4.4	7.4%	16.3
European aspen	1.4	2.4%	5.3
White willow	7.5	12.4%	27.6
European white elm	0.6	1.1%	2.3
Total	60.4	100%	221.6

IV. Продукування кисню

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

За оцінками, дерева досліджуваної території Голосіївського району виділяють 4,853 метричних тон 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).

Таблиця 7. Продукування кисню за видами дерев

Види дерев	Кисень (кг)	Сумарне поглинання вуглецю (кг/рік)	Кількість дерев	Листкова площа (га)
Клен ясенелистий (Ash-leaved maple)	4 023,81	1 508,93	54	1,01
Тополя біла (White poplar)	425,65	159,62	7	0,49
Тополя чорна (Black poplar)	302,46	113,42	3	0,12
Осика (European aspen)	45,93	17,23	1	0,07
Вербка біла (White willow)	43,77	16,42	2	0,14
Шовковиця біла (White mulberry)	9,21	3,46	1	0,01
В'яз гладкий (European white elm)	1,92	0,72	2	0,08

V. Запобігання поверхневим стокам

Поверхневі стоки можуть становити проблему у багатьох міських зонах через загрозу забруднення заболочених ділянок, річок, озер, морів та океанів. Певну частину опадів «перехоплює» рослинність (дерева та кущі), а решта досягає поверхні землі. Та частина опадів, що не досягає землі та не поглинається ґрунтами, стає поверхневими стічними водами (Hirabayashi 2012). У містах обсяги стічних вод є більшими з огляду на велику кількість герметичних поверхонь.

Дерева та кущі сприяють зменшенню обсягів поверхневих стоків у містах. Вони «перехоплюють» опади, а їхня коренева система сприяє проникненню та зберіганню стічних вод у ґрунті. За розрахунками, дерева досліджуваної території Голосіївського району допомагають зменшити обсяг поверхневих стоків на 84,2 кубічних метрів (грошовий еквівалент – 5,6 тис. грн.) (див. Додаток I). Розрахунки зменшення обсягів поверхневих стоків базуються на локальних метеорологічних даних, отриманих з визначеної користувачем метеостанції. У 2020 році загальний обсяг річних опадів досліджуваної території становив 103,1 см.

Таблиця 8. Гідрологічні ефекти від дерев за видами

Hydrology Effects of Trees by Species

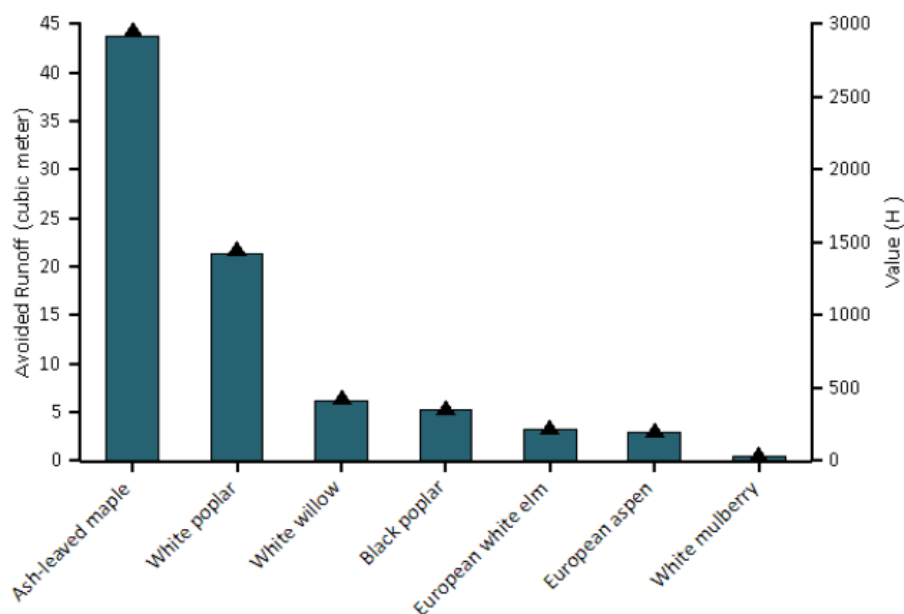
Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine

Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018

Generated: 4/22/2021



Species Name	Number of Trees	Leaf Area (ha)	Potential Evapotranspiration (m³/yr)	Evaporation (m³/yr)	Transpiration (m³/yr)	Water Intercepted (m³/yr)	Avoided Runoff (m³/yr)	Avoided Runoff Value (H/yr)
Ash-leaved maple	54	1.01	614.60	222.61	188.84	223.08	44.29	2,922.63
White poplar	7	0.49	299.88	108.62	92.14	108.85	21.61	1,426.06
White willow	2	0.14	87.07	31.54	26.75	31.60	6.27	414.06
Black poplar	3	0.12	73.03	26.45	22.44	26.51	5.26	347.30
European white elm	2	0.08	45.74	16.57	14.05	16.60	3.30	217.52
European aspen	1	0.07	41.49	15.03	12.75	15.06	2.99	197.31
White mulberry	1	0.01	7.24	2.62	2.22	2.63	0.52	34.43
Total	70	1.92	1,169.06	423.44	359.20	424.33	84.25	5,559.30



Мал. 8. Запобігання поверхневим стокам та вартість видів, що мають найбільший вплив на поверхневі стоки
Клен ясенелистий (Ash-leaved maple), Тополя біла (White poplar), Верба біла (White willow), Тополя чорна (Black poplar), В'яз гладкий (European white elm), Осика (European aspen), Шовковиця біла (White mulberry)

Таблиця 9. Сумарні дані щодо екосистемних послуг досліджуваних дерев за видами

Benefits Summary of Trees by Species

Location: Goloseevsky, Kyiv City, Ukraine

Project: Голосіївський район, Series: Совські ставки, Year: 2018

Generated: 4/22/2021



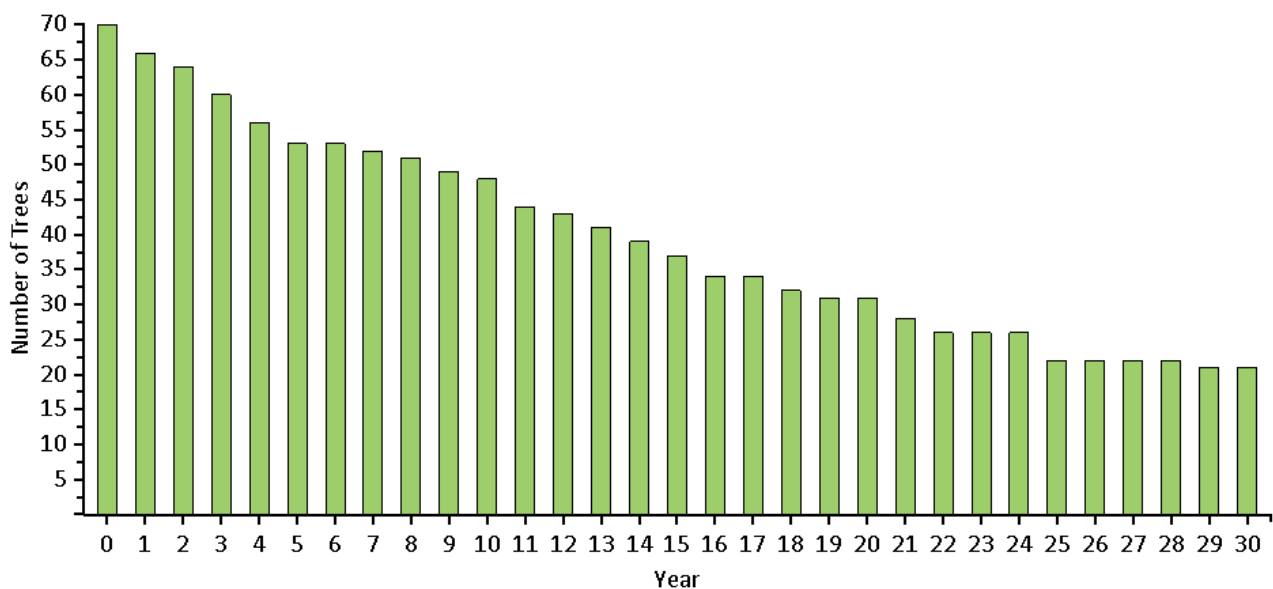
Species	Trees Number	Carbon Storage (metric ton)	(H)	Gross Carbon Sequestration (metric ton/yr)	(H/yr)	Avoided Runoff (m³/yr)	(H/yr)	Structural Value (H)
Ash-leaved maple	54	34.66	182,169.14	1.51	7,929.65	44.29	2,922.63	0.00
White mulberry	1	0.13	693.30	0.00	18.16	0.52	34.43	0.00
White poplar	7	11.59	60,928.54	0.16	838.83	21.61	1,426.06	0.00
Black poplar	3	4.44	23,359.02	0.11	596.06	5.26	347.30	0.00
European aspen	1	1.44	7,552.65	0.02	90.52	2.99	197.31	0.00
White willow	2	7.51	39,484.49	0.02	86.26	6.27	414.06	0.00
European white elm	2	0.64	3,359.01	0.00	3.78	3.30	217.52	0.00
Total	70	60.43	317,546.14	1.82	9,563.26	84.25	5,559.30	0.00

