

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології
Кафедра лісівництва, лісових культур та таксації лісу
Кваліфікаційна робота на правах рукопису

Бенчук Андрій Леонідович

УДК 712.253:581.6(477)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Застосування додатка I-Tree Eco при оцінюванні екосистемних
послуг зелених насаджень м.Житомира**
205 «Лісове господарство»

Подається на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ А.Л.Бенчук

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сірук Ю.В.

(прізвище, ім'я, по батькові)

К.с.-г.н, доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2023

Висновок кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

за результатами попереднього захисту: _____

Протокол засідання кафедри _____

№ 6 від «05» 12 2023 р.

Завідувач кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

К.с.-г.н., доцент _____ **Юрій СІРУК**

«05» 12 2023 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти _____ захистив (ла)

(прізвище ,ім'я, по батькові)

кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ірина Дубницька

(прізвище ,ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Бенчук А.Л. Застосування додатка I-Tree Eco при оцінюванні екосистемних послуг зелених насаджень м. Житомира. - Кваліфікаційна робота на правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У цьому дослідженні модель i-Tree Eco використовувалася для оцінки екологічних переваг міських лісів з точки зору чотирьох аспектів: поглинання вуглецю та виділення кисню, енергозбереження, утримання дощової води та покращення якості повітря. Міські дерева можуть значною мірою сприяти пом'якшенню наслідків зміни клімату та покращенню якості повітря в житлових районах.

Ключові слова: міські ліси; екологічні переваги; екосистемні послуги; модель i-Tree Eco

ANNOTATION

Benchuk A.L. Application of the I-Tree Eco application in the assessment of ecosystem services of green spaces in Zhytomyr. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 205 - forestry. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023

In this study, the i-Tree Eco model was used to evaluate the ecological benefits of urban forests in terms of four aspects: carbon absorption and oxygen release, energy conservation, rainwater retention, and air quality improvement. Urban trees can significantly contribute to mitigating the effects of climate change and improving air quality in residential areas.

Key words: Keywords: urban forests; ecological benefits; ecosystem services; i-Tree Eco model

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ЗЕЛЕНИХ ЕКОСИСТЕМ В МІСТАХ	7
РОЗДІЛ 2. ІНВЕНТАРИЗИЦІЯ СТАНУ ДЕРЕВНИХ ПОРІД ВИБРАНОГО КВАРТАЛУ В МІСТІ ЖИТОМИР.	12
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ I-TREE ЕСО ДЛЯ ОЦІНКИ РЕГУЛЮЮЧИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ	18
3.1. Аналіз звіту програми I-Tree Eso, щодо моделі екосистемних послуг	21
Висновки	24
Список літератури	26

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

Міські ліси є однією з найбільш екологічно значущих систем міських екосистем. Щоб зробити структуру міських лісів більш економічно раціональними для сталого стратегічного планування, необхідно оцінити екологічні переваги та екосистемні послуги міських лісів відповідно до місцевих географічних особливостей різних міст і проаналізувати їх співвідношення між витратами та вигодами. У цьому дослідженні модель i-Tree Eco використовувалася для оцінки екологічних переваг міських лісів з точки зору чотирьох аспектів: поглинання вуглецю та виділення кисню, енергозбереження, утримання дощової води та покращення якості повітря.

Мета та завдання роботи.

Моделювання екосистем може допомогти прийняти рішення щодо посадки міських дерев для пом'якшення зміни клімату та зменшення забруднення повітря.

Для досягнення мети було передбачено виконання наступних завдань:

1. Провести польову інвентаризація деревних порід виділеного кварталу
2. Проаналізувати основні переваги та екосистемні послуги зелених насаджень в міських екосистемах та їх значення для населення.
3. Проаналізувати отриманий звіт програми i-Tree Eco

Об'єкт досліджень: зелені зони виділеного кварталу міста Житомир.

Предмет досліджень: екологічні переваги та екосистемні послуги міських лісів

Методи досліджень: дендрологічний - для визначення виду дерев, лісотаксаційний - для визначення таксаційних показників, комп'ютерний - для обробки даних

Перелік публікацій автора за темою дослідження. По матеріалах виконаних досліджень було одноосібно опубліковано 1 наукова праця, а також 2 праці у співавторстві:

1. Бенчук А. Л. Оцінка екосистемних послуг зелених насаджень та можливості використання додатку i-tree. Ліс, Наука, Молодь: матеріали XI

Всеукр. наук. практ. конф. (23 листопада 2023 р.). – Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 33.

2. Алілуйко П.М., Бенчук А.Л. Додаток I-tree Сапору-інструмент для оцінки екосистемних послуг зелених насаджень. «Стан і майбутнє лісового господарства, деревообробки та землевпорядкування»: матеріали Всеукр. наук. -практ. конф. (9-10 жовтня 2023 р.). – Харків, 2023. С. 56.
3. Алілуйко П.М., Бенчук А.Л. Видове різноманіття насаджень загального призначення в м. Житомир. «Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи»: матеріали Міжнар. наук. -практ. конф. (24-25 жовтня 2023 р.). – Харків, 2023. С. 163

Практичне значення одержаних результатів. Дані аналізу показників якості повітря та оцінка екосистемних послуг можуть бути використані міськими органами виконавчої влади для розроблення концепції екологічної нейтральності міста або будь який інших проєктів що вимагають інформацію про стан міських насаджень.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.

Сумарних обсяг роботи складає 25 сторінок, у тому числі основної частини 23 сторінок. У роботі також міститься 1 таблиці, 3 рисунків, 4 фотознімків. Літературний огляд налічує 42 джерело.

