

УДК 004.9:528.9

<http://dx.doi.org/10.30970/vam.2024.34.00000>

КІЛЬКІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ОЗЕЛЕНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ ТЕГІВ OPENSTREETMAP

В. Козак, Р. Селіверстов

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Університетська 1, Львів, 79000, Україна
e-mail: volodymyr.kozak@lnu.edu.ua, roman.seliverstov@lnu.edu.ua*

Інтенсивне використання геоінформаційних даних призвело до появи на ринку програмного забезпечення геоінформаційних систем, які, зазвичай, є недешевими продуктами. Разом з цим, низка вільних проектів надає можливість отримувати і аналізувати відкриті геоінформаційні дані, не витрачаючи кошти на пропріетарне спеціалізоване програмне забезпечення. У цій роботі проаналізовано переваги та недоліки основних підходів до отримання геоінформаційних даних та їх подальшого використання для оцінки рівня озеленення територій. Описано і програмно реалізовано мовою Python алгоритм визначення кількісного показника рівня озеленення території на основі підходу, який використовує систему тегів OSM. Для отримання даних про досліджувану територію використано геокодер Nominatim бібліотеки GeoPy, дані про об'єкти зелених насаджень отримано за допомогою бібліотеки OSMnx, а візуалізація результатів реалізована засобами бібліотеки Folium. Розглянуто особливості обчислення площ озелених територій, зокрема, виявлено та усунуто недоліки безпосереднього використання атрибуту area (площа) для точкових та лінійних геометричних форм деяких об'єктів зелених насаджень. Розроблено прототип застосунку для визначення кількісного показника озеленення території в круговому околі заданих географічних координат або в межах адміністративно-територіальних одиниць, характерною особливістю якого є можливість обирати типи зелених насаджень, які користувач бажає включити у дослідження. Продемонстровано результат роботи застосунку на прикладі обчислення показника озеленення Галицького району міста Львів (Україна). Застосунок може використовуватися як пересічними користувачами, так і стати частиною інформаційних систем організацій, які використовують геоінформаційні дані у своїй аналітичній діяльності.

Ключові слова: геоінформаційні дані, зелені насадження, площа, теґ, OpenStreetMap, Python.

1. ВСТУП

В умовах сучасного інформаційного суспільства державні та громадські організації, бізнес і фізичні особи для аналізу ситуацій і прийняття рішень під час своєї діяльності часто послуговуються відкритими даними. Підмножиною таких даних є геоінформаційні дані – дані про місце розташування об'єктів, поширення природних, соціальних, економічних та інших явищ. Вони використовуються у кадастровому обліку, сільському господарстві, міському плануванні, охороні довкілля, логістиці тощо. Таке широке їх використання спричинило появу на ринку інформаційних технологій різноманітних геоінформаційних систем (ГІС) – зазвичай недешевих пропріетарних програмних продуктів для фіксування, збереження та аналізу географічної інформації. Поряд з ними розвиваються і вільні та відкриті проекти, які, хоч і менш функціональні, та все ж надають можливість через прикладні програмні інтерфейси (API) та відкриті бібліотеки чи фреймворки отримувати геоінформаційні дані, доступні для подальшого аналізу не лише кваліфікованим спеціалістам, а й зацікавленим пересічним користувачам.

До задач, пов'язаних з аналізом геоінформаційних даних, відноситься задача визначення рівня озеленення території, яка постає, наприклад: перед місцевими органами влади під час діяльності з благоустрою територій, перед бізнесом під час планування розміщення своїх представництв, перед фізичними особами перед купівлею ними нерухомості тощо. Прикладом актуальності та доцільності моніторингу рівня озеленення території можуть слугувати результати тривалого дослідження Барселонського інституту глобальної охорони здоров'я, які підтвердили вплив озеленення на показники якості життя, здоров'я і смертності [1].

