



Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

Микола ЦЕПЕНДА^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-7570-2782>

УДК 528.8

Ольга ДАНИЛОВА^{1**}  <https://orcid.org/0000-0003-3800-6750>

Наталія ЗАБЛОТОВСЬКА^{2***}  <https://orcid.org/0000-0002-7669-6118>

АНАЛІТИЧНА СТАТТЯ

¹Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
кафедра економічної географії та екологічного менеджменту

²Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
кафедра географії України та регіоналістики

Листування – *m.tsependa@chnu.edu.ua; **o.danilova@chnu.edu.ua; ***n.zablotskaja@chnu.edu.ua

Ключові слова: лісорекреаційна зона, вкриті деревною рослинністю площі, дистанційне зондування Землі, ГІС-технології, супутникові знімки, *Sentinel-2*, *NDVI*, *QGIS*.

Анотація: У праці проведено оцінку забезпеченості вкритими деревною рослинністю територій обласних центрів карпатських областей України (Івано-Франківська, Ужгорода, Чернівців та Львова) шляхом використання геоінформаційних технологій. Дослідження було проведено при використанні *Normalized Difference Vegetation Index* або *NDVI* для ідентифікації на космічних знімках площ вкритих деревною рослинністю. Для проведення дослідження було обрано мультиспектральні (13 діапазонів) знімки супутника «*Sentinel-2A*» Європейського космічного агентства. Дані були отримані з офіційного сайту космічної програми «Копернікус». Отримані результати показали, що найвищий показник забезпеченості вкритими деревною рослинністю територій у м. Чернівці, хоча навіть при цьому він є меншим від норми ледь не на половину. Для решти досліджуваних обласних центрів показники забезпеченості не задовольняють навіть 30 % від рекомендованого необхідного мінімуму.

1. ВСТУП

Урбанізаційні процеси сьогодні охопили практично всі країни та регіони світу. Зростання ролі, значення, площі та людності міст набуло стрімкого характеру і за прогнозами геоурбаністів (Власенко 2022) буде мати подальшу позитивну динаміку. Згідно досліджень, населення світу може збільшитись приблизно до 8,5 млрд. осіб у 2030 році, 9,7 млрд. у 2050-му, а досягти піку в 10,4 мільярда осіб у 2080-х. (People and Planet 21st-century sustainable population scenarios ... 2021). Зростання чисельності міських мешканців неминуче призводить до активного освоєння та заселення внутрішнього простору міст, будівництва об'єктів інфраструктури, житлових будинків, адміністративних споруд та супроводжується перетворенням природних ландшафтів, знищенням лісової та лучної рослинності. У контексті

2024, 849; DOI: <https://doi.org/10.31861/geo.2024.849.154-163>

 Open Access. © 2024 М. ЦЕПЕНДА, О. ДАНИЛОВА, Н. ЗАБЛОТОВСЬКА
опубліковано у Чернівецькому національному університеті

Ця робота ліцензується відповідно до

CC BY-NC-ND із Зазначенням Авторства – Некомерційна – Без Похідних 4.0 Міжнародна



зазначеного, одними із найважливіших компонентів міського середовища, що виконують не лише екологічні, а й соціально-психологічні функції виступають вкриті деревною рослинністю території. Тому, кількісна оцінка зайнятих деревною рослинністю площ, їх відновлення та розширення (озеленення) на території міст є актуальними завданнями сьогодення.

Оцінювання їх площі може проводитися як традиційними (інструментально-кадастровими), так і новітніми (дистанційними) методами. Однак, як вказують [Бабій, Грицьків \(2007\)](#), точність традиційних методів не завжди є високою, оскільки в їхній основі лежать окомірні оцінки та вимірювання, а виконувані роботи часто вимагають затрат значних обсягів ресурсів і часу ([Миклуш та ін. 2007](#)). Як наслідок, в реаліях сьогодення існуюча офіційна статистична інформація про лісовкриті площі є недостатньо актуальною.

Єдиним джерелом оперативної та відносно точної інформації про рослинний покрив території залишаються матеріали дистанційного зондування поверхні Землі.

2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Наукові досягнення та розвиток космічних технологій впродовж останніх десятиліть, а також міжнародна співпраця в космічній сфері сприяли збільшенню обсягів матеріалів дистанційного зондування Землі й зростанню інтересу до них серед науковців. Аналіз супутникових знімків із застосуванням сучасних геоінформаційних систем перетворюється на потужне джерело просторової інформації, зокрема про рослинність та ліси. Сучасна доступність ГІС забезпечує ефективні, швидкі та надійні можливості для високоточного моніторингу змін у лісових ресурсах будь-якого регіону.