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ ЗЕЛЕНИХ ЕКОСИСТЕМ В МІСТАХ

Урбанізація спричинила різноманітні соціальні, екологічні та гідрологічні наслідки, такі як зменшення біорізноманіття, підвищення міських температур, деградація екосистем, забруднення повітря та води, зміни гідрологічних процесів, зміни поповнення ґрунтових вод, збільшення поширеності повеней, видалення рослинності та потенційне збільшення нестійкі ґрунти. Пошук рішень для пом'якшення наслідків урбанізації є життєво важливим у розвитку та плануванні міст, особливо для країн, що розвиваються.

Більше половини населення світу живе в містах. Прогнозується, що частка зросте до 68 % до 2050 року в усьому світі та з 75 % у 2020 році до майже 84 % у 2050 році в Європі [1,2], що призведе до збільшення попиту на житловий простір. Це призводить до перетворення природного рослинного покриву на штучні поверхні та ущільнення ґрунту (Європейське агентство з навколишнього середовища [2,4]. Міська зелена інфраструктура, що включає всі типи рослинності, надає екосистемні послуги міському населенню [2,6,7,8,9]. Міські ліси та окремі дерева є основними компонентами міської зеленої інфраструктури, надаючи послуги забезпечення, культури та регулювання [8,11,14] із соціальною, економічною, оздоровчою та візуально естетичною користю для людей [10,12]. Наприклад, користь для здоров'я дерев і лісів у сусідніх США оцінювалася в 1,5–13 мільярдів доларів США, що здебільшого трапляється в міських районах [11,14,15].

Міське землекористування є основною причиною впливу на навколишнє середовище як у локальному, так і в глобальному масштабах [1]. Незважаючи на те, що на нього припадає лише 2% світового землекористування, близько половини населення світу живе в містах, і тут розташована більшість промислових підприємств [1,2]. У 2019 році міське населення в Європейському Союзі становило вже 75% від загальної

чисельності населення, тоді як у Північній Америці цей показник становив 80%, а в Азії – близько 40% [3].

Міське землекористування може спричинити негативний вплив на енергетичний бюджет землі та біогеохімічні цикли. Це пов'язано зі здатністю міста бути поглиначем вуглецю та азоту та одночасно збільшувати їх концентрацію [13,14,15]. Діяльність, яка здійснюється в міських районах, викидає вуглекислий газ (CO₂), який відповідає за глобальну зміну клімату [16]. Крім того, забруднення негативно впливає на здоров'я людини в місцевому масштабі. Епідеміологічні дослідження показали, що підвищені концентрації озону (O₃) і рівні твердих частинок (PM) пов'язані зі збільшенням смертності внаслідок респіраторних і серцево-судинних захворювань [17,18]. Таким чином, урбанізація з будівництвом будівель, доріг, площ, переробкою відходів тощо є важливою рушійною функцією погодних і кліматичних умов [1,19]. Міські райони зазвичай відчувають підвищену температуру повітря та поверхні по відношенню до навколишньої сільської місцевості, відоме як явище міського теплового острова (УНІ) [20,21]. УНІ збільшується із зростанням міських територій та індустріалізацією [22] як прямий наслідок структурних змін і змін земельного покриття від вільного простору (природних або сільськогосподарських угідь) до високої щільності міських структур, таких як будівлі, дороги, мощені площі тощо. Це пов'язано зі збільшенням теплопоглинаючої поверхні, збільшенням виробництва тепла з антропогенних джерел, застоєм повітря, забруднюючих речовин і тепла та зменшенням випаровування рослинності [17,23,24]. Основними негативними наслідками УНІ є дискомфорт і здоров'я людини, підвищене споживання енергії в літній період та погіршення якості повітря та води [17,25,26,27,28,29]. УНІ також впливає на якість повітря через збільшення споживання енергії з підвищеними викидами газів. Крім того, високі температури сприяють утворенню тропосферного О₃, шкідливого забруднювача, який утворюється в результаті реакції оксидів азоту з леткими органічними сполуками (ЛОС) протягом дня [30,31]. Нарешті, зростання непроникних поверхонь у поєднанні

зі збільшенням частоти та інтенсивності опадів робить міські території більш вразливими до повеней [32,33,34,35,36].

Очікується, що до 2050 року міське населення досягне 70% від загальної чисельності [4]; отже, це призведе до збільшення міських територій із потенційним збільшенням попиту на природні ресурси [37], зокрема енергію та воду, з негативним впливом на здоров'я людей [38]. Таким чином, необхідно розробити моделі, стратегії та політику урбанізації, здатні підвищити якість людського життя в містах і пом'якшити вплив як на локальному, так і на глобальному рівнях [23,39,40].

В останні десятиліття швидке зростання темпів урбанізації та погіршення міського середовища викликали суспільну увагу до природного середовища, міської лісової екосистеми та іншої міської зеленої інфраструктури. Цей фокус підвищує обізнаність про роль міських дерев і зелених насаджень як природних рішень для покращення якості життя та добробуту нинішніх і майбутніх поколінь, а також для створення більш стійких міст, які вирішують нагальні міські проблеми. Умови, роль і стійкість міст до майбутніх потрясінь відображаються у відповідних ініціативах щодо планування, управління та політики збереження

Міські ліси також виконують екосистемні функції, пов'язані зі зберіганням/зберіганням вуглецю, якістю повітря, управлінням дощовими водами, енергією, середовищем проживання, шумом і мікрокліматом. Більшість із цих функцій перетворюються на соціальні, економічні, оздоровчі, візуальні та естетичні переваги для міських жителів

Міські зелені зони, як невід'ємна частина міських екосистем, надають ключові екосистемні послуги для добробуту людей, такі як покращення якості повітря шляхом усунення забруднення та зменшення шуму, збереження води та ґрунту, регулювання мікроклімату, пом'якшення впливу міських теплових островів, біорізноманіття. Водночас міські зелені насадження також приносять економічні та соціальні вигоди, такі як енергозбереження, сприяння інтеграції

громади та відпочинок на природі. Їх потенційний внесок у громадське життя також стає все більш визнаним.

