

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології

Кафедра екології

Кваліфікаційна робота на правах рукопису

АЛІЛУЙКО Павло Михайлович

УДК 712.253:581.6(477)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ
М. ЖИТОМИР
101 «Екологія»

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

_____ П.М. Алілуйко
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Дунаєвська О.Ф.
(прізвище, ім'я, по батькові)
д.б. н, професор
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2023

Висновок кафедри екології

за результатами попереднього захисту: _____

Протокол засідання кафедри _____

№ __ від «__» _____ 2023 р.

Завідувач кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище ,ім'я, по батькові)

«__» _____ 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) (прізвище ,ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Алілуйко П.М. ОЦІНКА ЕКОСИСТЕМНИХ ПОСЛУГ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ М. ЖИТОМИР - Кваліфікаційна робота на правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 – екологія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У цьому дослідженні вивчається ступінь геопросторових технологій, таких як i-Tree Canopy для оцінки ролі та екологічної важливості зелених насаджень в містах. Дана програма класифікує зображення воокремленого міського ландшафту завантаженого з Google Maps та генерує звіт про стан ґрунтового покриву. Крім того, це програмне забезпечення може підкреслити потенційні місця посадки дерев або ті місця, які потребують збільшення зеленої зони.

Ключові слова: зміна клімату, додаток i-Tree Canopy, зелені насадження, екосистемні послуги.

ANNOTATION

Aliluyko P.M. EVALUATION OF ECOSYSTEM SERVICES OF GREEN PLANTATIONS M. ZHYTOMYR - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 101 - ecology. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

This study examines the extent of geospatial technologies such as i-Tree Canopy to assess the role and ecological importance of green spaces in cities. This program classifies an image of a discrete urban landscape downloaded from Google Maps and generates a report on the state of the land cover. In addition, this software can highlight potential tree planting sites or those areas that will need increased green space.

Key words: climate change, i-Tree Canopy application, green spaces, ecosystem services.

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В МІСТАХ	7
1.1. Міські зелені насадження, як духовна потреба людей	10
РОЗДІЛ 2. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ТА ПРОГРАМИ I-TREE CANOPY	12
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ТИПІВ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ I-TREE CANOPY	18
Висновки	24
Список літератури	26

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

Сьогодні екосистемні та екологічні цінності зеленої інфраструктури в лісах і міських парках привернули більшу увагу, оскільки рослини надають не тільки екосистемні послуги (ЕС), але й соціальні, економічні, культурні, освітні та медичні послуги. Оскільки не було відповідних інструментів для вимірювання та оцінки зеленої інфраструктури, міські жителі, особливо ті, хто живе в промислових містах і містах, що розвиваються, нехтували перевагами зеленої інфраструктури. У цьому дослідженні з використанням інструменту i-Tree Сапору розглядалися не лише зелена інфраструктура міста, але а й економічні показники та економія, яка сприятиме зменшенню забруднення повітря, накопиченню та поглинанню вуглецю, управлінню та зменшенню поверхневого стоку.

Мета та завдання роботи.

Проаналізувати роль зелених насаджень в місті.

Для досягнення мети було передбачено виконання наступних завдань:

1. Проаналізувати основні функції зелених насаджень в міських екостемах та їх значення для населення.
2. Класифікувати ґрунтові покриви виокремленої ділянки .
3. Проаналізувати отриманий звіт програми i-Tree Сапору
4. Провести польову інвентаризація кварталу

Об'єкт досліджень: зелені насадження окремого кварталу міста Житомир.

Предмет досліджень: екосистемні послуги виокремленої зеленої зони в м.Житомир.

Методи досліджень: при оцінці покриву міста за допомогою i -Tree Сапору ми використовували метод ідентифікації та інтерпретації даних; для проведення просторової вибірки міського ландшафту та оцінки крони дерев було використано аналітично-статистичний та математично-статистичного методи

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

1. Alvluiiko P. Ecosystem analysis of trees in the i-tree program. Forest, Science, Youth: materials of XI All-Ukrainian. of science practice conf. (23 November, 2023). – Zhytomyr: Polissya National University, 2023. С. 86-87.
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. __.
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 2 таблиці, 6 рисунків, 4 фотознімків. Літературний огляд налічує 40 джерело.

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ В МІСТАХ

Зелена інфраструктура виконує незліченну кількість функцій для протидії змінам клімату, зменшують забрудненню повітря, протистоять повеням і тепловим островам, сприяючи водночас переробці води та вуглецю, а також відновлюваним джерелам енергії та забезпеченню сировиною.

В останні десятиліття різке зростання темпів урбанізації та, як наслідок, деградація міського середовища спрямували увагу суспільства на природне середовище, міські лісові екосистеми та іншу міську зелену інфраструктуру [1,2,3,4,5]. Така увага підвищила обізнаність про роль міських дерев і зелених насаджень як природних рішень [6,7] для покращення якості життя та добробуту нинішніх і майбутніх поколінь [8], створюючи більш стійкі міста [6,9,10] на відміну від нагальних міських проблем [11]. Належне планування, управління та збереження в програмах політики представляють умови для максимізації їх корисної ролі [11,12] і підвищення стійкості міст до майбутніх потрясінь [3].

Міські ліси також виконують екосистемні функції, пов'язані зі зберіганням/поглинанням вуглецю, якістю повітря, управлінням зливовими водами, енергією, середовищем проживання, шумом і мікрокліматом. Більшість із цих функцій перетворюються на соціальні, економічні, оздоровчі, візуальні та естетичні переваги для міських жителів [5].

