



Д. І. Бідолах¹, Р. Д. Васишин², В. В. Миронюк², В. С. Кузьович¹, С. М. Підховна¹

¹ ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут", м. Бережани, Україна

² Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНСТРУМЕНТУ i-TREE ECO

Наведено результати дослідження щодо можливості застосування інструменту i-Tree Eco для оцінювання вартості частини екосистемних послуг дерев і кущів під час виконання інвентаризації зелених насаджень на прикладі урбоекосистеми невеликого міста. Опрацьовано спосіб відображення отриманих результатів за допомогою інтерактивних картографічних матеріалів для ознайомлення громадськості та інших зацікавлених осіб із кількісним та вартісним вимірами цінності насаджень для екосистеми населеного пункту. Під час дослідження проведено інвентаризацію 119 дерев і кущів на площі Ринок у місті Бережани Тернопільської області разом із перевіркою можливості її адаптації для умов України, проаналізовано отриману інформацію та з'ясовано переваги і недоліки цього процесу. Встановлено обсяги окремих екосистемних послуг досліджених зелених насаджень у кількісному та вартісному вимірах. З'ясовано, що дерева та кущі досліджуваної території (площа покриття 4546 м²) щорічно створюють екосистемні послуги (зменшення забруднення довкілля, поглинання та секвестрація вуглецю, регулювання водного стоку), які оцінено на суму 279,54 тис. грн або 7504 у.о. за результатами використання інструменту i-Tree Eco. Встановлено, що відновна вартість деревно-кущової рослинності досліджуваної території становить 186 млн грн або 4,993 млн у.о. за результатами її оцінки i-Tree Eco. З'ясовано, що для удосконалення процесу отримання та опрацювання матеріалів доцільно використовувати ортофотоплан за матеріалами БПЛА-зйомки, який дав змогу підвищити точність геолокації та покращити процес візуалізації дерев і кущів. Запропоновано використовувати електронні карти рослинності, які відображають точні місця розташування дерев і кущів і їх екосистемні послуги у кількісному та монетизованому вимірах, для ознайомлення більшої кількості користувачів з отриманою інформацією. З'ясовано, що наведені підходи до оцінювання вартості зелених насаджень та виконуваних ними екосистемних послуг дають підстави акцентувати увагу на їх цінності для урбоекосистем, обґрунтовувати доцільність здійснення природоохоронних заходів, а також необхідність збільшення фінансування цих заходів як компенсації за надані деревами та кущами послуги. Встановлено та окреслено низку питань, які потребують подальшого вивчення.

Ключові слова: інвентаризація насаджень; монетизація корисності дерев; оцінювання екосистемних послуг; відновна вартість.

Вступ / Introduction

Відомо, що процес урбанізації постійно вимагає освоєння нових територій під забудову та покращення інфраструктури. Водночас, зменшуються площі зелених насаджень через нерозуміння їх цінності для урбоекосистеми. Під час прийняття подібних рішень часто не враховують той факт, що міські фітоландшафти, навіть

за умов відсутності генерування ренти у монетизованому вимірі, надають важливі екосистемні послуги [6], які здебільшого не оцінені належно з економічної, соціальної та екологічної точок зору. Тому дослідження обсягів та вартості корисностей, які створюють зелені насадження, повинно призводити до оптимізації використання природних ресурсів та проектування урболан-

Інформація про авторів:

Бідолах Дмитро Ілліч, д-р с.-г. наук, професор, кафедра лісового та садово-паркового господарства.

Email: dimbid@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-0248-3731>

Васишин Роман Дмитрович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра таксації лісу та лісового менеджменту.

Email: r.vasylyshyn@nubip.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

Миронюк Віктор Валентинович, д-р с.-г. наук, професор, кафедра таксації лісу та лісового менеджменту.

Email: victor.myroniuk@nubip.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-5961-300X>

Кузьович Василь Степанович, канд. с.-г. наук, доцент, завідувач кафедри лісового та садово-паркового господарства.

Email: vasyi.kuzovych@gmail.com

Підховна Світлана Михайлівна, канд. с.-г. наук, доцент, кафедра лісового та садово-паркового господарства.

Email: pidkhovna_s@ukr.net

Цитування за ДСТУ: Бідолах Д. І., Васишин Р. Д., Миронюк В. В., Кузьович В. С., Підховна С. М. Оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з використанням інструменту i-Tree Eco. Науковий вісник НЛТУ України. 2023, т. 33, № 2. С. 07–13.

Citation APA: Bidolakh, D. I., Vasylyshyn, R. D., Myroniuk, V. V., Kuzovych, V. S., & Podkhovna, S. M. (2023). Evaluation of ecosystem services of urban green spaces using i-Tree Eco tool. *Scientific Bulletin of UNFU*, 33(2), 07–13. <https://doi.org/10.36930/40330201>

дшафтів через призму охорони довкілля та покращення здоров'я людей як щодо теперішніх, так і майбутніх поколінь [9].