Застосуванням геоінформаційних технологій для оцінювання та класифікації земної поверхні займаються все більше науковців як в Україні, так і закордоном, про що свідчить значний обсяг публікацій у науковій періодиці. Серед доробку вітчизняних науковців у цьому напрямі виокремимо праці [Бурштинська та ін. \(2013\)](#), [Грицьків та ін. \(2022\)](#), [Жолобак \(2010\)](#), [Сонько, Косенко \(2013\)](#), [Лесів та ін. \(2012\)](#), [Миронюк \(2015, 2020\)](#), [Зацерковний та ін. \(2018\)](#), [Мельник, Ячнюк \(2022\)](#), [Поронник \(2007\)](#), [Слободяник \(2014\)](#), [Цуняк та ін. \(2013\)](#), [Лепетюк \(2022\)](#), [Яковенко \(2023\)](#) та ін.

Нині є чимало наукових публікацій зі згаданої проблематики, проте дослідження використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій трапляються набагато рідше. Використання ГІС, як ключового інструменту для картографування, аналізу та управління зеленою інфраструктурою в урбанізованих середовищах розкрито у працях переважно закордонних науковців: [Lin et al. \(2019\)](#), [Sokolova et al. \(2024\)](#), [Elmqvist et al. \(2013\)](#).

В Україні досліджувана проблематика далека від вирішення і потребує подальших вишукувань.

Тому, мета нашого дослідження полягає у визначенні площ, що зайняті під деревною рослинністю на території обласних центрів Карпатського регіону України із застосуванням ГІС-технологій для визначення забезпеченості населення міст такими територіями, відповідно до нормативних параметрів, що встановлені містобудівними і архітектурно-планувальними стандартами.

Дослідження засновано на використанні нормалізованого диференційного вегетаційного індексу ([Normalized Difference Vegetation Index 2024](#)) для ідентифікації на космічних знімках лісовкритих площ. Він розраховується за формулою:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (1)$$

де *NIR* (*Near Infrared*) – близька до інфрачервоного область спектру з довжиною хвилі 760–900 нм; *RED* – видима червона область спектру, 630–690 нм.

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

NDVI відображає співвідношення між отриманою та відбитою земними об'єктами енергією в межах червоної та близької до інфрачервоної областей спектру.

Цей індекс дозволяє визначати, практично, будь-які зміни складу земної поверхні внаслідок людської діяльності, особливо знищення лісової рослинності та будівництва. До того ж він широко використовується для аналізу просторово-часових змін рослинного покриву (Hashim et al. 2019).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Для проведення дослідження нами було обрано мультиспектральні (13 діапазонів) знімки супутника «Sentinel-2A» Європейського космічного агентства, обладнання якого забезпечує достатньо високу роздільну здатність зображення (10, 20 і 60 м) і надійну базу для ідентифікації типів рослинного покриву земної поверхні. Дані були отримані з офіційного сайту космічної програми «Копернікус», в рамках якої у 2015 році був запущений даний супутник (Copernicus Open Access Hub 2024).

Специфіка дослідження вимагала вибору таких знімків, на яких можна було б добре, з мінімальними похибками, ідентифікувати деревну рослинність, уникаючи захоплення площ порослих кущами, чагарниками, рідкою рослинністю, травою, сільськогосподарських угідь тощо. Ця проблема досить широко висвітлена у науковій літературі.

Методом підбору різночасових знімків впродовж вегетаційного періоду було встановлено, що найкращі результати класифікації рослинного покриву та ідентифікації деревної рослинності досягаються при використанні знімків за період кінця травня – початку червня.

Одним із обмежуючих чинників при здійсненні такого роду досліджень виступає хмарність, вплив якої може суттєво знижувати або, взагалі, унеможливлювати дешифрування. Тому при відборі знімків важливим критерієм була низька хмарність (на рівні менше 10 % від площі знімка).

У процесі підбору знімків з'ясувалося, що серед відкритих за період останніх шести років практично немає жодного знімка, який би відповідав зазначеним вище критеріям. Найбільш відповідними цим критеріям виявилися космічні знімки датовані кінцем травня – початком червня 2018 року, які й були обрані для дослідження (таблиця 1).

Таблиця 1. Характеристика досліджуваних космічних знімків

Населений пункт	Знімок	Дата зйомки	Хмарність, %	Розмір, Гб
Івано-Франківськ	L2A_T34UGV_A006454	2018-06-01	2,62	1,04
Львів	L2A_T34UGA_A015434	2018-06-06	0,05	1,04
Ужгород	L2A_T34UEU_A006454	2018-06-01	1,61	1,05
Чернівці	L2A_T35UMP_A006411	2018-05-29	0,03	1,05

Завантажені знімки були оброблені за допомогою Semi-Automatic Classification Plugin (SCP, Version 6.4.2. – Greenbelt) для QGIS (QGIS Development Team 2023). Процес обробки включав:

- трансформацію цифрових даних знімків у значення відбиття поверхні;
- врахування впливу атмосфери (DOS1 корекція);
- обтинання знімків по контурах досліджуваних населених пунктів.