У науковій літературі можна виокремити три основні напрямки досліджень, які стосуються оцінки рівня озеленення урбанізованих територій. Цим напрямкам характерні різні способи отримання даних про зелені насадження, а саме: 1) на основі зображень, отриманих дистанційним зондуванням (з супутників, дронів тощо); 2) на основі панорамних зображень з Google Street View та інших подібних API; 3) на основі розмітки зелених зон на електронних мапах. Автори статті [2] запропонували методику обчислення індекса зеленості міських районів (Urban Neighborhood Green Index), використовуючи супутникові знімки, та апробували її на прикладі території міста Делі. Мабуть, найпоширенішими є дослідження на основі різноманітних індексів, які ґрунтуються на відбивній здатності рослин у різних діапазонах електромагнітного спектра: нормалізований відносний індекс рослинності (Normalized Difference Vegetation Index), вдосконалений вегетаційний індекс (Enhanced Vegetation Index) та ін. [3–5]. Деякі дослідники для розпізнавання об'єктів рослинності на знімках залучають нейронні мережі [6, 7]. Окремо можна відзначити роботу [8], автори якої запропонували стандартизований індекс видимої зелені (Standardized Green View Index), який обчислюється за зображеннями, отриманими через Google Street View API, ракурс яких суттєво відмінний від супутникових зображень. У публікації [9] описано можливість використання плагіна QGIS Green View Index для розрахунку кількості рослинності на рівні вулиць. Прикладами використання розмічених об'єктів зелених насаджень на мапах проєкту OpenStreetMap (надалі – OSM) слугують праці [10, 11]. Характерними спільними рисами більшості згаданих вище досліджень є, по-перше, відносно великі розміри як території, так і розташованих на ній зелених зон, і, по-друге, складність або й неможливість обирати, які саме об'єкти зелених насаджень включати в дослідження. На практиці ж часто (наприклад, під час обрання району для купівлі житла) користувачі бажають аналізувати як невеликі околиці, так і лише конкретні об'єкти – дерева, клумби, трав'яні газони тощо.

Пропоноване у цій статті дослідження спирається на відкриті дані OSM та Python-бібліотеки для роботи з ними, перевагою яких є можливість їх безплатного легального використання, інтуїтивна зрозумілість та гнучкість у виборі досліджуваних територій і типів зелених насаджень.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Основне завдання полягає в обчисленні кількісного показника озеленення території K , який визначається як відношення площі зелених зон, розміщених на цій території, до площі цієї території.

Геометрична форма досліджуваної території може бути довільною, але вона впливає як на вхідні дані задачі, так і на спосіб отримання даних про неї з геоінформаційних сервісів. Наприклад, якщо досліджується окіл деякої точки, то вхідними даними до задачі будуть координати цієї точки (географічна широта та

довгота) і радіус охоплення території навколо неї. Якщо ж досліджується територія певної адміністративно-територіальної одиниці (країни, області, району, населеного пункту, адміністративного району міста тощо), то вхідними даними слугуватиме географічна назва або адреса, яка однозначно трактується геоінформаційними сервісами. Алгоритми отримання даних залежно від способів задання досліджуваної території будуть наведені у розділі 4.

Ключовою особливістю постановки нашої задачі є те, що до її вхідних даних належить також перелік (множина B) типів об'єктів, які вважаються зеленими насадженнями та повинні бути включені у дослідження.

Враховуючи це, запишемо формулу для обчислення показника K у такому вигляді:

$$K = \frac{1}{S(T)} S \left(\bigcup_{b_i \in B} (b_i \cap T) \right), \quad (1)$$

де T – геометрична форма території (зазвичай, круг або багатокутник); b_i – геометрична форма i -го об'єкта зеленого насадження (багатокутник, ламана або точка); $S(x)$ – площа об'єкта геометричної форми x ; вираз $b_i \in B$ вказує на приналежність i -го об'єкта зеленого насадження до заданого користувачем переліку; вираз $b_i \cap T$ визначає ту частину об'єкта зеленого насадження, яка знаходиться в межах досліджуваної території.

Зазначимо, що використання об'єднання замість суми у формулі (1) принципове, оскільки перетином геометричних форм об'єктів зелених насаджень може бути непорожня множина (наприклад, трав'яне покриття може бути частиною парку).

Програмне забезпечення, крім вирішення основного завдання (обчислення показника K), повинне додатково виводити деталізовану інформацію про площі конкретних типів зелених насаджень, а також відображати результати дослідження на електронній мапі.

3. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

Попри математичну простоту поставленої задачі, визначення площі зелених зон не є тривіальним, особливо якщо потрібне гнучке керування типами зелених насаджень. На підтвердження цього проаналізуємо низку підходів до розв'язання поставленої задачі, акцентуючи більше уваги на відкритості даних та вільному програмному забезпеченні.

3.1. ВИЯВЛЕННЯ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ НА ОСНОВІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Дистанційне зондування – це технологія збору інформації про земну поверхню без прямого контакту з нею, найчастіше за допомогою супутників, літаків або дронів. Оскільки зелена рослинність активно відбиває ближнє інфрачервоне випромінювання і, навпаки, поглинає червоне, то її відносно легко виявити за допомогою спектрального аналізу. Найуживанішим серед спектральних вегетаційних індексів на сьогодні вважається нормалізований відносний індекс рослинності NDVI [12] (у деяких джерелах його називають нормалізованим диференціальним вегетаційним індексом), який набуває значень з діапазону від -1 до 1 (високі значення свідчать про наявність густої рослинності, а низькі – на її відсутність). Для його обчислення потрібні якісні знімки у інфрачервоному спектрі.

Простота обчислення, інформативність та масштабованість вегетаційних індексів є їх основними перевагами. Проте, основна сфера використання NDVI та його модифікацій — агропромисловий сектор. Для аналізу території у населених пунктах вони менш ефективні, оскільки деякі дахи будівель, автомобілі та інші об'єкти, які не належать до зелених насаджень, можуть мати спектральні характеристики, характерні рослинним покривам. Крім того, підхід до визначення рівня озеленення території на основі вегетаційного індексу має ще й інші, незалежні від галузі застосування, недоліки, зокрема [13]:

- супутникові знімки високої роздільної здатності платні, а використання власних безпілотних апаратів для знімання несе за собою витрати на обладнання;
- через атмосферні явища інформація може спотворюватися або втрачатися;
- не завжди просто обґрунтувати вибір порогового значення вегетаційного індекса, вище за яке область на мапі відповідає зеленим насадженням;
- неможливість диференціювати типи зелених насаджень.

Залучення штучного інтелекту до обробки знімків земної поверхні дає змогу використовувати звичайні (не інфрачервоні) фотознімки і до певної міри враховувати текстуру, геометричні ознаки та контекстне оточення об'єктів зелених насаджень. Але це вимагає великих обсягів навчальних вибірок (розмічених зображень із зазначенням конкретних типів рослинності) та потужного обладнання через велику обчислювальну складність. Також такі моделі можуть бути чутливими до масштабу даних (невідомо, як буде поводитися навчена на супутникових знімках модель під час аналізу зображень з дронів і навпаки) і перенавчання на окремих специфічних територіях.

3.2. Виявлення зелених насаджень на основі панорамних зображень

На відміну від висотних (супутникових, літакових, дронових) знімків, панорамні зображення демонструють реальний вигляд з поверхні землі. Вони дають змогу оцінити візуальне озеленення, яке сприймається органами зору, та підходять для оцінки комфорту пішоходів, міського дизайну тощо. Як кількісний показник озеленення зазвичай використовується індекс видимої зелені GVI (частка пікселів зеленої рослинності у полі зору на панорамному зображенні), який обчислюється як усереднене значення різних напрямків. Перевагами використання панорамних знімків для оцінки рівня озеленення територій є висока деталізація (роздільна здатність знімків), доступність через API (Google Street View API, Mapillary API та ін.) та можливість виявлення типів зелених насаджень (використовуючи нейронні мережі). Але обмеженість території охоплення, нерегулярність оновлення, залежність від пори року, ліміти використання та ліцензійні обмеження є вагомими недоліками цього підходу. Для нашої задачі такий підхід не даватиме бажаного результату, оскільки не “заглядатиме” вглиб великих за площею зелених зон.

3.3. Використання розміток на електронних мапах

Зважаючи на комерційність і обмеженість теґування Google Maps, зосередимося на аналізі відкритих проєктів QGIS [14] і OSM [15].

