S E S 2 0 2 6
Twenty-second International Scientific Conference
SPACE, ECOLOGY, SAFETY
20 – 24 October 2026, Stara Zagora, Bulgaria

ВРЪЗКА МЕЖДУ ТЕРИТОРИАЛНОТО РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ПРАХОВОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ И ЗЕЛЕНИТЕ ПЛОЩИ В ГРАД СОФИЯ

Мария Димитрова, Елица Узунова, Иван Стоев

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: maria@space.bas.bg, elizauzunova@gmail.com, ivanstoev@space.bas.bg

Ключови думи: *фини прахови частици (ФПЧ), атмосферно замърсяване, градска растителност*

Резюме: *Използвани са данните от около 350 любителски автоматични измервателни станции за ФПЧ в гр. София за периода от декември 2019 до края на септември 2026 г. Направен е анализ на териториалното разпространение на различните по големина прахови частици на територията на града. Направена е класификация на земното покритие на града на базата на данни от Sentinel-2 за 2022 и 2023 г. Направен е опит за съпоставка на пространственото разпределение на градската зеленина и това на Градски Зелени Площи (ГЗП). По-детайлно е разгледана централната градска част.*

RELATIONSHIP BETWEEN THE SPATIAL DISTRIBUTION OF DUST POLLUTION AND GREEN SPACES IN THE CITY OF SOFIA

Maria Dimitrova, Elitsa Uzunova, Ivan Stoev

Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: maria@space.bas.bg, elizauzunova@gmail.com, ivanstoev@space.bas.bg

Keywords: *fine particulate matter (FPM), atmospheric pollution, Urban Green Spaces*

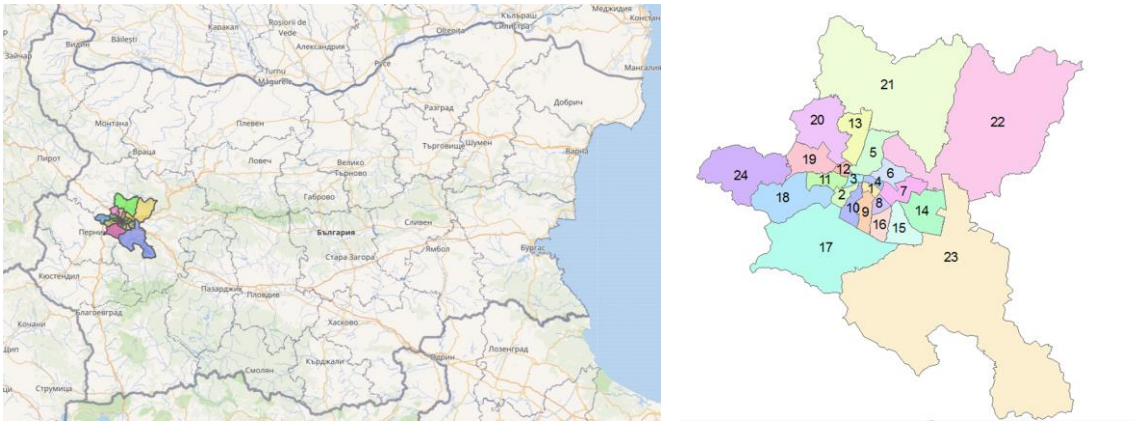
Abstract: *Data from approximately 350 amateur automatic fine particulate matter (FPM) monitoring stations in Sofia were used, covering the period from December 2019 to the end of September 2026. An analysis was conducted regarding the spatial distribution of particulate matter of various sizes across the city. A land cover classification for the city was performed based on Sentinel-2 data from 2022 and 2023. An attempt was made to compare the spatial distribution of urban vegetation with that of Urban Green Spaces. The central part of the city was examined in greater detail.*

Въведение

София е разположена в централната част на Балканския полуостров, в оградената от няколко планини Софийска котловина, която е най-голямото и едно от най-високите Подбалкански полета. София е разположена в умерения климатичен пояс и има влажен континентален климат с топло лято. Днес София е основен административен, индустриален, транспортен, културен и образователен център на страната, като в нея е съсредоточено 1/6 от промишленото производство на България.