Міські зелені насадження, як невід'ємний елемент міських екосистем, надають критично важливі екосистемні послуги [1,2] для добробуту людини, як-от покращення якості повітря [3,4] шляхом видалення забруднення та зменшення шуму, збереження води та ґрунту [5], регулювання мікроклімату [6,7], пом'якшення наслідків міського теплового острова [8], збереження біорізноманіття [9,10] тощо. Між тим, міські зелені насадження також приносять економічні та соціальні вигоди [11,12], наприклад, енергозбереження, сприяння інтеграції громади [13] та відпочинок на природі. Їх потенційний внесок у життя громадян також отримує все більше визнання.

Міські зелені зони відіграють вирішальну роль у підтримці стійкості міської екосистеми, надаючи численні екосистемні послуги. Як кількісно визначити та оцінити екологічні вигоди та послуги міських зелених насаджень залишається актуальною темою наразі, тоді як оцінка майже не застосовується або впроваджується в міському проектуванні та плануванні [15,16,20].

Потужність різних екосистемних послуг зелених насаджень залежить від контексту та різниться залежно від їх типу та розміру [31,32]. Різні типи міських зелених насаджень, такі як громадські парки, зелені зони смуги доріг, водно-болотні угіддя та приватні сади, надзвичайно неоднорідні з різними рослинними спільнотами та різноманітністю, що відображає різноманітні соціальні потреби та особисті уподобання, які додатково впливають на надання цінності екофункції [33].

Міські зелені насадження регулюють регіональний мікроклімат за допомогою затінення, випаровування, посилення руху повітря та збільшення теплообміну, що пом'якшує ефекти міського теплового острова (УНІ) у масштабі міста [37,38,39]. Крім того, рослинність у зелених насадженнях може не тільки перешкоджати випаданню опадів і зменшувати дощовий стік, але також сприяти більшій інфільтрації опадів, що зменшує частоту міських повеней і витрати на очищення зливових стоків і збитки [40]. Ці екологічні переваги базуються на складі та структурі міського лісу, який є вирішальним для покращення та регулювання міського середовища [25]. Виявлення 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. Однак існує багато досліджень, які зосереджуються на тому, як такі типи рослинності, як дерева, кущі та трав'янисті рослини, або рослинні спільноти виконують екосистемні послуги [28,31,32,33,34,35,36]. Існує порівняно небагато досліджень щодо різних типів надання екосистемних послуг міських зелених насаджень, а базова інформація про структуру рослинності, переваги екосистеми та цінність різних типів міських зелених

насаджень у місті Житомир недоступна. Оцінка міських зелених насаджень також необхідна, щоб розробники політики, міські планувальники, міські менеджери та широка громадськість поінформували про екосистемні послуги, які надають їхні зелені насадження, щоб краще зберегти, керувати та підтримувати існуючі міські зелені насадження в Житомирі [30,38,39].

Зі швидким економічним розвитком і збільшенням населення процес урбанізації прискорюється, а серйозне забруднення повітря загрожує здоров'ю людей. Планування міської зеленої інфраструктури довело ефективність у покращенні якості повітря. Проте, як покращити якість повітря за допомогою планування в різних формах міст, залишається незрозумілим [34].

Практики зеленої інфраструктури показали свою перспективність у зменшенні забруднення повітря в міських районах кількох міст світу. У Сполучених Штатах і Європі для пом'якшення забруднення повітря широко використовуються методи, такі як дерева, зелені дахи та зелені стіни. Проте ще є обмежені знання щодо визначення найбільш підходящої стратегії для міської території щодо покращення якості повітря. Крім того, очевидно, що Україна все ще відстає в адаптації GI для пом'якшення забруднення повітря порівняно зі США та Європою [15,11,12].

Багато міст прагнуть збільшити міський лісовий покрив, щоб принести користь жителям шляхом надання екосистемних послуг і сприяння біорізноманіттю. Існує кілька досліджень, які вивчають користь для здоров'я від впливу природного середовища, що відрізняється екологічними характеристиками, такими як біорізноманіття, і вони не дали однозначних результатів. Це дослідження покращує наше розуміння тонкого зв'язку між природою та добробутом шляхом аналізу власних оцінок переваг, отриманих від міських зелених насаджень, які варіюються в діапазоні об'єктивно вимірних атрибутів біорізноманіття, таких як багатство видів птахів, різноманітність середовищ існування та структурна неоднорідність [5,8,32,34].

Під час планування сталого розвитку міських зелених насаджень на макро- та регіональному рівнях вкрай важливо вивчати види рослин міських

зелених насаджень і вводити нові види з урахуванням кліматичних умов, забруднення навколишнього середовища, промислового способу життя та обмеженості ресурсів.