Останній пункт було вирішити досить складно, оскільки в Україні завершилась адміністративно-територіальна реформа та пов'язані із нею процеси децентралізації, укрупнення міст, утворення територіальних громад, зміни меж і площі населених пунктів, затвердженням нових генеральних планів населених пунктів. Тож нами за основу у

дослідженні було використано межі міст Івано-Франківськ, Львів, Ужгород та Чернівці станом на 2017 р., завантажені у векторному форматі (shapefile) з геоінформаційного порталу *OpenStreetMap Data Extracts* ([OpenStreetMap Data Extracts 2023](#)).

Наступним етапом дослідження стало власне дешифрування космічних знімків способом напівавтоматичної (контрольованої) класифікації об'єктів земної поверхні, яка дозволяє визначати об'єкти на космічному знімку відповідно до їх спектральних характеристик. В процесі такої класифікації спочатку дослідник визначає ділянки земної поверхні з однорідним покривом, створюючи, так звані, експериментальні (тренувальні) області. Згодом на основі цих областей програмне забезпечення обчислює спектральні характеристики обраного типу земного покриття і, у підсумку, дає можливість класифікувати усю поверхню знімка.

Для аналізу типів покриття земної поверхні *SCP* дає можливість досліднику підбирати зручний кольоровий композит – трьохкомпонентну комбінацію зображень (діапазонів) космічного знімка. Результати обробки знімків у натуральних кольорах (кольоровий композит *RGB 3-2-1*) відображено на *рис. 1*.

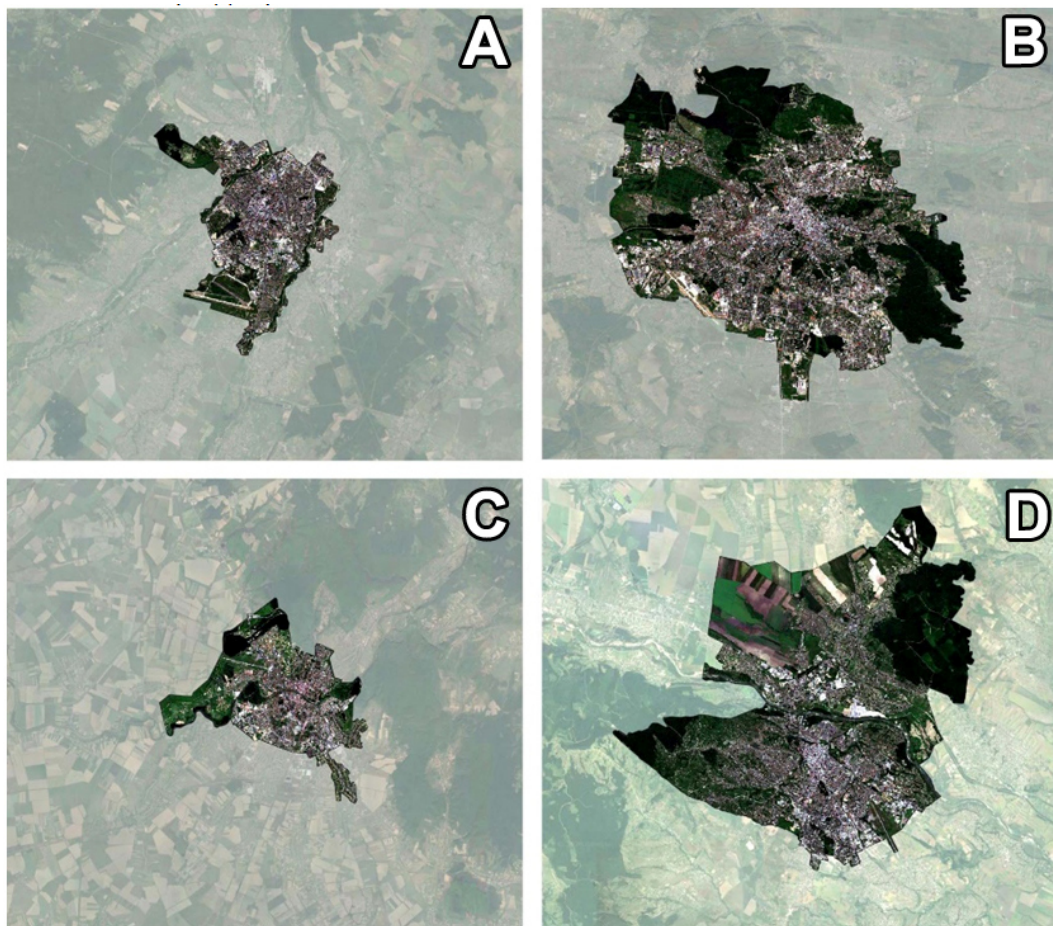


Рис. 1. Поверхня міст Івано-Франківськ (А), Львів (В), Ужгород (С) та Чернівці (D) станом на кінець травня – початок червня 2018 р.