VI. Прогнозування

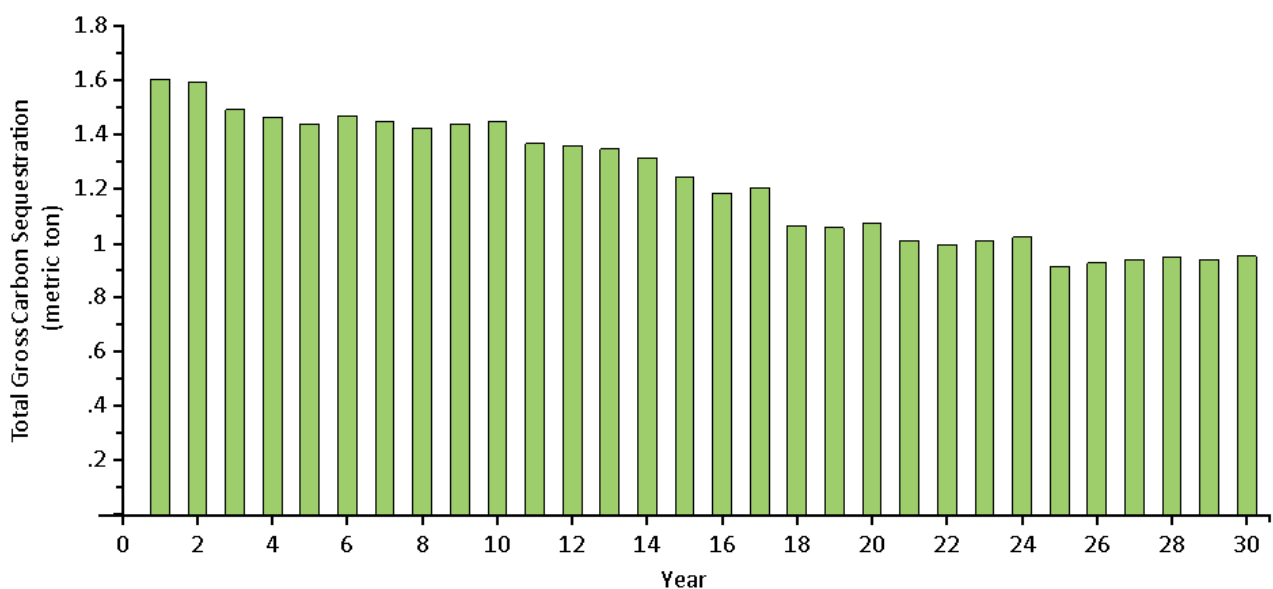
Система i-Tree Eco дозволяє провести прогностичне моделювання росту та розвитку зелених насаджень на досліджуваній території та оцінку продукування ними екосистемних послуг на визначену кількість років у майбутньому. У даному звіті було проведено модельний прогноз на період у 30 років за двома сценаріями: (1) ріст та розвиток існуючих зелених насаджень без додаткової висадки нових дерев та (2) розвиток зелених насаджень за умови щорічної висадки 20 нових дерев діаметром 2 см перші 10 років.

Таблиця 10. Вихідні дані та коефіцієнти прогнозу за сценарієм без висадки нових дерев

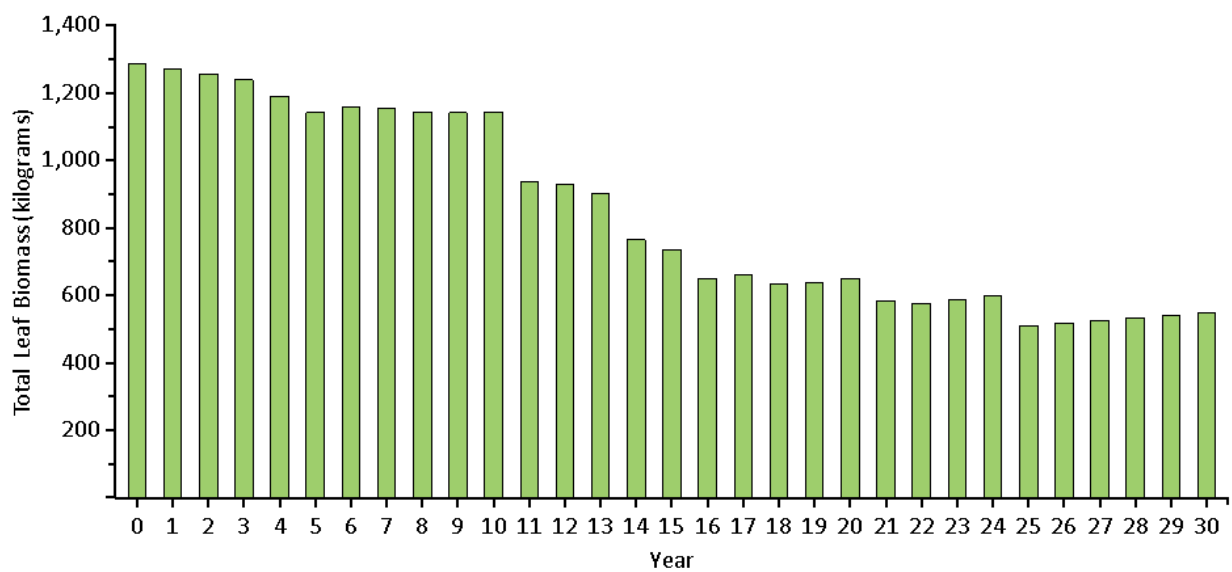
Basic Options	
Number of years forecasted	30
Days per year without frost	188
Base annual mortality rate for healthy trees	3.0%
Base annual mortality rate for sick trees	13.1%
Base annual mortality rate for dying trees	50.0%