1.1. Міські зелені насадження, які є духовними потребами людей

Міські зелені насадження, які є духовними потребами людей у міських районах і промислових спільнотах, стосуються частини відкритих просторів, у яких домінує природний або часто штучний ландшафт із деревами, кущами, рослинами, квітами, травами та покривними рослинами. Вони будуються та обслуговуються під наглядом та управлінням людей для покращення умов життя, екосистеми та добробуту громадян і несільських населених пунктів. Рослинні покриви міських зелених зон настільки важливі, що їх називають легенями міст. Рослини складають основу всіх екосистем і можуть частково зменшити ризик забруднення зелених насаджень. Завдяки своїм специфічним характеристикам рослини, особливо дерева та кущі, можуть значно сприяти зменшенню забруднення [20,22,27,30]. Естетичні та екологічні цінності, стійкість до забруднювачів, толерантність до забруднення та адаптованість до кліматичних умов є основними критеріями вибору декоративних рослин і кущів для міських парків. Стійкість зелених насаджень означає адаптацію рослинності до кліматичних умов. Ключем до успіху в розвитку сталого зеленого простору є вибір відповідних видів декоративних рослин, які адаптовані до міської території. Дослідження декоративних рослин у міських зелених насадженнях і рекомендація нових сортів мають вирішальне значення для розвитку стійких зелених насаджень [4,7,19]. Екологічні потреби, продуктивність та естетика складають критерії вибору декоративних рослин, які здебільшого роблять довільно або з одновимірної точки зору, щоб не можна було узагальнити для інших регіонів із подібними ресурсами. Важливим моментом, який слід враховувати, є пріоритет критеріїв відбору в певному регіоні, яким може бути низька толерантність в одному регіоні або стан ґрунту чи інші вирішальні фактори в іншому. Більшість посадових осіб міських зелених насаджень мають список придатних видів рослин для зелених

насаджень відповідного регіону, який базується на місцевому досвіді вирощування, а не на науці. Критерії відбору рослин відрізняються в різних екологічно різних містах. Ці відмінності кореняться в недостатньому знанні рослин у контексті екологічних, продуктивних та естетичних принципів [1,12,35]. Види рослин здебільшого вибирають садівники, аграрії (фахівці сільського господарства, природних ресурсів та навколишнього середовища) або навіть архітектори. Очевидно, що вони мають своє бачення та перспективи в цьому виборі. Садівники не знайомі з принципами естетики та їх ефективністю, але в них переважно домінує економічна перспектива, і вони більше схильні до вибору садових рослин, результатом яких є зовнішній вигляд зелених насаджень у приватному саду. Подібним чином, аграрії не знайомі з принципами естетики, і вони здебільшого мають агрономічну точку зору на вибір рослин і здебільшого вибирають культури, тому вони надають агрономічного вигляду зеленим насадженням за допомогою вибраних рослин, таких як трави [39]. Так само експерти природних ресурсів та навколишнього середовища не знайомі з принципами естетики та здебільшого стурбовані екологією та навколишнім середовищем, результатом чого є розвиток деревних насаджень та парків, яким бракує ефективності та краси. З іншого боку, архітектори не знайомі з принципами ефективності, економічністю та екологією, і в них домінує художній погляд, а іноді й функціональний, без уваги до різноманітності рослин. В результаті зовнішній вигляд рослин красивий лише на папері, а висаджені види знищуються. Відсутність домінування системної та цілісної точки зору на проблему спричиняє неефективність [5, 6,10,18].

РОЗДІЛ 2. КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ ТА ПРОГРАМИ I-TREE CANOPY

З 2006 року Лісова служба США (USFS) у співпраці з науковими установами розробляє веб-додатки, які зосереджені на дослідженні міських і приміських лісів та для кількісного визначення екосистемних послуг (наприклад, i-Tree Canopy, i-Tree Eco, i-Tree Landscape) [39]. Відділення Лісової служби (The USDA Forest Service Research and Development) проводить екологічні та соціальні наукові дослідження, щоб підвищити стійкість міських екосистем та можливість людей ефективно управляти ними [43].

I-Tree Canopy -це загальнодоступне онлайнове програмне забезпечення, яке використовується для проведення просторової вибірки міського ландшафту та оцінки крони дерев (див рис.2.1). Веб-додаток може вивчати потенціал переваг зеленених насаджень на міських територіях [40].