Дешифрування рослинного покриття поверхні Землі на космічних знімках зручно проводити з використанням кольорового композиту *RGB 7-3-2*, коли рослинність відображається відтінками червоного кольору (*рис. 2*).

На космічних знімках кожного із досліджуваних міст засобами *QGIS* були створені експериментальні області для вкритих деревною рослинністю площ. На основі цих областей з використанням алгоритму класифікації сигнатур земної поверхні (*Land Cover Signature*

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

Classification) було створено растрові файли вкритих деревною рослинністю площ досліджуваних територій у графічному форматі tiff (рис. 3).

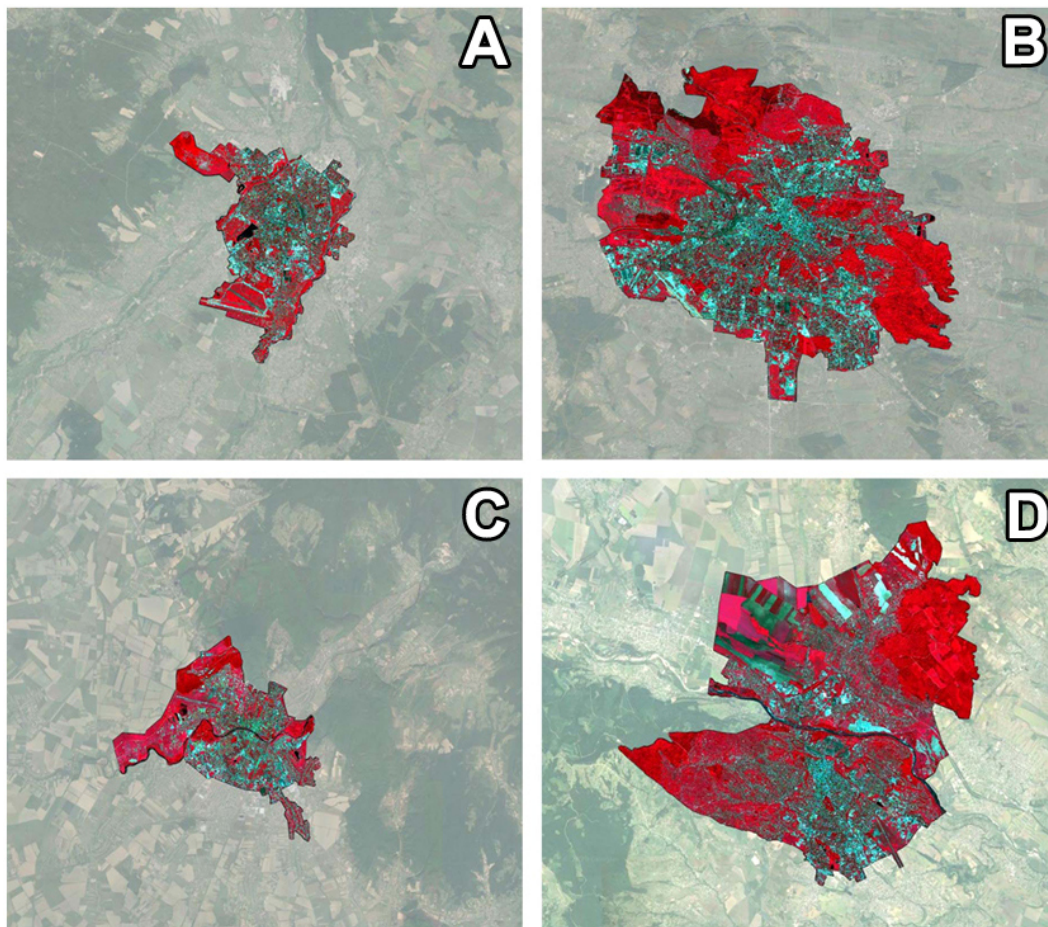


Рис. 2. Поверхня міст Івано-Франківськ (А), Львів (В), Ужгород (С) та Чернівці (D) відображена у кольоровому композиті RGB 7-3-2

Основна перевага цього алгоритму – це можливість виділення лише одного класу земної поверхні, який представляє науковий інтерес (у нашому випадку – вкриті деревною рослинністю площі).

Таблиця 2. Результати розрахунку частки вкритих деревною рослинністю територій досліджуваних міст

Населений пункт	Загальна площа, км ²	Площа вкритих деревною рослинністю територій, км ²	% від загальної площі
Івано-Франківськ	41,1	4,2	10,2
Львів	151,4	46,2	30,5
Ужгород	36,6	4,3	11,7
Чернівці	151,1	32,9	21,8

Аналіз отриманої інформації (таблиця 2) показав, що серед обласних центрів Карпатського регіону найбільші значення вкритих деревною рослинністю площ характерні для Львова (30,5 % або 46,2 км² вкритих деревною рослинністю); дещо меншими ці показники є для Чернівців (21,8 % або 32,9 км²); найменшими вони є в Ужгороді (11,7 % або 4,3 км²) та Івано-Франківську (10,2 % або 4,2 км²).