Мал. 9. Динаміка кількості дерев (шт.) за відсутності нових посадок



Мал. 10. Поглинання вуглецю (загальне валове) за відсутності нових посадок дерев

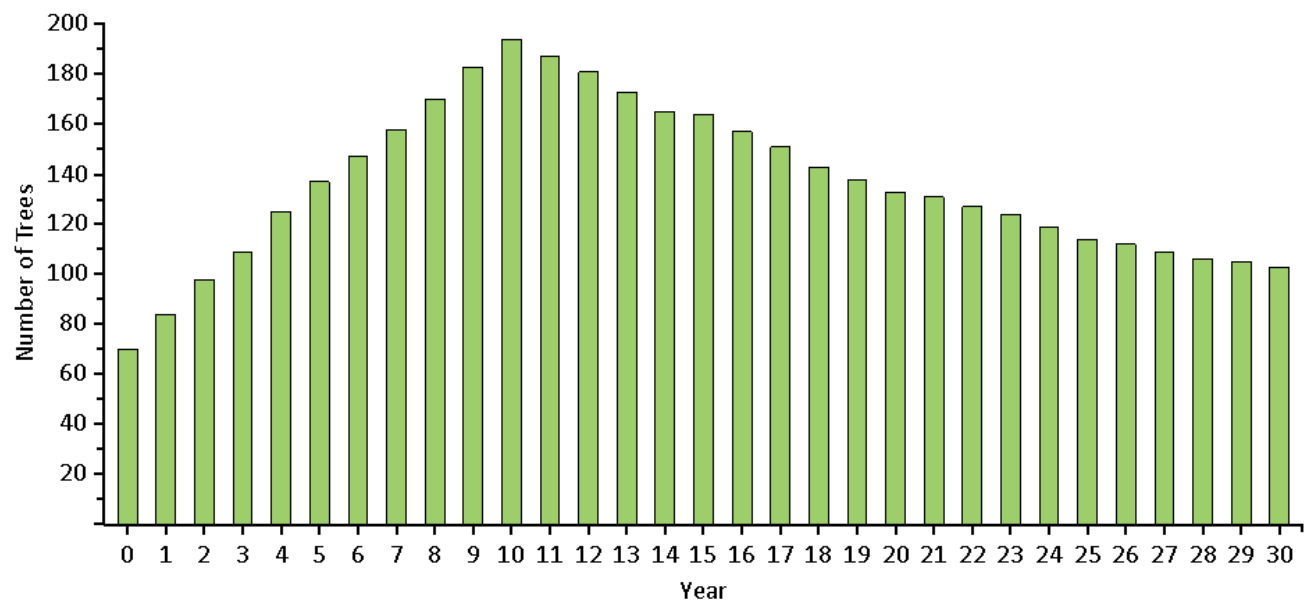


Мал. 11. Загальна біомаса листового покриття за відсутності посадки нових дерев

Порівняємо ці дані з результатами прогностичного моделювання за умови щорічної висадки 20 молодих дерев протягом перших 10 років 30-річного періоду моделі.

