

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗЕЛЕНИТЕ ПЛОЩИ В ГРАДСКАТА СРЕДА С ИЗПОЛЗВАНЕ НА МЕТОДИ НА МАШИННО САМООБУЧЕНИЕ И ГЕОГРАФСКИ ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ

**Елица Узунова, Иван Стоев, Гаро Мардиросян**

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
e-mail: ivanstoev@space.bas.bg; elizauzunova@space.bas.bg*

**Ключови думи:** дистанционно наблюдение, сателитни изображения, градска среда, растителност, географски информационни системи.

**Резюме:** Растителността е особено важна в градската среда, тя е силно свързана с човешкото здраве и повишава качеството на живот. Целта ни е да създадем метод за изчисляване на зелеността в градска среда, като използваме публично достъпни спътникови изображения, географски информационни системи, общ устройствен план на града, класификация на земната повърхност „Корине“ и софтуер с отворен код.

## EXPLORING GREEN SPACES IN URBAN ENVIRONMENTS USING MACHINE LEARNING AND GEOGRAPHY INFORMATION METHODS SYSTEMS

**Elitza Uzunova, Ivan Stoev, Garo Mardirosian**

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: elizauzunova@space.bas.bg; ivanstoev@space.bas.bg*

**Keywords:** remote sensing, satellite imagery, urban environment, vegetation, Geographic Information Systems.

**Abstract:** Vegetation is particularly important in urban environments, it is strongly linked to human health and increases quality of life. Our goal is to create a method for estimating greenness in urban environments using publicly available satellite imagery, geographic information systems, the city's master plan, Corine land cover classification, and open source software.

### **Въведение**

Зелените площи в урбанизираните райони са важен елемент за поддържане на здравословна и устойчива среда за обитаване. Те осигуряват множество екологични, социални и икономически ползи. На първо място, зелените площи като паркове, дървесни насаждения и озеленени улици действат като "бели дробове" на градовете. Те помагат за пречистване на въздуха, като абсорбират въглероден диоксид и освобождават кислород. Освен това растителността намалява замърсяването, като улавя праховите частици и токсичните вещества, присъстващи в атмосферата.

От друга страна, зелените пространства играят важна роля в регулирането на температурата в градовете, особено в борбата с ефекта на „градския топлинен остров“. В урбанизираните райони, където бетонът и асфалтът задържат топлина, зелеността може да намали температурите и да осигури естествено охлаждане. Това е особено важно в контекста на изменението на климата и увеличаващите се летни температури. Растителността подобрява психичното здраве, и повишава физическата активност, а също така е полезна за социалното сближаване. Градските зелени площи могат да осигурят местообитание на широк спектър от растителни и животински видове, което увеличава биоразнообразието в градските райони. И което е не по-малко важно, по-зелените градски райони имат по-ниски нива на насилствени и имуществени престъпления.

Непрекъснатите екологични, социални и икономически трансформации в градовете превръщат управлението на градската зелена покривка в основно предизвикателство за държавните администрации и вземането на решения относно управлението и планирането на естествените ландшафти.

Една от основните задачи на съвременните градоустройствени планове е не само създаването на нови зелени площи, но и ефективното управление на съществуващите такива. В този контекст сателитните технологии и географските информационни системи (ГИС) като QGIS играят важна роля за мониторинг и анализ на зелените площи. Чрез тях може да се събира и анализира информация за състоянието на растителността, да се наблюдават промените във времето и да се вземат адекватни решения за опазване и разширяване на зелените територии.

Използването на сателитни изображения, като тези от сателитите Sentinel-2, предоставя възможност за детайлен анализ на зеленината в градовете. С помощта на многоканалните изображения и индекси като NDVI (Нормализиран разпределителен индекс на растителността) или алгоритми за машинно самообучение, можем да получим точна информация за плътността и здравословното състояние на растителността в различни урбанизирани зони. Това е от ключово значение за устойчивото развитие на градската среда и опазването на природните ресурси.