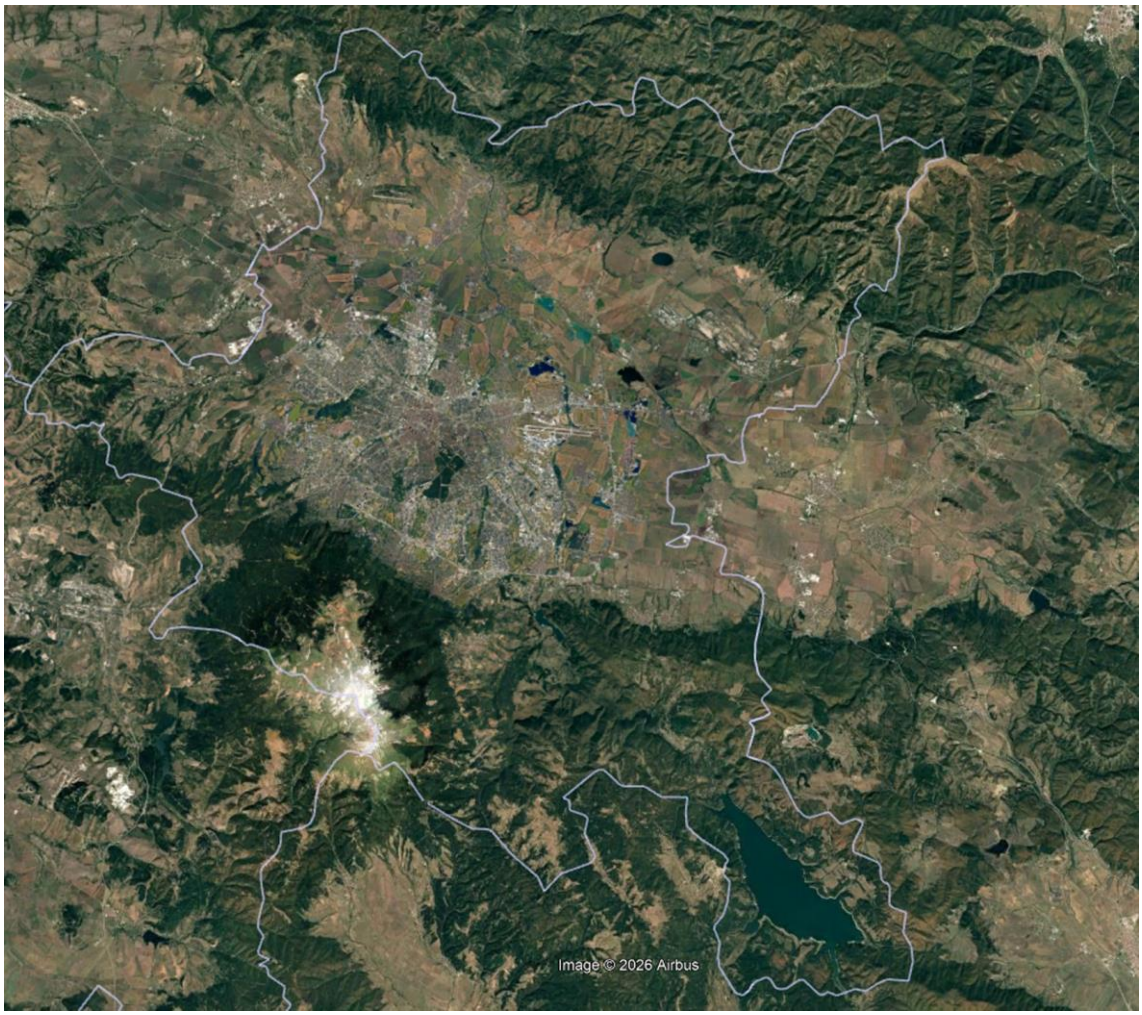
Проблем за замърсеността на въздуха на София е нейното разположение в Софийската котловина, която е оградена отвсякъде с планини, намаляващи възможността за самопочистване на атмосферата. Въздухът в столицата се замърсява предимно от фини прахови частици и азотни оксиди. След спирането на работа на металургичния комбинат „Кремиковци“, те се генерират основно от автомобилния транспорт, отоплението с твърди и течни горива, замърсените пътни настилки и някои ТЕЦ-ове. Така столичните квартали Дружба, Надежда и Павлово са с най-замърсен въздух, като за първите два освен автомобилния транспорт, важен фактор за мръсния въздух са големите ТЕЦ-ове там.