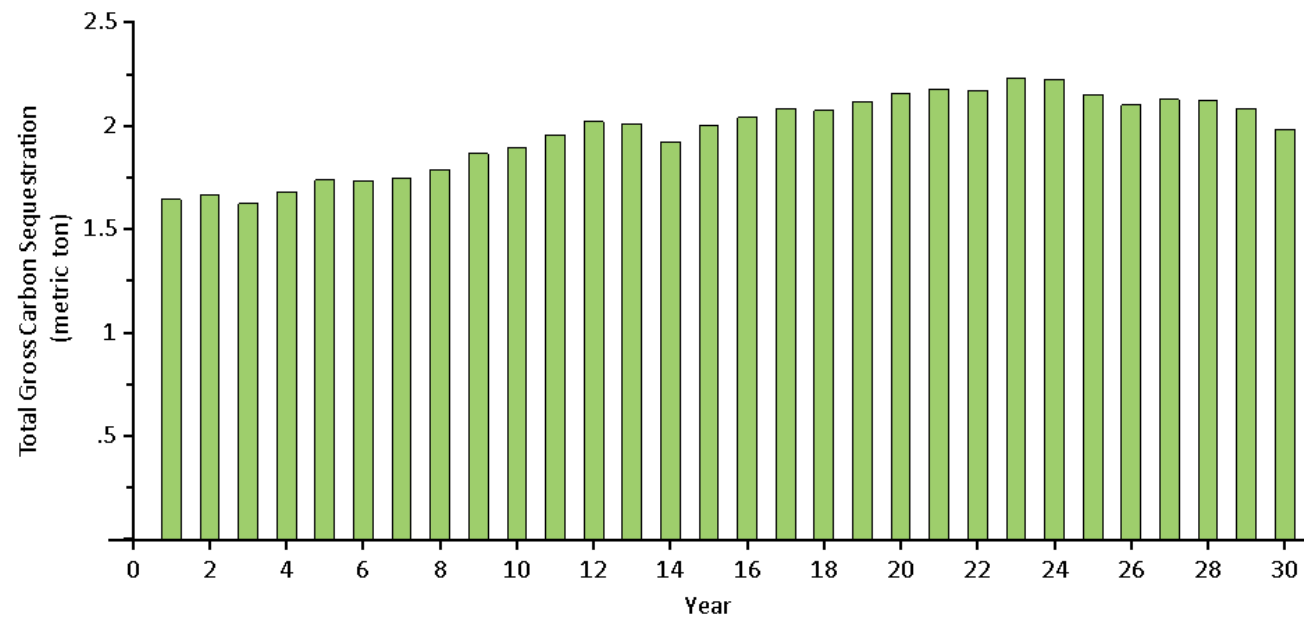
Таблиця 11. Вихідні дані та коефіцієнти прогнозу за сценарієм висадки нових дерев

Basic Options				
Number of years forecasted				30
Days per year without frost				188
Base annual mortality rate for healthy trees				3.0%
Base annual mortality rate for sick trees				13.1%
Base annual mortality rate for dying trees				50.0%
Trees to Plant				
Stratum	DBH (centimeters)	Number	Start Year	Duration (years)
Urban	2.0	20	1	10