Зважаючи на те, що екосистемні послуги є корисними благами, які можна отримати від правильної взаємодії з екосистемами, що нас оточують, треба розуміти, що ці корисності до того ж підтримують значну частину нашої економіки, культури, здоров'я та добробуту. А тому, згідно з висновками авторів [1], нехтування вимог щодо підтримки, захисту та примноження функцій екосистем, що нас оточують, є неприпустимим. Дослідження різних підходів до оцінювання вартості екосистемних послуг вирізняється актуальністю, що підтверджується постійним збільшенням кількості праць з вивчення цієї проблематики [9, 13, 14, 18]. Водночас, автори роботи [17] відзначили, що у подібних дослідженнях "... спостерігається неузгодженість щодо визначення та класифікації послуг, які надаються насадженнями, а також відсутність однаковості щодо нормативної бази, яка має при цьому застосовуватися...". Тому важливим завданням науковців є опрацювання теоретичних і практичних засад оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень з урахуванням корисностей, які вони створюють для довкілля та суспільства. Цей процес потребує перевірки можливості адаптації цієї оцінки до процесу інвентаризації зелених насаджень, застосування науково обгрунтованого підходу, який повинен базуватись на надійній нормативно-правовій основі та враховувати їх соціальну, екологічну і економічну роль.

Об'єкт дослідження – методологія інвентаризації та вартісної оцінки міських зелених насаджень.

Предмет дослідження – екологічне й економічне оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень засобами i-Tree Eco tools та інтерпретація результатів.

Мета роботи – перевірити можливість і доцільність застосування одного з інструментів оцінки вартості екосистемних послуг i-Tree Eco для отримання, інтерпретації та подальшого подання інформації про екологічну та вартісну цінність дерев і кущів для науковців, громадськості та інших зацікавлених осіб.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі *основні завдання дослідження*: визначити біометричні показники дерев і кущів під час їх інвентаризації разом із перевіркою методики отримання та опрацювання інформації; дослідити можливість поєднання та адаптації цієї методики до типового для України процесу інвентаризації зелених насаджень відповідно до Інструкції [7]; встановити обсяги та вартість екосистемних послуг (зменшення забруднення довкілля, поглинання та секвестрація вуглецю, киснепродуктивність та регулювання водного стоку), визначити відновну вартість рослин; проаналізувати отриману інформацію, її візуалізацію та визначити переваги і недоліки застосування інструменту i-Tree Eco під час інвентаризації насаджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як зазначають науковці [10, 19], для забезпечення постійної та регулярної підтримки екосистемних послуг важливим є процес їх кількісного визначення. При цьому оцінювати вартість таких корисностей можна у різних одиницях вимірювання, наприклад, обсягу економії чи отримання додаткової енергії, матеріалів, затрат праці та інших ресурсів, проте для їх інтеграції у практику ухвалення обгрунтованих рішень потрібно проводити їх монетизацію [9, 13, 15, 18]. Адже за відсутності прямого

фінансового виразу вартості екосистемних послуг, які продукуються зеленими насадженнями, може виникати недооцінка або складнощі з усвідомленням їх важливості та цінності. Водночас, урбанізаційні процеси сприяють підвищенню попиту на якісні екосистемні послуги, неврахування яких призводить до погіршення соціально-економічних показників розвитку сучасних міст [1].

Звісно, весь перелік екосистемних послуг оцінити неможливо, адже на сьогодні немає чітких критеріїв для встановлення відновної вартості [14] та методики монетизації естетичних, гігієнічних, рекреаційних, виховних та інших нематеріальних функцій зелених насаджень [10]. Проте вимірювання навіть доступних нині для оцінювання екосистемних послуг дає змогу продемонструвати органам місцевої влади, які причетні до функціонування урболандшафтів, організаціям, активістам та іншим зацікавленим особам певну частину цінності дерев і кущів [19], зокрема і виражену у грошовій (монетизованій) формі та представлену на картографічному матеріалі [13].

Аналіз досліджень важливості застосування екосистемного підходу на світовому та локальному рівнях [1, 6, 19, 15] дає підстави робити висновки про те, що належна кількісна та економічна оцінка корисностей, що продукуються екосистемами, створить умови для акцентування уваги на цінності міських лісів для урбоекосистем та дасть змогу обгрунтовувати доцільність виконання регулярних природоохоронних заходів та їх фінансування. За таких умов важливою частиною досліджень у цій сфері є представлення інформації для ознайомлення якомога більшої кількості користувачів. Деякі дослідники [8, 13] пропонують застосовувати та практикують різні інформаційні системи та карти для демонстрації місць розташування дерев з відомостями про їх цінність.

Концепція оплати вартості екосистемних послуг також становить значний міжнародний інтерес [15] як ефективний засіб для покращення екологічного менеджменту шляхом обгрунтування доцільності фінансування природоохоронних заходів за результатами економічних розрахунків екосистемних корисностей [19]. Проте для таких платежів потрібно розробити підходи до оцінювання вартості екосистемних послуг. В Україні вже тривалий час ведеться дискусія щодо доцільності більш детального вивчення екосистемних послуг [6], щоб оцінити корисності, які суспільство використовує у процесі своєї життєдіяльності, навіть не усвідомлюючи їх вартості. З 2013 р. обговорюють доцільність створення окремого Державного агентства екосистемних послуг. Проте у нашій державі практично немає напрацьованих, пов'язаних з прикладними можливостями оцінювання екосистемних послуг під час виконання інвентаризації зелених насаджень, а ті, що публікуються, мають переважно концептуальний характер.