Местоположението на града и неговото административно разделение е показано на фиг. 1.



Фиг. 1. Териториално разположение и административно деление на гр. София

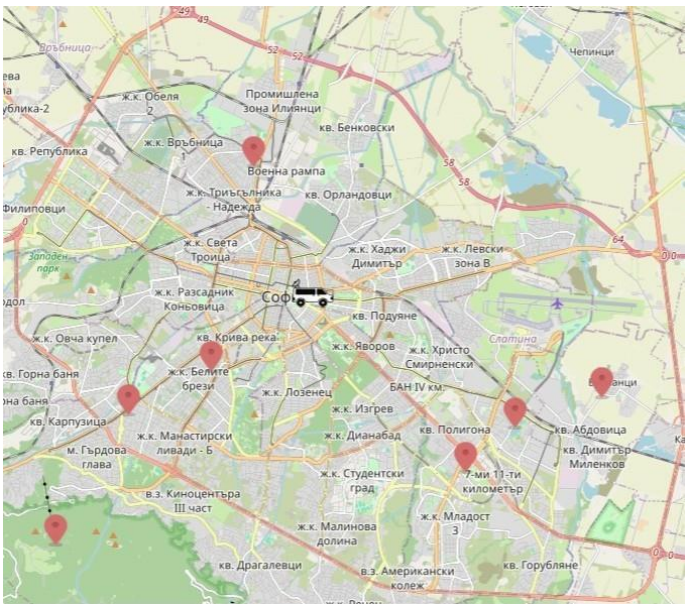
На фиг. 2 е представено сателитно изображение на града от последната година по данни от Google Earth [1].



Фиг. 2. Сателитно изображение на гр. София

Използвани данни и обработка на данните

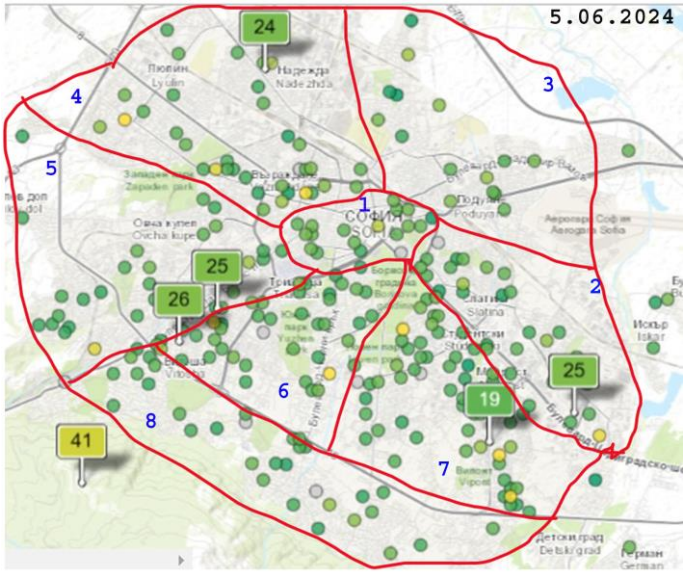
На територията на град София са разположени 5 Автоматични измервателни станции (АИС) за отчитане на качеството на въздуха [2].



