

ANALYSIS OF THE ATMOSPHERIC AIR QUALITY OVER THE SOFIA – EAST THERMAL POWER PLANT

*Nikolay Kolev, Maya Vatzkitcheva, Kalinka Velichkova, Dimitar Dimitrov, Ava Gogureva,
Atanas Atanasov*

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; E-mail: nic_k@abv.bg

ABSTRACT. There are many sources of urban air pollution: transport, domestic heating, agriculture and industry (thermal power plants and others). Without an analysis of the relative share of each source, its weight in pollution cannot be calculated with certainty. In October 2019, Sofia was the dirtiest city in the world for 4 successive days. Thermal power plants in Sofia contributed largely therein. To study the processes of dispersion of aerosol impurities in the atmosphere, an ever increasing number of large-scale and in-depth experimental studies of these processes have been organised in recent decades. Correlation dependences between the spatial and temporal distribution of aerosol and major meteorological parameters, such as atmospheric stability, wind direction and speed, air humidity, and the presence of temperature inversions, are sought. The aim of this work is to study the distribution of particulate matter and its connection with meteorological data in the atmosphere above a thermal power plant in the city of Sofia

Key words: particulate matter, ABL, dispersion, thermal power plant, meteorological parameters.

АНАЛИЗ НА КАЧЕСТВОТО НА АТМОСФЕРНИЯ ВЪЗДУХ НАД РАЙОНА НА ТЕЦ „СОФИЯ-ИЗТОК“
Николай Колев, Майя Вацкичева, Калинка Величкова, Димитър Димитров, Ава Гогурева, Атанас Атанасов
Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ: Съществуват много източници на замърсяване на градския въздух: транспорт, битово отопление, земеделие и индустрия, (топлоелектрически централи и други). Без анализ на относителния дял на всеки източник не може да бъде изчислена неговата тежест в замърсяването. През месец октомври 2019 година София в продължение на 4 дни е градът с най-замърсен въздух в света, за което основен принос имат и ТЕЦ-вете в София. За изучаване на процесите на дисперсия на аерозолните примеси в атмосферата в последните десетилетия се организират все по-мощни и задълбочени експериментални изследвания на тези процеси. Търсят се корелационните зависимости между пространственото и времево разпределение на аерозола и основните метеорологични параметри, като устойчивост на атмосферата, посока и скорост на вятъра, влажност на въздуха и наличие на температурни инверсии. Цел на настоящата работа е да се направи изследване на разпределението на фини прахови частици и връзката им с метеорологичните данни в атмосферата над топлоелектрическа централа в град София.

Ключови думи: фини прахови частици, АГС, дисперсия, ТЕЦ, метеорологични параметри

Въведение

Пространствената и времева изменчивост на концентрации на финни прахови частици (ФПЧ) и установяване на връзките им с метеорологичните условия и източниците на замърсяване в ТЕЦ София (квартал Дружба 2) са основната цел в представената работа. ТЕЦ „София Изток“ работи на непрекъснат режим на работа. Производствената площадка на ТЕЦ „София Изток“ съдържа инсталации, предназначени за производство на електрическа енергия, гореща вода за топлоснабдителната мрежа на района и пара за намиращите се в съседство промишлени предприятия. Основен енергоносител (основна производствена суровина) е природният газ, а основният технологичен носител на топлинната енергия е водата. Централата е с обща топлинна мощност 2015,4 MWh, която работи с основно гориво природен газ и резервно (аварийно гориво) мазут.