Матеріали та методи дослідження. Інвентаризацію зелених насаджень на площі Ринок у місті Бережани Тернопільської області проведено впродовж вегетаційного періоду відповідно до Інструкції [7] з інвентаризації зелених насаджень у населених пунктах України. Водночас, вимірювали додаткові параметри рослин, які потрібні для визначення їх екосистемних послуг за допомогою інструментарію i-Tree Eco та рекомендацій [17]. До цих додаткових параметрів відносять:

координати місця розташування кожної рослини; землекористування за дванадцятьма категоріями; висота дерева від земної поверхні до основи крони та від цієї межі до верхівки рослини; ширина проекції крони у двох взаємно перпендикулярних напрямках; частка втрати та відмирання крони, а також освітленість рослини за п'ятьма категоріями. Види деревних та кущових рослин встановлювали за визначником [3].

Значення географічної довготи і широти визначали за допомогою приймачів Garmin Etrex 22x та GPSMap64s, а також з використанням геолокації мобільного телефону Samsung Galaxy M31 (додаток GPS Point) для можливості порівняння точності доступних методів визначення географічних координат дерев і кущів. Актуальна картографічна основа, в ролі якої використано отриманий за результатами обльоту території квадрокоптером DJI Phantom4 ортофотоплан, дала змогу в ГІС QGIS 3.16 проводити уточнення та коригування місць розташування рослин, які отримано за даними GPS-приймачів відповідно до методики [8]. Це, відповідно, дало змогу значно підвищити точність отриманих даних геолокації дерев і кущів.

Після збирання польових даних інформація імпортувалась до програмного забезпечення i-Tree Eco. Ця програма є адаптаційною моделлю Urban Forest Effects, яка розроблена спільними зусиллями Лісової службою США, окремих державних і приватних програм та компаній. Додаткову інформацію про програму та способи її використання можна знайти в посібнику i-Tree Eco Sample Inventories [17]. За підсумками опрацювання введених до i-Tree Eco даних, отримано низку звітів і результатів, які використовувались для оцінювання як окремих, так і загальних користностей насаджень для екосистеми у кількісному, якісному та вартісному вимірах. Отримані результати у форматах .CSV та .KML створили умови для поєднання просторової та атрибутивної інформації про рослини та їх екосистемні послуги. Таку можливість використано для спрощення процесу візуалізації результатів за допомогою додатка MyMaps та їх представлення у вигляді інтерактивної карти рослин [4].

Загалом під час цього дослідження використано таке програмне забезпечення: Agisoft PhotoScan – для ортотрансформації знімків та монтування ортофотоплану; ГІС QGIS 3.16 – для інтерпретації точок GPS-інвентаризації дерев та кущів та створення геоінформаційної бази даних рослинності; i-Tree Eco Tools – для дослідження екосистемних послуг дерев та кущів парку; додаток MyMaps – для візуалізації результатів у вигляді інтерактивної карти рослин.

Дослідження здійснювали із залученням волонтерів у ході реалізації пілотного проекту "Прозора та партисипативна система інвентаризації зелених зон в Україні: iTree4UA" за науковим керівництвом кафедри лісового і садово-паркового господарства ВП НУБіП України "Бережанський агротехнічний інститут".

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Географічне розташування об'єкта дослідження, площа якого становить 1,64 га, можна описати такими географічними координатами: ПН широта – від 49.444549° до 49.445747°, СХ довгота – становить від 24.938052° до 24.940745°. Зелені насадження представлені двадцятьма

видами, серед яких найчисельнішими є *Acer platanoides* L. (23,5 %), *Picea Pungens* Engelm. (23,5 %), *Tilia platyphyllos* Scop. (11,8 %), *Aesculus hippocastanum* L. (9,2 %) та *Uniperus communis* L. (7,6 %). Частка інших видів у насадженні становить 5 % і менше. Інвентаризацією на цьому об'єкті охоплено 119 дерев і кущів, для кожного з яких виміряно низку параметрів. Площа проекційного покриття крон рослин становить 0,4546 га, або 27,7 % від загальної площі досліджуваної території та відповідає 3,186 га листової площі за даними I-Tree Eco Tools.

Одним із найважливіших природних факторів, який може зменшувати концентрацію забруднювальних речовин у містах, є здатність зелених насаджень поглинати газоподібні забруднювачі своїм листям та хвосою [10]. Результати проведених досліджень свідчать, що дерева та кущі, що ростуть на площі Ринок у Бережанах здатні щорічно поглинати 240,8 кг забруднювальних речовин, відповідно до останніх показників забруднення у регіоні та місцевих метеорологічних умов, що забезпечує виконання екосистемних послуг на суму 44,2 тис. грн (1187 у.о.).

За результатами аналізу щорічного поглинання забруднювальних речовин зеленими насадженнями на території площі Ринок у Бережанах (рис. 1) встановлено, що найбільше значення цього показника характерне твердим часткам розміром 2,5-10 мкм (PM10) та діоксиду сірки (SO₂). Загалом, за даними i-Tree Eco Tools, встановлено, що досліджувані дерева та кущі здатні зменшувати забруднення повітря шкідливими сполуками (озон O₃, оксид вуглецю CO та діоксид азоту NO₂), а також частками розміром речовини менше 2,5 мкм (PM2.5) та 2,5-10 мкм (PM10) на 240,8 кг забруднення повітря щорічно.

