



**Йорданка Атанасова Прегьова**

**ПРАХОВО ЗАМЪРСЯВАНЕ И ПЯСЪЧНИ НАХЛУВАНИЯ ОТ АФРИКА НАД  
ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ**

**Автореферат**

за присъждане на образователна и научна степен

**ДОКТОР**

Научна специалност „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен ръководител:

доц. Мария Димитрова

София

2024

1

Дисертационният труд е обсъден на заседание на еднократно разширен научен семинар на секция „Аерокосмическа информация”, състоял се ..... г. и е предложен за разглеждане от специализирано жури.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на открито заседание пред научното жури на .....2024 г. от ..... часа в заседателната зала на бл. 1 от научния комплекс на БАН, ул. „Академик Георги Бончев” 1.

Научно жури:

Външни членове:

1. проф. д-р Бойко Рангелов - МГУ „Св. Иван Рилски“
  2. проф. д-р Никола Колев - Русенски университет
  3. доц. д-р Ралица Берберова - Нов български университет
- резервен член: проф. д-р Емилия Георгиева - НИМХ

Вътрешни членове:

1. проф. д.т.н. Гаро Мардироян –ИКИТ-БАН
  2. доц. д-р Пламен Тренчев – ИКИТ –БАН
- резервен член: доц. д-р Даниела Аветисян –ИКИТ-БАН

## СЪДЪРЖАНИЕ

Списък на приетите съкращения.....	5
Увод.....	6
Цел и задачи на дисертационният труд.....	6
<b>Глава 1 Анализ и оценка на пясъчните нахлувания от Африка и тяхното екологично значение</b> .....	7
1.1. Общ преглед.....	7
1.2. Въздействие върху околната среда /екологично значение/ на праховите бури .....	8
1.3. Метеорологични характеристики на прахните бури.....	8
1.4. Някои от най-известните пясъчни и прахови бури.....	8
1.5. Анализ на прилагане на дистанционните методи за целите на наблюдение и опазване на околната среда.....	9
1.5.1. Откриване и изучаване на прахови бури чрез аерокосмически методи /дистанционни изследвания/.....	10
1.5.2. Аерозоли.....	11
1.5.3. Замърсяване на въздуха.....	13
1.5.4. Замърсители на въздуха.....	14
1.5.5. Концентрации на качеството на въздуха.....	15
1.5.6. Качество на градския въздух.....	16
1.5.7. Качеството на въздуха и Covid 19.....	17
1.5.8. Въздействие върху здравето на замърсяването на въздуха.....	17
1.5.9. Същност и използване на оптични данни от Sentinel -2.....	18
1.5.10. Същност и използване на SAR.....	18
1.5.11. Избор на данни.....	19
1.6. Мониторинг на околната среда.....	21
1.7. Изводи към глава 1.....	21
<b>Глава 2 Методика за изследване на праховите замърсявания и пясъчните нахлувания над България посредством спътникови и наземни данни</b> .....	22
2.1. Избор и приложимост на спътникови данни за мониторинг на атмосферни замърсявания с фини прахови частици .....	22
2.2 Използване на данни от автоматични измервателни станции АИС.....	23
2.3. Използвани данни.....	26

2.4	Схема на използваната методика.....	27
2.5.	Изводи към глава 2.....	28
<b>Глава 3 Резултати и анализ на резултатите от изследването.....</b>		<b>29</b>
3.1	Прахово замърсяване по спътникови данни.....	29
3.2.	Прахово замърсяване по наземни данни.....	31
3.2.1	Анализ на резултатите за PM10 период 2013-2023 година за 19 АИС на територията на България.....	33
3.2.2	Статистика на среден резултат за територията на България 2013 -2023 г.....	34
3.3.	Пясъчни нахлувания от Африка над страната – времево и сезонно поведение.....	37
3.4.	Сравнителни анализи на резултатите.....	38
3.4.1	Сравнение на сезонното поведение на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и сезонното поведение на праховото замърсяване , измер.ено от АИС Рожен.....	38
3.4.2	Сравнение на сезонното поведението на ААІ и сезонното поведение на броя дни с пясъчни нахлувания.....	42
3.4.3.	Сравнение на поведението на ААІ и наземните измервания по области.....	44
3.5.	Изводи към глава 3.....	48
	Заклучение.....	49
	<b>Приноси.....</b>	<b>50</b>
	<b>Публикации по темта на дисертацията.....</b>	<b>51</b>
	<b>Литература.....</b>	<b>52</b>