Прахта е един от основните замърсители на въздуха, като основните ѝ източници са промишлеността, транспорта и енергетиката. Естествено тя има вредно влияние върху човешкото здраве, което зависи главно от размера и химичния състав на праховите частици. По-едриите прахови частици (от 2.5 μm до 10 μm - PM10) при попадане в организма чрез дихателната система, се задържат в горните дихателни пътища, а по-фините (под 2.5 μm - PM2.5) достигат до по-ниските отдели на диха-

телната система и водят до увреждане на тъканите в белия дроб. Аерозолите представляват аеродисперсни системи - смес от атмосферен въздух и диспергирани в него фини частици в твърдо или течно агрегатно състояние. Аеродисперсна система с твърда дисперсна фаза се нарича прах или дим, а с течна - мъгла. От всички аеродисперсни системи, най-голямо значение за замърсяването на атмосферата има прахта. Една от причините за това е, че главна част от праховите аерозоли остава в тропосферата като 80% от тях се локализира на височина до 1 km (т.е. в атмосферен граничен слой). Прахта, като замърсител на въздуха, се характеризира с някои особености, свързани главно с нейното физическо състояние в аеродисперсната система, които я отличават от газовете и парите. Основните параметри отнасящи се до поведението на прахта и нейното хигиенно значение са: концентрация, размери, форма, специфично тегло и химичен състав на дисперсната фаза. (Мариана Дончева-Бонева, 2009) Влиянието, което оказва подложната повърхност върху тропосферата може да бъде разделена на два слоя: атмосферен граничен слой (АГС), долната граница на който е земната повърхност, а горната достига до 1000 - 1500 m и свободна атмосфера. (Oke, T.R. 1987) По дефиниция, атмосферният граничен слой е тази най-долна част от тропосферата, която е директно повлияна от земната повърхност и откликва на въздействието ѝ във времеви интервал от един час или по-малко. Това въздействие включва триене, изпарение и кондензация,

топлообмен, излъчване на замърсители и промени в характера на въздушния поток под действието на граваостта и на релефа. (Stull, 1988). Замърсяването на въздуха в градска среда е свързано с физични и химични процеси, вариращи в широк пространствен и времеви диапазон. На разстояния от 10 до 30 километра в хоризонтално направление, природата на АГС е тази, която определя разпръскването на замърсителите от източници, разположени близо до земната повърхност. (Oke, T.R. 1987, Savov, P. et al. 2021, Tuhin Beraet al. 2021). Емисиите на вредни вещества от автомобилния трафик и дейността на съществуващите топлоелектрически централи на територията на София намаляват в определена степен през лятото и есента, а за транспорта и няколко часа през нощта, около 1,3 милиона жители са засегнати от наднормено замърсяване на въздуха през твърде голяма част от годината в Столицата ФПЧ10 се емитират главно от индустриални горивни инсталации и от автомобилния транспорт, а през зимния период, значителен принос има и употребата на твърди горива (дърва и въглища) за отопление. (Guttikunda K et al. 2014, Xue, W.; et al. 2016, Zeng, M et al. 2017, Tang, L et al. 2019)

Експериментални данни

Измерванията са проведени на 05.04.2024 г. в района на София - ТЕЦ София Изток (квартал Дружба 2). Масовата концентрация на ФПЧ е измерена с преносими лазерни броячи на частици BQ20 –Trottes, измерващи в два канала: канал 1 (0 – 2,5 μm) и канал 2 (2,5 - 10 μm), обозначени по-нататък в текста съответно като PM_{2,5} и PM₁₀. Концентрациите се измерват на момента, като скоростта на вземане на проби е 0,9 l / min. Точността на устройствата е в диапазона от 15-20%. Метеорологичните параметри са измервани със станция PCE-FWS 20-1, тя позволява точно измерване на посоката и скоростта на вятъра чрез анемометър, на температурата и относителна влажност на въздуха чрез термохигрометър. Измерваните параметри са: температура в градуси по Целзий, относителна влажност в % RH, атмосферно налягане в hPa, посока и скорост на вятъра съответно в deg и m/s. (Kolev, N et al. 2019, Vatzkitcheva, M. et al. 2020)