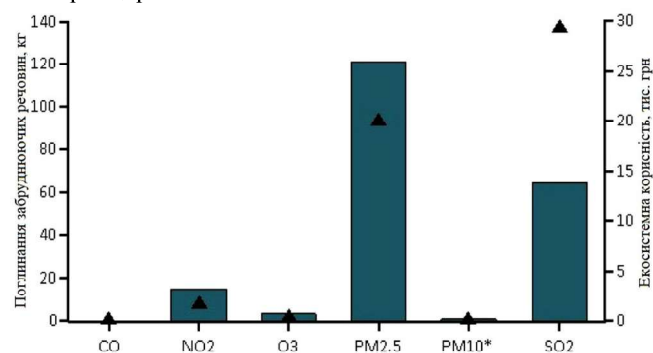


Рис. 1. Щорічна кількість та вартість екосистемних послуг стосовно поглинання забруднювальних речовин / Annual quantity and value of ecosystem services related to pollutant absorption

Встановлено, що у монетизованому вимірі ці екосистемні послуги оцінені щорічною користністю у розмірі 44,2 тис. грн (1186,5 у.о.). У 2022 р. рослини, що зростають на території площі Ринок у Бережанах, за даними програми також випромінювали близько 8332 кг легких речовин (в англійській літературі volatile organic compounds, VOC).

Аналіз здатності досліджуваних дерев та кущів до поглинання та секвестрації вуглецю засвідчив, що вона залежить від розміру та життєвого і санітарного стану рослин. Валова секвестрація досліджуваного насадження складає становить 1599 метричних тонн вуглецю на рік, що у монетизованому вимірі оцінюють щорічною вартістю екосистемних послуг на суму 8,84 тис. грн або 237,3 у.о. (рис. 2).

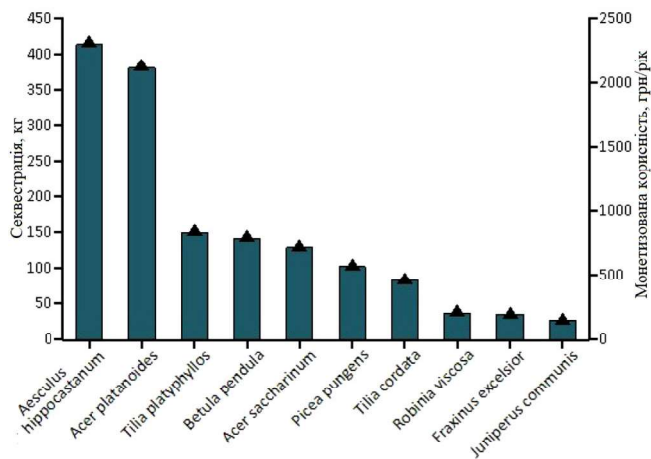


Рис. 2. Орієнтовна секвестрація вуглецю та вартість цієї екосистемної послуги стосовно основних деревних і кущових видів / Estimated gross carbon sequestration value for major tree and bush species

За оцінками інструмента i-Tree Eco, дерева та кущі на площі Ринок у Бережанах щорічно продукують близько 4265 метричних тонн кисню. Найефективніше цю

екосистемну функцію у складі зелених насаджень досліджуваної території виконують *Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L. та *Tilia platyphyllos* Scop. (табл. 1). Згідно з даними табл. 1, киснепродуктивність залежить більше від величини листової площі, ніж від кількості рослин. Водночас, листова площа залежить від віку дерев, щільності їх зростання та морфології листової пластинки кожного виду.

Важливою екосистемною функцією зелених насаджень також є регулювання водного стоку рослинами. Адже поверхневий стік може спричиняти погіршення стану ґрункової екосистеми, сприяючи розвитку ерозії, змиванню сміття, та забруднення до каналізаційних систем, струмків, річок, озер та інших водних об'єктів. Зелені насадження здатні при цьому переводити поверхневий стік у внутрішньо-ґрунтовий та перехоплювати частину опадів. Деревно-кушова рослинність площі Ринок у Бережанах за розрахунками i-Tree Eco здатна зменшити стік приблизно на 124 м³ на рік. Ця екосистемна послуга для досліджуваних насаджень оцінюють наведеною програмою у розмірі суми, яка становить 8,5 тис. грн, або 228,2 у.о. щорічно (рис. 3).

Табл. 1. Список видів з найвищою киснепродуктивністю у 2022 р. (на території площі Ринок у м. Бережани) / Top 10 oxygen production species in 2022 (Rynok Square, Berezhany)

№ п/п	Вид	Продуктування кисню, кг	Річне валове поглинання вуглецю, кг	Кількість дерев, шт	Листова площа, га
1	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	1110,76	416,54	11	0,78
2	<i>Acer platanoides</i> L.	1022,67	383,50	28	0,60
3	<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	403,36	151,26	14	0,36
4	<i>Betula pendula</i> Roth.	380,58	142,72	5	0,22
5	<i>Acer saccharinum</i> L.	347,41	130,28	4	0,23
6	<i>Picea pungens</i> Engelm.	275,13	103,17	19	0,38
7	<i>Tilia cordata</i> Mill.	222,79	83,55	6	0,29
8	<i>Robinia viscosa</i> Vent.	100,43	37,66	4	0,01
9	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	95,47	35,80	2	0,06
10	<i>Juniperus communis</i> L.	71,76	26,91	9	0,02

Відновна вартість зелених насаджень за методикою USDA Forest service [15] дещо відрізняється від аналогічної методики в Україні. Проте сутність цієї методики полягає також в розрахунках вартості заміни дерева на аналогічне з урахуванням функціонального значення кожної рослини. Перевагою інструмента i-Tree Eco є врахування вартості екосистемної корисності кожної рослини, що підвищує цінність такого підходу з одночасним збільшенням кінцевого значення відновної вартості.