С развитието на технологиите за машинно самообучение (Machine Learning - ML), анализът на зелените площи може да бъде значително подобрен чрез автоматизация и прецизиране на процеса. В QGIS това може да се постигне чрез използването на различни плъгини (добавки), които позволяват прилагането на алгоритми за машинно обучение върху геопространствени данни. Един от тях е разработен специално за обработка на данни от сателити като Landsat, Sentinel-2 и други, като позволява автоматична и полуавтоматична класификация на различни типове земно покритие, включително растителност, водни тела, урбанизирани зони и други.

QGIS улеснява целия процес на работа с мултиспектрални сателитни изображения, като предоставя лесни за използване инструменти за изтегляне на данни, предварителна обработка, изчисляване на индекси и класификация.

С помощта на географските информационни системи комбинираме различни източници на информация, със свободен достъп, за да пресметнем площта на зелените зони и други градски характеристики на територията на град София. За полигон на нашето изследване сме избрали строителната граница на град София, информация за която сме извлекли от общия устройствен план на града. Комбинирали сме с информация от CORINE Land Cover (CLC) класификацията на земното покритие и резултатите от прилагането на полуавтоматична класификация използваща алгоритъмът за спектрално правдоподобие (Spectral Angle Mapper – SAM).

Класификацията на земното покритие по CORINE (Coordination of Information on the Environment) е една от най-разпространените и стандартизирани системи за картографиране и анализ на земното покритие в Европа. Тя е разработена като част от програмата CORINE Land Cover (CLC), стартирана от Европейската агенция за околна среда (ЕАОС) през 1985 г. Основната цел на системата е да осигури унифицирани данни за земното покритие и земеползването на европейско ниво, като предоставя важна основа за научни изследвания, планиране и вземане на решения, свързани с околната среда.

CORINE Land Cover е изключително ценен инструмент за мониторинг на промените в околната среда, като позволява на страните от Европейския съюз да проследяват трансформациите в земното покритие, причинени от урбанизация, земеделие, обезлесяване и други човешки дейности. Системата предоставя последователна и съвместима класификация на земното покритие на територията на целия континент, като използва йерархична структура с няколко нива на детайлност.

Програмата CORINE е основен източник на данни за разнообразни приложения, включително оценка на въздействието върху околната среда, устойчиво градско планиране и управление на природните ресурси. Чрез своя мащабен пространствен и времеви обхват, тя осигурява информация, която е незаменима за оценка на дългосрочните тенденции в земното покритие. Например, CLC е използвана широко за анализи на промени в горските масиви, разширяване на урбанизираните зони, както и за проследяване на въздействието на климатичните промени върху земеделските площи и естествените екосистеми.

Общият градоустройствен план (ОУП) е дългосрочен документ, който очертава бъдещето развитие на град или селищна територия. Той служи като рамка за планиране, която ръководи растежа, инвестициите и подобренията на инфраструктурата, като същевременно запазва характера и качеството на средата. Съчетава икономически, социални и екологични аспекти, като осигурява устойчиво развитие и подобряване на качеството на живот. ОУП

предоставя балансиран и координиран подход за управление на пространственото развитие на града, като взема предвид икономическите, социалните, екологичните и културните фактори. Строителната граница в Общия устройствен план (ОУП) е ключов елемент, който определя зоните в рамките на дадена територия (град или селище), където е позволено изграждането на сгради и инфраструктура. Тази граница се използва за контролиране на пространственото развитие и за гарантиране, че урбанизацията и строителството се извършват по координиран и устойчив начин, съобразен с дългосрочните цели на плана.

