

DOI: 10.18523/2617-4529.2024.7.42-52

УДК 504.57.04

Вишенська І. Г., Мельник Є. Є.

Національний університет «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ РЕГУЛЯТОРНИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В УРБОЕКОСИСТЕМАХ

У статті наведено результати досліджень з оцінювання екосистемних послуг деревних зелених насаджень на території першого академічного містечка Національного університету «Києво-Могилянська академія» за допомогою інструменту MuTree. Встановлено, що найважливішими серед регуляторних послуг були поглинання вуглекислого газу, регулювання мікроклімату, енергозбереження, очищення повітря від озону та діоксиду сірки. За розрахунками інструменту MuTree, показано річну вартість послуг деревних насаджень на території кампусу та її прогнозоване накопичувальне зростання за 20 років. Наведено оцінювання вартості окремих складових регуляторних екосистемних послуг. Результати цього дослідження можуть бути використані в майбутньому для поліпшення заходів з планування та управління зеленими зонами кампусу університету із врахуванням значення їхніх екосистемних послуг. Загалом дослідження підтвердило важливість моніторингу та оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень в урбоекосистемах для ухвалення сталих рішень щодо розвитку міських територій, підтримання добробуту і здоров'я населення.

Ключові слова: екосистемні послуги, урбоекосистеми, інструмент MuTree, сталий розвиток міст.

Вступ

Збереження природних біотопів у мегаполісах є важливим завданням для підтримання сталого розвитку міст. Це завдання узгоджується зі Стратегією ЄС з біорізноманіття до 2030 року (до неї також входять Рекомендації щодо планування озеленення міст), що ґрунтується на принципі збереження екосистемних послуг. Головна мета стратегії – подолання основних чинників, що призводять до зниження біорізноманіття, та сприяння відновленню і стійкості екосистем з підтриманням постійного забезпечення ними життєво важливих для добробуту та процвітання населення екосистемних послуг [1].

Підвищене антропогенне навантаження в містах призводить до екологічних викликів, як-от підвищений рівень забруднення повітря, води, ґрунту та деградація середовищ існування живих організмів. Урбоекосистеми особливо схильні до впливу глобальних змін клімату і стикаються з такими явищами, як міські теплові острови та міські зливові паводки. Водночас збільшення

щільності забудови часто відбувається за рахунок скорочення площі зелених насаджень. Зелені насадження забезпечують критично важливі екосистемні послуги для добробуту міських екосистем, підтримання біорізноманіття, пом'якшення впливу кліматичних змін та забруднювальних речовин на здоров'я людей, а також низку економічних, соціальних та культурних вигод для населення.

Виділено широкий спектр екосистемних послуг, які поділяють на ресурсні, регуляторні, підтримні та культурні [2]. Регуляторні екосистемні послуги – це вигоди від природних екосистем, що допомагають регулювати умови навколишнього середовища та забезпечують захист від його негативних впливів (зокрема спричинених антропогенною діяльністю) на добробут та здоров'я людей. У дослідженнях [3-7] виокремлено такі регуляторні послуги зелених зон у містах: очищення повітря, регулювання мікроклімату, заощадження енергії на опаленні/охолодженні, зниження рівня шуму, регулювання поверхневого стоку, запобігання ерозії ґрунтів.

Очищення повітря. Зелені простори ефективно пом'якшують шкідливий вплив хімічних і біологічних забруднювачів в атмосфері, стабілізуючи в такий спосіб міські екосистеми та зберігаючи їхнє біорізноманіття. Рослини затримують і поглинають з повітря такі речовини, як вуглекислий газ, оксид вуглецю, озон, діоксид азоту, діоксид сірки, тверді дрібнодисперсні частинки тощо. Багато досліджень підтверджують, що міське населення, яке проживає в районах з більшим коефіцієнтом зелених зон, менш схильне до таких поширених захворювань, спричинених забрудненим повітрям у містах, як діабет, респіраторні та серцево-судинні захворювання.

Регулювання мікроклімату. Регулювання парникових газів, температури, вологості та повітряних потоків на місцевому рівні. Зелені зони міст здатні пом'якшувати особливо відчутні для урбоекосистем наслідки змін клімату, зокрема завдяки таким біофізичним функціям:

- *секвестрація вуглецю* – поглинання вуглекислого газу, що є парниковим та затримує тепло в атмосфері, з повітря і його накопичення у вигляді деревини;
- *забезпечення тіні та охолодження* – зумовлює захист від ультрафіолетових променів, зниження температури та ефект «теплого острова».

Заощадження енергії на опаленні/охолодженні. Ця екосистемна послуга тісно пов'язана з регулюванням мікроклімату зеленими насадженнями, що також впливає на терморегуляцію будівель. Прикладом може слугувати листяне дерево, яке забезпечує тінь і прохолоду будівлі влітку, а взимку, коли листя опадає, пропускає сонячне світло, яке обігріває її.

Зниження рівня шуму. Зелені насадження, окрім очищення повітря та регуляції мікроклімату, також сприяють поглинанню та перехопленню шумового забруднення з навколишнього середовища (наприклад, від транспорту) або можуть виконувати безпосередню роль звукоізоляції будівель.

Регулювання поверхневого стоку. У розрізі управління водними ресурсами міські зелені насадження здатні перехоплювати дощові опади, затримувати або уповільнювати зливовий стік і сприяти кращій інфільтрації, зменшуючи в такий спосіб частоту міських паводків і знижуючи витрати на очищення зливових вод та пов'язані з цим збитки. Водночас зменшується кількість води, що відводиться через каналізацію, навантажуючи очисні споруди. Зокрема, такі елементи ландшафтного дизайну, як дощові сади та біоретенційні вали, окрім регулювання об'єму

зливових вод, також позитивно впливають на якість води завдяки її фільтрації та очищенню.