Міські зелені зони відіграють життєво важливу роль у підтримці стійкості міських екосистем, надаючи численні екосистемні послуги. Як кількісно визначити та оцінити екологічні переваги та послуги міських зелених насаджень, все ще залишається гарячою темою, але оцінку важко застосувати та реалізувати в міському проектуванні та плануванні. Міський ліс, як важлива міська зелена інфраструктура, має вирішальне значення для надання екосистемних послуг містам. Для посилення включення екосистемних послуг у міське планування необхідно вивчити просторову структуру міських лісових екосистемних послуг у містах.

Структура та функції міських зелених насаджень можуть сприяти здоров'ю людини та якості навколишнього середовища, а також зменшити деякі проблеми, які посилилися внаслідок урбанізації. Отже, важливо провести деякі дослідження, щоб дослідити різноманітність і структуру міських дерев, оскільки це може не тільки підвищити екологічну обізнаність, але й допомогти політикам для кращого управління для досягнення бажаного середовища.

Міські зелені насадження регулюють регіональний мікроклімат і пом'якшують ефект міського теплового острова шляхом затінення, випаровування, збільшення потоку повітря та посилення теплообміну. Крім того, рослинність у зелених насадженнях не тільки запобігає випаданню опадів і зменшує зливовий стік, але також сприяє більшій інфільтрації опадів, тим самим зменшуючи частоту затоплення міст, а також вартість і шкоду очищення зливових вод. Ці екологічні переваги базуються на складі та структурі міських лісів, які є важливими для покращення та регулювання міського середовища. Визначення того, як різні типи міських зелених насаджень впливають на продуктивність екосистемних послуг, може допомогти політикам і міським планувальникам оптимізувати планування зелених насаджень і максимізувати надання екосистемних послуг.

Загальновідомо, що міські зелені насадження пом'якшують вплив урбанізації на землекористування [41, 42] і являють собою «відкриті простори, що перебувають у державній власності та доступні в межах міських і приміських територій, які повністю або частково вкриті значною кількістю рослинності» [41, 40]. До них належать ліси, дорожні дерева, дерева в парках, садах і заповідниках [35]. Парки, сквери, дерева на дорозі тощо є невід'ємними елементами міського планування, оскільки в міських планах є конкретні вказівки, які регулюють співвідношення між зеленими та забудованими просторами [35]. Концепція екосистемних послуг синтезує взаємодію людини та навколишнього середовища, яка пов'язує біофізичні структури та екологічні функції з товарами та послугами, корисними для людей [37,46,47] (рис. 1.1.).

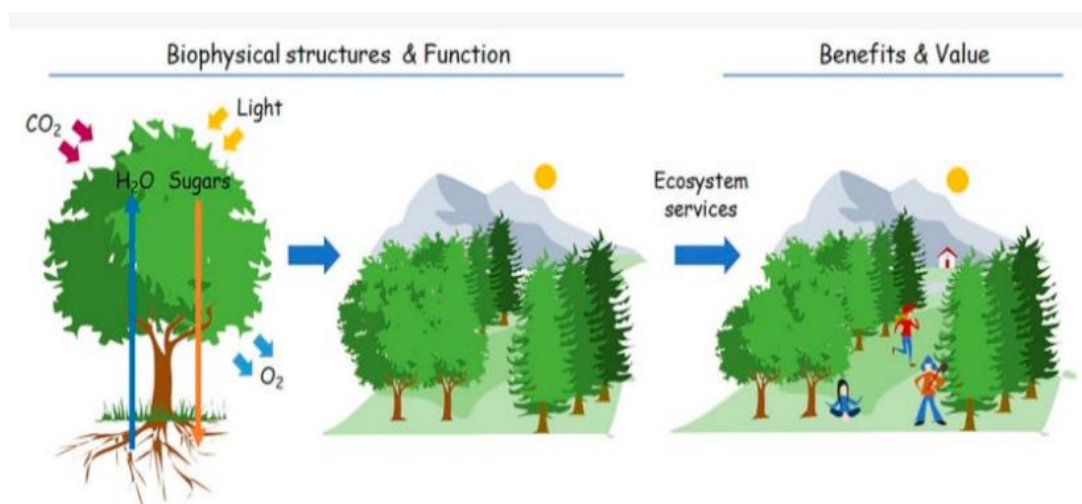


Рис.1.1. Схематична ілюстрація концепції екосистемних послуг (за мотивами де Гроота та ін. [7])

Схематична ілюстрація концепції екосистемних послуг (за мотивами де Гроота та ін. [7]), що представляють переваги та цінності для добробуту людини, що походять від рослин та біофізичних структур і функцій, реалізованих у зелених насадженнях.