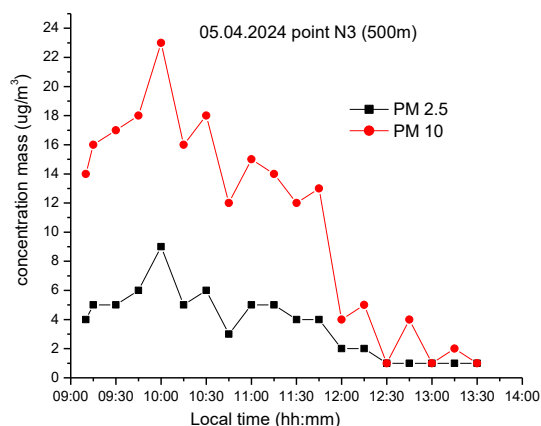
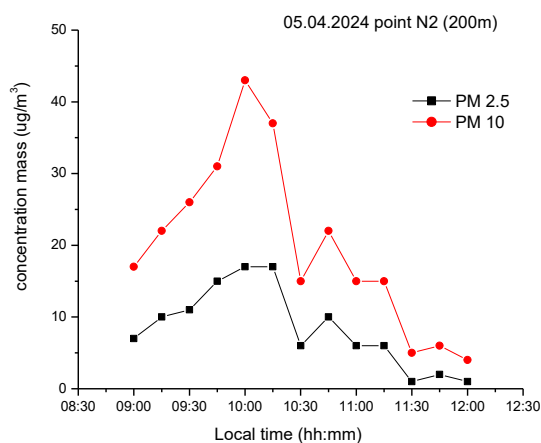
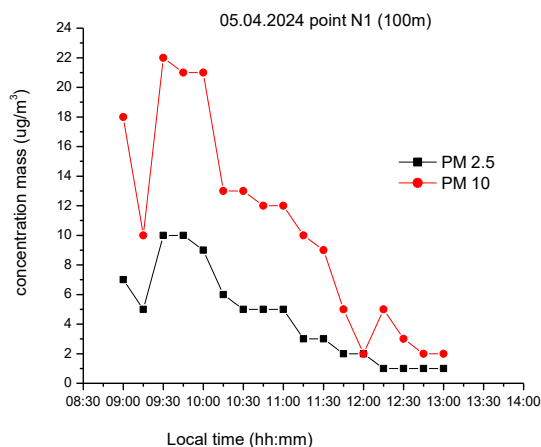


Фиг. 1. Карта на района с измервателните точки ТЕЦ „София-Изток“.

На фигура 1 са представени точките на измерване на концентрацията на фини прахови частици и метеорологичните параметри в четири пункта съответно: на разстояние от 100 м от централната точка №1, точка №2 на разстояние от 200 м, точка №3 на разстояние от 500 м и последната точка №4 на разстояние от 2000 м.

Дискусия и анализ на данните

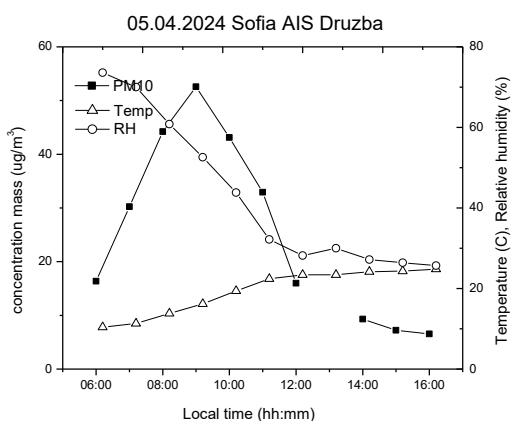
Данните от измерванията и анализа са за периода 01.01.2024 - 10.04.2024г, като са разгледани позадълбочено два дни. (01.01.2024 и 05.04.2024)



Фиг. 2. Концентрация на ФПЧ с размери 2,5 μm и 10 μm (масова концентрация - ug/m^3) на разстояние от ТЕЦ „София Изток“ 100 м, 200 м и 500 м на 05.04.2024 г