Запобігання ерозії ґрунтів. Наявність зеленої інфраструктури сприяє значному зменшенню ерозійної активності. Рослинний покрив може перехоплювати дощові опади і зменшувати пряму водну ерозію, спричинену падінням крапель дощу на поверхню ґрунту. Коріння дерев, чагарників, трави тощо здатне укріплювати та стабілізувати структуру ґрунту. Коріння зв'язує частинки ґрунту разом, підвищуючи його зв'язність і зменшуючи ймовірність ерозії, спричиненої вітром і водою. Це природне укріплення також здатне затримувати відкладення поживних речовин, що підтримує родючість ґрунту.

Розуміння цінності екосистемних послуг зелених насаджень в урбоекосистемах сприятиме ухваленню більш сталих рішень щодо міського планування та управління навколишнім середовищем, посилить науково обґрунтовану аргументацію щодо їх збереження, розширення та утримання зелених зон у містах, висвітлить ширші виклики для суспільства, пов'язані зі змінами в екосистемах, а також сприятиме збільшенню інвестицій в охорону природи, завдяки чому в довгостроковій перспективі відбудуться позитивні зміни як для людей, так і для екосистем.

Метою цього дослідження було проаналізувати важливість зелених насаджень у міському середовищі, дослідити види регуляторних екосистемних послуг на території університетського кампусу.

Дослідження екосистемних послуг є доволі новим напрямом в Україні, проте дискусії та наукові роботи у сфері оцінювання екосистемних послуг стають дедалі більш актуальними у вітчизняному науковому дискурсі. Крім того, досі існує проблема розриву між наукою та політикою, оскільки немає міждисциплінарної бази та методологічних інструментів, які б спрямовували політиків від визначення та вимірювання екосистемних послуг до оцінювання їх та перетворення такого оцінювання на ефективні інструменти політики та механізми управління у сфері землекористування та охорони довкілля, формування політики сталого розвитку, оцінювання екологічних компенсацій та стратегічного планування розвитку громад [8]. Порівняльна перевага економічного оцінювання полягає в тому, що воно показує важливість змін у забезпеченні екосистемних послуг безпосередньо з погляду добробуту людини і використовує грошові одиниці, що дає змогу легко передавати вартість і безпосередньо порівнювати її з вартістю інших товарів, послуг, інвестицій та впливів

в економіці [3,8,9]. Проте варто зазначити, що використання економічних підходів для оцінювання екосистемних послуг має певні обмеження. На відміну від витрат, оцінювання вигод із застосуванням ринкового підходу можливе лише для обмеженої частини екосистемних послуг, що ускладнює їх комплексне вираження в грошовому еквіваленті [2,5].

Об'єкти і методи дослідження

Для проведення оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень у міській екосистемі було обрано територію кампусу Національного університету «Києво-Могилянська академія», розташованого в Подільському районі міста Києва (рис. 1).

Загальна площа дослідної ділянки становить 4,58 га, з яких високоінтенсивна забудова займає 2,16 га (асфальтове покриття), будівлі – 1,59 га, а зелені насадження – 0,83 га.

У травні 2024 року було проведено інвентаризацію 76 дерев, розташованих на території першого академічного містечка Національного університету «Києво-Могилянська академія». Відповідно до протоколу збору даних інструменту MuTree, було зібрано такі польові дані, як вид кожного дерева, виміряно окружність стовбурів (на висоті 1,43 м), зафіксовано особливості розташування (вплив сонячного опромінення, наближеність та напрямок до будівель, тип місця посадки), показники стану здоров'я

дерев (прозорість крони, відмирання гілок, знебарвлення і відмирання листя) та симптоми наявності шкідників (пошкодження деревини, ексудация, гниття, втрата та в'ялість листя, епікормічні пагони).

Для оцінювання екосистемних послуг деревних зелених насаджень було використано інструмент MuTree як частину набору інструментів i-Tree, розроблених Лісовою службою Міністерства сільського господарства США (USDA). Це комплексна програма, призначена для оцінювання екосистемних послуг окремих дерев або невеликих груп дерев [6]. Інструмент використовує надійні наукові моделі та місцеві екологічні дані для точного оцінювання ролі дерев в екосистемі. На основі визначених параметрів інструмент розраховує екологічні та економічні вигоди, які надають досліджені дерева за поточний рік, та розраховує їхні зміни за наступні 20 років. Зокрема, визначені переваги містять загальну вартість (\$) екосистемних послуг, поглинання CO_2 (\$), секвестрацію вуглецю (кг), еквівалент CO_2 (кг), регулювання дощового стоку (\$), затримку дощового стоку (л), очищення повітря (\$), а саме: затримку або поглинання CO , O_3 , NO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ (кг), заощадження енергії за рік (\$), збереження електроенергії (кВт), економію палива для опалення (m^3 природного газу), запобігання енергетичним викидам (\$), а саме: CO_2 , CO , NO_2 , SO_2 , $\text{PM}_{2.5}$ (кг).



Рис. 1. Визначені межі дослідної ділянки

Результати дослідження та їх обговорення

Аналіз видового різноманіття деревних видів рослин університетського кампусу та їхній внесок у забезпечення регуляторних екосистемних послуг наведено в табл. 1. Всього було проведено інвентаризацію 76 деревних насаджень. Детальні дані про них (вид, стан дерева, окружність стовбура (см)), а також вартість екосистемних послуг за рік та за наступні 20 років (\$) для кожного дерева систематизовано за видами в алфавітному порядку.