Наступною метою є стимулювання створення зелених насаджень, які є функціональними для розвитку екосистемних послуг у межах територій, які

часто спроектовані монофункціональним способом, наприклад, забудованих просторів або сірої інфраструктури. З цією метою важливо розуміти екологічні функції, які можна розвинути, враховуючи інтеграцію природних рішень у забудоване середовище чи сіру інфраструктуру, а також відносні вигоди чи погані послуги, які вони можуть отримати, враховуючи взаємодію рослинності та контекст і їх призначення.

Крім того, роль міських факторів стресу або міського контексту як рушійної сили міського ГІ не завжди добре розуміють і використовують у плануванні зелених насаджень. Частково це пов'язано з розривом знань між різними науковими дисциплінами, які діють у різних масштабах, від окремих процесів рослин (які зосереджені на реакції рослин на екологічні стреси, що впливають на добробут людей) до міських екосистем (які зосереджені на біорізноманітті та міських планування простору – взаємозв'язок благополуччя людини). Це може створити парадокс, оскільки зелені насадження, які не належним чином спроектовані, можуть не дати очікуваного ефекту.

Дизайн зелених насаджень для збільшення екосистемних послуг потребує адаптації різних наукових дисциплін у різних екологічних і міських масштабах, таких як взаємодія окремої рослини з навколишньою екологічною матрицею або зв'язок рослинності з муніципалітетом (макромасштаб), околицями (мезомасштаб) та окремі будівлі (мікромасштаб) [20,35,38]. Таким чином, зелені зони необхідно планувати, перетинаючи різні дисципліни в різних масштабах дослідження, щоб зменшити розрив у знаннях окремих секторів або досвіді.

Міська рослинність має велику площу поверхні для фільтрації PM_{2,5} з повітря, це може бути ефективним довгостроковим способом пом'якшення забруднення повітря. Різноманітні дослідження кількісно оцінювали видалення PM_{2,5} рослинністю в містах, але просторова мінливість видалення в межах міст і майбутні сценарії не були добре задокументовані. Щоб забезпечити більш розумні та ефективні режими посадки дерев у містах та

оцінки екологічних переваг зелених насаджень ми використали просторово-часову модель i-Tree Eco.

РОЗДІЛ 2. ІНВЕНТАРИЗИЦІЯ СТАНУ ДЕРЕВНИХ ПОРІД ВИБРАНОВОГО КВАРТАЛУ В МІСТІ ЖИТОМИР

Для того щоб оцінити переваги екосистемних послуг зелених насаджень нами було проведено інвентаризацію стану деревних порід вибраного кварталу в місті Житомир. (див.фото.2.1., 2.2., 2.3.2.4.)

Попередні дослідження встановили, що впровадження інвентаризації зелених насаджень в містах є дуже ресурсомістким процесом, це збір інформації про (вид деревної породи, висоту, вік, площу крони), але дана інформація може бути використана для точної оцінки екосистемних послуг, що надають дерева. Інвентаризація зелених насаджень несе не тільки наукову, але й просвітницьку та пізнавальну роль, підвищує рівень екологічної свідомості громадян [41,42].



Фото 2.1. Обстеження зелених насаджень кварталу м. Житомир біля гуртожитку факультету лісового господарства та екології



Фото 2.2. Обстеження зелених насаджень кварталу м. Житомир біля факультету лісового господарства та екології



Фото 2.3. Обстеження зелених насаджень кварталу м. Житомир біля факультету лісового господарства та екології



Фото 2.4. Обстеження зелених насаджень кварталу м. Житомир біля факультету лісового господарства та екології

Міські ліси є однією з найбільш екологічно значущих систем міських екосистем. Щоб зробити структуру міських лісів більш економічно раціональними для сталого стратегічного планування, необхідно оцінити екологічні переваги та екосистемні послуги міських лісів відповідно до місцевих географічних особливостей різних міст і проаналізувати їх співвідношення між витратами та вигодами.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ I-TREE ECO ДЛЯ ОЦІНКИ РЕГУЛЮЮЧИХ ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ

Оцінка екосистемних послуг міських дерев є важливою для отримання громадської та політичної підтримки для збереження та підтримки міських дерев. Програмне забезпечення i-Tree Eco можна використовувати для оцінки регулюючих екосистемних послуг, які надають міські ліси. Однак існуючі муніципальні інвентаризації дерев можуть не містити даних, необхідних для запуску i-Tree Eco, а ручні польові дослідження є дорогими та трудомісткими. Використовуючи як приклад інвентаризацію дерев в Осло, Норвегія, ми демонструємо потенціал геопросторових методів

Відомо, що зростання чисельності населення, зміна клімату та високі та зростаючі рівні забруднення повітря становлять загрозу здоров'ю та безпеці в містах [1]. Тому стале міське планування необхідне для покращення якості життя та збереження цілісності природних екосистем [2]. Міські ліси та дерева можуть значною мірою сприяти пом'якшенню наслідків зміни клімату та покращенню якості повітря в житлових районах [3]. Забруднення, спричинене видаленням дерев у містах, значною мірою залежить від породи та її властивостей [4]. Тому добір видів є важливим для досягнення оптимальних результатів озеленення міста [5]. Для пошуку найбільш підходящих дерев або суміші дерев моделі екосистемних послуг можуть бути особливо корисними як інструменти підтримки прийняття рішень для міського планування [6,7].