Враховуючи основне призначення QGIS, яке полягає у підготовці багат шарової картографічної продукції, для обчислення площі зелених насаджень користувачу доведеться вручну розмічати дані. Виявлення об'єктів на зображеннях та процес

векторизації растрових даних у цій ГІС майже не піддається автоматизації (встановлення спеціалізованих плагінів, скриптів та ML-модулів частково вирішує цю проблему, але за рахунок складності та неінтуїтивності), а тому цей підхід має низку недоліків, серед яких:

- виконання великої кількості однотипних дій вручну;
- складність візуального розпізнавання невеликих зелених насаджень (окремих дерев, клумб, тощо), які не обов'язково можуть бути зеленими (наприклад, у період цвітіння);
- великі затрати часу на розмічання об'єктів складної геометрії.

Отже, для одноразового виконання задачі використання QGIS може бути прийнятним, але для регулярного моніторингу цей підхід не годиться.

Використання відкритої мапи OSM та її системи тегів [16] дає змогу швидко та доволі ефективно розв'язати поставлену задачу, оскільки усі зелені насадження вже задані на мапі векторними об'єктами, площі яких можуть бути отримані через їх атрибути. Це вирішує основний недолік використання QGIS – ручне створення геометрії зелених зон. Ще однією перевагою, яку надає система тегів, є гнучкість, адже користувач програми у кожному конкретному дослідженні має змогу обирати, які саме види зелених насаджень включити до аналізу (а це було ключовим положенням у постановці нашої задачі). Недоліком цього підходу може бути некоректність (застарілість) даних на мапі. Для вирішення цієї проблеми у праці [17] запропоновано доповнювати дані OSM даними про NDVI. Але, зокрема, у випадку муніципальних установ, відповідальних за озеленення територій, відкритість проекту OSM дає можливість їхнім представникам оперативно додавати нові чи вилучати вже неіснуючі об'єкти зелених насаджень і мати актуальну інформацію про озеленення підконтрольних їм територій.

4. АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗКУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЙОГО ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Враховуючи переваги та недоліки розглянутих у розділі 3 підходів до визначення геометрій зелених насаджень, обрано підхід на основі системи тегів OSM. Програмна реалізація алгоритму демонструється мовою Python 3.12. Крім можливостей, які надає стандартна бібліотека Python, використано такі сторонні бібліотеки та фреймворки: GeoPy, Shapely, Pandas, GeoPandas, Folium, OSMnx, Streamlit, streamlit-folium. Зазначимо також, що у тексті цієї статті для економії місця та кращого сприйняття наводиться скорочений варіант коду (без декомпозиції, анотування, рядків документації, обробки винятків та ін.) та інколи порушуються положення PEP 8.

4.1. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ПРО ДОСЛІДЖУВАНУ ТЕРИТОРІЮ

Розглянемо спочатку випадок, коли досліджується територія в околі радіуса *radius* навколо заданої точки з географічними координатами *latitude* та *longitude*. Для отримання значень географічної широти та довготи за відомою адресою *address* можна скористатися геокодером Nominatim бібліотеки GeoPy, наприклад:

```
from geopy.geocoders import Nominatim
geolocator = Nominatim(user_agent="Tester")
address, radius = "Львів Університетська 1", 500
```

```
location = geolocator.geocode(address)
coordinates = location.longitude, location.latitude
```

На основі отриманих географічних координат створюємо об'єкт класу *Geoseries* бібліотеки *GeoPandas*, яка надає можливість маніпулювати геометричними об'єктами та отримувати їхні атрибути (зокрема, площу):

```
from shapely.geometry import Point
import geopandas as gpd
obj = gpd.GeoSeries([Point(*coordinates)]).set_crs("EPSG:4326")
```

У наведеному вище коді метод *set_crs()* встановлює систему координат WGS 84 (EPSG:4326), яка використовує градуси широти та довготи та забезпечує коректне відображення об'єктів на мапах. Але, оскільки параметри та результати нашої задачі (радіус, площа тощо) задані у метричній системі координат, то при роботі з ними потрібно тимчасово переходити до системи EPSG:3043, яка за одиницю вимірювання використовує метр.