Найбільш поширеними деревами є *Aesculus hippocastanum* (гіркокаштан звичайний) – 20 знахідок, *Picea pungens* (ялина колюча) – 7, *Malus pumila* (яблуна райська) – 7, *Picea abies* (ялина європейська) – 6, *Paulownia tomentosa* (павловнія повстиста) – 6 та *Fraxinus excelsior* (ясен звичайний) – 5.

Наявність 19 деревних видів рослин на площі 4,58 га свідчить про високе видове багатство на території кампусу. Високе біорізноманіття має потенціал для стійкості до негативного впливу атмосферних забруднень, а також пом'якшення впливу кліматичних змін.

Більшість дерев на території першого академічного містечка університету належать до типу середніх та великих дерев, з найбільшою окружністю в представників *Populus nigra* (тополя чорна) – 422 см, *Fraxinus excelsior* (ясен звичайний) – 346 см та *Robinia pseudoacacia* (робінія звичайна) – 307 см. Крім того, є посадка молодих дерев, серед яких у видовому складі переважає *Malus pumila* (яблуна райська). Переважна кількість дерев розташована на відстані 3–10 м від університетських будівель, що забезпечує затінення і, як наслідок, регулює місцевий мікроклімат та підвищує енергоефективність корпусів НаУКМА.

Більшість екосистемних послуг, проаналізованих за допомогою інструменту MyTree, пов'язані з площею листової поверхні дерев, яка залежить від їхнього розміру, виду та прозорості крони. Для ефективності забезпечення послуг зеленими насадженнями важливо, щоб дерева були особливо стійкими, щоб вижити в умовах міста з високим впливом забруднювальних речовин та інших чинників. Далі в польовому дослідженні було оцінено показники стану здоров'я дерев та наявність ушкоджень, спричинених шкідниками.

Таблиця 1

Інвентаризаційні дані та оцінка екосистемних послуг (\$) за поточний рік і наступні 20 років за видами (в алфавітному порядку)

№ об'єкта	Вид	Стан дерева	Окружність стовбура, см	Вартість регуляторних екосистемних послуг за рік, \$	Вартість регуляторних екосистемних послуг за наступні 20 років, \$
41	<i>Acer platanoides</i>	Добрий	87	3,48	101,09
40	<i>Acer platanoides</i>	Відмінний	166,3	5,99	133,42
76	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	179	20,97	431,67
75	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	137	19,01	391,37
74	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	244	24,31	499,76
73	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	138,5	19,07	392,74
72	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	183	21,16	435,68
71	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	210	22,52	463,43
70	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	125	18,49	380,54
69	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	165	20,29	417,88
68	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	140	19,15	394,13
67	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	163	20,21	415,92
66	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	203	16,50	342,49
65	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	178	15,25	317,03
64	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	131	13,08	272,27
63	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	161	14,44	300,35
62	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	210,5	16,88	350,30
61	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	183	15,49	322,04
60	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	247	18,79	389,39
59	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	202	16,45	341,43
58	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	197	16,18	336,28
57	<i>Aesculus hippocastanum</i>	Прийнятний	210	16,85	349,79
15	<i>Betula pendula</i>	Добрий	162,4	22,05	457,11
14	<i>Betula pendula</i>	Добрий	156,6	21,74	450,54
7	<i>Betula pendula</i>	Відмінний	71,5	23,35	524,94

Продовження табл. 1

№ об'єкта	Вид	Стан дерева	Окружність стовбура, см	Вартість регуляторних екосистемних послуг за рік, \$	Вартість регуляторних екосистемних послуг за наступні 20 років, \$
6	<i>Betula pendula</i>	Добрий	65	21,55	476,61
10	<i>Catalpa bignonioides</i>	Добрий	47	11,43	330,19
8	<i>Catalpa bignonioides</i>	Відмінний	24	6,55	221,61
1	<i>Fraxinus excelsior</i>	Відмінний	16,5	5,98	233,53
34	<i>Fraxinus excelsior</i>	Відмираюче дерево	243,5	-1,88	-37,22
31	<i>Fraxinus excelsior</i>	Добрий	112	2,41	55,46
29	<i>Fraxinus excelsior</i>	Добрий	132	0,51	21,52
25	<i>Fraxinus excelsior</i>	Прийнятний	346	22,25	446,73
50	<i>Juglans regia</i>	Добрий	201	9,13	203,94
48	<i>Juglans regia</i>	Прийнятний	201	16,95	356,73
52	<i>Malus pumila</i>	Добрий	40,5	1,23	31,09
20	<i>Malus pumila</i>	Добрий	97,2	1,65	18,85
9	<i>Malus pumila</i>	Добрий	12,4	1,89	72,08
5	<i>Malus pumila</i>	Відмінний	23,5	3,35	94,76
4	<i>Malus pumila</i>	Відмінний	15	1,31	39,81
3	<i>Malus pumila</i>	Відмінний	17,3	2,65	87,31
2	<i>Malus pumila</i>	Відмінний	23	3,43	98,96
39	<i>Paulownia tomentosa</i>	Відмінний	144,5	-2,68	-40,37
38	<i>Paulownia tomentosa</i>	Відмінно	146,2	-2,62	-39,10
37	<i>Paulownia tomentosa</i>	Відмінний	136,8	-2,96	-46,06
13	<i>Paulownia tomentosa</i>	Добрий	129	5,20	137,22
12	<i>Paulownia tomentosa</i>	Добрий	138,5	6,11	154,24
11	<i>Paulownia tomentosa</i>	Добрий	102	3,41	91,24
46	<i>Picea abies</i>	Прийнятний	86	28,98	645,29
33	<i>Picea abies</i>	Добрий	52,9	13,44	336,52
32	<i>Picea abies</i>	Добрий	168	33,06	666,49
28	<i>Picea abies</i>	Добрий	27,5	2,57	79,32
27	<i>Picea abies</i>	Добрий	31,5	3,08	105,14
26	<i>Picea abies</i>	Відмінний	69,1	18,75	448,81
56	<i>Picea pungens</i>	Добрий	54	3,56	85,97
55	<i>Picea pungens</i>	Добрий	73	6,20	184,07
54	<i>Picea pungens</i>	Добрий	103,5	15,42	353,60
53	<i>Picea pungens</i>	Відмінний	81,5	8,68	249,73
18	<i>Picea pungens</i>	Прийнятний	63	2,84	101,79
17	<i>Picea pungens</i>	Добрий	149	19,46	402,83
16	<i>Picea pungens</i>	Добрий	108	3,63	98,13
43	<i>Populus nigra</i>	Прийнятний	422	8,82	173,53
30	<i>Quercus robur</i>	Прийнятний	65	-2,86	-14,68
44	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Добрий	307	18,42	365,41
49	<i>Sorbus aucuparia</i>	Добрий	34,5	-0,05	1,25
22	<i>Sorbus aucuparia</i>	Добрий	65,2	17,57	494,08
36	<i>Syringa vulgaris</i>	Добрий	53	1,46	38,17
35	<i>Syringa vulgaris</i>	Добрий	45	1,21	32,72
45	<i>Tilia cordata</i>	Добрий	132	6,67	143,87
42	<i>Tilia cordata</i>	Добрий	187	3,41	76,53
24	<i>Tilia cordata</i>	Відмінний	191	25,61	534,83
47	<i>Ulmus laevis</i>	Прийнятний	79	3,90	157,07
23	<i>Ulmus laevis</i>	Добрий	88,5	24,53	552,66
19	<i>Ulmus laevis</i>	Відмінний	103,5	13,66	269,32
51	<i>Viburnum obovatum</i>	Добрий	32	0,88	36,15
21	<i>Viburnum obovatum</i>	Добрий	23	1,72	55,92
Сума				843,17	18895,24