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

Верифікація результатів аналізу вкритих деревною рослинністю площ, здійснена за допомогою карт з високою роздільною здатністю ([OpenStreetMap Data Extracts 2023](#)), показала досить високу точність класифікації (*таблиця 3*).

Таблиця 3. Оцінка точності ідентифікації вкритих деревною рослинністю площ

Населений пункт	Кількість контрольних точок	Точність (<i>users accuracy</i>), %	Індекс Каппа
Івано-Франківськ	41	78,0	0,7723
Львів	151	87,4	0,8500
Ужгород	37	89,2	0,8872
Чернівці	151	91,4	0,9038

Як уже згадувалося, вкриті деревною рослинністю території в межах міст мають вирішальне соціально-психологічне та рекреаційне значення ([Кучерявий та ін. 2021](#)). Розвиток міст, як правило неминуче супроводжується складними урбанізаційними проблемами, які виникають внаслідок протиріч між містобудівельною практикою, соціально-економічними та соціально-екологічними запитами мешканців, серед яких у пріоритеті запит на «здорове» оточуюче середовище. Останнє, ідентифікується за такими ключовими елементами, як чисте повітря, чиста вода, сприятливий клімат, акустичний комфорт, доглянутий ландшафт, озеленені території. Саме озеленення є інтегруючим елементом, який виконує низку важливих функцій – санітарно-гігієнічну, фітомеліоративну, архітектурно-планувальну, інженерно-захисну, естетичну, рекреаційну. У соціальному контексті, найбільший інтерес для жителів міст складає рекреаційна функція, адже після фізичної, розумової, творчої праці чи навчання необхідним є відпочинок.

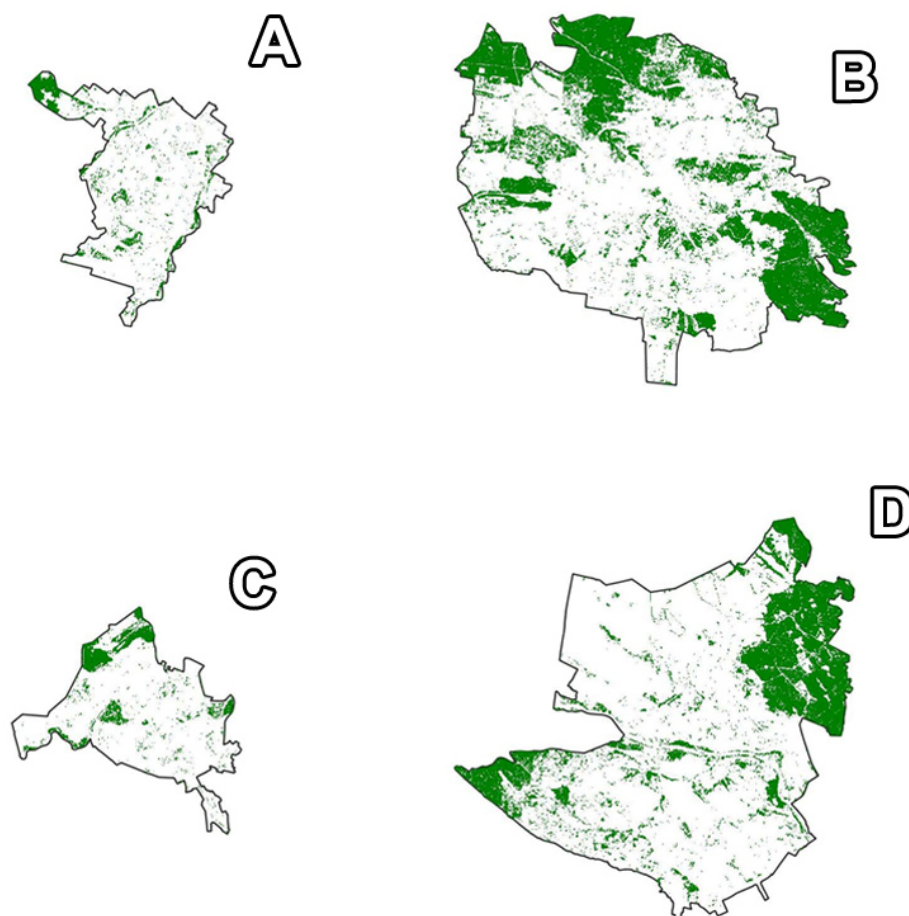


Рис. 3. Вкриті деревною рослинністю території в межах міст Івано-Франківськ (А), Львів (В), Ужгород (С) та Чернівці (D)

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

Тому, важливим етапом нашого дослідження є оцінювання забезпеченості населення такими територіями та їх порівняння із нормативними параметрами, що встановлені містобудівними і архітектурно-планувальними стандартами (*таблиця 4*).