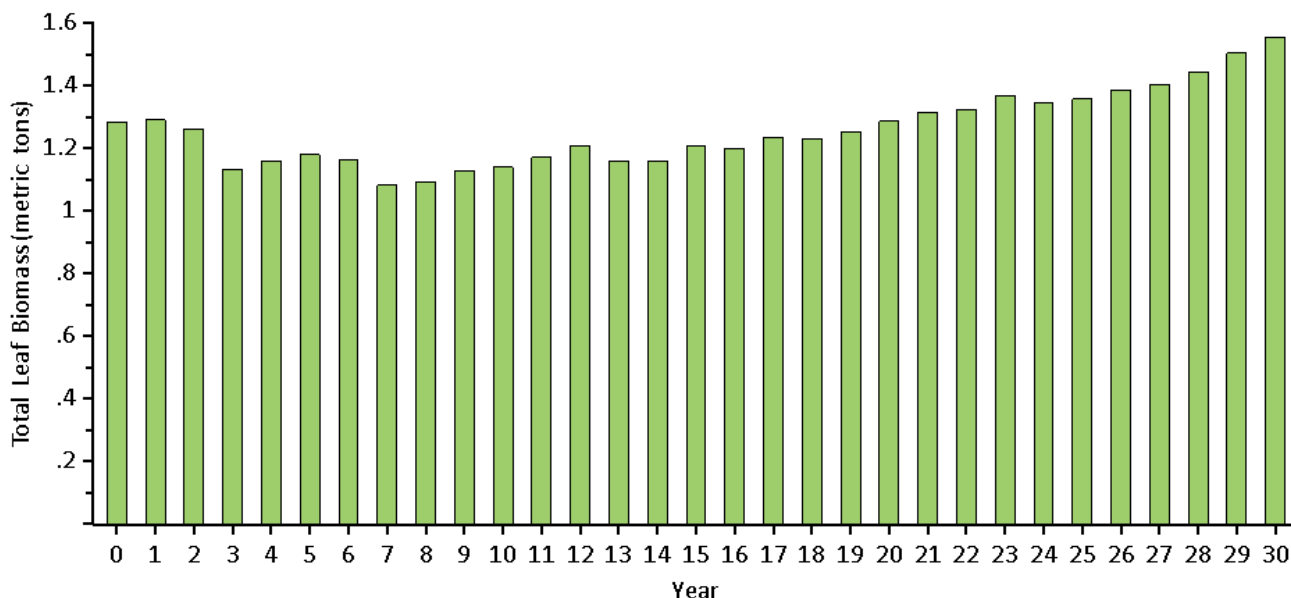


Мал. 12. Динаміка кількості дерев (шт.) за сценарієм щорічної висадки 20 нових дерев 10 років

Як видно з мал. 12, кількість дерев у 30-річний період буде зменшуватися, незважаючи на додаткові висадки перші 10 років. Але в той же час цікавим є збільшення динаміки поглинання вуглецю цими деревами (мал. 13) за рахунок збільшення кількості листя (мал. 14).



Мал. 13. Поглинання вуглецю (загальне валове) за сценарієм щорічної висадки 20 нових дерев 10 років



Мал. 14. Загальна біомаса листового покриву за сценарієм щорічної висадки 20 нових дерев 10 років

Таким чином, можна стверджувати, що навіть мінімальні зусилля з висадки нових дерев у відносно короткостроковій перспективі надають суттєвий ефект щодо поглинання та утримання вуглецю у довгостроковий період. У той час, при відсутності нових посадок кількість дерев буде зменшуватись і рівень поглинання атмосферного вуглецю буде невпинно падати.

Загальні висновки

1. Дослідження проводились 28 березня 2021 року на ділянці «Совські ставки» Голосіївського району міста Києва. На досліджуваній території налічується 70 одиниць дерев. Найпоширенішими видами тут є: клен ясенелистий (Ash-leaved maple) (77,1%), тополя біла (White poplar) (10,0%) та тополя чорна (Black poplar) (4,3%). Приблизно 3% дерев відносяться до видів, що є нативними для Європи. Більшість видів дерев (77%) походять з Північної Америки.
2. Дерева покривають близько 3 866 квадратних метрів площі досліджуваної території Голосіївського району та забезпечують 1 924 гектари листової площі. За розрахунками, у 2020 році дерева, що ростуть на досліджуваній території Голосіївського району, виділили 17,83 кг летких органічних сполук (14,69 кг ізопрену та 3,148 кг монотерпенів).
3. Визначено показники поглинання та зберігання вуглецю. Так, сумарний обсяг вуглецю, вловленого деревами досліджуваної території, становить 1,82 метричні тони на рік (що в грошовому еквіваленті становить 9,56 тис. грн.). За оцінками системи, дерева досліджуваної території Голосіївського району зберігають 60,4 метричних тон вуглецю (318 тис. грн.). Було визначено, що з усіх видів, які фігурували у дослідженні, найбільшу кількість вуглецю вловлює та утримує клен ясенелистий (Ash-leaved maple) – приблизно 57,4% від загального обсягу запасів вуглецю та 82,9% від загального обсягу вловленого вуглецю.
4. Продуктування кисню деревами досліджуваної території Голосіївського району становить 4,853 метричних тон кисню на рік. Найбільшу кількість кисню виділяє клен ясенелистий (Ash-leaved maple) – 4 023,81 кг.
5. За розрахунками, дерева досліджуваної території Голосіївського району допомагають зменшити обсяг поверхневих стоків на 84,2 кубічних метрів (грошовий еквівалент – 5,6 тис. грн.)
6. Зберігання вуглецю дерев досліджуваної території Голосіївського району еквівалентне:
 - Річній емісії вуглецю (C) від 47 автомобілів
 - Річній емісії вуглецю (C) з 19 одноосібних домогосподарств.

Додаток І. Модель i-Tree Есо та польові вимірювання

Система i-Tree Есо дозволяє за допомогою стандартизованих даних, зібраних під час польових досліджень, а також метеорологічних даних з метою кількісного аналізу структури міських зелених насаджень та різних аспектів їх впливу (Nowak and Crane 2000), в тому числі:

- Структури міських зелених масивів (зокрема, видовий склад, стан здоров'я дерев, листкова площа тощо).
- Обсяг забруднення, що погодинно зменшується міськими зеленими насадженнями, та відповідний відсотковий показник покращення якості повітря 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.
- Структурна цінність зеленого масиву, а також цінність у розрізі зменшення рівня забруднення повітря та уловлювання та зберігання вуглецю.
- Потенційні наслідки зараження паразитами, такими як азіатський вусач, ясеневі смарагдова вузькотіла златка, непарний шовкопряд, а також голландською хворобою в'язів.