За допомогою методу *buffer()* розширюємо точковий об'єкт до кругового, який представлятиме досліджувану територію:

```
territory = obj.to_crs(3043).buffer(radius).to_crs(4326)
```

Якщо досліджується територія адміністративно-територіальної одиниці, а не кругового околу, то доцільно скористатися функцією *features_from_place()* бібліотеки *OSMnx*, передавши їй коректну однозначну географічну назву та, за потреби, додаткові параметри (теги). Наприклад, код для отримання території Франківського району м. Львів виглядатиме так:

```
import osmnx as ox
districts = ox.features_from_place("Львів, Україна",
                                   tags={"admin_level": "10"})
district = districts[districts["name"] == "Франківський район"]
territory = gpd.GeoSeries([district.unary_union])
coordinates = territory.geometry.union_all().centroid.coords[0]
```

Фільтрування у другому рядку наведеного вище коду потрібне тому, що функція *features_from_place()* з таким набором тегів повертає колекцію усіх адміністративних районів м. Львів. Об'єднання у третьому рядку у цьому конкретному випадку зайве, але загалом воно забезпечує збереження можливих незв'язних територій як одне ціле. У останньому рядку обчислюються координати геометричного центру території (у випадку кругової території вони відповідають центрові круга і визначаються геокодером або задаються безпосередньо користувачем).

Для відображення території на мапі скористаємося бібліотекою *Folium*:

```
import folium
map_obj = folium.Map(location=coordinates)
folium.GeoJson(territory.__geo_interface__,
               name="geojson").add_to(map_obj)
```

4.2. ОТРИМАННЯ ДАНИХ ПРО ЗЕЛЕНІ НАСАДЖЕННЯ

Перелік типів зелених насаджень, які беруть участь у дослідженні та відповідають чітко визначеній системі тегів OSM, задамо словником *tags*, ключами якого є назви категорій (дозвілля, природні об'єкти, землекористування тощо), а значеннями – списки тегів, які належать до цих категорій, наприклад:

```
tags = {"leisure": ["garden", "park", "picnic_table", ...],
        "natural": ["shrubbery", "tree_row", ...],
        "landuse": ["grass", "flowerbed", ...],
        ...}
```

Використовуючи бібліотеку OSMnx, отримаємо геодатафрейм з даними про об'єкти, які відповідають обраним типам зелених насаджень і перетинаються з досліджуваною територією:

```
import osmnx as ox
greenery = ox.features_from_polygon(territory.item(), tags)
```

Для знаходження зелених зон виключно в межах території *T* попередньо потрібно знайти об'єднання геометричних форм об'єктів зелених насаджень, інакше обчислена пізніше площа виявиться завищеною, оскільки ці об'єкти також можуть перетинатися. Остаточний код для знаходження і додавання до мапи об'єктів зелених насаджень набуде такого вигляду:

```
greenery = greenery.unary_union.intersection(territory)
folium.GeoJson(greenery.__geo_interface__,
                name="geojson").add_to(map_obj)
```

Візуалізація на мапі дає змогу оцінити наближено рівень озеленення території, але для цього потрібно правильно підібрати масштаб. Інакше на мапі малого масштабу скупчення невеликих об'єктів зелених насаджень може ввести в оману стосовно високого рівня озеленення через відносно товсті лінії, які позначають їхні межі. Для точної оцінки потрібно обчислити площі цих об'єктів.

4.3. ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩ ТА ПОКАЗНИКА ОЗЕЛЕНЕННЯ

Значення площі досліджуваної території міститься в атрибуті *area* її геометричної форми:

```
territory_area = territory.to_crs(3043).area
```

У випадку з площею зелених зон проста заміна *territory* на *greenery* не дасть правильного результату, оскільки *greenery* в загальному випадку є колекцією геометричних форм, серед яких можуть бути лінійні (тип *LineString* бібліотеки *shapely*), точкові (*Point*) та їх набори (*MultiLineString* і *MultiPoint*). Проблема таких об'єктів полягає у тому, що їх площа, яка зберігається в однойменному атрибуті, дорівнює 0. Але окремі дерева (тег *tree*), ряди дерев (*tree_row*) та інші точкові та лінійні об'єкти зелених насаджень насправді роблять ненульовий внесок у рівень озеленення території, а тому їхні площі мають бути враховані.