Модель i-Tree Eco — це модель обслуговування екосистеми для міських дерев, розроблена лісовою службою Міністерства сільського господарства США (USDA) для застосування в США, і вона була прийнята Великобританією, Австралією та Канадою [8,9]. Модель широко використовується для оцінки екологічних послуг, викликаних міською рослинністю [10,11,12], наприклад, накопичення та поглинання вуглецю, зменшення забруднення повітря та скорочення стоку води, впливу дерев на

енергію, споживану будівлями, та деяких поганих послуг, як-от викид біогенних летких органічних сполук (BVOC).

Для i-Tree Eco в якості вхідних даних потрібна інформація про вид і діаметр стебла на висоті грудей (DBH). Додаткові дані, включаючи критерії землекористування, загальну висоту дерева, розмір крони (висота до живої вершини, висота до основи крони, ширина крони та відсоток відсутності крони), здоров'я крони (відмирання або стан) і статус конкуренції, можуть покращити точність моделі. Більшість цих вхідних даних зазвичай визначаються в польових умовах шляхом явного візуального опису. Цей метод визначення відносно простий у освоєнні, але залишається суб'єктивним і схильним до помилок. Для великих територій потрібно досліджувати вибіркові ділянки та масштабувати їх на весь регіон, що призводить до значної невизначеності, коли розподіл видів є неоднорідним [13]. Крім того, зусилля, пов'язані з визначенням вибіркового ділянок, навчанням польових дослідників та застосуванням інвентаризації, потребують більше часу та грошей [14] порівняно з випадком, коли протокол i-Tree Eco, який стосується даних, доступних за допомогою дистанційного зондування або ГІС. Останнє полегшує оцінку зменшення забруднення в містах за допомогою введення індексу площі листя (LAI) як структурної характеристики [15,16,17,18]. Однак варто зазначити, що в багатьох випадках інвентаризація міських лісів непридатна для отримання всіх необхідних параметрів, наприклад, освітлення крони (CLE), що робить використання параметризації моделі за замовчуванням для багатьох властивостей дерев більш привабливим.

У цьому дослідженні модель i-Tree Eco використовувалася для оцінки екологічних переваг міських лісів з точки зору чотирьох аспектів: поглинання вуглецю та виділення кисню, енергозбереження, утримання дощової води та покращення якості повітря. Щоб перевести їх в економічні вигоди, використовуючи математичний і статистичний аналіз, було проаналізовано співвідношення витрат і вигод міських лісів з різною пропорцією дерев і чагарників, а також порівняно діапазон впливу міських лісів з різними типами

планування. Дослідження виявило, що: (1) види дерев є основним фактором, що впливає на екологічні переваги міських лісів, (2) лінійні міські ліси мають ширший діапазон впливу, (3) якщо частка дерев у міських лісах на території дослідження скоригована до 0,36, екологічні переваги можуть збільшитися на 0,061 мільярда юанів на рік. Ми надаємо ефективні та зручні дослідницькі шляхи та інструменти для вивчення співвідношення витрат і вигод.

Використовуючи модель i-Tree Eco, ми реалізували економічні характеристики міських лісів. Це дослідження забезпечує кількісну підтримку збалансованої побудови міської екологічної цивілізації та економічних переваг. Це може забезпечити кількісну підтримку балансу між екологічним розвитком міст, економічним розвитком та оптимізацією простору.

Оцінка багатьох екосистемних послуг дерев у відповідних одиницях виміру та грошових одиницях створює чудову можливість популяризувати важливість зелених насаджень у населених пунктах. З 2006 року додаток i-Tree Eco широко використовується не тільки муніципалітетами всіх штатів США, а й країнами більшості континентів світу. Розроблявся додаток в рамках проєкту i-Tree4UA компанією Davey Tree Expert Company [40].

На території України завдяки фінансовій підтримці US Forestry Service International Programs i-Tree увійшов з 2018 року. В кінці 2022 року відбулась повна інтеграція додатку до використання в усіх громадах України [40]. Великий внесок в популяризацію додатку i-Tree зробила громадська організація «Зелена Хвиля». Це дає можливість кожній громаді запустити свій проєкт інвентаризації на платформі, провівши інвентаризацію місцевих дерев і створивши власну базу даних екосистемних послуг дерев, щоб приймати рішення щодо негативних результатів громади в адаптації до зміни клімату [40].

3.1. Аналіз звіту програми I-Tree Eco, щодо моделі екосистемних послуг

Існують різні інструменти програми i-Tree: i-Tree Eco (оцінює екосистемні послуги різних видів дерев у одиницях вимірів та грошовому

еквіваленті); i-Tree Canopy (дозволяє визначати співвідношення різних класів покриття на досліджуваній ділянці); My Tree (оцінює екологічні послуги по окремому дереву у одиницях вимірів та грошовому еквіваленті); i-Tree Database (використовується для розширення бази даних про місцезнаходження та види i-Tree Eco) [40]

Розглянемо детальніше показники, які необхідні для визначення екологічної послуги будь-якого дерева. Знаючи яку площу займає крона дерева і скільки сонячного світла надходить на його листя, доволі просто дізнатись скільки дерево фотосинтезує, відповідно ми отримаємо дані скільки вуглецю воно поглинає та скільки дає кисню. Після можна перевести це в грошовий еквівалент. [37,38,39,40].

Для цього потрібно визначити вид дерева та його діаметр на висоті 1,3м над землею. Далі вимірюється освітленість крони (зі скількох боків на крону падає пряме сонячне світло). Вимірюємо відсоток відмирання самої крони і визначаємо загальну висоту дерева, але якщо такої можливості немає за причиною відсутності ресурсів чи часу, можна знову ж таки використати узагальнені значення або готові моделі. Варто враховувати що єдині важливі показники, необхідні для визначення екологічної послуги дерева – діаметр на висоті грудей і вид дерева, інші показники можна брати узагальнені або модельні, але буде незначно нижча точність результатів.