Стан 43 % із 76 досліджених деревних насаджень оцінено як «добрий» (немає 1–10 % листя); 36 % – «прийнятний» (немає 11–25 % листя); 20 % – «відмінний» (немає менше ніж 1 % листя); 1 % (одне дерево) є «мертвим» – немає взагалі листового покриву. Найпоширенішими проблемами (зокрема пов'язаними зі шкідниками) окремих дерев є пошкодження деревини у вигляді вихідних отворів від комах, відшарування кори, ексудатія (виділення речовини з пошкодженої ділянки дерева) та ознаки гниття (пластинчасті гриби, що ростуть на стовбурі).

На 20 деревах найпоширенішого в посадці на дослідній ділянці виду – *Aesculus hippocastanum* (гіркокаштану звичайного) – восени 2022 року та навесні 2023 року було проведено кронування (метод радикальної обрізки), що негативно вплинуло на їхнє здоров'я і, як наслідок, на ефективність виконання ними важливих екосистемних функцій. Окрім деяких із низки зазначених вище проблем, на деревах гіркокаштану звичайного також розвинулись епікормічні пагони. Пагони частково замінили попередні крони дерев, проте їхня естетична та регуляторна функції значно знизились.

У табл. 2 продемонстровано оцінку екосистемних послуг (у \$) за рік та накопичувальну оцінку за наступні 20 років за кожним видом дерев у порядку спадання, а на рис. 2 подано порівняльну діаграму на основі даних таблиці.

Найбільшою є вартість послуг дерев *Aesculus hippocastanum* (гіркокаштану звичайного) – \$365,09 за рік та \$7544,49 за наступні 20 років, *Picea abies* (ялини європейської) – \$99,88 та \$2281,57 відповідно, *Picea pungens* (ялини колючої) – \$59,79 та \$1476,12, *Betula pendula* (берези повислої) – \$66,64 та \$1452,09, *Ulmus laevis* (в'яза гладкого) – \$42,09 та \$979,05.

У табл. 3 наведено результати оцінювання всіх екосистемних послуг досліджених деревних насаджень. Визначені переваги належать до п'яти категорій регуляторних екосистемних послуг: поглинання CO₂, регулювання дощового стоку, очищення повітря, заощадження енергії та запобігання енергетичним викидам. За розрахунками МуТгее, у загальній вартості вони становлять \$847,29 за рік і за сприятливих умов за наступні 20 років спостерігатиметься їх значне зростання (у 22,3 раза) – до \$18895,36.

Таблиця 2

Оцінка екосистемних послуг (\$) за поточний рік і наступні 20 років за кожним видом (у порядку спадання)

Вид	Кількість дерев	Сума вартості екосистемних послуг за рік, \$	Сума вартості екосистемних послуг за наступні 20 років, \$
<i>Aesculus hippocastanum</i>	20	365,09	7544,49
<i>Picea abies</i>	6	99,88	2281,57
<i>Picea pungens</i>	7	59,79	1476,12
<i>Betula pendula</i>	3	66,64	1452,09
<i>Ulmus laevis</i>	3	42,09	979,05
<i>Tilia cordata</i>	3	35,69	755,23
<i>Fraxinus excelsior</i>	5	29,27	720,02
<i>Juglans regia</i>	2	26,08	560,67
<i>Catalpa bignonioides</i>	2	17,98	551,80
<i>Sorbus aucuparia</i>	2	17,52	495,33
<i>Betula pendula</i>	1	22,05	457,11
<i>Malus pumila</i>	7	15,51	442,86
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	18,42	365,41
<i>Paulownia tomentosa</i>	6	6,46	257,17
<i>Acer platanoides</i>	2	9,47	234,51
<i>Populus nigra</i>	1	8,82	173,53
<i>Viburnum obovatum</i>	2	2,60	92,07
<i>Syringa vulgaris</i>	2	2,67	70,89
<i>Quercus robur</i>	1	-2,86	-14,68
Загальний підсумок	76	843,17	18895,24