Фиг. 3. Местоположение на АИС в гр. София

Освен тях от една година работят още 2 станции само за измерване на ФПЧ [3], както и мобилна станция на Столична община, която работи от есента на 2021 г., като през повечето време е паркирана в центъра на града на постоянно място. На фиг. 2 е представено разположението на тези станции. Новите 2 станции – тези в Бусманци и Требич, както мобилната станция и тази на Хиподрума дават данни за PM2.5. Останалите 5 станции мерят единствено PM10.

На територията на града са разположени между 350 и 400 броя любителски автоматични измервателни станции [4], даващи данни за ФПЧ (PM 2.5 и 10) от декември 2019 г., чието местоположение е показано на фиг. 4.



Фиг. 4. Разположение на любителските автоматични измервателни станции

Получаваните от тези станции данни са в *.csv* формат и съдържат данни на дневна база за минималната и максималната измерена през деня стойност, тяхната медиана и стандартно отклонение.

За целта на изследването са използвани данни от около 350 станции, които са сравнително пълни. За всяка станция са определени географските координати, както и средната стойност на медианата за целия период. След това стойностите са усреднени по изобразените на фиг. 4 осем района на града. За централната градска част са използвани данни от 10 станции, разположени в област 1 от фиг. 4. За всяка станция са построени графики

на сезонното изменение на PM2.5 и PM10 на база средномесечни стойности по години, след което е получен усреднен сезонен ход [5].

Изследването на растителното покритие в градската среда чрез сателитни данни, методи за машинно обучение и географски информационни системи е разгледано в предходна публикация на Узунова и съавтори [6]. Настоящото изследване разширява тази тематична област, като съпоставя пространственото разпределение на растителността с наземните измервания на концентрациите на фини прахови частици (ФПЧ) на територията на София.

За определяне на териториалното разпределение на растителността в гр. София са използвани мултиспектрални сателитни изображения от Sentinel-2, ниво на обработка Level-2A, предоставени чрез европейската програма „Коперник“ [7]. Изображенията са заснети на 22 юли 2022 г. и 22 юли 2023 г. и обхващат територията на София (MGRS зона 34TFN). Сателитният сензор MSI (Multispectral Instrument) регистрира данни в 13 спектрални канала във видимия, близкия инфрачервен (NIR) и късовълновия инфрачервен (SWIR) диапазон, с пространствена разделителна способност 10, 20 и 60 m. Използвани са атмосферно коригирани данни за повърхностната отражателна способност, като предварителната обработка включва маскиране на облачността.

Класификацията на земното покритие е извършена чрез алгоритъма Spectral Angle Mapper (SAM), описан от Kruse и съавтори [8] и реализиран в приставката Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) [9] на географската информационна система QGIS [10].