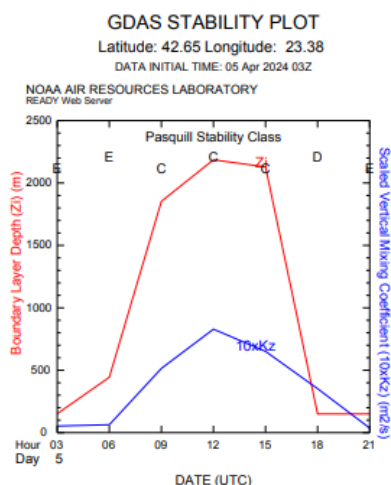
На фигура 2 е изобразена масовата концентрация на 05.04.2024 г. (PM10), която варира в диапазона от 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 10:00 ч. до 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 13:30 ч., масовата концентрация (PM2.5) 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 10:00 ч. до 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 13:30 ч. В точка на измерване №1 на 100 м от източника на замърсяване се наблюдават концентрации в диапазона 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за PM10, и 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за PM2.5, в точка №2 на 200 м от ТЕЦ София Изток концентрациите са съответно 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за PM10, и 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за PM2.5, а в точка №3 на 500 м от ТЕЦ са 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за PM10, и 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ за PM2.5

Точка №2 се характеризира с това, че се намира на пътно кръстовище, което допълнително натоварва концентрацията на частици с емисия от автомобилния трафик.



Фиг. 3. Концентрация на ФПЧ с размери 10 μm (масова концентрация - $\mu\text{g}/\text{m}^3$), температура и относителна влажност на разстояние от ТЕЦ „София Изток“ 2000 м на 05.04.2024 г.

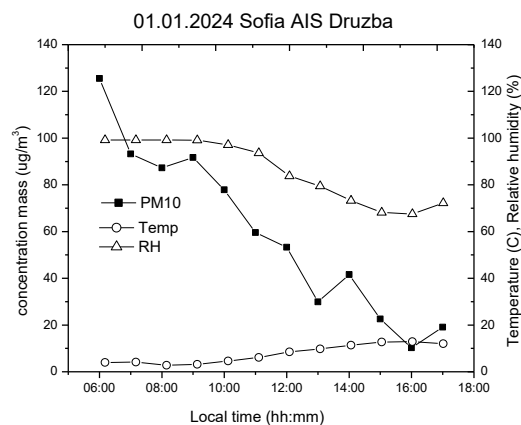
На фигура 3 е представена масовата концентрация на ФПЧ с размери 10 μm , температура и относителна влажност на атмосферата на разстояние от 2000 м от ТЕЦ София Изток. Концентрацията на (PM10) варира в диапазона от 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 09:00 ч. до 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 16:00 ч., температурата е в интервала 16°C до 24°C и относителната влажност е 70% до 30%. Скоростта на вятъра е между 1-2 m/s, като преобладава вятърът от западна посока тоест духа от центъра на града към централата.



Фиг. 4. Модел WRF-GDAS - прогноза за височината на АГС за (42.65N, 23.38E) София на 05.04.2024 г.

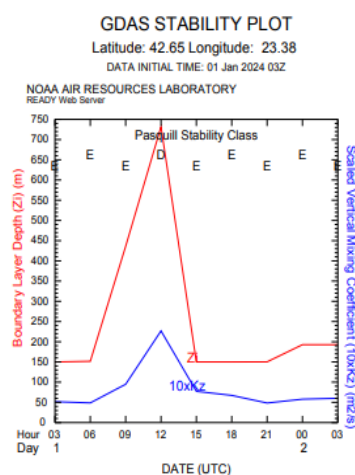
Представени са резултати на височината на атмосферния граничен слой (АГС) в София по моделни данни за два дни на фигура 4 за 05.04.2024 г. и фигура 6 за 01.01.2024 г.

На фигура 4 е представена АГС с максимална височина 2100 м в 12:00 ч. UTC + 2 часа за българско часово време и съответно на фигура 6 е представена АГС за 01.01.2024 г. с максимална височина от 730 м. Разликата във височината на атмосферния граничен слой по данни от WRF-GDAS, разработени от ARL-NOAA, с помощта на които се определя по моделни данни височината на АГС е 3 пъти за двата сравнявани дни. (Draxler, R. R.. 1979, Draxler, R. R. et al. 1998, Stein A. et al. 2015)



Фиг. 5. Концентрация на ФПЧ с размери 10 μm (масова концентрация - $\mu\text{g}/\text{m}^3$), температура и относителна влажност на разстояние от ТЕЦ „София-Изток“ 2000 м на 01.01.2024 г.