Інтуїтивним і тривіальним рішенням вбачається задання користувачем обґрунтованих усереднених ширини лінійної і площі точкової геометричних форм як констант

LINESTRING_WIDTH і *POINT_AREA* відповідно. Тоді площі геометричних форм, які представляє об'єкт *item*, обчислюватимуться так:

```

item.area                # Polygon або MultiPolygon
item.length * LINESTRING_WIDTH # LineString або MultiLineString
POINT_AREA              # Point
len(item.geoms) * POINT_AREA  # MultiPoint

```

Зазначимо, що для обчислення площі, яку займає окреме дерево, можна використовувати атрибут *diameter_crown*, який задає діаметр крони. Але оскільки цей атрибут зустрічається рідко та задається не завжди в метрах, його використання вимагає перевірки на непорожнє значення і розпарсіння останнього (можливо, навіть із використанням метаданих).

Також окремої уваги заслуговує живопліт (*ter hedge*). Він може мати лінійну або полігональну геометричну форму. У другому випадку використання ненульового (оскільки полігональна форма є замкненою) значення атрибута *area* є неправильним, оскільки територія, яку обмежує живопліт, не обов'язково є зеленою зоною. Тому площа об'єктів з тегом *hedge* обчислюється як добуток довжини лінійної або периметру полігональної (в обох випадках це *item.length*) на деяке усереднене значення ширини (як і у випадку з рядом дерев) або на значення атрибута *width* (за його наявності).

Нагадаємо, що для коректного обчислення площ (щоб значення атрибутів *length* і *area* визначалися у метрах), усі відповідні об'єкти *GeoSeries* і *GeoDataFrame* повинні бути переведені в метричну систему координат (наприклад, EPSG:3043). І, навпаки, для відображення на мапі вони переводяться в географічну систему координат EPSG:4326.

Обчисливши, враховуючи зазначені особливості, сумарну площу *greenery_area* усіх геометричних форм колекції *greenery*, отримаємо значення шуканого показника озеленення досліджуваної території *K*:

$$K = \text{greenery_area} / \text{territory_area}$$

5. ДЕМОНСТРАЦІЯ РОБОТИ ЗАСТОСУНКУ

На рис. 1 наведено демонстраційний результат роботи розробленого прототипу застосунку для обчислення показника озеленення території (його перша версія була апробована у роботі [18]).

На бічній панелі користувач може вказати досліджувану територію (шляхом введення географічної адреси центру і радіуса охоплення або вибору одного із адміністративних районів м. Львів) і обрати типи зелених насаджень. Після натискання кнопки “Обчислити рівень озеленення території” через деякий проміжок часу, потрібний застосунок для зв'язку з API онлайнових геосервісів, в основному вікні праворуч відобразиться результат, а саме:

- значення площі зелених насаджень в межах досліджуваної території (у квадратних метрах);
- значення кількісного показника рівня озеленення території (у відсотках);
- інтерактивна мапа із відображеною на ній територією та обраними користувачем об'єктами зелених насаджень;
- загальна площа кожного з обраних типів зелених насаджень.

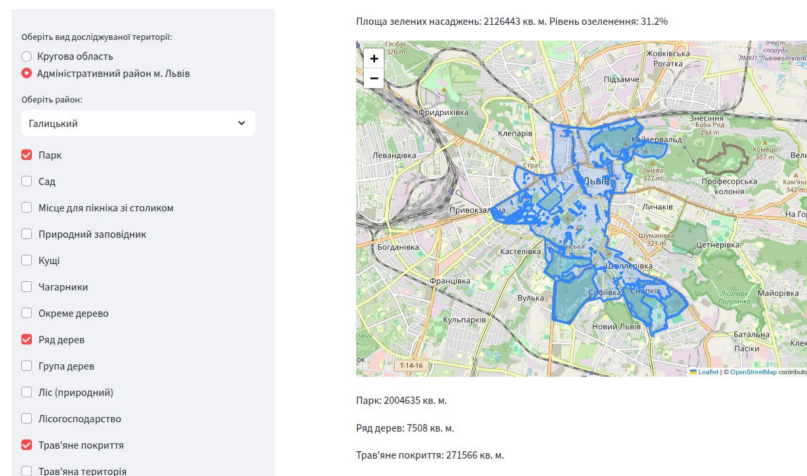


Рис. 1. Фрагмент вікна застосунку з результатами аналізу рівня озеленення Галицького району м. Львів (станом на 3 серпня 2025 року)