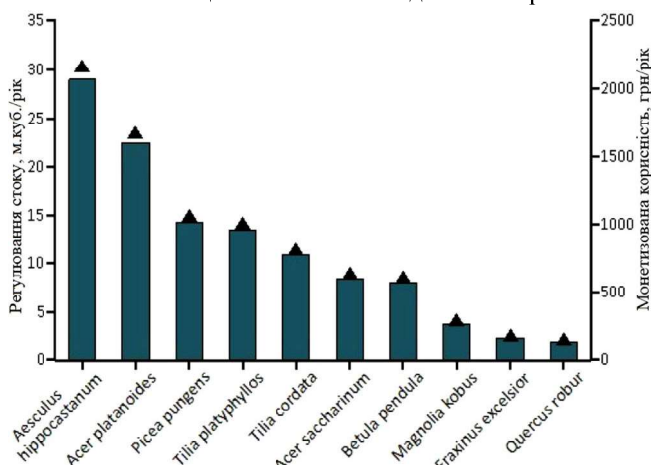


Рис. 3. Обсяги регулювання поверхневого стоку та вартість цієї екосистемної послуги стосовно видів із найбільшим загальним впливом / Avoided surface runoff value for species with the greatest overall impact

Досліджені зелені насадження мають такі значення відновної вартості (рис. 4): загальна відновна вартість дерев і кущів становить 186 млн грн (4,993 млн у.о.), а монетизована корисність зберігання вуглецю – 218 тис. грн (5,852 тис. у.о.).

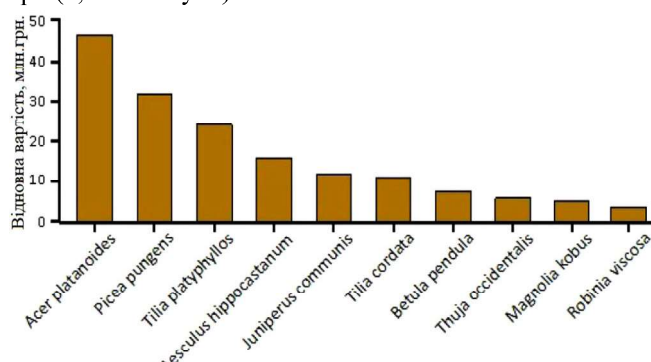


Рис. 4. Деревні та кущові види з найбільшою відновною вартістю / Tree and bush species with the highest replacement value

Проведені дослідження також засвідчили, що у минулому році на площі Ринок м. Бережани найбільшої екосистемної продуктивності у розмірі 3151,38 грн (84,60 у.о.) досягла липа дрібнолиста (*Tilia cordata* Mill.) з діаметром 55 см та висотою 22,4 м (за даними інструменту i-Tree Eco). Водночас, усереднене значення щорічної корисності для дерев та кущів парку становило 2349,08 грн (63,06 у.о.) без врахування вартості попередньо депонованого вуглецю, яка для всього об'єкта

становить 218,1 тис. грн (5855 у.о.) та відновної вартості рослин, яка становить 4992,443 тис. грн (134,019 тис. у.о.) за даними i-Tree Eco.

Результати статистичного оброблення результатів вимірювання геолокації різними приладами (табл. 2) засвідчили, що коефіцієнт варіації у всіх експериментах вищий за 50 %, що дає підстави говорити про значущість варіації. Це можливо пояснити точністю приладів, яка за технічними даними становить 2-6 м, а також складністю геолокації під наметом дерев. Аналіз статистичних показників свідчить про те, що для третього експерименту точність дослідів є досить низькою ($p=5,89$), для першого і другого – задовільною ($p < 5 \%$).

Табл. 2. Статистичні показники вибірки / Statistical indicators of the samples

№ з/п	Статистичний показник	I (Garmin 22)	II (Garmin GPS 64s)	III (GPS point)
1	Середнє значення (середньо арифметичне), м	5,03	4,85	5,39
2	Показники варіації:			
	– мінімальне значення, м	0,43	0,76	1,27
	– максимальне значення, м	15,14	18,19	16,6
	– розмах варіації, м	14,71	17,43	15,33
	– дисперсія, м	9,28	9,86	9,7
	– основне (стандартне) відхилення, м	3,05	3,14	3,11
	– коефіцієнт варіації, %	60,6	64,74	57,70
3	Показник точності дослідів, %	3,88	4,16	5,89

Проведене дослідження дало змогу виконати апробацію можливості та доцільності застосування одного з провідних та доступних інструментів оцінювання вартості екосистемних послуг i-Tree Eco для отримання інформації про екологічну та вартісну цінність деревних і кущових рослин на прикладі зелених насаджень площі Ринку у Бережанах. Встановлено, що запропонована для цього методика [15, с. 31-48] подібна до типової в Україні методики інвентаризації зелених насаджень [7]. Водночас, для підвищення точності визначення біомаси визначають низку додаткових показників. Тобто цю методику можна інтегрувати в Національну систему інвентаризації зелених насаджень, шляхом проведення додаткових вимірювань. Такий підхід, з одного боку, ускладнює та сповільнює процес проведення інвентаризації зелених насаджень, проте, з іншого боку, дає змогу отримати цінну інформацію про екосистемні корисності рослин та їх віднову вартість.