Полуавтоматичната класификация се основава на използването на пробни области (training areas), които потребителят ръчно дефинира върху изображението. Тези пробни области се използват за обучение на алгоритмите за класификация, които след това автоматично прилагат резултатите върху цялото изображение. Тази техника е изключително полезна за точно разграничаване на различни видове земно покритие, като например различни видове растителност, водни обекти и урбанизирани площи. Ще използваме Алгоритъм за спектрално правдоподобие (Spectral Angle Mapper – SAM), Това е алгоритъм за класификация, който се използва за сравнение на спектралната информация на всеки пиксел с референтни спектрални подписи (например подпис на вегетация, вода, урбанизирани площи и др.). Този метод измерва спектралната правдоподобност на пикселите въз основа на "ъгъла" между техните спектрални вектори в многомерно пространство. SAM е особено полезен при работа с хиперспектрални и многоспектрални изображения, където има достъп до множество спектрални канали. Това прави метода ефективен за класификация на земно покритие, където е важно да се идентифицират различни класове, които имат специфични спектрални подписи, като например видове растителност, минерали или други повърхностни материали.

### Методика

За изследване на урбанизирани територии и времеви мониторинг на зелените площи в урбанизирана среда (град София) с помощта на сателитни изображения (програмата на ЕКА "Коперникус"), методи на машинно самообучение, ГИС и Общ устройствен план на Столична община сме използвали следната методика.

1. Първата стъпка в процеса е да се получат въздушни или сателитни изображения. (Въздушните изображения обикновено се заснемат с помощта на дроневи или самолети, оборудвани с високорезолюционни камери, докато сателитните изображения се получават от различни сателитни сензори, кръжащи около Земята) Използваме Google Earth Engine API, за да получим геореферирани изображения от Sentinel-2 MSI: Многоспектрален инструмент, ниво-1C.

Програмата Sentinel-2 предоставя много спектрални изображения с пространствена разделителна способност (ПРС) от 10 m за видимите и близоинфрачервените ленти, и 20 m за червената крайна (red-edge) и късовълновата инфрачервена (shortwave-infrared) ленти. ПРС на панхроматичната лента е 10 m. Времевата разделителна способност на изображенията от Sentinel-2 е приблизително 5 дни.

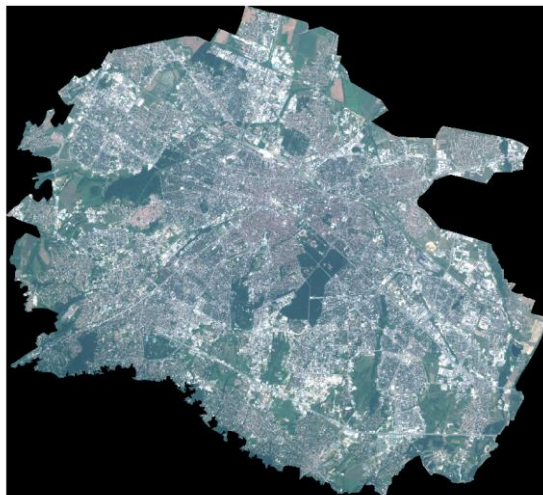
Изрязваме изображенията до следния полигон на София, България:  
[23.168293045771108, 42.84699170585309], [23.168293045771108, 42.5613935863229],  
[23.48209004284142, 42.5613935863229], [23.48209004284142, 42.84699170585309],  
като ги филтрираме така, че да имат по-малко от 10% облачни пиксели и да включват само изображения, принадлежащи към зона 34 TFN. Спираме се на датата 22.07.2022 г. (Фиг. 1).



Фиг. 1. Сателитно изображение от 22.07.2022

Така подбраното изображение съдържа както области от застроената част на града, така и земеделски земи и предградия. За целите на нашето изследване искаме да преброим покритието на зелената именно в жилищните райони и близо до тях, където е достъпна за живущите.