На фигура 5 е представена масовата концентрация на PM10, температура и относителна влажност на атмосферата на разстояние от 2000 м от ТЕЦ София Изток. Концентрацията на (PM10) варира в диапазона от 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 06:00 ч. до 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ в 17:00 ч., температурата е в интервала 4°C до 12°C и относителната влажност е 95% до 70%.



Фиг. 6. Модел WRF-GDAS - прогноза за височината на АГС за (42.65N, 23.38E) София на 01.01.2024 г.

Нахлуващите въздушни маси са с присъстваща западна компонента. При нахлуване от тази посока, въздушната маса е преминала през целия град и е силно повлияна от него. При случай на нахлуване, със западна

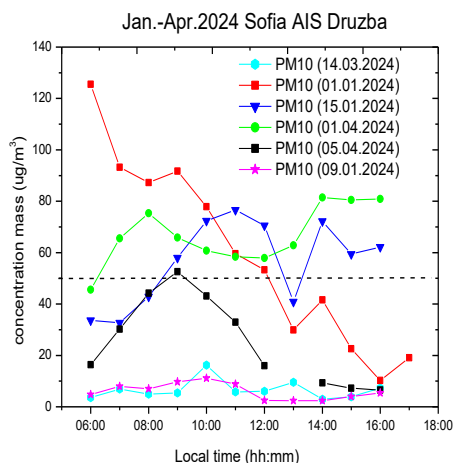
компонента, тоест „градски тип въздушна маса“ имаме разпространение на замърсяването или повишена концентрация от центъра на София към периферията.

Метеорологична обстановка по време на експеримента беше както следва: За сутрешните измервания на 05.04.2024 г. около 10 ч.: температура на въздуха 19°C в 12:00 ч. е около 23°C; скорост на вятъра 1-2 m/s; посока запад; слънчева радиация –740 W/m².

За сутрешните измервания на 01.01.2024 г. около 10 ч.: температура на въздуха 5°C; скорост на вятъра 1-2 m/s; посока изток- запад; слънчева радиация – 150 W/m².

Стойностите на метеорологичните параметри по време на експеримента ни дават основание да предположим, че класът на устойчивост на атмосферата е между С, D и E.

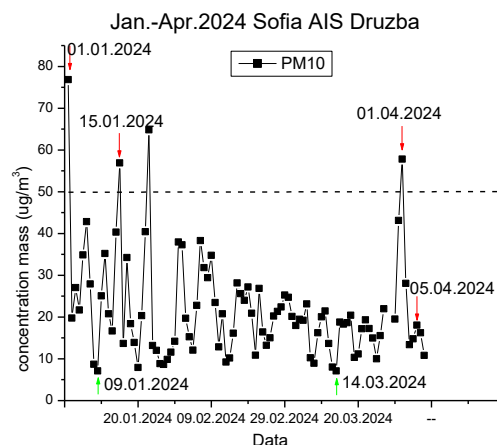
При дисперсионното моделиране, способността на атмосферата за движение във вертикална посока се определя чрез въведените за целта категории на устойчивост на атмосферата. В качествено отношение тези категории са известни със следните означения: А – силно неустойчива атмосфера; В – умерено неустойчива атмосфера; С – неустойчива атмосфера; D – неутрална атмосфера; E – слабо устойчива атмосфера; F – устойчива атмосфера (Draxler, 1979). Състоянието на атмосферното замърсяване и способността на атмосферата да се самоочиства е пряко свързана с конкретна стратификация и клас на устойчивост на приземната атмосфера.



Фиг. 7. Концентрация на ФПЧ с размери 10 μm (масова концентрация - ug/m³), на разстояние от ТЕЦ „София-Изток“ 2000 м на 01.01.2024 г., 09.01.2024 г., 15.01.2024 г., 14.03.2024 г., 01.04.2024 г. и 05.04.2024 г.