Аналіз можливості адаптації інструменту i-Tree Eco до економічних умов України та особливостей регіону дослідження засвідчив, що ця програма використовує окремі вхідні Національні та місцеві параметри, такі як: кількість населення регіону, поточний курс валют, кліматичні дані місцевих метеорологічних станцій, інформація про джерела та обсяги забруднення, місцева вартість основних енергетичних ресурсів та ін. Це дає змогу не тільки отримувати результати монетизації екосистемних послуг в національній грошовій одиниці, але, й певною мірою проводити їх адаптацію до місцевих економічних умов та інших особливостей регіону дослідження.

Можливість отримання результатів як загалом для об'єкта дослідження, так і для кожної окремої рослини відкриває нові шляхи для інтерпретації отриманих результатів. Зокрема, створюється можливість представлення корисності кожного дерева чи куща в одиницях

продукування екосистемних послуг і монетизованій формі. Для вирішення цього завдання ми використали можливості додатка Google MyMaps [4], що дало змогу відобразити інформацію про екосистемні послуги кожної рослини на інтерактивній карті (рис. 5).

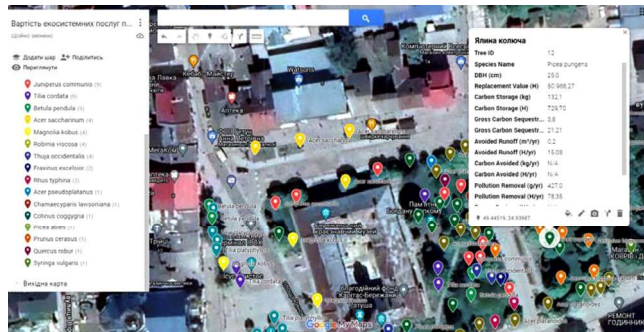


Рис. 5. Інтерактивна карта вартості екосистемних послуг зелених насаджень на території площі Ринку у м. Бережани Тернопільської обл. / Interactive map of the value of ecosystem services delivered by green spaces in the territory of Rynok Square (Berezhany, Ternopil region) [4]

Аналіз результатів вимірювання геолокації різними приладами (див. табл. 2) дає підстави робити висновки про те, що для геолокації рослин краще застосовувати туристичні GPS-приймачі порівняно з програмами для подібних завдань для смартфонів з огляду вищої точності результатів та простішого і швидшого процесу вимірювання. Проте, за умови коригування точок за даними дистанційного зондування, можна використовувати всі перелічені вище способи геолокації.

Підсумовуючи наведене вище, варто звернути увагу, що наведені підходи до оцінювання вартості рослин та виконуваних ними екосистемних послуг, дають підстави акцентувати увагу на їх цінності для урбоекосистем, обґрунтовувати доцільність вжиття заходів зі збереження і розширення територій під озеленення для покращення екологічної безпеки, а також необхідність збільшення фінансування цих заходів як компенсацію за надані деревами та кущами послуги. Водночас, варто відзначити доцільність виконання подальших досліджень за цією тематикою та наявність деяких питань, які потребують подальшого дослідження. До таких можна віднести:

- дослідження можливостей розширення переліку інструментарію для оцінювання екосистемних послуг дерев і кущів (оцінювання їх рекреаційних, естетичних, санітарно-гігієнічних, виховних та інших нематеріальних функцій);
- інформативність отриманого показника відновної вартості рослин та можливість його адаптації до національних стандартів;
- можливість застосування інструментарію для оцінювання екосистемних інших видів рослинності у складі зелених насаджень (газони, квітники тощо);
- ретельне дослідження "слабких сторін" процесу виконання робіт та можливості покращення точності отриманих даних;
- продовження адаптації методики до умов України та відповідність вартісних параметрів екосистемних послуг місцевим економічним умовам.

Загалом розроблення та практичне впровадження методик оцінювання обсягу та вартості екосистемних послуг зелених насаджень є важливим напрямом сучасних досліджень науковців у всьому світі. Отримання та представлення для громадськості результатів оцінювання корисності дерев і кущів для урбоекосистем неминуче призведе до усвідомлення важливої екологічної ролі міських дерев, посилить відповідальність за їх збереження та дасть змогу залучати додаткові кошти для

екологічного фонду. Ці кошти повинні бути спрямовані на потреби впорядкування дерев і кущів у містах із підтримкою забезпечення виконання вимог сталого розвитку у сфері надання екосистемних послуг.