## СПИСЪК НА ПРИЕТИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

- AAI - Aerosol absorption index
- AI - Aerosol index (същото като AAI)
- AOD - Аерозолна оптична дълбочина
- CAMS- Службата за наблюдение на атмосферата на Коперник
- DOD- AeroCom, оптичната дълбочина на праха
- ESA - Европейската космическа агенция)
- GNSS - Global Navigation Satellite System
- КФС - комплексна фонова станция
- LAI - Индекс на листната повърхност (Leaf Area Index)
- LIDAR - Light Identification Detection and Ranging
- MODIS - MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer /Спектрорадиометър със средна пространствена разделителна способност/
- NDVI- Normalized Difference Vegetation Index
- NPP - Нетна първична продуктивност (Net Primary Productivity)
- SAR- Синтетичната апертура
- АИС -Автоматизирана измервателна станция
- ГИС - Географска Информационни Системи
- ИАОС- Изпълнителната агенция по околна среда
- КАВ - Системата за предоставяне на обществеността на информация за качеството на атмосферния въздух
- МЕМ - Междинен екологичен мониторинг
- ПДК - Пределно допустими концентрации
- ПС – Прагова стойност
- СГН – Средногодишна норма
- СДН – Средноденонощна норма
- СЧН – Средночасова норма
- ФПЧ10/ PM10- по-фините частици (под 10 mm )
- ФПЧ2.5/ PM2,5- по-фините частици (под 2.5 mm )

## УВОД

Развитието на средствата за дистанционни изследвания на земната повърхност през последните години позволи появата и реализацията на нови технологии за обработка на сателитни данни, към които се отнасят радиолокационните системи със синтезирана апертура, монтирани на сателитни носители - мощен инструмент за изследване на земната повърхност, нейната динамика и обекти върху нея. Тяхното приложение е изключително актуална тема, която все по широко се дискутира в научната литература. Този интерес е предизвикан от разнообразните възможности и приложения, които те предоставят. Дистанционното измерване на динамични във времето сигнали и техните параметри, съхранението и обработването им в реално време, възможността за отдалечен мониторинг, са някои от техните възможности. Те намират също така широко приложение в ситуации на кризи, природни бедствия и аварии, като позволяват да се събере и обработи информация от големи територии. Лесната обмяна на данни позволява сътрудничество между отделни колективи при провеждане на съвместни научни изследвания и дистанционните измервания на релефа и динамиката на земната повърхност.

### Цел и задачи на дисертационният труд

Цел на настоящата работа е изследване на времето и сезонно изменение на праховото замърсяване над територията на България по спътникови и наземни данни, изследване на времето и сезонно изменение на броя прахови нахлувания от Африка над територията на България и изследване на техния принос към праховото замърсяване над страната.

За реализация на целта са решават следните задачи:

1. Изследване на времето и сезонно изменение на праховото замърсяване над територията на България по спътникови данни за периода 2013-2023 г.
2. Изследване на наземни данни от АИС за наличие на PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> на територията на България за периода 2013-2023 г.

3. Изследване на броя на праховите бури на територията на България на базата на спътникови данни от програмата EOS (спектрометър MODIS) и метеорологичните спътници MetOp 2 за периода 2013-2023 г.
4. Изследване на връзка между сезонното поведение на броя на праховите бури и сезонното поведение на праховото замърсяване над територията на България, определено по спътникови данни, както и това на PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub>, измерени в отдалечени от антропогенно влияние места, за периода 2013 – 2023 г.