Зауважимо, що зелені зони не є постійними (дерева вирубуються під забудівлі, насаджуються нові дерева тощо), а тому числові результати, отримані під час користування застосунком, за таких самих початкових умов можуть відрізнятися від наведених на рис. 1.

6. ВИСНОВКИ

Зважаючи на ключові аспекти дослідження, які полягають у відкритості даних та можливості диференціації зелених насаджень, на підставі аналізу основних підходів до отримання геоданих та їх подальшого використання для кількісної оцінки озеленення територій з'ясовано, що найбільш доцільним є підхід, який використовує систему тегів OSM. Проте безпосереднє використання атрибута area (площа) може призвести до некоректних результатів, якщо у дослідженні беруть участь такі об'єкти, як окремі дерева, ряди дерев і живопліт. Описані особливості алгоритму обчислення площ зелених зон у межах досліджуваної території на основі цього підходу, які, зокрема, пропонують способи усунення згаданого вище недоліку, дають змогу зацікавленим особам та організаціям коректно здійснити його програмну реалізацію мовою Python. Розроблений прототип застосунку для визначення кількісного показника озеленення території в круговому околі заданих географічних координат або в межах адміністративних районів м. Львів може використовуватися як пересічними користувачами, так і стати частиною інформаційних систем організацій, які використовують геоінформаційні дані у своїй аналітичній діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Rojas-Rueda D. Green spaces and mortality: a systematic review and meta-analysis of cohort studies / D. Rojas-Rueda, M.J. Nieuwenhuijsen, M. Gascon, D. Perez-Leon, P. Mudu // The Lancet Planetary Health. – 2019. – Vol. 3 (11). – P. e469–e477.
2. Gupta K. Urban Neighborhood Green Index – a measure of green spaces in urban ar-