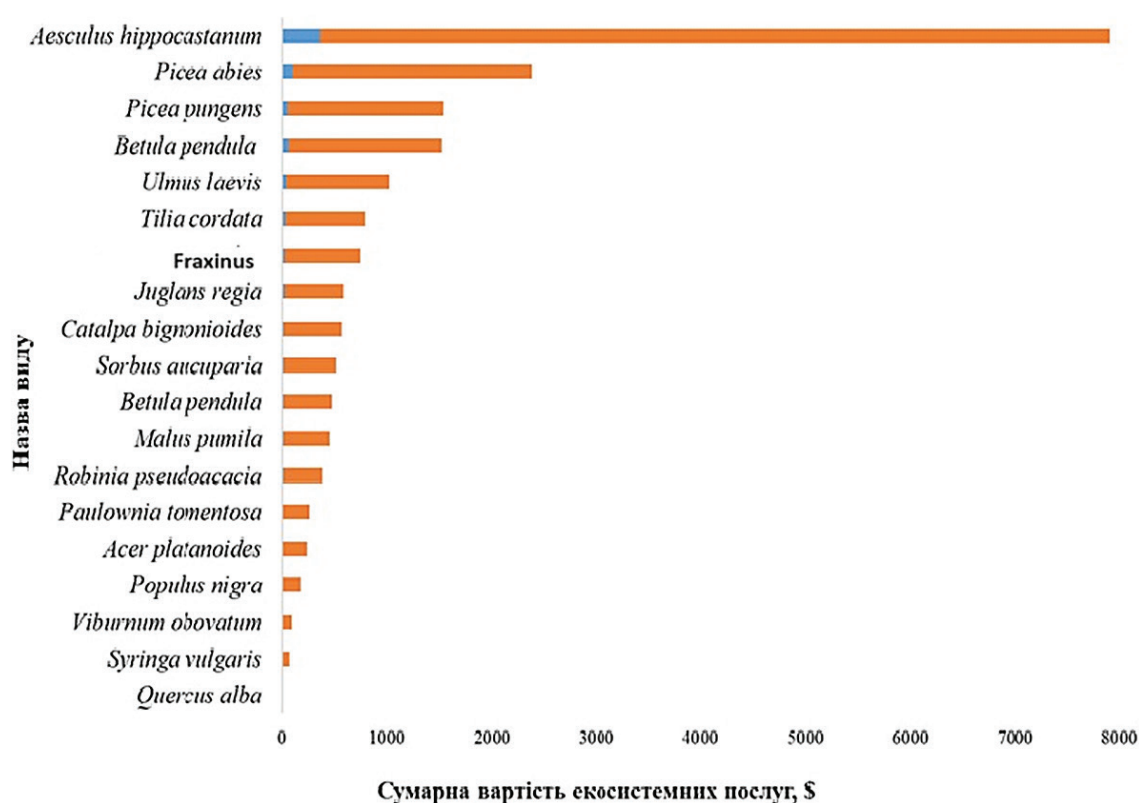


Рис. 2. Порівняльна діаграма вартості регуляторних екосистемних послуг (\$) за видами за поточний рік і наступні 20 років

Найбільшу вартість серед усіх регуляторних екосистемних послуг мають послуги заощадження енергії (\$485,08 за рік і \$10791,14 за 20 років) та поглинання CO_2 (\$183,35 і \$4129,15 відповідно). Порівняльну діаграму вартості детальніше за категоріями наведено на рис. 3.

До екосистемної послуги поглинання CO_2 (вуглекислого газу) входять:

- секвестрація вуглецю (поглинання парникового вуглекислого газу з повітря і його накопичення у вигляді деревини) – 975,27 кг за рік і 21963,55 кг за наступні 20 років;

- еквівалент CO_2 (показник, що допомагає кількісно оцінити вплив дерев на зниження рівня CO_2 в атмосфері) – 3575,97 кг і 80533,02 кг відповідно.

Екосистемна послуга регулювання дощового стоку деревами за рік становить \$41,05, а за наступні 20 років – \$898,02. Передовсім вона покладається на об'єми дощового стоку, які затримує коренева система. За рік ці показники становили 17390,55 л та зростуть до 380411,86 л затриманих зливових вод упродовж наступних 20 років.

Екосистемну послугу очищення повітря за допомогою MyTree було оцінено у \$61,66 за рік та \$1342,66 за 20 років. Графічно дані

очищення повітря для всіх категорій забруднювальних речовин за наступні 20 років порівняно з 2023 роком репрезентовано на рис. 4. Як видно на діаграмі, найбільше дерева поглинають з атмосферного повітря O_3 (озон) – 30,15 кг за рік і 656,24 кг за наступні 20 років. SO_2 (діоксид сірки) за обсягами поглинання посідає друге місце із 5,40 кг та 117,47 кг відповідно. Наступні за обсягом: NO_2 (діоксид азоту) 2,50 кг (рік) та 54,45 кг (20 років), $\text{PM}_{2,5}$ (дрібнодисперсні частинки) – 1,57 кг (рік) та 34,26 кг (20 років), і найменше дерева поглинають CO (чадний газ) – лише 0,63 кг (рік) та 13,78 кг (20 років).