## **ГЛАВА 1**

### **АНАЛИЗ И ОЦЕНКА НА ПЯСЪЧНИТЕ НАХЛУВАНИЯ ОТ АФРИКА И ТЯХНОТО ЕКОЛОГИЧНО ЗНАЧЕНИЕ**

#### **1.1. Общ преглед**

Още от края на XIX в. праховите бури, наричани още и пясъчни бури, черни бури, прахови мъгли са обект на сравнително системно наблюдаване и изучаване, както и на редица научни публикации и монографии, все още няма общоприето точно определение на понятието „прахова буря“. Според една дефиниция от средата на XX в., това е явлението, когато при силен вятър във въздуха се вдига много прах, пясък и частици суха почва, вследствие на което настъпва затъмнение на атмосферата и видимостта значително намалява. Според други определения под прахова буря, трябва да се разбират силни ветрове, които при определени условия причиняват издихване и пренасяне на повърхностния почвен слой чрез въздушни потоци, понякога на далечни разстояния. (Мардиросян, 2020)

Пясъчните бури представляват издигане на пясъчни частици в атмосферата над пустинята и тяхното пренасяне на големи разстояния. (Ozsoy. 2001)

Би трябвало да се добави и разрушаване (ерозия) на повърхностния почвен слой. Образуваните турбулентни вихри повдигат частиците почва и ги пренасят на значителни разстояния. Заедно с тези частици във въздуха могат да бъдат вдигнати посеви или току-що засети семена. (Мардиросян, 2020)

## **1.2. Въздействие върху околната среда /екологично значение/ на праховите бури**

Описаните явления могат да се движат като огромни дюни и носят големи количества прах по такъв начин, че предната част може да бъде представена като гъста и висока прахова стена (до 1,6 км). Бурите, идващи от пустинята Сахара, са известни като "Самум", "Хамзин" (Египет и Израел) и "Хабуб" (Судан).

Трябва да се отбележи, че през последните 60 години, количеството прахови бури в Сахара се е увеличило около 10 пъти, което е довело до значително намаляване на дебелината на повърхностния слой на почвата в Чад, Нигер и Нигерия. За сравнение може да се отбележи, че в Мавритания през 60-те години на миналия век имаше само две прахови бури, а днес има 80 бури годишно.

Прахови бури, както и много други естествени събития нанасят огромни щети. За да се намали или дори да предотвратят вредните последици от тях, трябва да се анализира терена - микроклимат, преобладаващата посока на вятъра и да извършват дейности, свързани с тях, които биха намалили скоростта на вятъра в близост до земната повърхност и да се увеличи сцеплението на почвените частици.

## **1.3. Метеорологични характеристики на прашните бури**

Климатът в Близкия изток се влияе главно от четири системи:

- (а) Сибирски антициклон през зимата над Централна Азия;
- (б) Полярен антициклон през лятото над източна Европа и Средиземно море;
- (в) Мусонните циклони през лятото над субконтинента Индия, южно и югоизточно от Иран и югоизточно от Арабския полуостров;
- (д) Депресиите, пътуващи от северна Африка и южно и източно от Средиземно море през Близкия изток и югозападно от Азия през нелетните сезони (пролет и зима).

## **1.4. Някои от най-известните пясъчни и прахови бури**

През 525 г. пр. Хр. Е., според Херодот, в Сахара по време на пясъчната буря е убита 50 хилядна армия на персийския цар Камбиз.

През 1928 г. в Украйна ужасен вятър е отнесъл повече от 15 милиона тона чернозем от площ от 1 милион км<sup>2</sup>, чийто прах е прехвърлен в Карпатския регион, Румъния и Полша, където се е заселил.



През 1983 г. най-силната буря в северната част на Виктория в Австралия обхваща град Мелбърн.

През лятото на 2007 г. в Карачи и Белуджистан и Синд провинции е имало силна буря и проливните дъждове, които го следват, са довели до смъртта на около 200 души.

През май 2008 г. в Монголия бяха убити 46 души поради пясъчна буря.