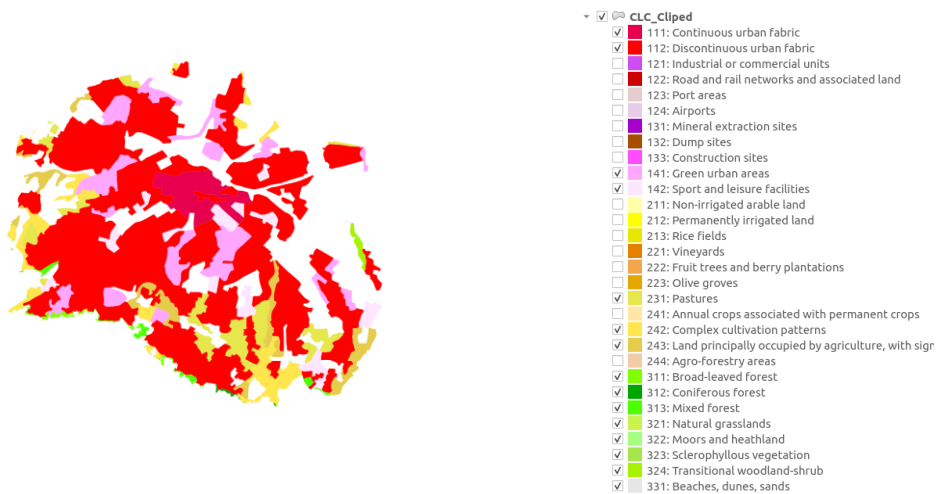
2. Извличаме строителната граница на града от общия градоустройствен план. С помощта на програмата QGIS изрязваме изображението, което сме изтеглили във точка 1. по контура строителната граница. Пикселите извън границата заместваем с 0 в стойностите на всички спектрални ленти (Фиг. 2).



Фиг. 2. Изрязано сателитно изображение от 22.07.2022 по контура на строителната граница на гр.София.

Така полученото изображение все още съдържа зеленина в строителни обекти, индустриални зони и около транспортни възли, недостъпна за живущите в района. Затова минаваме към стъпка 3.

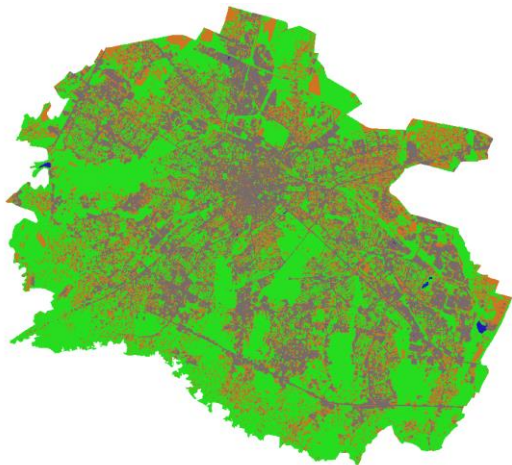
3. Извличане и изрязване по желани контур на данни от “Корине” класификацията на земна повърхност. Като подбираме само категориите които се отнасят към градското застрояване и зелени площи (Фиг. 3)



Фиг. 3. Контури на категории в “Корине” за гр.София

Обединяваме избраните категории в обща маска, която ще приложим върху подбраното изображение.

4. Обучаваме класификация с максимална спектрална близост Spectral Angle Mapper Classification (SAM) и изрязваме резултата по контура на строителната граница. В резултат на класификацията получаваме 4 категории: Вода, Зеленина, Почва, Застрояване (Фиг. 4).



Фиг. 4. SAM класификация за гр.София



Фиг. 5. SAM класификация изрязана по маската от корин категориите за гр. София

5. Налагаме получената в стъпка 3 маска и получаваме класификация само в областите които ни интересуват (Фиг. 5).

След това извършваме броене с помощта на QGIS пикселите попадащи в отделните категории и получаваме следните резултати:

Клас	Площ m <sup>2</sup>	Пиксели
Вода	355200	3552
Зеленина	169507600	1695076
Почва	99721200	997212
Застрояване	35015700	350157

### Заклучение

Изследването демонстрира ефективността на използването на сателитни изображения, методи на машинно самообучение и ГИС инструменти за анализ и мониторинг на зелените площи в урбанизирани територии като София. Чрез комбинирането на многоспектрални данни с висока разделителна способност от програмата Sentinel-2 и пространствено ограничаване, базирано на строителната граница и „Корине“ класификацията, успяхме да извършим прецизна оценка на достъпните за гражданите зелени площи в жилищните райони на града.