На фигура 7 е изобразена масовата концентрация PM10 за 6 дни (01.01.2024 г., 09.01.2024 г., 15.01.2024 г., 14.03.2024 г., 01.04.2024 г. и 05.04.2024 г.), варираща в диапазона от 124 μg/m³ в 06:00 ч. до 5 μg/m³ в 16:30 ч., като 01.01.2024 г., 15.01.2024 г., 01.04.2024 г. и 05.04.2024 г. са дни с превишения над 50 μg/m³, докато 09.01.2024 г. и 14.03.2024 г. са дни с концентрации под 10 μg/m³, тоест това са едни от най-чистите дни в направеното изследване.

На фигура 8 е представена масовата концентрация PM10 за периода на изследването 01.01.2024 г. - 10.04.2024 г.



Фиг. 8. Концентрация на ФПЧ с размери 10 μm осреднена за 24 часа (масова концентрация - ug/m³), на разстояние от ТЕЦ „София-Изток“ 2000 м за времеви интервал от 01.01.2024 г. до 07.04.2024 г.

Трендът на концентрацията на финни прахови частици се движи около 30 μg/m³, като само няколко дни са със превишения над 50 μg/m³ за цял ден усреднена стойност, което показва една тенденция на сравнително чиста атмосфера за района на ТЕЦ София Изток за зимните месеци на 2024 г. - периодът на нашето изследване.

Заклучение

Това изследване представя резултати от експеримент в София (ТЕЦ София Изток) за оценка на връзката на АГС и микрофизични характеристики на атмосферния аерозол с помощта на устройства за измервания на място и моделни данни. От анализа на експерименталните данни на аерозола в атмосферата, могат да се направят няколко извода: Измерените нива на масовата концентрация на финните прахови частици за диапазона 10 μm са 1.5 – 2 пъти под средноденонощните пределно допустими концентрации. Височината на атмосферния граничен слой оказва силно влияние върху концентрацията на финни прахови частици, като с повишаване на височината на АГС концентрацията на PM10 бързо намалява. Върху разсейването на емитираните замърсители в приземния слой на атмосферния въздух влияят и редица други фактори с твърде сложна схема на тяхното съвместно въздействие върху качеството на атмосферния въздух като особености на релефа, метеорологични условия, климатични условия, гъстота и височина на застрояване, транспортна схема, възраст и състояние на МПС, състояние на инфраструктурата и др. През изследвания период над района на ТЕЦ София Изток качеството на атмосферата е относително добро с изключение на няколко дни, в които има превишаване на средно дневната норма от 50 μg/m³, което представлява един много добър резултат за тази част от годината.

През голяма част от времето скоростта на вятъра в Софийското поле е нулева или твърде ниска. В тези случаи отсъства или е твърде слаба хоризонталната вентилация на атмосферата, т.е. замърсителите на въздуха се натрупват в ниските слоеве на атмосферата. С

най-голяма честота за София са ветровете от запад-северозапад и изток-югоизток (роза на ветровете за София).

Мерки, които биха помогнали за подобряване на КАВ на територията на София:

- Създаване на нови тревни площи за сметка на площи – потенциални източници на прах.
- Увеличаване на уличното озеленяване и използването на рекултивационни мрежи.
- Въвеждане на изискване за екологично топлоснабдяване при одобряване на проекти и издаване на строителни разрешения.
- Контрол на състоянието на строителните площадки, с цел да не се допускат неорганизиран прахови емисии.
- Осъществяване на контрол за възстановяване на улици и тротоари след прокопаването им във връзка с ремонт или изграждане на елементи от техническата инфраструктура.
- Текущ и основен ремонт на пътната настилка на натоварените транспортни артерии в града.
- Замяна на отоплението с течни горива и преминаване към газ или централно топлоснабдяване в общинските сгради.
- Въвеждане на система за почистване на тротоари и др. обществени места от нападали листа със специализирана техника.
- Да не се допуска използване на пясъчно солни смеси за зимно почистване в града.
- Увеличаване честотата на миене на уличната мрежа в т.ч. вътрешно-кварталните улици.
- Създаване на зелени пояси по периферията на натоварени пътни артерии и на града.
- Съдействие и улесняване на процедурите за газификация на домакинствата.
- Разработване на план за действие за стимулиране използването на нови технологии за отопление.
- Стимулиране на използването на ВЕИ, включително ВЕИ за отопление с биогорива.