През септември 2015 г. ужасният "sharav" преминава през по-големите райони на Близкия изток и Северна Африка. Израел, Египет, Палестина, Ливан, Йордания, Саудитска Арабия и Сирия страдат много. Имаше и човешки жертви. (Савиньих,2001)

Югозападна Европа през март 2022 г. преживява изключителен сахарски епизод на прах, който превръща небето в целия регион в оранжево.

### **1.5. Анализ на прилагане на дистанционните методи за целите на наблюдение и опазване на околната среда**

При използване на дистанционните изследвания за мониторинг се възприемат 4 основни направления на проучване, които включват: климат, топография, функциониране на растителността, пространствена структура, разпределение на местообитания и изследване на промените в тях. Наблюдаването на тези четири области на регионално ниво ще осигури система за ранно предупреждение, подчертавайки области с висока приоритетност. Пространственото структуриране на местообитания се препоръчва за мониторинг и картиране имайки предвид хетерогенната природа, наземното покритие или степента на фрагментация на ландшафта и местообитанията. Пространствената променливост на различните йерархични нива на природните местообитания може да бъде използван като индикатор за текущото състояние, разпределение или временни промени в биологичното разнообразие.

Космическите технологии, които се използват главно за изследвания на биоразнообразието и управление на екосистеми се разделят на два основни типа: спътникови системи за изображения или за наблюдение на Земята и Спътникови системи за глобална навигация - Global Navigation Satellite System (GNSS).

Климатичните и топографски елементи, които дефинират изискванията на местообитанията, са относително добре разработени. (Ashcroft and Gollan, 2013; Ashcroft et al., 2012). Това не важи за моделирането на биотичните компоненти на съответствие на местообитанията. Дистанционните изследвания увеличават наличността на информация за промените в качествените характеристики на местообитанието, и на тяхното

въздействие върху множество агрегатни компоненти на биоразнообразието, при различни пространствени мащаби. Съвместна работа на специалистите в областта на екологията и дистанционните изследвания се очаква по осигуряване на подходящи протоколи за специфични случаи, с които да се проследят и количествено определят установяване на състояния на организми в защитена зона или мрежа и елементи на заобикалящи околната среда като показател за бърза антропогенна промяна на земеползването, и климатичните промени върху качествените характеристики на местообитанията (Paola Mairota et. al., 2015).

За оценката на резултати от прилагане на междинен екологичен мониторинг (МЕМ) на базата на аерокосмически данни могат да се използват различни индикатори на екосистемите, които най-добре характеризират тяхното състояние. Като такива индикатори могат да се използват различни индекси, класификации и корелации между различни състояния на екосистемите. При извършване на междинен екологичен мониторинг се анализират сложни процеси, които се проявяват в екосистемите и следователно налагат при мулти-компонентния анализ да се включват биотични и абиотични фактори. Същественият момент при използване на дистанционните изследвания е избора на спътникови данни, които да са съвместими с времевите критерии на междинния екологичен мониторинг. От друга страна, изборът на данни трябва да е съвместим с видовете екосистеми и техните функционални и пространствени характеристики.

#### **1.5.1. Откриване и изучаване на прахови бури чрез аерокосмически методи /дистанционни изследвания/**

Дистанционните изследвания от Космоса позволяват да се разкрие както местоположението на огнището на праховата буря, така и да се получи информация за характера и структурата на земната повърхност в огнището и по пътя на движение на бурята. Последното е особено важно, защото освен метеорологичните фактори, решаваща роля за появяването на прахови бури играят и състава на повърхностния почвен слой, топографията на района, здравината на закрепване на растителността върху почвата, пресъхнали езера и т.н. Обективна информация за всички тези параметри може да се получи от космически снимки с разделителна способност 50-100 m, направени преди възникването на бурята. От такива снимки, съпоставени със снимки по време на

праховата буря, могат да се определят и границите на огнището ѝ. Много информативни са космическите топлинни инфрачервени снимки, на които праховите бури се дешифрират надеждно както през деня, така и през нощта. На такива снимки добре се виждат и местата, където праховото образуване е най-мощно, т.е. концентрацията на праховите частици е най-висока.(Мардиросян, 2020)