С помощта на алгоритъма за класификация Spectral Angle Mapper (SAM) постигнахме сегментиране на основните типове земно покритие – вода, зеленина, почва и застрояване, което ни позволи да идентифицираме зелените площи, достъпни за жителите на град София.

Методът, който използвахме, не само позволява бърз и надежден мониторинг на зелените площи в градските райони, но също така може да бъде приложен и в други урбанизирани зони, за да подпомогне устойчивото развитие на градовете. Продължителното използване на такива технологии би могло да подпомогне разработването на политики, насочени към увеличаване на зелените площи, подобряване на качеството на живот и адаптиране към изменението на климата.

### Литература:

1. Grote, R. *et al.* Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential, *Front. Ecol. Environ.*, том 14, № 10, с. 543–550, 2016, doi: 10.1002/fee.1426.
2. Huang, M., P. Cui, and X. He. Study of the Cooling Effects of Urban Green Space in Harbin in Terms of Reducing the Heat Island Effect", *Sustainability*, vol. 10, no. 4, Apr. 2018, doi: 10.3390/su10041101.
3. Бейер, К. М., А. Калтенбах, А. Сабо, С. Богар, Ф. Х. Нието и К. М. Малецки. Излагане на зелени площи в квартала и психично здраве: Evidence from the Survey of the Health of Wisconsin, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 11, no. 3, pp. 3453–3472, Mar. 2014, doi: 10.3390/ijerph110303453.

4. Университет на Барселона, Exposure to urban greenness has unequal effects on men's and women's mental health. <https://medicalxpress.com/news/2022-07-exposure-urban-greenness-unequal-effects.html>.
5. Richardson, E. A., J. Pearce, R. Mitchell, S. Kingham. Role of physical activity in the relationship between urban green space and health, *Public Health*, vol. 127, no. 4, pp. 318–324, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.puhe.2013.01.004.
6. Wang, M., M. Qiu, M. Chen, Y. Zhang, S. Zhang, L. Wang. How does urban green space feature influence physical activity diversity in high-density built environment? An on-site observational study, *Urban For. Urban Green.*, том 62, с. 127129, юли 2021, doi: 10.1016/j.ufug.2021.127129.
7. Фулър, Р. А., К. Н. Ървайн, П. Девайн-Райт, П. Х. Уорън и К. Дж.Гастон. Психологическите ползи от зелените площи нарастват с увеличаване на биоразнообразието, *Biol. Lett.*, vol. 3, no. 4, с. 390–394, май 2007, doi: 10.1098/rsbl.2007.0149.
8. Maas, J., R. Verheij, P. Groenewegen, S. de Vries, P. Spreeuwenberg. Green space, urbanity, and health: *J. Epidemiol. Community Health*, том 60, с. 587–592, август 2006, doi: 10.1136/jech.2005.043125.
9. Шакълтън, С., А. Фол, Г. Брицке, И. Еделщайн, З. Вентър и Т. Конверс, Престъпността е по-ниска, когато градовете са по-зелени: Evidence from South Africa supports the link. <https://phys.org/news/2022-11-crime-cities-greener-evidence-south.html>
10. Huerta *et al.* Mapping Urban Green Spaces at the Metropolitan Level Using Very High Resolution Satellite Imagery and Deep Learning Techniques for Semantic Segmentation", *Remote Sens.*, vol. 13, no. 11, Art. no. 11, Jan. 2021, doi: 10.3390/rs13112031.
11. Harmonized Sentinel-2 MSI: MultiSpectral Instrument, Level-1C | Earth Engine Data Catalog, *Google Developers*. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/>
12. <https://sofiaplan.bg/portfolio/oup-sofia/>
13. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>
14. <https://www.copernicus.eu/en>