- eas / K. Gupta, P. Kumar, S.K. Pathan, K.P. Sharma // Landscape and Urban Planning. – 2012. – Vol. 105. – P. 325–335. – doi: 10.1016/j.landurbplan.2012.01.003.
3. Necula M. Urban Green Index estimation based on data collected by remote sensing for Romanian cities / M. Necula, T. Andrei, B. Oancea, M. Paun // Romanian Statistical Review. – 2023. – № 4. – P. 59–76.
4. D'Silva N. Comparative Ndvi and Evi analysis of urban green infrastructure in European cities: implications for sustainable urban planning [Online] / N. D'Silva. – Available: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5165379>.
5. Шелковська І.М. Просторовий розподіл та оцінка озелених територій загального користування в міському населеному пункті / І.М. Шелковська, П.Б. Міхно, В.С. Бахарев, Ф.О. Рожко // Комунальне господарство міст. – 2024. – Т. 4. – Вип. 185. – С. 125–132. – doi: 10.33042/2522-1809-2024-4-185-125-132.
6. Timilsina S. Mapping urban tree cover changes using object-based convolution neural network (OB-CNN) / S. Timilsina, J. Aryal, J.B. Kirkpatrick // Remote Sensing. – 2020. – Vol. 12 (18), 3017. – doi: 10.3390/rs12183017.
7. Cai B. Quantifying urban canopy cover with deep convolutional neural networks [Online] (Dec 2019) / B. Cai, X. Li, C. Ratti // NeurIPS 2019 Workshop on Climate Change AI at Vancouver, British Columbia, Canada. – Available: <https://arxiv.org/pdf/1912.02109>.
8. Kumakoshi Y. Standardized Green View Index and Quantification of Different Metrics of Urban Green Vegetation / Y. Kumakoshi, S.Y. Chan, H. Koizumi, X. Li // Sustainability. – 2020. – Vol. 12 (18), 7434. – doi: 10.3390/su12187434.
9. Voukenas A. Green View Index for QGIS (May 2023) [Online] / A. Voukenas // Geographyrealm. – Available: <https://www.geographyrealm.com/green-view-index-qgis/>.
10. Шищенко П.Г. Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва) / П.Г. Шищенко, О.П. Гавриленко, Є.Ю. Циганок // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – Сер. “Геологія. Географія. Екологія”. – 2021. – Вип. 55. – С. 245–256. – doi: 10.26565/2410-7360-2021-55-1.
11. Sokolenko U. The use of GIS technologies for the analysis and monitoring of green infrastructure in Kharkiv, Ukraine / U. Sokolenko, Y. Honcharenko, N. Oleksiichenko // Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. – Vol. 808. – Springer, Cham. – doi: 10.1007/978-3-031-46877-3_8.
12. Landsat Normalized Difference Vegetation Index [Online]. – Available: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-difference-vegetation-index>.
13. Методи визначення NDVI – названо переваги та недоліки (вер 2023) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://superagronom.com/news/17826-metodi-viznachennya-ndvi-nazvano-perevagi-ta-nedoliki>.
14. QGIS: Spatial without Compromise [Online]. – Available: <https://qgis.org>.
15. OpenStreetMap [Online]. – Available: <https://www.openstreetmap.org>.
16. Tags [Online]. – Available: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Tags>.
17. Sarafanov M. Combining Open Street Map and Landsat open data to verify areas of green zones: quick and simple analysis for precise assessment (Oct 2023) [Online] / M. Sarafanov. – Available: <https://towardsdatascience.com/combining-open-street-map-and-landsat-open-data-to-verify-areas-of-green-zones-b1956e561321>.
18. Козак В. Аналіз рівня озеленення території на основі відкритих геоінформаційних джерел / В. Козак // Актуальні питання та перспективи проведення наукових досліджень: матеріали VIII Міжнародної студентської наукової конференції. – м. Рівне. – 31 січня, 2025 рік. – ГО “Молодіжна наукова ліга”. – Вінниця: ТОВ “УКРЛОГОС Груп”. – 2025. – С. 57–58.

Стаття: надійшла до редколегії 04.08.2025

доопрацьована 28.08.2025

прийнята до друку 03.09.2025

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF GREEN SPACES BASED
ON THE OPENSTREETMAP TAGGING SYSTEM****V. Kozak, R. Seliverstov***Ivan Franko National University of Lviv,
1, Universytetska str., 79000, Lviv, Ukraine,**e-mail: volodymyr.kozak@lnu.edu.ua, roman.seliverstov@lnu.edu.ua*

The intensive use of geoinformation data stimulate the emergence of GIS software on the market, which is typically costly. At the same time, several open-source initiatives provide access to open geoinformation data and allow the analysis of them, thereby eliminating the need to invest in proprietary specialized software. In this paper the advantages and shortcomings of the main approaches to obtaining GIS data and their subsequent use for assessing the level of territorial greening are analyzed. An algorithm for determining a quantitative index of territorial greening based on the OpenStreetMap tagging system is described and implemented programmatically on Python. To obtain data on the study area, the Nominatim geocoder from the GeoPy library was employed. Information on green infrastructure objects was extracted using the OSMnx library, while the visualization of results was implemented with the Folium library. The study examines the specifics of calculating the area of green spaces, in particular identifying and addressing the limitations of directly using the area attribute for geometry types of certain point and linear green space objects. A prototype application has been developed to compute a quantitative greening index either within a circular buffer around specified geographic coordinates or within administrative-territorial units. A distinctive feature of the application is the ability to select the types of green infrastructure to be included in the analysis. The functionality of the prototype was demonstrated through the calculation of a greening index for the Halytskyi District of Lviv (Ukraine). The application is designed for use by both general users and organizations that incorporate geoinformation data into their analytical workflows.

Key words: area, GIS data, greenery, OpenStreetMap, Python, tag.