За регистрирането, изследването на сезонното и дълговременно поведение и количествена оценка на плътността на пясъчни бури над територии с честа висока облачност е най-подходящо да бъдат използвани данни за ААІ (aerosol absorption index). Комбинирането им с изображения в оптичния диапазон и моделиране на движението на въздушните маси дава възможност за по-детайлна оценка на кратковременната динамика на явлението. Използването на ААІ дава възможност освен за регистриране на наличието на пясъчна буря, да бъдат направени оценки на количеството прахови частици пренасяни в атмосферата. За изследване на минералния състав е най-удачно да бъдат използвани наземни методи. ( Димитрова, 2018).

Развитието на средствата за дистанционни изследвания на земната повърхност през последните години позволи появата и реализацията на нови технологии за обработка на сателитни данни, към които се отнасят радиолокационните системи със синтезирана апаратура, монтирани на сателитни носители - мощен инструмент за изследване на земната повърхност, нейната динамика и обекти върху нея. Тяхното приложение е изключително актуална тема, която все по широко се дискутира в научната литература. Този интерес е предизвикан от разнообразните възможности и приложения, които те предоставят. Дистанционното измерване на динамични във времето сигнали и техните параметри, съхранението и обработването им в реално време, възможността за отдалечен мониторинг, са някои от техните възможности. Те намират също така широко приложение в ситуации на кризи, природни бедствия и аварии, като позволяват да се събере и обработи информация от големи територии. Лесната обмяна на данни позволява сътрудничество между отделни колективи при провеждане на съвместни научни изследвания и дистанционните измервания на релефа и динамиката на земната повърхност.

### **1.5.2.Аерозоли**

Различни специалисти описват частиците въз основа на форма, размер и химичен състав. Токсиколозите наричат аерозолите ултрафини, фини или груби вещества.

Регулаторните агенции, както и метеоролозите, обикновено ги наричат прахови частици — PM 2,5 или PM 10 , в зависимост от размера им. В някои области на инженерството те се наричат наночастици. Медиите често използват ежедневни термини, които намекват за аерозолни източници, като дим, пепел и сажди.

Климатолозите обикновено използват друг набор от етикети, които говорят за химическия състав. Ключовите аерозолни групи включват сулфати, органичен въглерод, черен въглерод, нитрати, минерален прах и морска сол. На практика много от тези термини са несвършени, тъй като аерозолите често се слепват, за да образуват сложни смеси. Обичайно е, например, частици черен въглерод от сажди или дим да се смесват с нитрати и сулфати или да покриват повърхностите от прах, създавайки хибридни частици.

По-голямата част от аерозолите - около 90 процента от масата - имат естествен произход. Вулканите, например, изхвърлят огромни стълбове пепел във въздуха, както и серен диоксид и други газове, произвеждайки сулфати. Горските пожари изпращат частично изгорял органичен въглерод. Някои растения произвеждат газове, които реагират с други вещества във въздуха, за да дадат аерозоли, като „дима“ в Great Smoky Mountains в Съединените щати. По същия начин в океана някои видове микроводорасли произвеждат серен газ, наречен диметилсулфид, който може да се превърне в сулфати в атмосферата.

Морската сол и прахът са два от най-разпространените аерозоли, тъй като пясъчните бури разнасят малки парчета минерален прах от пустините в атмосферата, а водените от вятъра пръски от океанските вълни изхвърлят морска сол нагоре. И двете са склонни да бъдат по-големи частици от техните двойници, създадени от човека.

Останалите 10 процента от аерозолите се считат за антропогенни или създадени от човека и идват от различни източници. Въпреки че са по-малко изобилни от естествените форми, антропогенните аерозоли могат да доминират във въздуха надолу по вятъра на градските и индустриалните зони.