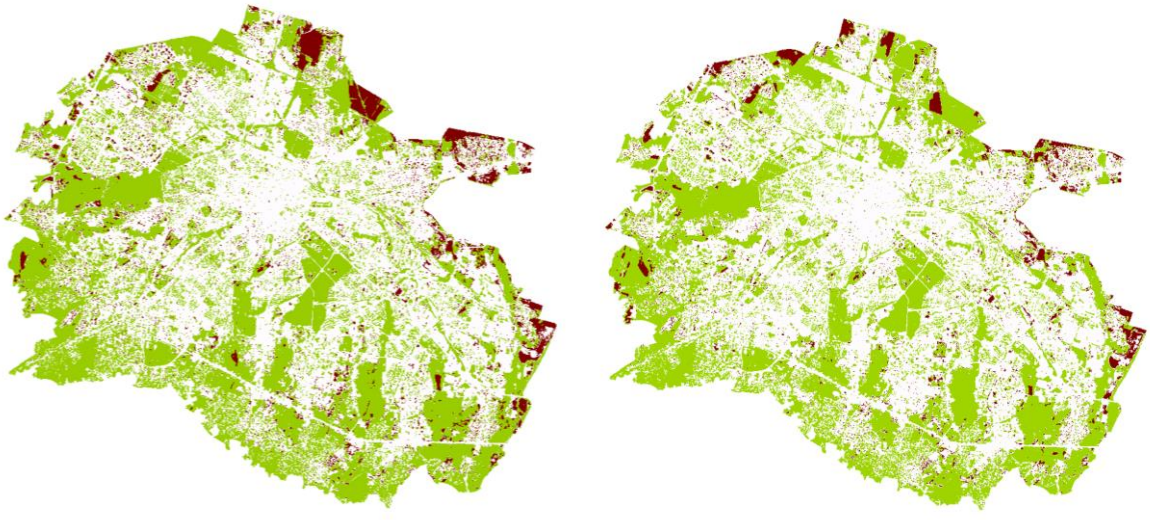
SAM е алгоритъм за контролирана спектрална класификация, който определя сходството между спектралните характеристики на пикселите и предварително дефинирани еталонни спектрални сигнатури. Методът е относително устойчив на изменения в осветеността и е подходящ за анализ на разнородна градска среда.

За обучението на класификатора са определени представителни области на интерес (ROI) чрез визуална интерпретация на спектрално хомогенни участъци от изображенията, с използване на референтни данни от ESRI World Imagery. Разграничени са четири тематични класа земно покритие: растителност, застроени площи, почва и вода. За всеки клас са използвани минимум 200 обучаващи пиксела, като приблизително 30% от извадките са отделени за независимо валидиране.

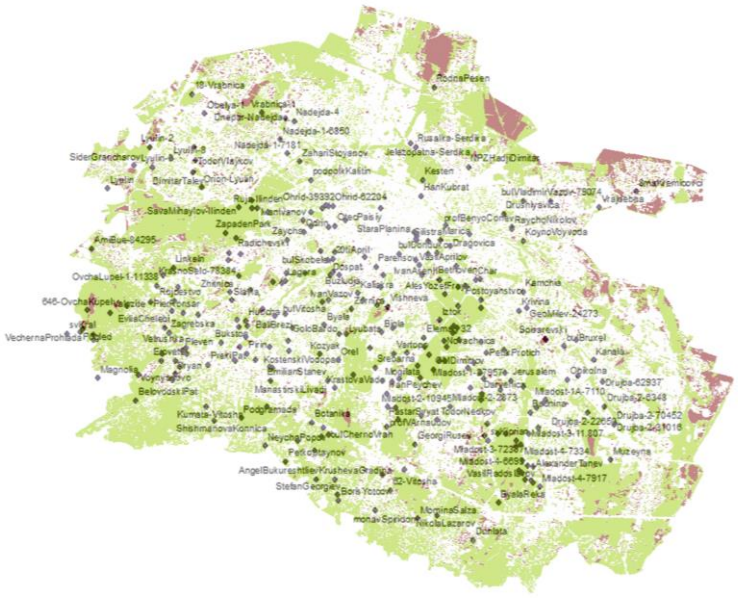
За пространственото ограничаване на анализа са използвани строителната граница на гр. София, определена в Общия устройствен план (ОУП).

Получени резултати

На фиг. 5 са представени резултатите по класове за земното покритие на гр. София за лятото на 2022 г. и 2023 г.