До найбільш вартісної екосистемної послуги – заощадження енергії – входять показники:

- збереження електроенергії: 4617,19 кВт за рік і 100448,21 кВт у накопиченні за наступні 20 років;

- економія палива для опалення: 390 м³ природного газу за рік і 8032 м³ за 20 років.

Послуга заощадження енергії безпосередньо пов'язана із запобіганням енергетичним викидам. Зокрема, річну вартість цієї послуги оцінено в \$76,15, а за наступні 20 років вона кумулятивно становитиме \$1734,39. Найбільшу вартість мають показники запобігання викидам CO_2 : 1407,65 кг за рік і 32134,14 кг за 20 років.

Таблиця 3

**Регуляторні екосистемні послуги деревних насаджень
на території першого академічного містечка НаУКМА за поточний рік і наступні 20 років**

Вид екосистемних послуг	Оцінка за рік	Накопичувальна оцінка за наступні 20 років
Загальна вартість, \$	847,29	18895,36
Поглинання CO₂, \$	183,35	4129,15
Секвестрація вуглецю, кг*	975,27	21963,55
Еквівалент CO ₂ , кг**	3575,97	80533,02
Регулювання дощового стоку, \$	41,05	898,02
Затримка дощового стоку, л	17390,55	380411,86
Очищення повітря, \$	61,66	1342,66
CO, кг	0,63	13,78
O ₃ , кг	30,15	656,24
NO ₂ , кг	2,50	54,45
SO ₂ , кг	5,40	117,47
PM _{2,5} , кг	1,57	34,26
Заощадження енергії, \$***	485,08	10791,14
Збереження електроенергії, кВт	4617,19	100448,21
Економія палива для опалення, м ³ природного газу	-390,00	-8032,00
Запобігання енергетичним викидам, \$	76,15	1734,39
CO ₂ , кг	1407,65	32134,14
CO, кг	1,40	30,74
NO ₂ , кг	0,30	6,72
SO ₂ , кг	3,35	75,63
PM _{2,5} , кг	0,47	10,33

* Для великих дерев поглинання CO₂ зменшується через втрату CO₂ під час опадів/обслуговування (обрізки або кронування).

** Еквівалент CO₂ оцінюють обчисленням кількості атмосферного CO₂, що поглинається деревами для забезпечення вуглецю, збереженого в тканинах окремих дерев.

*** Позитивні значення енергії вказують на заощадження або зменшення викидів. Негативні значення вказують на збільшення використання або викидів. Електрика, використана для охолодження та обігріву, а також паливо (природний газ або нафта), використане для обігріву, базуються на типовому використанні для обраного місця.

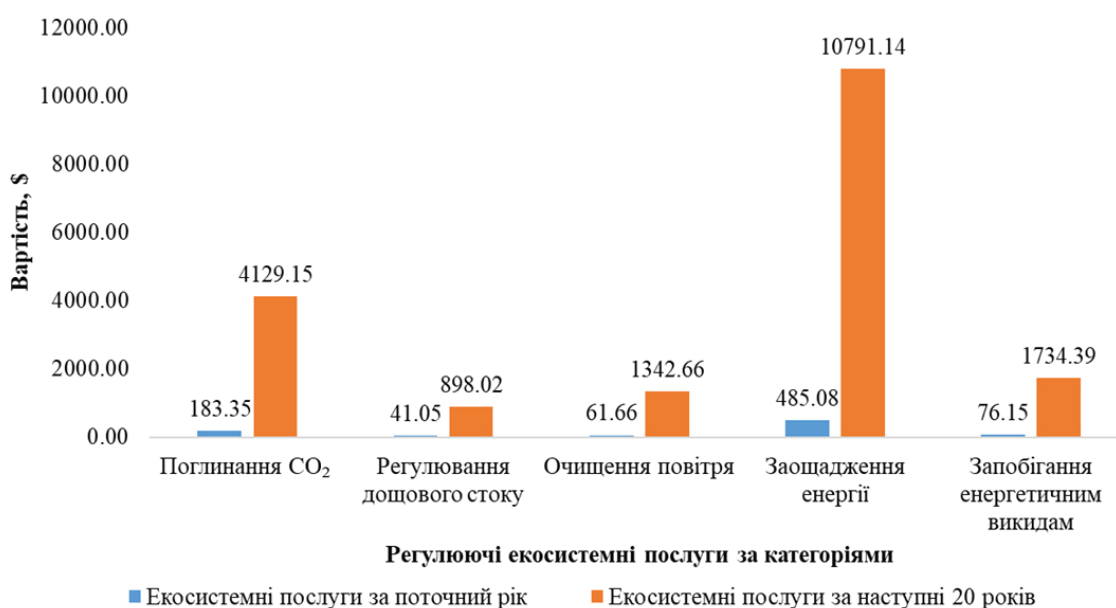


Рис. 3. Порівняльна діаграма вартості регуляторних екосистемних послуг (\$) за категоріями за поточний рік і наступні 20 років