Зазвичай збір всіх даних відбувається протягом теплої пори року, щоб 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 стовбуру, 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 ідентифікованих до рівня виду, можуть бути класифіковані за родом (наприклад, ясен) або групою видів (наприклад, листяні). У цьому звіті види, роди або групи видів дерев колективно іменовані як види дерев.

Характеристики дерев:

Розмір листкової площі дерев визначався за допомогою показників розміру крони та відсоткового показнику відсутньої крони. У тих випадках, коли такі перемінні не було зібрано, вони розраховувалися відповідно до моделі.

Аналіз інвазійних видів для досліджень за межами США недоступний. Що стосується США, то інвазійні види визначаються за переліком інвазійних видів штату, на території якого знаходиться зелений масив. Ці переліки не є вичерпними і містять інвазійні види, що відрізняються за ступенем інвазійності та поширеності. У разі відсутності переліку інвазійних видів конкретного штату використовувалися переліки сусідніх штатів. Види дерев, визначені як інвазійні відповідно до списку інвазійних видів штату, також містять дані щодо природного ареалу поширення. Це дозволяє видалити види, які є у списку інвазійних видів штату, однак є корінними для району дослідження.

Зменшення рівня забруднення повітря:

Зменшення рівня забруднення повітря визначається стосовно озону, двоокису сірки, двоокису азоту, монооксиду вуглецю та тверді частинки менше 2,5 мікрон. Ще одним значним забрудником повітря є тверді частинки менше 10 мікрон (PM10). Оскільки комплекс i-Tree Есо 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.

Зменшення рівня забруднення повітря визначалося за розрахунковим погодинним спротивом крони дерева озону та двоокисам сірки та азоту відповідно до гібриду моделей осадження частинок для крони дерев з великими листками та багаточислової 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 листової площі. Видалення твердих частинок включало 50 відсотковий показний ресуспензії частинок назад в атмосферу (Zinke 1967). Результати нещодавніх (2011 р.) досліджень моделювання якості повітря базуються на уточнених результатах моделювання показника листової площі, метеорологічних даних, інтерполяції та обробки забруднення, а також уточнених даних щодо грошової вартості забрудників (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). Ці 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 чисте видалення може бути негативним, або ресуспензія частинок може призводити до зростання концентрації забруднення та негативних показників. У певні місяці (наприклад, під час відсутності опадів) дерева ресуспендують більше часток, ніж видаляють. Ресуспензія також може призвести до загального збільшення концентрації PM_{2.5}, якщо стан граничного шару є нижчим протягом періодів чистої ресуспензії 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.

Що стосується звітів для США, то показник зменшення рівня забруднення повітря за замовчанням розраховується відповідно до локальних показників негативного впливу на здоров'я та національних середніх показників впливу зовнішніх факторів. Кількість та відповідна економічна вартість негативних наслідків для здоров'я розраховується для озону, двоокису сірки, двоокису азоту та твердих частинок розміром менше 2,5 мікрон за даними, наведеними у Програмі візуалізації та аналізу впливу на довкілля Агенції США з питань захисту навколишнього середовища (BenMAP) (Nowak et al 2014). В цій моделі використовується підхід «функції шкоди», що базується на локальних коливаннях концентрації забруднення та кількості населення. Вартість видалення монооксиду вуглецю розраховувалася за середньозваженими національними показниками вартості впливу (Murray et al 1994).

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

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 ту, 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 видалення 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 розрахунках або коригування локальних

показників вартості вуглецю. Для міжнародних звітів, для яких локальні показники вартості відсутні, розрахунки базуються на вартості вуглецю для США (Агенція США з питань захисту навколишнього середовища 2015 р., Міжвідомча робоча група з питань соціальної вартості вуглецю 2015 р.) 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.

Продуктування кисню:

Обсяг виробленого кисню у зв'язку із утриманням вуглецю розраховується за атомною масою: чистий обсяг виділеного O₂ (кг/рік) = чистий обсяг уловленого C (кг/рік) × 32/12. Для визначення чистої швидкості поглинання вуглецю від обсягу вуглецю, уловленого 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 перехопленням 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 розрахунками або за заданими користувачем показниками. Для міжнародних звітів, для яких відсутні місцеві 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 1999; 2000; 2001; 2002; 2003; 2004; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2010; Reper et al 2009; 2010; Vargas et al 2007a; 2007b; 2008).