Изгарянето на изкопаеми горива произвежда големи количества серен диоксид, който реагира с водни пари и други газове в атмосферата, за да създаде сулфатни аерозоли. Изгарянето на биомаса, обичаен метод за разчистване на земя и консумиране на отпадъци от фермите, дава дим, който се състои главно от органичен въглерод и черен въглерод.

Пустинният прах, летливите органични съединения от растителността, димът от горските пожари и вулканичната пепел са естествени източници на аерозоли.

Автомобилите, инсинераторите, топилните заводи и електроцентралите са плодотворни производители на сулфати, нитрати, черен въглерод и други частици. Обезлесяването, прекомерната паша, сушата и прекомерното напояване могат да променят земната повърхност, увеличавайки скоростта, с която праховите аерозоли навлизат в атмосферата. Дори на закрито цигарите, готварските печки, камините и свещите са източници на аерозоли.

### **1.5.3. Замърсяване на въздуха**

Замърсяването на въздуха е основна причина за преждевременна смърт и болести и е най-големият риск за здравето на околната среда в Европа. Последните оценки на Европейската агенция по околна среда (ЕАОС) показват, че фините прахови частици (PM<sub>2.5</sub>) продължават да причиняват най-съществени въздействия върху здравето.

Емисиите на замърсяване на въздуха са намалели през последните две десетилетия, което води до по-добро качество на въздуха. Въпреки това подобрение замърсяването на въздуха остава най-големият риск за здравето на околната среда в Европа. Излагането на фини прахови частици и нива на азотен диоксид над препоръките на Световната здравна организация причинява приблизително 238 000 и 49 000 преждевременни смъртни случая съответно през 2020 г. Тези замърсители са свързани с астма, сърдечни заболявания и инсулт.

Замърсяването на въздуха също причинява заболяемост. Това е тежест по отношение на личното страдание, както и значителни разходи за сектора на здравеопазването.

Най-уязвимите в обществото са по-податливи на въздействието на замърсяването на въздуха. По-ниските социално-икономически групи са склонни да бъдат изложени на по-високи нива на замърсяване на въздуха, докато възрастните хора, децата и тези с предшестващи здравословни състояния са по-податливи. Над 1,200 смъртни случая при хора под 18-годишна възраст се оценяват като причинени от замърсяването на въздуха всяка година в държавите-членки на ЕАОС и сътрудническите страни.

Освен здравните проблеми, замърсяването на въздуха може значително да окаже въздействие върху икономиката на Европа поради увеличените разходи за здравеопазване, намалената продължителност на живота и загубата на работни дни в различните сектори. Той също така уврежда растителността и екосистемите, качеството на водата и почвата и местните екосистеми.

В целия ЕС е обичайно нивата на замърсяване на въздуха да са по-високи от последните препоръки на СЗО. Все пак има признаци на подобрение.

През 2021 г. 97% от градското население е било изложено на концентрации на фини прахови частици над нивото на насоките, основани на здравето, определени от Световната здравна организация.

Над 1,200 смъртни случая при хора под 18-годишна възраст се оценяват като причинени от замърсяването на въздуха всяка година в държавите-членки на ЕАОС и сътрудническите страни .

Данните от 2021 г. показват, че Централна и Източна Европа и Италия отчитат най-високи концентрации на прахови частици, преди всичко поради изгарянето на твърди горива за битово отопление и използването им в промишлеността.

Всички страни от ЕС са докладвали нива на озон и азотен диоксид над базираните на здравето ориентировъчни нива, определени от Световната здравна организация.

Около 275 000 случая на преждевременна смърт са причинени от фини прахови частици и 64 000 от азотен диоксид (NO<sub>2</sub>) всяка година.

Като цяло 97% от градското население на ЕС е било изложено на нива на фини прахови частици над последните насоки, определени от СЗО през 2021 г.

Планът за действие за нулево замърсяване също така определя целта за 2030 г. за подобряване на качеството на въздуха, с акцент върху PM<sub>2.5</sub>, за да се намали броят на преждевременните смъртни случаи, причинени от замърсяването на въздуха в ЕС, с минимум 55 % в сравнение с тези през 2005 г.