Таблиця 4. Забезпеченість мешканців досліджуваних міст вкритими деревною рослинністю територіями

Населений пункт	Кількість населення, тис. осіб	Площа вкритих деревною рослинністю територій, км ²	Норматив забезпеченості зеленими зонами, га/1000 осіб	Фактична забезпеченість, га/1000 осіб
Івано-Франківськ	227,0	4,2	15	3,0
Львів	729,0	46,2	25	7,2
Ужгород	115,9	4,3	15	3,7
Чернівці	262,0	32,9	20	11,0

Як бачимо, найвищий показник забезпеченості населення вкритими деревною рослинністю територіями у Чернівцях, хоча навіть при цьому цей показник є меншим від норми на 45 %. Для м. Ужгород відхилення від норми складає 75,4 %, Івано-Франківська – 76,7 %. Місто Львів, будучи лідером як за людністю так і за площею вкритих деревною рослинністю територій, має дефіцит 71,2 %, при фактичній забезпеченості 7,2 га на 1000 осіб.

4. ВИСНОВКИ

За допомогою нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (*Normalized Difference Vegetation Index 2024*) були ідентифіковані вкриті деревною рослинністю території на космічних мультиспектральних знімках супутника «*Sentinel-2A*» обласних центрів Карпатського регіону.

Використання програмного забезпечення *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP, Version 6.4.2. – Greenbelt)* для *QGIS (QGIS Development Team 2023)* дало змогу реалізувати поетапний процес із трансформацію цифрових даних знімків у значення відбиття поверхні, врахування впливу атмосфери (*DOS1* корекція), визначення меж досліджуваних населених пунктів.

У результаті дослідження було визначено, що лідерами за площею вкритих деревною рослинністю територій, як в абсолютних, так і відсоткових показниках є м. Львів (46,2 км², 30,5 % від загальної площі міста) та м. Чернівці (32,9 км², 21,8 %), значно меншими вони є в м. Ужгород (4,3 км², 11,7 %) та в м. Івано-Франківськ (4,2 км², 10,2 %).

Соціально-рекреаційне значення вкритих деревною рослинністю територій є критично важливим для урбанізованих зон, проте фактична забезпеченість зеленими зонами значно відстає від встановлених нормативів у всіх досліджуваних населених пунктах. Так, показник забезпеченості населення вкритими деревною рослинністю територіями у Чернівцях є найбільшим (11 га на 1 000 осіб), хоча навіть при цьому цей показник є меншим від норми на 45 %. Для м. Ужгород відхилення від норми складає 75,4 %, Івано-Франківська – 76,7 %. Місто Львів, будучи лідером як за людністю так і за площею вкритих деревною рослинністю територій, має дефіцит 71,2 %, при фактичній забезпеченості 7,2 га на 1000 осіб.

Подібні відхилення від нормативних значень потребують перегляду та впровадження сучасних підходів до формування зелених зон міста, які виступають природним каркасом його планувальної структури та виконують рекреаційні, санітарно-гігієнічні, естетичні, соціальні функції, спрямовані на створення здорового середовища для життя, роботи та відпочинку мешканців. Особливо у фокусі уваги мають бути можливості збільшення площ зелених насаджень загального користування.

Отже, дослідження підтверджує доцільність подальшого застосування ГІС-технологій і дистанційного зондування для моніторингу зелених насаджень в урбанізованих регіонах, а також розробки стратегій з озеленення та відновлення вкритих деревною рослинністю площ.