Фиг. 5. Земно покритие в гр. София за 2022 г. и 2023 г. съответно, класифицирано в 4 класа – застроена площ, зелени площи, гола почва и вода



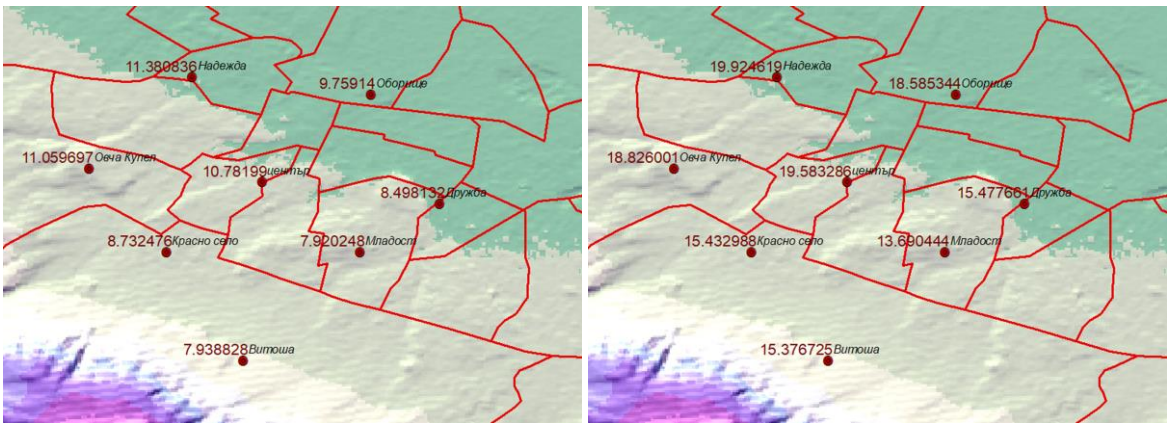
Фиг. 6. Земно покритие в гр. София за 2022 г. и разположение на АИС

На фиг. 7 са представени 4-те класа земно покритие в централната градска част заедно с разположените там АИС. Изследваната област отговаря на област 1 от фиг. 4.



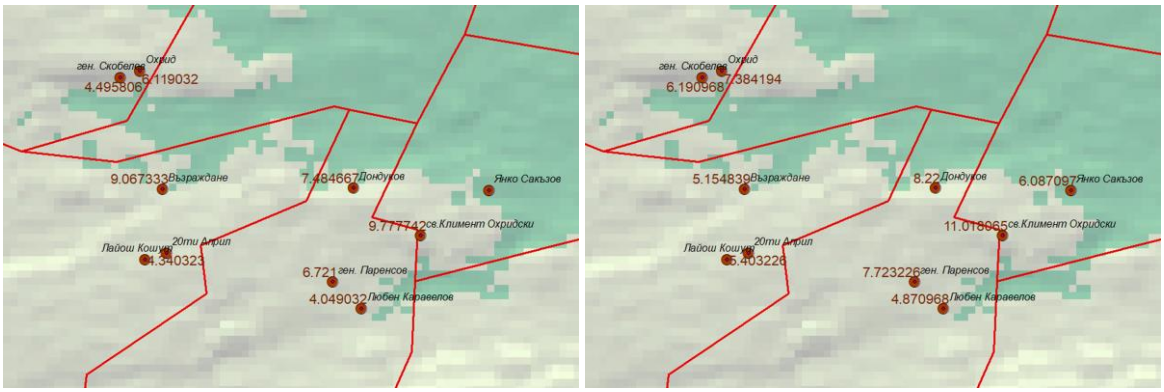
Фиг. 7. Централна градска част и разположените там АИС

На фиг. 8 са представени средните стойности на PM2.5 и 10 за осемте градски области от фиг. 4, представени в ГИС среда като средни точки на съответната област.