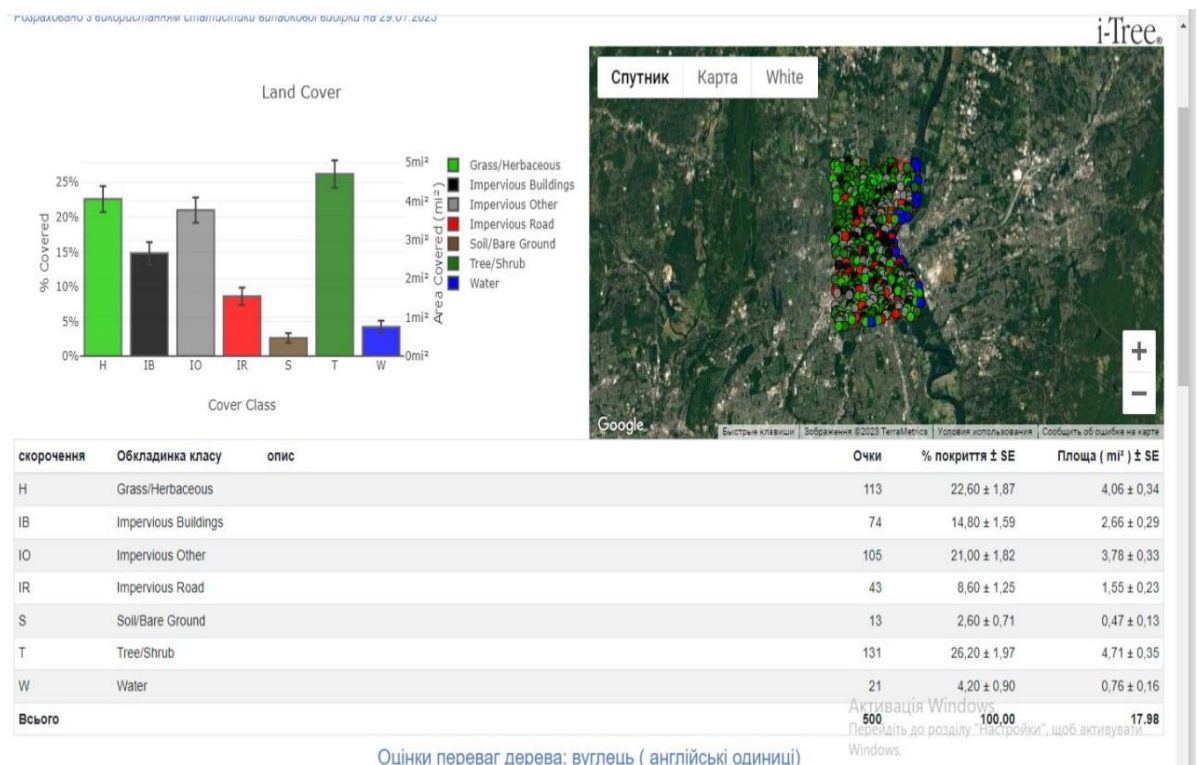


Рис.2.1. I-Tree Canopy веб-застосунок для вивчення потенціалу переваг зеленених насаджень на міських територіях.

Однією з переваг I-Tree Canopy є те що для роботи з ним не потрібно жодних даних. Для того, щочю почати роботу в програмі варто просто:

1. визначити межі нашої ділянки;
2. визначити класи ґрунтового покриття;
3. нанести на обрану ділянку точки.

За допомогою I-Tree Canopy можна оцінити **структуру**: співвідношення класів покриття та **функції й цінність**: вуглець, видалення забруднювачів повітря, регуляція водного стоку. Одним із прикладів з використання додатку – це оцінка зміни покриву. Така оцінка несе за собою догляд за існуючими деревами, зведення до мінімуму втрати дерев та відновлення втрачених дерев через вік, зміну земельного покриття та ін. причини, освіта та поширення громадської обізнаності, планування, висадка нових дерев (див.рис.2.2.) [38].



Рис 2.2. Оцінка зміни покриву за допомогою додатку I-Tree Canopy
Навіщо оцінювати деревний покрив? (див рис.2.3.)

1. перший крок до сталого менеджменту зеленими зонами у громадах;
2. оцінка базової лінії та визначення цілей;
3. швидка оцінка екосистемних послуг у великому масштабі;
4. оцінка змін покриття у часі.