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

ЛІТЕРАТУРА

1. **Бабій, Л., & Грицьків, Н.** (2007). Космічні методи ДЗЗ у вирішенні задач лісового господарства. *Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий науково-технічний збірник*, (68), 200-204. [Babii, L., & Hrytskiv, N. (2007). Kosmichni metody DZZ u vyrishenni zadach lisovoho hospodarstva. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia: mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, (68), 200-204.]
2. **Бурштинська, Х. В., Поліщук, Б. В., & Ковальчук, О. Ю.** (2013). Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення. *Геодезія, картографія і аерофотознімки*, (78), 101-110. [Burshtynska, Kh. V., Polishchuk, B. V., & Kovalchuk, O. Yu. (2013). Doslidzhennia metodiv klasyfikatsii lisiv z vykorystanniam kosmichnykh znmkiv vysokoho rozrznennia. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmky*, (78), 101-110.]
3. **Власенко, Р. П.** (2022). *Основи геоурбаністики навчальний посібник*. Житомир : Видавництво ЖДУ імені І. Франка. [Vlasenko, R. P. (2022). *Osnovy heourbanistyky navchalnyi posibnyk*. Zhytomyr : Vydavnytstvo ZhDU imeni I. Franka.]
4. **Грицьків, Н., Бабій, Л., & Горіянова, І.** (2022). Дослідження просторового розташування санітарно-захисних зон виробничих підприємств методами геоінформаційного моделювання. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, (95), 135-143. [Hrytskiv, N., Babii, L., & Horiainova, I. (2022). Doslidzhennia prostorovoho roztashuvannia sanitarno-zakhysnykh zon vyrobnychykh pidpriemstv metodamy heoinformatsiinooho modeliuvannia. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia*, (95), 135-143.]
5. **Жолобак, Г. М.** (2010). Вітчизняний досвід супутникового монітору лісових масивів України. *Космічна наука і технологія*, (16), 46-54. [Zholobak, H. M. (2010). Vitchyznianyi dosvid suputnykovoho monitoru lisovykh masyviv Ukrainy. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia*, (16), 46-54.]
6. **Зацерковний, В. І., Оберемок, Н. В., & Кун, Ю. В.** (2018). Застосування геоінформаційних систем та геоінформаційних технологій у дослідженні ландшафтів. *Управління розвитком складних систем*, (34), 92-103. [Zatserkovnyi, V. I., Oberemok, N. V., & Kun, Yu. V. (2018). Zastosuvannia heoinformatsiinykh system ta heoinformatsiinykh tekhnolohii u doslidzhenni landshaftiv. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, (34), 92-103.]
7. **Кучерявий, В. П., Генік, Я. В., Кучерявий, В. С., Шуплат, Т. І., & Гоцій, Н. Д.** (2021). Соціально-екологічні особливості рекреаційних просторів зеленої зони міста Львова. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 20–21 травня 2021 р.)*, 592-601. [Kucheriavyi, V. P., Henyk, Ya. V., Kucheriavyi, V. S., Shuplat, T. I., & Hotsii, N. D. (2021). Sotsialno-ekolohichni osoblyvosti rekreatsiinykh prostoriv zelenoi zony mista Lvova. *Materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kharkiv, 20–21 travnia 2021 r.)*, 592-601.]
8. **Лепетюк, В., & Травкіна, О.** (2022). Застосування ГІС-технологій для формування бази геопросторових даних гастрономічного туризму України. *Управління розвитком складних систем*, (51), 69-80. [Lepetiuk, V., & Travkina, O. (2022). Zastosuvannia HIS-tekhnolohii dlia formuvannia bazy heoprostorovykh danykh hastronomichnoho turyzmu Ukrainy. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*, (51), 69-80.]
9. **Лесів, М. Ю., Щепашченко, Д. Г., Швиденко, А. З., & Бунь, Р. А.** (2012). Побудова карти лісів України за даними глобальних цифрових карт земельного покриття. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, (22)9, 24-30. [Lesiv, M. Yu., Shchepashchenko, D. H., Shvydenko, A. Z., & Bun, R. A. (2012). Pobudova karty lisiv Ukrainy za danymy hlobalnykh tsyfrovyykh kart zemelnogo pokryvui. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho lisotekhnichnoho universytetu Ukrainy*, (22)9, 24-30.]
10. **Мельник, А. А., & Ячнюк, М. О.** (2022) Застосування геоінформаційних технологій для спостереження за лісовим покривом. *Науковий вісник Херсонського державного університету*, (16), 32-39. [Melnik, A. A., & Yachniuk, M. O. (2022) Zastosuvannia heoinformatsiinykh tekhnolohii dlia sposterezhennia za lisovym pokryvom. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu*, (16), 32-39.]
11. **Миклуш, С. І., Горошко, М. П., & Часковський, О. Г.** (2007). *Геоінформаційні системи в лісовому господарстві*. Львів : Камула. [Myklush, S. I., Horoshko, M. P., & Chaskovskyi, O. H. (2007). *Heoinformatsiini systemy v lisovomu hospodarstvi*. Lviv : Kamula.]
12. **Миронюк, В. В.** (2015). Перспективи використання методу класифікації космічних знімків для лісової інвентаризації України. *Збалансоване природокористування*, (2), 9-15. [Myroniuk, V. V. (2015). Perspektyvy vykorystannia metodu klasyfikatsii kosmichnykh znmkiv dlia lisovoi inventaryzatsii Ukrainy. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, (2), 9-15.]
13. **Миронюк, В. В.** (2020). *Інвентаризація рівнинних лісів України за даними супутникової зйомки: монографія*. Харків : АТ «Харківська книжкова фабрика «ГЛОБУС». [Myroniuk, V. V. (2020). *Inventaryzatsiia rivnyynykh lisiv Ukrainy za danymy suputnykovoi ziomky: monohrafiia*. Kharkiv : AT «Kharkivska knyzhkova fabryka «HLOBUS».]