Обговорення результатів дослідження. Отримані результати дослідження дали змогу встановити, що апробована в даному дослідженні методика [17], за умови вимірювання ряду додаткових біометричних показників рослин, має перспективи залучення до методики інвентаризації зелених насаджень [7] в Україні так само, як вже засвідчено різними науковцями доцільність і можливість її інтеграції до системи обліку міських насаджень інших країн [2, 9, 12 та ін.]. Окрім цього, запропонований підхід є досить актуальним у контексті важливості екологізації суспільного розвитку. З цим погоджується значна кількість дослідників [12, 16, 20 та ін.], які звертають увагу міжнародної спільноти на доцільність підвищення рівня екологічної свідомості мешканців населених пунктів, особливо в умовах урбанізації та технологічного розвитку, які призводять до погіршення екосистемної стійкості довкілля. За таких умов запропоновані нами інтерактивні карти екосистемних послуг зелених насаджень, зважаючи на досвід подібних досліджень в інших країнах [2, 13, 16], повинні сприяти загальному процесу екологізації суспільного розвитку в Україні у контексті покращення розуміння екологічної цінності дерев та кущів для урболандшафтів.

Підсумовуючи наведені вище результати у контексті висновків як вітчизняних [6, 8, 14 та ін.] так і закордонних дослідників [9, 13, 16, 19 та ін.] варто звернути увагу, що наведені підходи до оцінювання вартості рослин та виконуваних ними екосистемних послуг, дають підстави акцентувати увагу на цінності зелених насаджень, обґрунтовувати доцільність вжиття заходів зі збереження і розширення територій під озеленення для покращення екологічної безпеки, а також необхідність збільшення фінансування цих заходів як компенсацію за надані деревами та кущами послуги. Окрім цього, запропонований підхід є одним із можливих засобів досягнення окремих цілей сталого розвитку, особливо захисту і відновлення екосистем, пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечення сталого розвитку міст і громад.

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

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – вперше в Україні проаналізовано можливості та перспективи використання інструментарію i-Tree Eco для оцінювання екосистемних послуг зелених насаджень під час їх інвентаризації для подальшої інтерпретації.

Практична значущість результатів дослідження – їх можна використати для вдосконалення та покращення інформативності процесу інвентаризації зелених насаджень. Запропоноване точне картографування рослин у парку разом із відображенням інформації про їх екосистемні послуги в кількісному та вартісному вимірах створює умови для підвищення обґрунтованості рішень щодо доцільності захисту, охорони, лікування чи заміни кожного конкретного дерева чи куща.

Висновки / Conclusions

Проведене дослідження дало змогу перевірити можливість і доцільність застосування i-Tree Eco, як одного

з провідних інструментів для оцінювання вартості екосистемних послуг, на прикладі дерев і кущів певного урболандшафту в Україні. Перевагою застосування цього інструменту у напрямі отримання інформації про екологічну та вартісну цінність деревних і кущових рослин є його доступність для широкого кола науковців та інших користувачів, функціональність та зручність подання результатів. До недоліків застосування інструменту i-Tree Eco під час інвентаризації насаджень можна віднести збільшення трудомісткості робіт. Методика збирання польових даних для опрацювання у зазначеній вище програмі може бути адаптована до наявної методики інвентаризації зелених насаджень шляхом проведення додаткових вимірювань. Можливість адаптації інструменту i-Tree Eco до місцевих економічних та кліматичних умов створює умови не тільки для отримання результатів монетизації екосистемних послуг у національній грошовій одиниці, але й для врахування особливостей території в отриманих результатах.

Використання ортофотоплану за результатами БПЛА-зйомки дає змогу усувати помилки визначення розташування рослин GPS-приймачами та підвищувати точність геолокації рослинності. Візуалізація вартісних параметрів зелених насаджень, зокрема їх екосистемних послуг, за допомогою інтерактивних електронних карт сприятиме підвищенню загального розуміння цінності урболандшафтів та їх охорони.

Загалом серед досліджених рослин найефективнішими з огляду проаналізованих екосистемних користностей виявились *Tilia cordata* Mill., *Aesculus hippocastanum* L. та *Acer saccharinum* L., що дає підстави для рекомендації ширшого використання цих видів у системі міського озеленення.

Наведені підходи до оцінювання екосистемних послуг міських лісів дають підстави акцентувати увагу на їх цінності, обґрунтовувати доцільність здійснення природоохоронних заходів та необхідність збільшення їх фінансування як компенсацію за надані деревами та кущами послуги. Водночас, варто відзначити доцільність виконання подальших теоретичних і практичних досліджень за цією тематикою.

References

- Berghofer, A., & Schneider, A. (2015). Indicators for Managing Ecosystem Services – Options & Examples [Guidance]. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ) Leipzig GmbH. Retrieved February 7, 2020. URL: https://www.aboutvalues.net/ru/data/about_values/values_indicators_for_managing_ecosystem_services_options_and_examples_dec2015.pdf
- Cimburova, Z., & Barton, D. N. (2020). The potential of geospatial analysis and Bayesian networks to enable i-Tree Eco assessment of existing tree inventories. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126801. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126801>
- Dobrochaeva, D. N., Kotov, M. I., Prokudin, Yu. N., et al. (1999). *Opredelitel vysshih rasteniy Ukrainy*. Kiev: Fitosotsiotsentr, 548. [In Russian].
- Ecosystem services, Rynok square, Berezhany. (2022). Mymaps google. URL: https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1Q9csXs_OEUHr43Hakwns4z13PQ5_nhs&usp=sharing
- Esperon-Rodriguez, M., Tjoelker, M. G., Lenoir, J., et al. (2022). Climate change increases global risk to urban forests. *Nat. Clim. Chang.* <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01465-8>
- Havrylenko, O., & Tsyhanok, E. (2019). Degradation of ecosystem services of protected areas in urbanized zones. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geography*, 73, 10–14. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.73.2>