Рис. 3.1. Необхідні показники для оцінки екосистемних послуг в програмі I-Tree Eco

Для отримання даних необхідних для визначення екосистемних послуг, які надають дерева, що зростають на одному з кварталів в місті Житомир, було взято заміри таксаційних показників (висота, діаметр, стан крони) у 255 дерев (рис. 3.1.). Серед них найбільший відсоток займає береза повисла (*Betula pendula*) 11%, ялина колюча (*Picea pungens*) та ясен звичайний (*Fraxinus excelsior*) по 13%, ялина європейська (*Picea abies*) 12%, липа дрібнолиста (*Tilia cordata*) 11%, туя західна форма колоновидна (*Thuja Occidentalis Columna*) 7%, горобина звичайна (*Sorbus aucuparia*) 6%, яблуня домашня (*Malus domestica*) й туя західна (*Thuja occidentalis*) по 4%, алича (*Prunus cerasifera*) й горіх грецький (*Juglans regia*) по 3%, гіркокаштан звичайний (*Aesculus hippocastanum*), тополя італійська (*Populus nigra*), вишня звичайна (*Prunus cerasus*), груша звичайна (*Pyrus communis*), клен ясенolistий (*Acer negundo*) по 2%. Менше 1% складають: черемха звичайна (*Prunus padus*), абрикос звичайний (*Prunus armeniaca*), сосна звичайна (*Pinus sylvestris*), верба ламка (*Salix fragilis*), верба біла (*Salix alba*), шовковиця біла (*Morus alba*), сумах оленерогий (*Rhus typhina*), тополя біла (*Populus alba*), тис ягідний (*Taxus baccata*), клен гостролистий (*Acer platanoides*), клен псевдоплатановий (*Acer pseudoplatanus*), кипарисовик Лавсона (*Chamaecyparis lawsoniana*) [40,41,42].

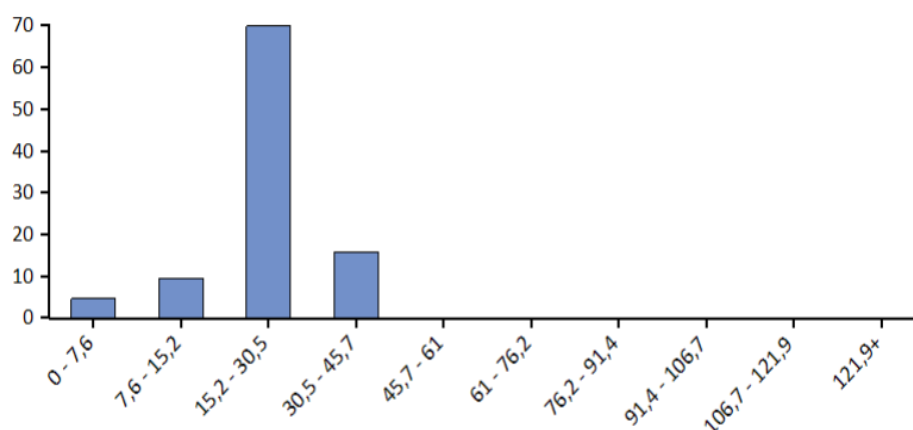


Рис. 3.1. Відсоток переважання діаметрів

Аналіз результатів досліджень у програмному забезпеченні i-Tree есо (табл.3.1.)

Таблиця 3.1.

Оцінка екосистемних послуг насаджень в місті Житомир

№	Функції насаджень	Одиниці виміру
1	Площа дерев: 5984 кв. метрів	м ²
2	Відсоток дерев діаметром менше 15,2 см:	14,2%
3	Накопичення вуглецю	32,73 тонн
4	Поглинання вуглецю	1,43 тонн/рік
5	Виробництво кисню	3814 тонн/рік
6	Регулювання водного стоку	66,03 м ³ /рік
7	Відновна вартість	7,41 млн. грн

Видалення забруднень деревами було оцінено з використанням польових даних і останніх наявних забруднень та погодних даних. Видалення забруднення було найбільшим для діоксиду азоту. За оцінками, дерева видаляють 38,47 кілограмів шкідливих речовин (O₃, оксид вуглецю (CO), діоксид азоту (NO₂), тверді частки менше 2,5 мікрон (PM_{2,5}), тверді частинки менше 10 мікрон і більше 2,5 мікрон (PM₁₀), і діоксид сірки (SO₂) на рік із пов'язаною вартістю 5,55 тис. грн.

Дерева зменшують кількість вуглецю в атмосфері, поглинаючи більше вуглецю зі своїм ростом. Кількість вуглецю, що щорічно поглинається, збільшується разом із розміром дерев. Загальна секвєрація вуглецю дерев становить 1,43 метричних тонн вуглецю на рік що прирівнюється в грошовому еквіваленті до 7,9 тис. грн.

Однією з часто згадуваних переваг міських дерев є саме виробництво кисню, там де він конче необхідний. Воно напярму пов'язане з тією кількістю вуглецю, яку дерево поглинуло для накопичення деревної біомаси. За

оцінками 100 од. деревних порід в місті виробляють 3814 метричних тонн кисню на рік.