Благодарности

Настоящото изследване е проведено във връзка с изпълнението на: Дог. ГПФ - 250, НИС-МГУ, Срок: III – XII.2024 г. „Пространствено и времево разпределение на фини прахови частици и корелацията им с метеорологичните параметри в атмосферата в района около ТЕЦ“. Ръководител: доц. д-р Н. Колев - катедра „Приложна геофизика“, научен колектив: доц. д-р Пламен Савов, доц. д-р Майя Вацкичева, гл. ас. д-р Калинка Величкова, гл. ас. д-р Димитър Димитров - катедра „Приложна геофизика“. Авторите изказват благодарност на NOAA Air Resources Лаборатория (ARL) за предоставяне на моделите WRF-GDAS и HYSPLIT, използвани в тази публикация.

Литература

- Draxler, R. R. (1979). Estimating vertical diffusion from routine meteorological tower measurements, *Atmospheric Environment*, Vol. 13, Issue 11, 1559-1564.
- Draxler, R. R. and Hess, G. D. (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories. *Australian meteorological magazine*, 47 (4), 295-308.
- Guttikunda K., Puja Jawahar, (2014). Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India, *Atmospheric Environment*, Vol 92, , Pages 449-460, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.057>
- Мариана Дончева-Бонева, (2009). Оценка качествотона атмосферния въздух в района на „Марица Изток“ *FORESTRY IDEAS 2/2009* (38)
- Kolev, N., P. Savov, M. Vatzkitcheva, K. Velichkova, D. Dimitrov, B. Vladkova, S. Toncheva. (2019). The impact of outdoor mining activities on atmospheric air quality in nearby settlements. *Journal of Mining and Geological Sciences*, Volume 62, Number 2, pp. 45-49.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*, 2nd edn. London: Methuen, 435 pp.
- Savov, P., N. Kolev, M. Vatzkitcheva, K. Velichkova, D. Dimitrov, B. Vladkova. 2021. Urban parks and their relation to air pollution. *Annual of University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia*, volume 64, pp. 81-86.
- Vatzkitcheva, M., K. Velichkova, N. Kolev, P. Savov. (2020). A study of horizontal distribution pattern of particulate pollutants near a highway, *Annual of University of mining and geology "St. Ivan Rilski" – Sofia*, volume 63, pp. 113-117.
- Zeng, M.; Zhang, P.; Yu, S.K.; Liu, H. (2017). Overall review of the overcapacity situation of China's thermal power industry: Status quo, policy analysis and suggestions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 76, 768–774.
- Tuhin Bera, Nirmal Kumar Mahapatra, (2021). Ranking of thermal power plants focusing on air pollution: A Neutrosophic assessment, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 316, 128250, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128250>
- Tang, L.; Qu, J.B.; Mi, Z.F.; Bo, X.; Chang, X.Y.; Anadon, L.D.; Wang, S.Y.; Xue, X.D.; Li, S.B.; Wang, X.; (2019). Substantial emission reductions from Chinese power plants after the introduction of ultra-low emissions standards. *Nat. Energy*, 4, 929–938
- Xue, W.; Xu, Y.; Wang, J.; Tang, X. (2016). Ambient air quality impact of emissions from thermal power industry. *China Environ. Sci.*, 36, 1281–1288.
- Stein A., Draxler R., Rolph G., Stunder B. J., Cohen M., and F. Ngan. (2015). NOAA'S HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. *Bulletin of the American Meteorological Society* (Dec. 2015), 96 (12) 2059-2077
- Stull, R. B. (1988). An Introduction to Boundary Layer Meteorology, *Kluwer Academic Publisher*, Dodrecht, 670 pp.