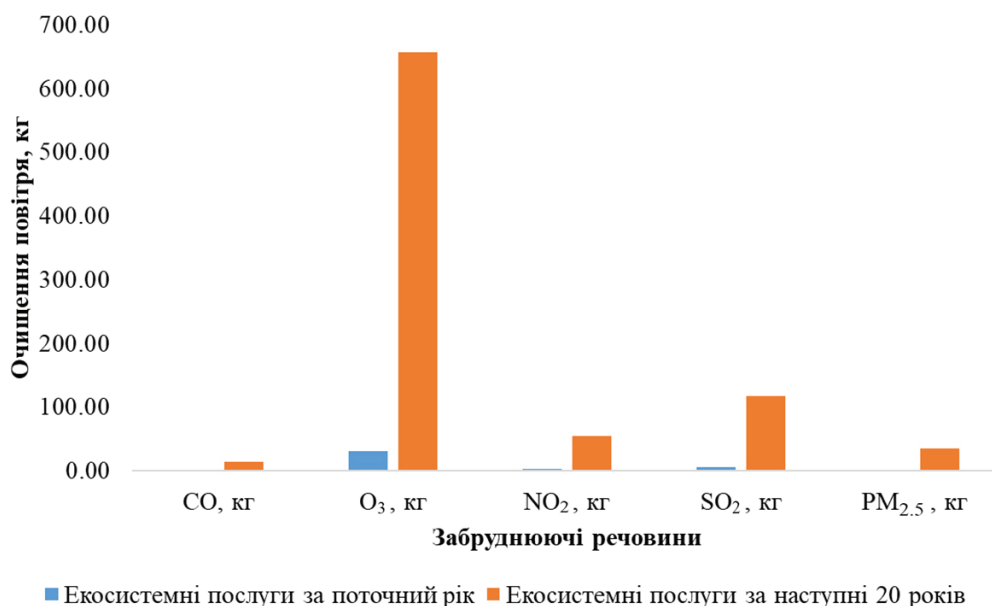


Рис. 4. Діаграма кількісної оцінки екосистемної послуги очищення повітря (кг) за забруднювальними речовинами за поточний рік і наступні 20 років

Висновки

Проведені дослідження підтвердили важливість і цінність регуляторних екосистемних послуг, які забезпечують зелені насадження для першого академічного містечка як частини кампусу Національного університету «Києво-Могилянська академія». Для ефективності екосистемних послуг важливо, щоб дерева на території кампусу були стійкими до умов міського середовища з високим впливом забруднювачів та інших стресових чинників. Проведена інвентаризація підкреслює необхідність впровадження практик сталого озеленення й догляду за деревами для підвищення стійкості та екосистемних послуг зелених насаджень кампусу. Слід уникати радикальних методів обрізки, як-от кронування, особливо на здорових деревах без попередніх ознак необхідності таких втручань. Така практика може спричинити значний стрес і знизити ефективність екосистемних послуг дерев. Натомість можна застосовувати санітарний або обмежений методи обрізки в межах комплексного підходу до догляду за насадженнями. У міському ландшафті потрібно надавати пріоритет висадженню дерев, які є найефективнішими для місцевої екосистеми для протистояння антропогенно зумовленим екологічним проблемам.

За розрахунками MyTree, загальна річна вартість екосистемних послуг деревних зелених насаджень кампусу становить \$847,29. За сприятливих умов, за прогнозами, ця вартість значно зростає – у 22,3 раза протягом наступних 20 років, досягнувши \$18895,36. Найбільшою є вартість

екосистемних послуг таких деревних видів, як *Aesculus hippocastanum* (гірकोкаштан звичайний), *Picea abies* (ялина європейська), *Picea pungens* (ялина блакитна), *Betula pendula* (береза повисла) та *Ulmus laevis* (в'яз гладкий).

Найбільшу вартість серед усіх регуляторних екосистемних послуг мають послуги заощадження енергії та поглинання парникового вуглекислого газу. Деревина відіграють важливу роль у регулюванні мікроклімату, завдяки чому протидіють відчутним наслідкам змін клімату в місті, а також дають змогу заощаджувати електроенергію, що використовується для охолодження та опалення. Завдяки зменшенню використання природного газу та нафти для опалення зелені насадження також допомагають запобігти енергетичним викидам.

З-поміж забруднювальних речовин атмосферного повітря найбільше дерева першого академічного містечка поглинають озону та діоксиду сірки. Дія озону особливо шкідлива в приземному шарі і може погіршити легеневі захворювання, як-от астма, а діоксид сірки може ускладнювати дихання, сприяти утворенню кислотних дощів та смогу, реагуючи з іншими речовинами в повітрі. Отже, екосистемна послуга очищення повітря має безпосередній позитивний вплив на здоров'я людини.

Загалом, дослідження підтвердило важливість моніторингу й оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень в урбоекосистемах для ухвалення сталих рішень щодо розвитку міських територій, підтримання добробуту і здоров'я населення.

Список літератури

1. EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing Nature Back into Our Lives. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2021. 36 p.
2. The economics of ecosystems and biodiversity: Mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. 2010. 39 p.
3. Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997;387:253-60. doi:10.1038/387253a0
4. My Tree. A tool for assessing individual trees [Internet]. i-Tree [cited May 10, 2024]. Available from: <https://mytree.itreetools.org/>
5. Macháč J, Dubová L, Louda J, Hekrlé M, Zaňková L, Brabec J. Methodology for Economic Assessment of Green and Blue Infrastructure in Human Settlements [Internet]. Ústí nad Labem; 2019 [cited April 3, 2024]. 62 p. Available from: https://www.ieep.cz/wp-content/uploads/2019/08/Machac_et_al_2019_Methodology_Economic_Assessment_GBI-7.pdf
6. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press; 2005. 155 p.
7. Song P, Kim G, Mayer A, He R, Tian G. Assessing the Ecosystem Services of Various Types of Urban Green Spaces Based on I-Tree Eco. *Sustainability*. 2020;12(4):16-30. doi:10.3390/su12041630
8. Василюк О, Варуха А, Куземко А, та ін. Екосистемний добробут: методика обрахунку екосистемних послуг непрямими методами. Чернівці: Друк Арт; 2023. 184 с.
9. Brander LM, de Groot R, Schägner JP, Guisado-Goñi V, van't Hoff V, Solomonides S, McVittie A, et al. Economic Values for Ecosystem Services: A Global Synthesis and Way Forward. *Ecosystem Services*. 2024;66:1-13. doi:10.1016/j.ecoser.2024.101606
10. Соловій І. Оцінка послуг екосистем, забезпечуваних лісами України, та пропозиції щодо механізмів плати за послуги екосистем [Інтернет]. 2016 [цитовано 9 травня 2024]. 90 с. Доступно на: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/evaluation_of_forest_ecosystem_services_and_proposals_on_pes_mechanisms.pdf