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій

14. **Поронник, І. Ю.** (2007). Використання геоінформаційних систем для оцінки насаджень рекреаційного лісокористування. *Науковий вісник НЛТУ України*, 17(4), 48-53. [Poronnyk, I. Yu. (2007). Vykorystannia heoinformatsiinykh system dlia otsinky nasadzhen rekreatsiinoho lisokorystuvannia. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 17(4), 48-53.]
15. **Слободяник, М. П.** (2014). Використання методів ДЗЗ та ГІС-технологій для моніторингу лісових ресурсів. *Вісник геодезії та картографії*, (1), 27-31. [Slobodianyuk, M. P. (2014). Vykorystannia metodiv DZZ ta HIS-tekhnohohii dlia monitorynhu lisovykh resursiv. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*, (1), 27-31.]
16. **Сонько, С. П., & Косенко, Ю. Ю.** (2013). *Геоінформаційні системи в охороні довкілля, сільському та лісовому господарстві: курс лекцій*. Умань : Редакційно-видавничий відділ Уманського національного університету садівництва. [Sonko, S. P., & Kosenko, Yu. Yu. (2013). *Heoinformatsiini systemy v okhoroni dovkillia, silskomu ta lisovomu hospodarstvi: kurs lektsii*. Uman : Redaktsiino-vydavnychiy viddil Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva.]
17. **Цуняк, А. М., Часковський, О. Г., & Король, М. М.** (2013). Розподіл наземного вкриття Стрийсько-Сянської Верховини на основі супутникових знімків LANDSAT. *Науковий вісник НЛТУ України*, (23), 27-32. [Tsunyak, A. M., Chaskovskyi, O. H., & Korol, M. M. (2013). Rozpodil nazemnoho vkryttia Stryisko-Sianskoi Verkhovyny na osnovi suputnykovykh znimkiv LANDSAT. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, (23), 27-32.]
18. **Яковенко, О.** (2023). Геоінформаційний аналіз змін лісової рослинності лісових «островів» Чернігівського Полісся. *Biota. Human. Technology*, (2), 31-40. [Yakovenko, O. (2023). Heoinformatsiiniy analiz zmin lisovoi roslynnosti lesovykh «ostroviv» Chernihivskoho Polissia. *Biota. Human. Technology*, (2), 31-40.]
19. **Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., ... & Wilkinson, C.** (2013). In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities: a global assessment* (p. 755). Springer Nature.
20. **Hashim, H., Abd Latif, Z., & Adnan, N. A.** (2019). Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) Pleiades imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, (42), 237-240.
21. **Lin, J., Kroll, C. N., Nowak, D. J., & Greenfield, E. J.** (2019). A review of urban forest modeling: Implications for management and future research. *Urban forestry & urban greening*, (43), 126366.
22. **Sokolova, M. V., Fath, B. D., Grande, U., Buonocore, E., & Franzese, P. P.** (2024). The Role of Green Infrastructure in Providing Urban Ecosystem Services: Insights from a Bibliometric Perspective. *Land*, 13(10), 1664.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

23. *Copernicus Open Access Hub* (2024). [Джерело](#)
24. *Normalized Difference Vegetation Index* (2024). [Джерело](#)
25. *OpenStreetMap Data Extracts* (2024). [Джерело](#)
26. *People and Planet 21st-century sustainable population scenarios and possible living standards within planetary boundaries* (2021). [Джерело](#)
27. *QGIS Development Team* (2023). QGIS Geographic Information System. Version 3.28. Open Source Geospatial Foundation. [Джерело](#)

M. Tsependa, O. Danilova, N. Zablotovska Application of GIS-technologies for estimation of forest recreational areas of urbanised territories

Keywords: forest recreation area, forested areas, remote sensing, GIS technologies, satellite images, Sentinel-2, NDVI, QGIS.

Abstract: The present paper assesses the availability of woody vegetation in the regional centres of the Carpathian regions of Ukraine (Ivano-Frankivsk, Uzhhorod, Chernivtsi and Lviv) using geographic information technologies. The study was conducted using the Normalised Difference Vegetation Index, or NDVI, to identify areas covered by woody vegetation on satellite images. Multispectral (13 bands) images of the European Space Agency's Sentinel-2A satellite were selected for the study, with the data obtained from the official website of the Copernicus space programme. The social and recreational value of areas covered with woody vegetation is critically important for urbanised areas; however, the actual provision

М. Цепенда, О. Данілова, Н. Заблотовська.

Застосування ГІС-технологій для оцінювання лісорекреаційних площ урбанізованих територій



of green areas lags far behind the established standards in all the settlements studied. The analysis of the data revealed that, among the regional centres of the Carpathian region, Lviv demonstrated the highest levels of woody vegetation coverage, followed by Chernivtsi, and Uzhhorod and Ivano-Frankivsk exhibited the lowest. The investigation further revealed that Chernivtsi exhibited the highest level of tree cover within the city, although this was almost half of the recommended standard. The remaining regional centres exhibit a provision of less than 30 per cent of the recommended minimum. Such deviations from the normative values necessitate a re-evaluation and implementation of contemporary approaches to the formation of green areas within the urban context. These areas function as a natural framework for the urban planning structure, performing recreational, sanitary, aesthetic, and social functions aimed at creating a healthy environment for living, working, and recreation. It is imperative to prioritise the augmentation of public green spaces, as this is a pivotal aspect in enhancing the overall quality of life within the city.