ВИСНОВКИ

1. Розуміння структури міських насаджень (наприклад, кількість дерев, їх розмір, стан здоров'я та розташування) дає можливість визначити кількість та цінність екосистемних послуг.
2. Поглинання вуглецю з повітря міськими насадженнями становить 1,43 метричних тонн вуглецю на рік що прирівнюється в грошовому еквіваленті до 7,9 тис. грн.
3. 100 од. зелених насаджень виробляють 3814 метричних тонн кисню на рік.
4. Міські насадження депонують 32,7 метричних тонн вуглецю (прирівнюється до 181 тис. грн.)
5. Оцінка екосистемних послуг міських дерев є важливою для отримання громадської та політичної підтримки для збереження та підтримки міських дерев. Програмне забезпечення i-Tree Eco можна використовувати для оцінки регулюючих екосистемних послуг, які надають міські ліси.
6. Знаючи яку площу займає крона дерева і скільки сонячного світла надходить на його листя, доволі просто дізнатись скільки дерево фотосинтезує, відповідно ми отримаємо дані скільки вуглецю воно поглинає та скільки дає кисню. Після можна перевести це в грошовий еквівалент.
7. Впровадження інвентаризації зелених насаджень в містах є дуже ресурсомістким процесом, це збір інформації про (вид деревної породи, висоту, вік, площу крони), але дана інформація може бути використана для точної оцінки екосистемних послуг, що надають дерева.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Armson, D., Stringer, P. and Ennos, A.R., 2013. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening* 12, 282-286
2. Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., & Witmer, R. E. (1976). A land-use and land-cover classification system for use with remote sensor data. Washington, DC: US Geological Survey Professional Paper. doi:<https://doi.org/10.3133/pp964>
3. A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. David J. Nowak, Daniel E. Crane, Jack C. Stevens, Robert E. Hoehn, Jeffrey T. Walton, and Jerry Bond *Arboriculture & Urban Forestry* 2008. 34(6):347–358. URL: <https://www.itreetools.org/documents/13/08%20UFORE.pdf> (дата звернення: 05.10.2021)
4. Boone, C. G., & Fragkias, M. (2013). *Urbanization and sustainability: Linking urban ecology, environmental justice and global environmental change*. New York: Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-94-007-5666-3>
5. I-Tree Canopy, official site. URL: <https://canopy.itreetools.org/>
6. Im, J., Jensen, J. R., & Hodgson, M. E. (2008). Object-based land cover classification using high-posting-density LiDAR data. *GIScience & Remote Sensing*, 45(2), 209-228. doi:<https://doi.org/10.2747/1548-1603.45.2.209>
7. Iryna Siruk¹, Viktoriia Kuchynska², Melnyk Yurii³, Oleksandra Kozova⁴. Determination of ecosystem services of European larch using the i-Tree Eco model. *Sustainable Development in Wartime Ukraine and the World*. Prague, Czech Republic 25 November, 2022 (online). P. -3.
8. . Yani A. Penilaian kawasan hutan dalam penentuan kelayakan luas areal perkebunan kelapa sawit (suatu pendekatan konseptual). *Jurnal ekonomi bisnis dan kewirausahaan*. 2015. Vol. 4, no. 3. P. 336. URL: <https://doi.org/10.26418/jebik.v4i3.15328> (date of access: 02.12.2023).

9. Foody, G. (2009). Sample size determination for image classification accuracy assessment and comparison. *International Journal of Remote Sensing*, 30(20), 5273–5291. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160903130937>
10. Gerrish, E., & Watkins, S. L. (2018). The relationship between urban forests and income: A meta-analysis. *Landscape and Urban Planning*, 293-308. doi:doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.09.005
11. Graça, M., Alves, P., Gonçalves, J., & Nowak, D. (2018). Assessing how green space types affect ecosystem services delivery in Porto, Portugal. *Landscape and Urban Planning*, 170, 195-208. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.10.007>
12. Kasanko, M., Barredo, J.I., Lavalle, C., McCormick, N., Demicheli, L., Sagris, V. and Brezger, A., 2006. Are European cities becoming dispersed?: A comparative analysis of 15 European urban areas. *Landscape and Urban Planning* 77, 111-130.
13. Keeley, M., 2011. The Green Area Ratio: an urban site sustainability metric. *Journal of Environmental Planning and Management*, 54(7), 937-958. Lennon, M., 2014. Green infrastructure and planning policy: a critical assessment. *Local Environment* 20, 957-980.
14. Kenney, W. A. (2003). A strategy for Canada's urban forests. *The Forestry Chronicle*, 79(4), 785-789. doi:<https://doi.org/10.5558/tfc79785-4>
15. McPherson, E. (1994). Using urban forests for energy efficiency and carbon storage. *Journal of Forestry*, 110(5), 36–41. doi:<https://doi.org/10.5849/jof.11-052>
16. Liekens, I., De Nocker, L., Broekx, S., Aertsens, J. and Markandya, A., 2013. Ecosystem services and their monetary value. *Ecosystem services: global issues local practices*, 1st edn. Elsevier, New York, 13-28.
17. Locke, D. H., Grove, J. M., Lu, J. W., Troy, A., O'Neil-Dunne, J., & Beck, B. D. (2010). Prioritizing preferable locations for increasing urban tree canopy in New York City. *Cities and the Environment*, 3(1), 4–18. doi:<https://doi.org/10.15365/cate.3142010>