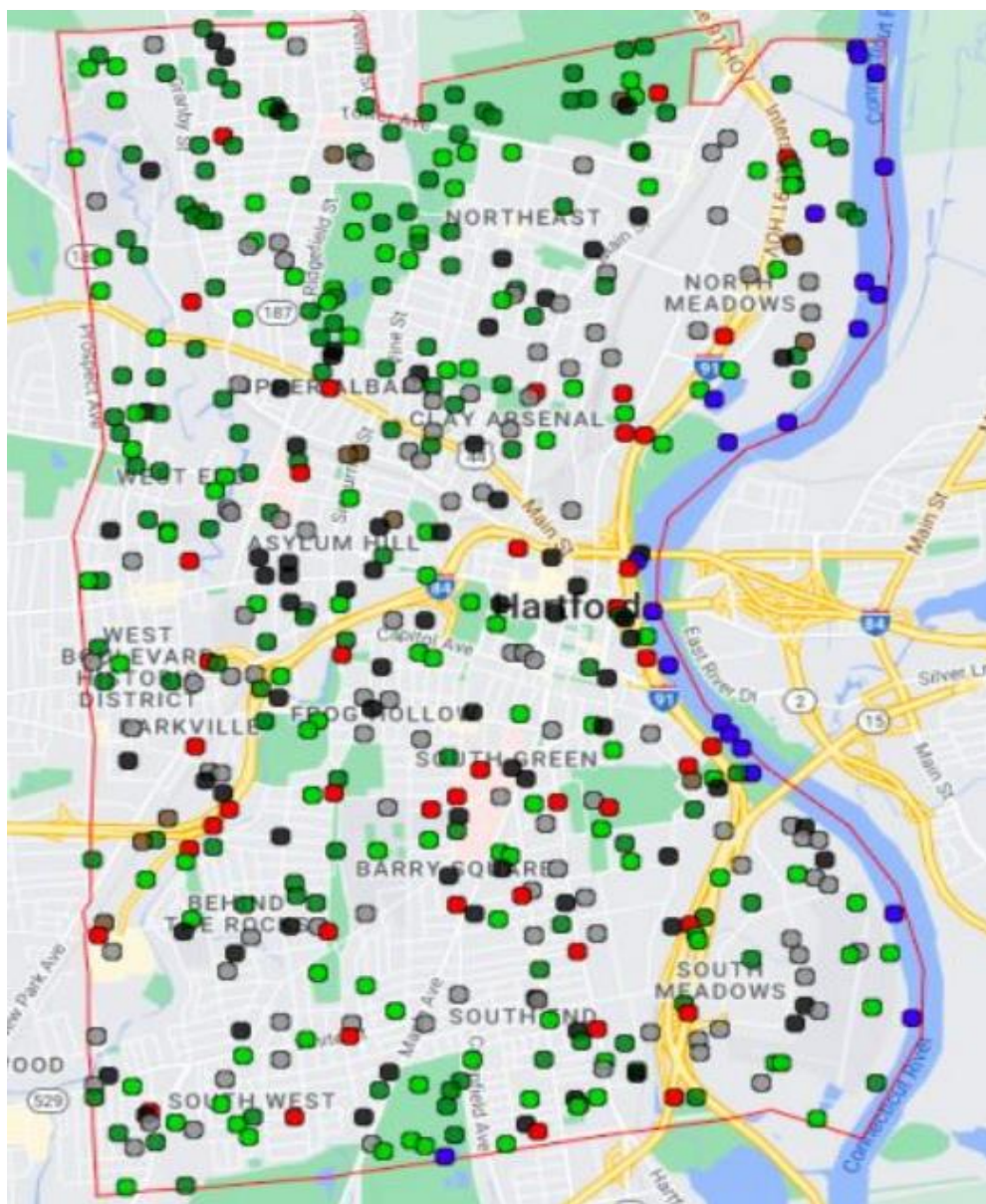


Рис.2.3. Оцінка рослинного покриття за допомогою додатку I-Tree Canopy

Ми будемо оцінювати рослинний покрив зелених насаджень одного з кварталів міста Житомир. На даному кварталі розміщені корпус та гуртожиток факультету лісового господарства та екології Поліського національного університету, приватний ліцей «Сяйво», інститут медсестринства, декілька

кафе та два маленькі магазини. На обраній території є гарні зелені зони, варто виокремити озеленення на території приватного ліцею «Сяйво», що вабить своє красою для гарних фотосесій в м. Житомирі [38].

Крім того нами було проведено інвентаризацію стану зелених насаджень вибраного кварталу в місті Житомир. (див.фото.2.1., 2.2., 2.3.)



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 гуртожитку факультету лісового господарства та екології

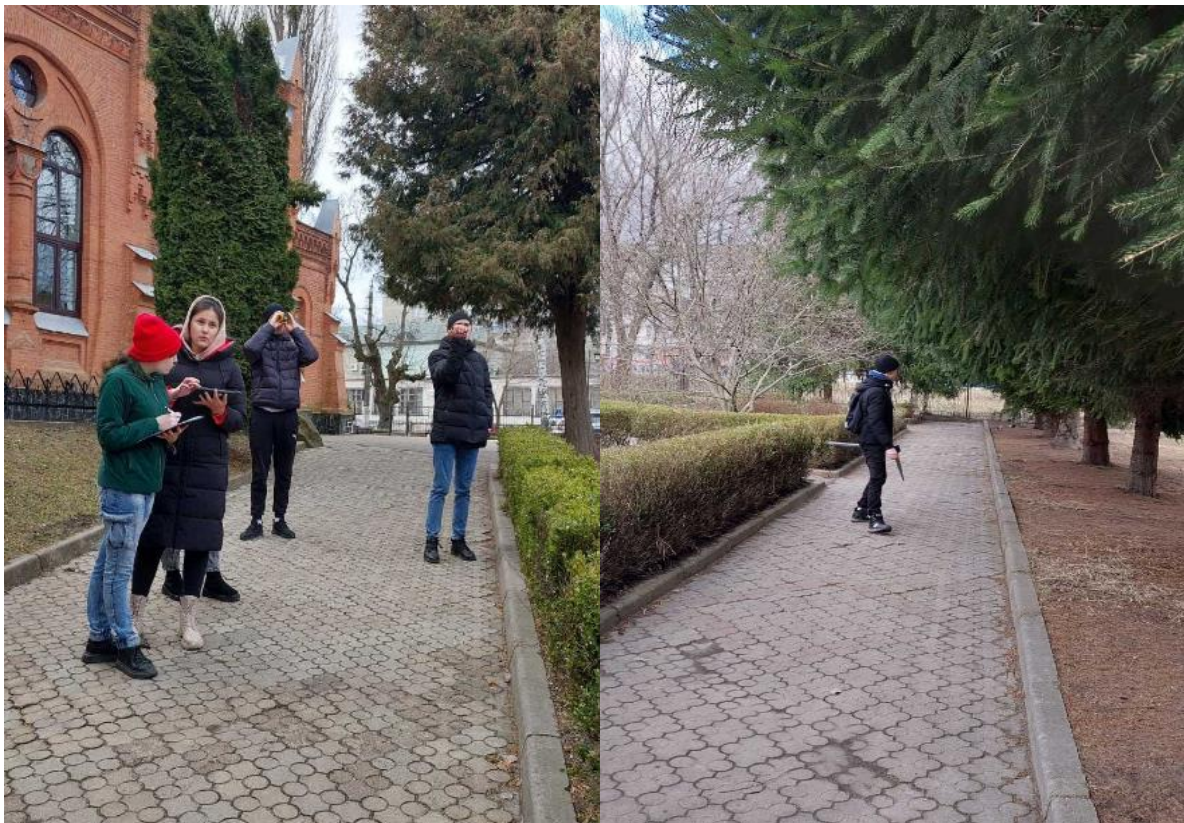


Фото 2.3. Обстеження кварталу м. Житомир біля факультету лісового господарства та екології

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 [4]. Інвентаризація зелених насаджень несе не тільки наукову, але й просвітницьку та пізнавальну роль, підвищує рівень екологічної свідомості громадян [4].