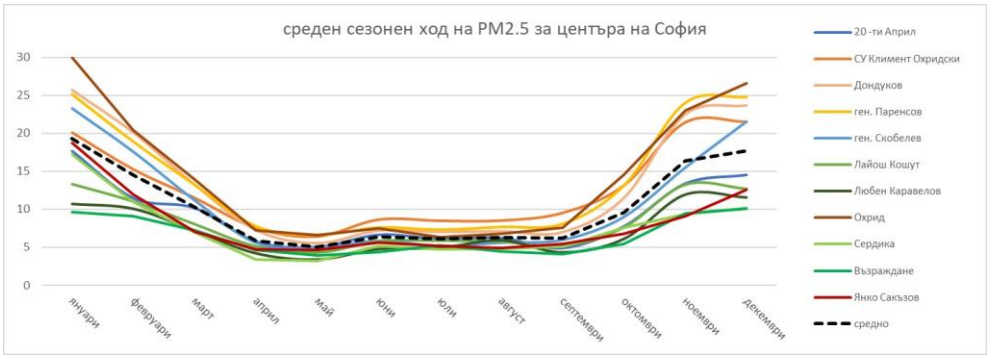
Фиг. 8. Средни стойности на PM2.5 и PM10 за отделните части на град София за периода декември 2019 г. – декември 2025 г.

На фиг. 9 са показани средните месечни стойности на PM2.5 за всяка една станция за месец юли 2022 г. и за същия месец на 2023 г. Както се вижда, стойностите са пропорционални, но по-високи.



Фиг. 9. Средномесечни стойности на PM2.5 за централната част на град София за юли 2022 г. и юли 2023 г.

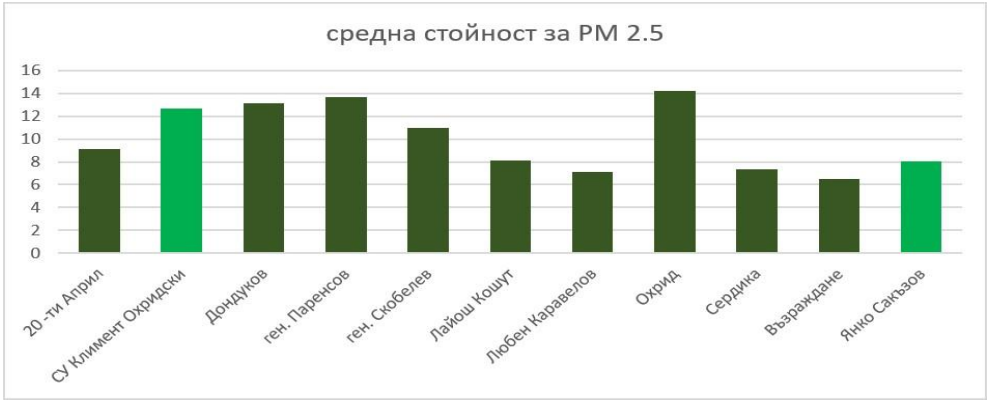
На фиг. 10 е представен сезонният ход на фините прахови частици PM2.5 в централната градска част.



Фиг. 10. Средно сезонно изменение на PM2.5 за централната част на град София

Както се вижда от представените резултати, измерените средни медианни стойности са доста високи спрямо пределно допустимите норми (ПДН), които на годишна база за PM2.5 са 25 μg/m^3.

На фиг. 11 са представени средните стойности за PM 2.5 за целия период.



Фиг. 11. Средни стойности на PM2.5 за централната част на град София

На фигурата с по-светъл цвят са отбелязани 2 станции – тези при СУ „Климент Охридски“ и ул. „Янко Сакъзов“. Интересното при първата е разположението ѝ едновременно между два градски парка и до улици със засилен трафик. Както се вижда от фиг. 10 и фиг. 11, стойностите и сезонното поведение на PM2.5 е подобно на останалите станции. Втората е разположена зад парк Заимов и в непосредствена близост до него в сравнително тих квартал. Нейните стойности са сравнително ниски.

Анализ на резултатите

Териториалното разпределение на финитe прахови частици показва най-ниски стойности в район 7 който обхваща най-общо Младост, Мусагеница, Изток, и Студентски град. На тази територия се намират и най-големите зелени паркове е града.

Максимални стойности се наблюдават в северо-западните части на града и централната градска част, където и зеленината е най-малко.