18. Landry, S., & Chakraborty, J. (2009). Street trees and equity: evaluating the spatial distribution of an urban amenity. *Environment and Planning*, 41(11), 2651- 2670. doi:<https://doi.org/10.1068/a41236>
19. Razaghirad, B. (2021) Urban Tree Canopy Assessment Using Geospatial Technologies: Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Sustainability. Faculty of Social Sciences, Brock University St. Catharines, Ontario, Canada., p 90. <http://hdl.handle.net/10464/15573>
20. Nowak, D.J., 2006. Institutionalizing urban forestry as a ‘biotechnology’ to improve environmental quality. *Urban Forestry and Urban Greening*, 5, 93-100.
21. Nowak, David J. 2020. Understanding i-Tree: summary of programs and methods. General Technical Report NRS-200. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 100 p. [plus 14 appendixes]. URL: <https://doi.org/10.2737/NRSGTR-200> (дата звернення: 15.11.2021)
22. Parmehr, E. G., Marco, A., Taylor, E. J., & Livesley, S. J. (2016). Estimation of urban tree canopy cover using random point sampling and remote sensing methods. *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 160–171. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.08.011>
23. Jo, H.-K.; McPherson, E.G. 1995. Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management*. 45: 109-133.
24. Tilahun, A., & Teferie, B. (2015). Accuracy assessment of land use land cover classification using Google Earth. *American Journal of Environmental Protection*, 4(4), 193-198. doi:10.11648/j.ajep.20150404.14
25. Wulder, M., Franklin, S., White, J., Linke, J., & Magnussen, S. (2006). An accuracy assessment framework for large-area land cover classification products derived from medium-resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 27(4), 663-683

26. Wald und Klimawandel in der inneralpinen Trockenregion Visp / A. Rigling et al. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 2012. Vol. 163, no. 12. P. 481–492. URL: <https://doi.org/10.3188/szf.2012.0481> (date of access: 02.12.2023)
27. Wang B., Niu X., Wei W. National forest ecosystem inventory system of china: methodology and applications. Forests. 2020. Vol. 11, no. 7. P. 732. URL: <https://doi.org/10.3390/f11070732> (date of access: 02.12.2023).
28. Walton, J., Nowak, D., & Greenfi, E. (2008). Assessing urban forest canopy cover using airborne or satellite imagery. Arboriculture & Urban Forestry.
29. Кавчук І.М., Різничук Н.І. Зелені насадження паркових екосистем Івано-Франківська. Екологічні науки. 2022. №4(43). С. 131–134. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.21>
30. Геник Я.В., Дудин Р.Б., Дида А.П., Марутяк С.Б. Трансформаційні процеси в лісопаркових і паркових насадженнях урбанізованих екосистем Заходу України. Науковий вісник НЛТУ України. Львів, 2017. Вип. 27 (10). С. 9–15.
31. Дида. Р. Алеями міського парку. Івано-Франківськ: Лілея – НВ, 2010. 88 с.
32. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів : СПОЛОМ, 2014. 676 с.
33. Зеленьюк Г.О. До історії створення мережі парків м. Київ. Вісник Харківської державної академії культури, 2013. Вип. 41. С. 52–58
34. Зібцева О. В. Динаміка площ зелених насаджень у населених пунктах України. Наукові доповіді НУБіП України. 2017 № 4(68). С. 143–149
35. Жванко, А. В. Аналіз типів рослинного покриву ділянок з допомогою програми i-Tree CANOPY / А. В. Жванко; наук. керівник Л. В. Дем'яненко // Новітні технології сучасного суспільства (НТСС-2021) : II Міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 17 грудня. 2021 р.) : тези доповідей : у 2 ч. Ч. I. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. - С. 35-37.
36. Сірук І. М., Шевчук С.Ф. Ставлення до природи, як до цінності у контексті формування екологічної свідомості. XII студентська

- міжвузівська науково-практична конференція «Формування особистості студента: держава, суспільство, професія». 2020. С. 5 – 9
- 37.Сірук І., Яніцька С., Маліновський І. Визначення екосистемних послуг модрини європейської за допомогою програми I-Tree Eco. Ліс, наука, молодь: матеріали X Всеукр. наук.-практ. конф. (24 листопада 2022 р.). – Житомир: Поліський національний університет, 2022. С.135-137.
- 38.Iryna Siruk¹, Viktoriia Kuchynska², Melnyk Yurii³, Oleksandra Kozova⁴. Determination of ecosystem services of European larch using the i-Tree Eco model.. Sustainable Development in Wartime Ukraine and the World. Prague, Czech Republic 25 November, 2022 (online).P.-3.
- 39.Коваль М., Сергійчук О., Марков Ф. Оцінка екосистемних послуг дерев за допомогою інструменту i-tree eco. Лісові екосистеми: сучасні проблеми і перспективи досліджень: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції, 31 травня 2023 року, Житомир: ПНАУ, 2023. С. 47-48.
40. Бенчук А. Л. Оцінка екосистемних послуг зелених насаджень та можливості використання додатку i-tree. Ліс, Наука, Молодь: матеріали XI Всеукр. наук. практ. конф. (23 листопада 2023 р.). – Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 33.
- 41.Алілуйко П.М., Бенчук А.Л. Додаток i-tree сапору-інструмент для оцінки екосистемних послуг зелених насаджень. «Стан і майбутнє лісового господарства, деревообробки та землевпорядкування»: матеріали Всеукр. наук. -практ. конф. (9-10 жовтня 2023 р.). – Харків, 2023. С. __.
- 42.Алілуйко П.М., Бенчук А.Л. Видове різноманіття насаджень загального призначення в м. Житомир. «Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи»: матеріали Міжнар. наук. -практ. конф. (24-25 жовтня 2023 р.). – Харків, 2023. С. 163