У цьому дослідженні вартість запобігання поверхневим стокам визначається за ставкою 65,99 грн./м³.

Використання електроенергії в будинках:

За наявності даних відповідних польових вимірювань сезонний вплив дерев на використання електроенергії в житлових будинках визначався у порядку, описаному у наукових джерелах (McPherson and Simpson 1999) за допомогою відстані та напрямку розташування дерев відносно житлових будинків, висоти та стану дерев. Грошовий еквівалент зекономленої електроенергії визначався за місцевими або спеціально заданими тарифами за МВт/год. або британськими термальними одиницями (MBTU).

У цьому дослідженні грошовий еквівалент зекономленої електроенергії визначався за тарифом 1 680 грн. за МВт/год. та 417,00 грн. за британську термальну одиницю.

Структурна вартість:

Структурна вартість - це вартість дерева, що визначається за самим фізичним ресурсом (наприклад, відновна вартість дерева). Показник структурної вартості визначається за процедурами оцінки, встановленими Радою оцінювачів дерев та ландшафтів, в яких враховуються такі показники, як вид дерева, діаметр стовбуру, стан та місце його розташування (Nowak et al 2002a; 2002b). За відсутності достатньої кількості місцевих даних для проведення процедур оцінки структурна вартість може не включатися до міжнародних проектів.

Відносний вплив дерева:

Відносна вартість позитивного впливу дерев, наведена у Додатку II, визначається з метою продемонструвати,

що уловлювання та зберігання вуглецю, а також видалення забрудників повітря є кількісно еквівалентним обсягам муніципальних викидів вуглецю, викидів від легкових автомобілів та викидів від домогосподарств.

Обсяг муніципальних викидів вуглецю розраховано за обсягом викидів вуглецю на душу населення в США станом на 2010 рік (Центр аналізу двоокису вуглецю, 2010 р.). Показник викидів на душу населення було помножено на кількість населення міста з метою визначення загального обсягу викидів вуглецю у місті.

Показники викидів легкових автомобілів (г/миль) (CO, NO_x, VOCs, PM₁₀, SO₂ за 2010 рік (Бюро транспортної статистики 2010 р.; Heirigs et al 2004), PM_{2.5} за 2011-2015 рр. (Каліфорнійська рада повітряних ресурсів 2013 р.) та CO₂ за 2011 рік (Агенція США з охорони навколишнього середовища, 2010 р.)) було помножено на середній показник пробігу станом на 2011 рік (за даними Федерального управління автомагістралями, 2013 р.) для визначення середнього показнику викидів від одного автомобіля.

Викиди у домогосподарствах було визначено за середніми показниками споживання електроенергії (кВт/год.), споживання природного газу (британські термальні одиниці), споживання паливно-мастильних матеріалів (британські термальні одиниці), споживання керосину (британські термальні одиниці), споживання скрапленого газу (британські термальні одиниці) та споживання деревини (британські термальні одиниці) одним домогосподарством станом на 2009 рік (Управління з питань енергетики та інформації, 2013 р.; Управління з питань енергетики та інформації, 2014 р.).

- Показники викидів CO₂, SO₂ та NO_x на електростанціях (кВт/год.) наведено за даними Leonardo Academy 2011 р. Показник викидів CO (кВт/год.) визначено за припущенням, що 1/3 одного відсотку викидів C становить CO (за даними Управління з питань енергетики та інформації, 1994 р.). Показник викидів PM₁₀ (кВт/год) за даними Layton 2004.
- Показники викидів CO₂, NO_x, SO₂ та CO (британські термальні одиниці) 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 (британські термальні одиниці; деревина) за даними а даними Управління з питань енергетики та інформації, 2014.
- Показники викидів CO, NO_x та SO_x (британські термальні одиниці) базуються на загальних обсягах викидів та спалювання деревини (в тонах) за даними Управління Британської Колумбії 2005; Комісії з питань лісового господарства Джорджії 2009.

Додаток II. Відносний вплив дерева

Зелені зони Голосіївського району забезпечують низку переваг, до яких відноситься поглинання та зберігання вуглецю та зниження рівня забруднення повітря. З метою оцінки відносної вартості цих переваг їх було порівняно із розрахунковими середніми показниками муніципальних викидів, викидів від легкових автомобілів та викидів від домогосподарств. Опис методики наведено у Додатку I.

Зберігання вуглецю дерев досліджуваної території Голосіївського району еквівалентне:

- Річній емісії вуглецю (C) від 47 автомобілів
- Річній емісії вуглецю (C) з 19 одноосібних домогосподарств.