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ТИПІВ РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИОРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ I-TREE CANOPY

У розділі міститься детальний опис збору даних процесу, попередньої обробки зображення та аналітичних методів, що виконуються на дистанційному зондуванні даних. Він також містить обговорення методів, які використовуються для класифікації та оцінки точності результатів отриманих з класифікації зображень і описує альтернативний (тобто більш доступний) метод для проведення оцінок крони дерев (тобто i-Tree Canopy) [2,3,4].

Модель i-Tree Canopy була використана для оцінки складу та структури рослинності та екосистемних послуг. Базову інформацію можна використовувати для оптимізованого прийняття управлінських рішень і планування, розробки відповідної політики та встановлення плану щодо розвитку міста. Краще доглянуті міські зелені зони в цьому районі можуть сприяти покращенню якості повітря та кращому середовищу життя для населення. Вибрані екосистемні послуги в цьому дослідженні включали зберігання та секвестрацію вуглецю, видалення забруднення повітря та запобігання стоку. I-Tree Canopy, веб-програма, розроблена Міністерством сільського господарства США, використовує метод випадкових точок для вибірки дослідженої території під серією точок «методом плутанини» див.рис.3.1., накладених на супутникові зображення Google Maps. I-Tree Canopy є простим і економічно ефективнішим методом інтерпретації зображень [30,31].

Нами було проведено візуальний аналіз та інтерпретацію точок випадкової вибірки на зображеннях дистанційного зондування, доступних через Карти Google за допомогою веб-платформи i-Tree Canopy.

При оцінці покриттів за допомогою i-Tree Canopy використовувалися методи ідентифікації та інтерпретації вибірових точок, які були зроблені за допомогою інтерфейсу Google Maps. Зображення Карт Google – не інтегровані

та складаються з мозаїчних зображень, отриманих різними супутниками [28,32,33].



Рис.3.1. Метод випадкових точок для вибірки дослідженої території.

Другий підхід застосував інтерпретацію випадкових точок у програмному забезпеченні i-Tree Canopy оцінити навіс та інші наявні покриття. З точок яким присвоєні певній категорії покриття можна експортувати у програмі таблицю формату CSV з подальшою конвертацією у формат XLSX. В даній таблиці для кожної з точок буде вказано порядковий номер, категорія певного покриття та присвоєні координати [43].

I-Tree Canopy — це інструмент, розроблений для того, щоб користувачі могли швидко оцінювати класи дерев та інших покриттів саме в межах досліджуваної території. Хоча результати отримані від цього методу цілком залежить від здатності аналітика правильно інтерпретувати особливості земної поверхні, це не вимагає конкретниого досвіду і базових знань. Аналітик визначає необхідні класи покриття на основі знання досліджуваної області і призначає кожену точку вибірки одному з цих класів (рис. 1)[39].

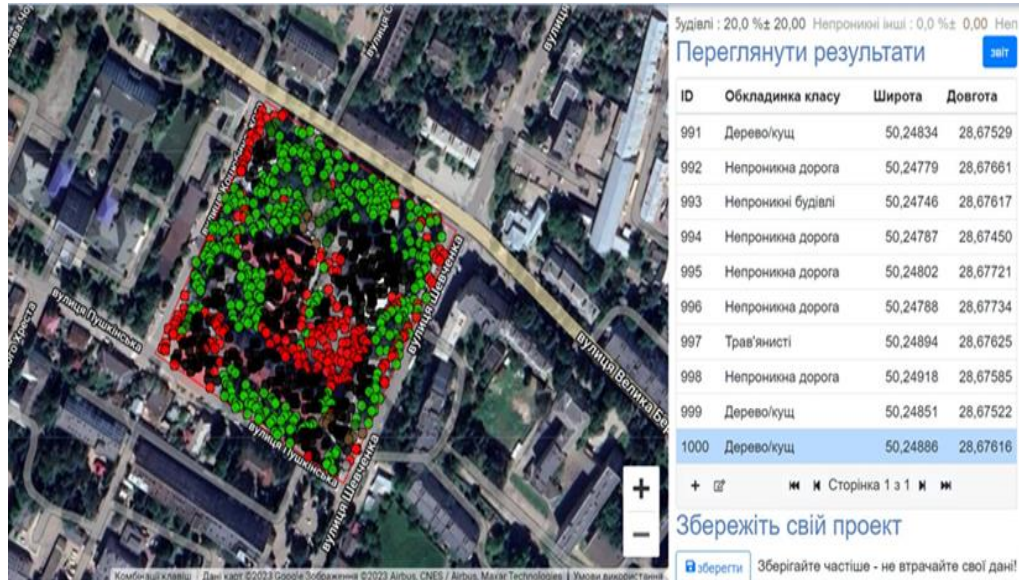


Рис.3.2. Інтерпретація ґрунтового покриття в програмі I-Tree Canopy)[1]

Перед початком інтерпретації визначаються всі необхідні класи. Додати або видалити новий клас не вийде під час процесу оцінювання. Загалом 500-1000 випадкових точок є мінімальним розміром вибірки, рекомендованим розробниками програмного забезпечення для отримання прийнятної рівня точності.) [38,39,40].