References

1. EU Biodiversity Strategy for 2030: Bringing Nature Back into Our Lives. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2021. 36 p.
2. The economics of ecosystems and biodiversity: Mainstreaming the economics of nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. 2010. 39 p.
3. Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. 1997;387:253-60. doi:10.1038/387253a0
4. My Tree. A tool for assessing individual trees [Internet]. i-Tree [cited May 10, 2024]. Available from: <https://mytree.itreetools.org/>
5. Macháč J, Dubová L, Louda J, Hekrlé M, Zaňková L, Brabec J. Methodology for Economic Assessment of Green and Blue Infrastructure in Human Settlements [Internet]. Ústí nad Labem; 2019 [cited April 3, 2024]. 62 p. Available from: https://www.ieep.cz/wp-content/uploads/2019/08/Machac_et_al_2019_Methodology_Economic_Assessment_GBI-7.pdf
6. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press; 2005. 155 p.
7. Song P, Kim G, Mayer A, He R, Tian G. Assessing the Ecosystem Services of Various Types of Urban Green Spaces Based on I-Tree Eco. *Sustainability*. 2020;12(4):16-30. doi:10.3390/su12041630
8. Vasylyuk O, Varukha A, Kuzemko A, et al. Ecosystem well-being: a method of calculating ecosystem services using indirect methods. Chernivtsi: Print Art; 2023. 184 p. Ukrainian.
9. Brander LM, de Groot R, Schägner JP, Guisado-Goñi V, van't Hoff V, Solomonides S, McVittie A, et al. Economic Values for Ecosystem Services: A Global Synthesis and Way Forward. *Ecosystem Services*. 2024;66:1-13. doi:10.1016/j.ecoser.2024.101606
10. Soloviy I. Evaluation of forest ecosystem services provided by forests of Ukraine and proposals on PES mechanisms [Internet]. 2016 [cited May 9, 2024]. 90 p. Available from: https://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/evaluation_of_forest_ecosystem_services_and_proposals_on_pes_mechanisms.pdf. Ukrainian.

I. Vyshenska, Ye. Melnyk

National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF REGULATORY ECOSYSTEM SERVICES OF GREEN PLANTS IN URBAN ECOSYSTEMS

Abstract

The article presents the results of research on the assessment of ecosystem services of green tree stands on the territory of the first academic campus of the National University of Kyiv-Mohyla Academy using the MyTree tool. It is a part of the i-Tree tool set developed by the Forest Service of the United States Department of Agriculture (USDA) of the comprehensive program, designed to assess the ecosystem services provided by individual trees or small groups of trees. Research has established that the most important regulatory services were carbon dioxide absorption, microclimate regulation, energy saving, air purification from ozone and sulfur dioxide. Calculations by the MyTree tool show the annual cost of tree planting services on campus and its projected cumulative growth after 20 years. According to the calculations of the MyTree tool, this year's cost of tree plantation services of the first academic campus of the National University of Kyiv-Mohyla Academy was \$847.29, and according to forecasts, after 20 years it will cumulatively increase to \$18,895.36. Estimates of the cost of individual components of regulatory ecosystem services are provided. The cumulative estimate over the next 20 years for CO₂ sequestration was \$4,129.15, which includes the

sequestration of 21,963.55 kg of carbon. Air purification for 20 years is estimated at \$1,342.66, which includes absorption and neutralization of 656.24 kg of O₃, 117.47 kg of SO₂, 54.45 kg of NO₂, and 34.26 kg of solid dust particles PM_{2.5}. Energy savings are estimated at \$10,791.14, which includes energy savings of 100,448.21 kW. The tree species *Aesculus hippocastanum* (Bitter chestnut), *Picea abies* (European spruce), *Picea pungens* (Blue spruce), *Betula pendula* (Hanging birch) and *Ulmus laevis* (Smooth elm) provide the highest value of services. The results of this study can be used in the future to improve the planning and management of green areas of the university campus, taking into account the value of their ecosystem services.

In general, the study confirmed the importance of monitoring and evaluating the ecosystem services of green spaces in urban ecosystems for making sustainable decisions regarding the development of urban areas, supporting the well-being and health of the population.

Keywords: ecosystem services, urban ecosystems, MyTree tool, sustainable urban development.

Матеріал надійшов 12.05.2024

Відомості про авторів Notes about authors

Вишенська Ірина Георгіївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Vyshenska Iryna – PhD, Associate Professor of the Ecology Department of the National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2075-5705>

e-mail: vyshenska@ukma.edu.ua

Мельник Єлизавета Євгенівна – здобувачка ОНП «Екологія та охорона навколишнього середовища» Національного університету «Києво-Могилянська академія» (НаУКМА), Київ, Україна

Melnyk Yelyzaveta – graduate student of the “Ecology and Environmental Protection” of the National University of Kyiv-Mohyla Academy (NaUKMA), Kyiv, Ukraine

e-mail: yelyzaveta2.melnyk@ukma.edu.ua



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)