Запрашаването през лятото на 2023 г. е по-високо от това през 2022 г.

Съпоставянето на наземните измервания на ФПЧ с резултатите от сателитната класификация на земното покритие за 2022 г. и 2023 г. показва тенденция към по-ниски концентрации на прахови частици в районите с по-голям дял на растителното покритие. Тези наблюдения предполагат положителната роля на градските зелени площи (ГЗП; Urban Green Spaces – UGS) за качеството на атмосферния въздух. Следва да се отбележи, че растителното покритие, определено чрез сателитната класификация, не е напълно равнозначно на ГЗП, но позволява оценка на пространственото разпределение на растителността в градската среда. Върху концентрациите на ФПЧ влияят и други фактори, включително автомобилният трафик, отоплението, метеорологичните условия и плътността на застрояването. За установяване на количествената зависимост между растителното покритие и праховото замърсяване е необходимо провеждането на допълнителен статистически анализ.

Заключение

В заключение можем да отбележим, че данните от любителски АИС са единственият наземен източник, който ни позволява да определим някакъв пространствен и сезонен модел на замърсяването с ФПЧ.

Сезонният ход на PM2.5 напълно съответства на сезонното развитие на растителността в градската среда, като колкото по-малко е зеленината, толкова по-голямо е запрашаването.

Като бъдещо развитие на това изследване предстои сезонното и годишно изменение на ФПЧ да се съпостави с разпределението на растителността във всички райони на града. Подобно изследване следва да бъде направено и за други големи градове на страната като Пловдив и Варна.

Интегрирането на наземни измервания на фини прахови частици със сателитни данни от Sentinel-2 предоставя възможност за комплексна оценка на връзката между атмосферното замърсяване и растителното покритие в градската среда. Получените резултати показват тенденция към по-ниски концентрации на ФПЧ в районите с по-голям дял на растителността, което предполага положителната роля на градските зелени площи (ГЗП) за качеството на атмосферния въздух. Прилагането на този подход може да подпомогне мониторинга на градската среда, планирането и управлението на зелената инфраструктура и разработването на мерки за подобряване на качеството на въздуха.

Литература:

1. Google Earth - https://earth.google.com/
2. Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух. https://www.eea.government.bg/kav/
3. Столична община, качество на атмосферния въздух. https://air2.sofia.bg/airpublic/air/data/forecasts/measures/list/
4. Real-time air quality index. https://aqicn.org/station/@58867/
5. Maria Dimitrova, Пламен Тренчев. Сезонно изменение на праховото замърсяване в София по данни от любителски АИС. Proceedings Twenty-first International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY 2025, 2025, ISSN:2603 – 3313, 275–280. http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202025_DOKLADI/4_Ecology/4_Dimitrova.pdf
6. Узунова, Е., Стоев, И., Мардиросян, Г. Изследване на зелените площи в градската среда с използване на методи на машинно самообучение и географски информационни системи. Proceedings Twentieth International Scientific Conference SPACE, ECOLOGY, SAFETY 2024, 2024, ISSN: 2603-3313, 242–247, http://www.space.bas.bg/SES/archive/SES%202024_DOKLADI/PROCEEDINGS%20SES%202024.pdf.
7. Copernicus. Copernicus Earth Observation Programme. European Commission, Brussels, Belgium, 2023. https://www.copernicus.eu/en
8. Kruse, F.A.; Lefkoff, A.B.; Boardman, J.W.; Heidebrecht, K.B.; Shapiro, A.T.; Barloon, P.J.; Goetz, A.F.H. (1993). The Spectral Image Processing System (SIPS)—Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data. Remote Sensing of Environment, 44(2–3), 145–163. https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90013-N.
9. Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python Tool for the Download and Processing of Remote Sensing Images in QGIS. Journal of Open Source Software, 6, 3172. https://doi.org/10.21105/joss.03172
10. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation. https://qgis.org