I-Tree Canopy, дозволяє легко інтерпретувати аерофотознімки з Google для отримання статистичних оцінок дерев та інших типів покриттів разом із розрахунками статистичної похибки [6]. За допомогою інтерпретації випадкових точок ми проаналізували шість різних класів ландшафтного покриття, визначених для міста Житомир, включаючи дерева/кущі, травянисту рослинність, непроникні (будівлі), непроникні (дороги), непроникне (інше), ґрунт. Опис кожного класу ґрунтового покриття, які розглядаються як навчальні зразки для кожного класу, включені в таблицю 3.1. [38,39], рис.3.3.

В таблиці 1 наведено абсолютні та відносні значення типів покрову нашої ділянки, а також їх площу та величину похибки вимірювання. В результаті вимірювань було виставлено 1000 точок та встановлено площу досліджуваної ділянки, яка становить 3,59 га [40,41.42].

Зведені данні по типам покриття, відносні та абсолютні показники

Тип рослинного покриття	Кількість контр.точок, шт.	% покриття \pm стат. похибка	Площа (га) \pm стат. похибка
Дерева/кущі	367	36,70 \pm 1,52	1,32 \pm 0,05
Трав'янистий покрив	31	3,10 \pm 0,55	0,11 \pm 0,02
Непроникний покрив (будівлі)	370	37,00 \pm 1,53	1,33 \pm 0,05
Непроникний покрив (дороги)	216	21,60 \pm 1,30	0,77 \pm 0,05
Непроникний покрив (інше)	2	0,20 \pm 0,14	0,01 \pm 0,01
Ґрунт/гола земля	14	1,40 \pm 0,37	0,05 \pm 0,01
Разом	1000	100	3,59

Це дослідження показало, що клас рослинного покриття дерева/кущі та непрониклі дороги займають майже однакову площу на даній території по 37 %, на непрониклі дороги припадає 22%, на травянистий покрив 3%. Відносно невелика частка припадає на голу землю та ґрунт.

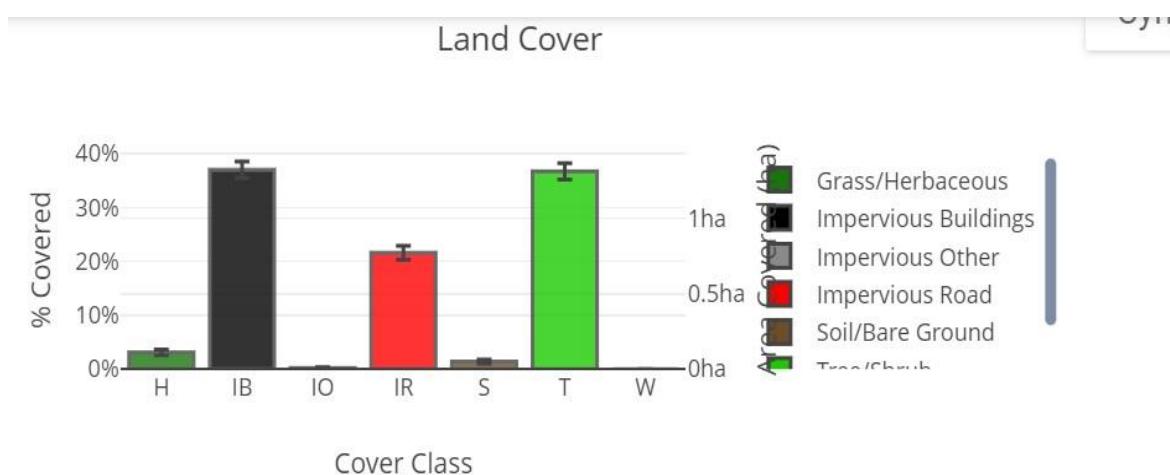


Рис.3.3. Аналіз ґрунтових покриттів на виділеній ділянці

Далі ми проаналізували поглинання та накопичення вуглецю зеленими насадженнями. Щорічно зелені насадження досліджуваної площі поглинають

3060 тон вуглецю, що еквівалентно 11,22 тонам CO₂ на рік. Загалом зелені ділянки зберігають депонованого вуглецю 76,85 тон вуглецю, що еквівалентно 281,78 тон CO₂. Вартість поглинання та накопичення вуглецю рослинами складає – 6 943,91 грн.

Програма i-Tree Canopy генерує дані про забруднювачів, які поглинаються з атмосфери рослинами та про грошовий еквівалент даної послуги: CO (чадний газ) – 0,127 г/рік, вартість 54,30 грн., NO₂ (двооксидазоту) – 0,700 г/рік, вартість 17789,76 грн., O₃ (озон)– 5,40 г/рік, вартість 105770,15 грн., SO₂ (діоксид сірки) – 0,344 кг, вартість 5449,43 грн., PM 2,5 (тверді частки)– 0,276 кг, вартість 4334455,25 грн., PM 10 (тверді частки) – 1,53кг, вартість 255,21 грн. Загальна маса поглинутих забруднювачів з атмосфери– 110кг. Зелені насадження досліджуваної території можуть транспірувати понад 2,564 л води протягом року, вартість такої функції 87,19 грн. (див.табл.3.2.) [38,39,40,41,42].

Таблиця 3.2.