7. Instruktsiia z inventaryzatsii zelenykh nasadzhenn u naselennykh punktakh Ukrainy. (2001). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0182-02> [In Ukrainian].
8. Lakyda, P. I., Bidolakh, D. I., & Kuziovykh, V. S. (2020). Spatial database of urban landscapes on the example of Berezhany greenery. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(4), 51–56. <https://doi.org/10.36930/40300409>
9. Nowak, D. J. (2017). Assessing the benefits and economic values of trees. V Routledge handbook of urban forestry, 152–163. Routledge. Retrieved August 10, 2018. URL: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/54838>
10. Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Doyle, M., McGovern, M., & Pasher, J. (2018). Air pollution removal by urban forests in Canada and its effect on air quality and human health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 29, 40–48.
11. Nowak, D., Hoehn, R., & Crane, D. (2007). Oxygen Production by Urban Trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*, 33(3), 220–226. <https://doi.org/10.48044/jauf.2007.026>
12. Raum, S., Hand, K. L., Hall, C., Edwards, D. M., O'Brien, L., & Doick, K. J. (2019). Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. *Landscape and Urban Planning*, 190, 103590. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103590>
13. Rocha, S. M., Zulian, G., Maes, J., & Thijssen, M. (2015). Mapping and assessment of urban ecosystems and their services. (JRC Science Hub). Publications Office. URL: <https://dx.publications.europa.eu/10.2788/638737>
14. Rogovskiy, S. (2016). Method of determining trees replacement cost in settlements green areas. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(4), 45–52. <https://doi.org/10.15421/40260407>
15. Schomers, S., & Matzdorf, B. (2013). Payments for ecosystem services: A review and comparison of developing and industrialized countries. *Ecosystem Services*, 6, 16–30. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.01.002>
16. Stoeckl, N., Dodd, A., & Kompas, T. (2023). The monetary value of 16 services protected by the Australian National Biosecurity System: Spatially explicit estimates and vulnerability to incursions. *Ecosystem Services*, 60, article number 101509. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101509>
17. USDA Forest Service. (2011). i-Tree Eco Users Manual (version 4.1.). www.itreetools.org. URL: <https://www.itreetools.org/documents/250/i-Tree%20Eco%20Users%20Manual.pdf>
18. Velasco-Munoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Schoenemann, M., & López-Felices, B. (2022). An Analysis of the Worldwide Research on the Socio-Cultural Valuation of Forest Ecosystem Services. *Sustainability*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042089>
19. Wunder, S., & Wertz-Kanounnikoff, S. (2009). Payments for ecosystem services: A new way of conserving biodiversity in forests. *Journal of Sustainable Forestry*. URL: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/20169>
20. Yang, X., & Khan, I. (2021). Dynamics among economic growth, urbanization, and environmental sustainability in IEA countries: the role of industry value-added. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16000-z>

D. I. Bidolakh¹, R. D. Vasylyshyn², V. V. Myroniuk², V. S. Kuzyovych¹, S. M. Podkhovna¹

¹ Berezhany Agrotechnical Institute of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Berezhany, Ukraine

² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

EVALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES OF URBAN GREEN SPACES USING i-TREE ECO TOOL

The main goal of the research for the possibility of applying i-Tree Eco tools in order to evaluate ecosystem services delivered by trees and bushes. This research is based on the urban green spaces in Berezhany Market Square (Ternopil Region). The possibility to represent the obtained information on an interactive map was studied in the paper. Therefore, the inventory of 119 trees and bushes in central part of Berezhany was conducted during 2022. The possibility of such approach adjustment to the Ukrainian conditions of urban tree inventory was assessed. The advantages and disadvantages of this process were determined in this research. An orthophotomap based on UAV-survey materials was applied for improving the process of obtaining, processing and visualizing of obtaining information. This approach allowed increasing the accuracy and improving the map visualization of the results. In order to expand the dissemination of information on the ecosystem services delivered by trees and bushes for a greater number of users, interactive vegetation maps displaying the location of trees and bushes and the ecosystem services both in quantity and monetary terms were offered. The scope of the provided ecosystem services for urban landscapes was specified in this paper. It was determined that urban trees in central part of Berezhany have a 4,993 million EUR replacement value, according to i-Tree Eco assessment. The conducted research allowed establishing that the annual quantity of ecosystem services in monetization terms is 7504 EUR according to the same method of assessment. It includes the assessment of monetized value of pollution removal, carbon storage and sequestration, and also avoided surface runoff. The benefit of the approach is the improvement of the process of informing the interested persons about the ecosystem services of a specific tree in the urban tree stands. The suggested approaches to assessing the value of urban trees and their ecosystem services give grounds for emphasizing the value of these plants for urban ecosystems, substantiating the expediency of implementing environmental measures as well as the need to increase the funding of these measures as a compensation for the services provided by trees and plants. At the same time, the expediency of conducting further research on this and related issues is worth mentioning.

Keywords: inventory of plantations; monetization of tree usefulness; value of ecosystem services; replacement value.