Дані про забруднювачів, які поглинаються з атмосфери рослинами досліджуваного кварталу м.Житомир

Абрати атура	Опис	Видалення (г/м ² /рік)	Грошова вартість (Г/т/рік)
CO	Щорічно видалається чадний газ	0,127	54,353.33
NO ₂	Двоокис азоту видалається щорічно	0,700	17809,50
O ₃	Видалення озону щорічно	5,404	105,887.54
PM10	Тверді частинки розміром більше 2,5 мікрон і менше 10 мікрон видалаються щорічно	1,534	255,500.31
PM2,5	Тверді частинки менше 2,5 мікрон видалаються щорічно	0,276	4,339,265.95
SO ₂	Діоксид сірки видалається щорічно	0,344	5455,58

Екосистемні послуги міських зелених насаджень відіграють важливу роль у сталому розвитку міської екосистеми. Як кількісно оцінити екологічні переваги міських зелених насаджень і оцінити їхні екологічні послуги є актуальною темою у суміжних галузях. Наразі з розвитком науки й техніки метод оцінки був розроблений від традиційних, таких як метод ради оцінювачів дерев і ландшафтів, метод витрат на лісонасадження та метод податку на вуглець до CITYgreen та i-Tree. Останні дві моделі широко використовувалися в країнах Європи та Америки, тоді як у Китаї використання i-Tree не поширювалося [41,42]

У цій роботі для дослідження було обрано i-Tree Canopy, і було проаналізовано його застосування для оцінки екосистемних послуг міських зелених насаджень, включаючи енергозбереження, покращення якості повітря, перехоплення дощової води та естетичні переваги. Це дослідження має на меті забезпечити теоретичну та наукову основу для впровадження та локалізації i-Tree, а також його узагальнення в оцінці екосистемних послуг лісу в країні [34,41,42].

ВИСНОВКИ

1. Проведено оцінку рослинного покриву зелених насаджень одного з кварталів міста Житомир за допомогою безкоштовного додатка I-Tree Сапору.
2. I-Tree Сапору є простим і економічно ефективнішим методом інтерпретації зображень. Веб-додаток може вивчати потенціал переваг зеленених насаджень на міських територіях.
3. Однією з переваг I-Tree Сапору є те що для роботи з ним не потрібно жодних даних. Для того, щоб почати роботу в програмі варто просто:
 - ✓ визначити межі нашої ділянки;
 - ✓ визначити класи ґрунтового покриття;
 - ✓ нанести на обрану ділянку точки.
4. За допомогою I-Tree Сапору можна оцінити структуру: співвідношення класів покриття та функції (накопичення вуглецю, видалення забруднювачів повітря, регуляція водного стоку).
5. Клас рослинного покриву у виділеному кварталі в м. Житомир дерева/кущі та непрониклі дороги займають однакову площу по 37 %, на непрониклі дороги припадає 22%, на травянистий покрив 3%. Відносно невелика частка припадає на голу землю та ґрун[]
6. Щорічно зелені насадження досліджуваної площі поглинають 3060 тон вуглецю, що еквівалентно нормі 11,22 тонам CO₂ на рік. Загалом зелені ділянки зберігають депонованого вуглецю 76,85 тон вуглецю, що еквівалентно нормі 281,78 тон CO₂. Вартість поглинання та накопичення вуглецю рослинами складає – 6 943,91грн []
7. Загальна маса поглинутих забруднювачів з атмосфери зеленими насадженнями– 110кг [].
8. Екосистемні послуги міських зелених насаджень відіграють важливу роль у сталому розвитку міської екосистеми: протидії змінам клімату, зменшують забрудненню повітря, протистоять повеням і тепловим

островам, сприяючи водночас переробці води та вуглецю, а також відновлюваним джерелам енергії та забезпеченню сировиною.

9. I-Tree Canopy використовується для оцінки міських дерев у великих містах чи невеликих громадах, як швидке дослідження. Недоліки цього програмного забезпечення перевіряються, а його ефективність постійно вдосконалюється USDA. Одна з найважливіших переваг i-Tree Canopy – це його низька вартість порівняно з методами класифікації зображень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

4. 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
5. 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>
6. 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)
7. 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>
8. I-Tree Canopy, official site. URL: <https://canopy.itreetools.org/>
9. 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>
10. 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.
11. 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>
12. 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

13. 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>
14. 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.
15. 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.
16. 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>
17. 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>
18. 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.
19. Locke, D. H., Grove, J. M., Lu, J. W., Troy, A., O'Niel-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>
20. 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>
21. 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>
22. Nowak, D.J., 2006. Institutionalizing urban forestry as a ‘biotechnology’ to improve environmental quality. *Urban Forestry and Urban Greening*, 5, 93-100.
23. 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)
24. 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>
25. Jo, H.-K.; McPherson, E.G. 1995. Carbon storage and flux in urban residential greenspace. *Journal of Environmental Management*. 45: 109-133.
26. 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
27. 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
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. Генік 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. Діда. Р. Алеями міського парку. Івано-Франківськ:Лілея – НВ, 2010.88 с.
32. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів : СПОЛОМ, 2014. 676 с.
33. Зелениук 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 модрина 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. Alvluiiko P. Ecosystem analysis of trees in the i-tree program. Forest, Science, Youth: materials of XI All-Ukrainian. of science practice conf. (23 November, 2023). – Zhytomyr: Polish National University, 2023. С. 86-87.

- 40.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. __.
- 41.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
- 42.Коваль М. Аналіз екосистемних послуг дерев виду *Tilia cordata* Mill. вул. Київська у м. Житомир. Ліс, Наука, Молодь: матеріали XI Всеукр. наук. практ. конф. (23 листопада 2023 р.). – Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 86-87.
- 43.Офіційний сайт програмного забезпечення i-Tree Eco - <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco> (дата звернення: 17.11.2023)