#### **15.4. Замърсители на въздуха**

Замърсителите на въздуха могат да бъдат категоризирани като първични или вторични.

Първичните замърсители се отделят директно в атмосферата, докато вторичните замърсители се образуват в атмосферата от прекурсорни газове чрез химични реакции и микрофизични процеси. Замърсителите на въздуха могат да имат естествен, антропогенен или смесен произход в зависимост от техните източници или източниците на техните прекурсори. Основните първични замърсители на въздуха включват прахови частици (PM), черен въглерод (BC), серни оксиди (SO<sub>2</sub>), азотни оксиди (NO<sub>X</sub>) (включително азотен оксид и азотен диоксид, NO<sub>2</sub>), амоняк (NH<sub>3</sub>), въглероден оксид (CO), метан (CH<sub>4</sub>),

неметанови летливи органични съединения (НМЛОС), включително бензен, и някои метали и полициклични ароматни въглеводороди, включително бензо[а]пирен (BaP).

Основните вторични замърсители на въздуха са РМ, озон (O<sub>3</sub>), HE<sub>2</sub> и няколко окислени летливи органични съединения (ЛОС). Основните прекурсорни газове за вторичните ПЧ са серният диоксид (SO<sub>2</sub>), H<sub>2</sub>X, HX<sub>3</sub> и ЛОС. Тези замърсители и техните прекурсорни газове могат да бъдат както от естествен, така и от антропогенен произход, включително:

- изгаряне на изкопаеми горива в производството на електроенергия, транспорта, промишлеността и домакинствата;
- промишлени процеси и използване на разтворители, например в химическата и минната промишленост;
- селско стопанство;
- третиране на отпадъци;
- естествени източници, включително вулканични изригвания, издухан от вятъра прах, спрей от морска сол и емисии на летливи органични съединения от растенията.

Бензо(а)пиренът е полицикличен ароматен въглеводород (ПАВ), открит във фините ФПЧ. Произходът му е непълното изгаряне на различни горива. Основните източници на ВаР в Европа са битовото отопление на дома, по-специално изгарянето на дърва и въглища, изгарянето на отпадъци, производството на кокс и стомана и пътния трафик. Други източници включват пожари на открито. (<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1>)

### **15.5. Концентрации на качеството на въздуха**

След като замърсителите на въздуха се отделят в атмосферата, те претърпяват серия от физични и химични трансформации, за да се окажат най-накрая отложени на земята, водите и растителността и се вдишват от хора и животни. Качеството на въздуха се оценява по концентрациите на тези замърсители в атмосферния въздух.

За да се спазят разпоредбите на директивите за качеството на атмосферния въздух, държавите-членки на ЕС и държавите-членки на ЕАОС и сътрудническите страни

измерват концентрациите на замърсители в станциите за мониторинг. Тези измервания се докладват на ЕАОС и се състоят главно от:

Актуални (или почти в реално време) измервания, идващи от автоматични пробовземачи, представени с възможно най-кратко закъснение от момента на тяхното вземане. Тези измервания са налични в актуалния зрител. Актуалните измервания се използват и за изчисляване на индекса за качеството на въздуха.

Валидираните измервания както от автоматичните, така и от ръчните пробовземачи се подават ежегодно до края на септември на годината, следваща годината, в която са направени измерванията. Те са достъпни в статистическия зрител. Тези измервания се използват от Европейската комисия за проверка на съответствието с изискванията на директивите за качеството на атмосферния въздух

И двата набора от данни могат да бъдат изтеглени чрез услугата на ЕАОС за изтегляне на данни.

Освен измерванията, моделите могат да се използват и от страните за оценка на качеството на въздуха. Официално представените резултати от моделите ще бъдат достъпни скоро.

ЕАОС използва информацията, предадена от техните държави-членки и сътрудничащи държави, в няколко продукта за оценка, като например показатели и публикации (брифинги, доклади и др.). За тези оценки се използват и карти на концентрациите, получени от измерванията, и някои допълнителни данни. Тези карти се изготвят ежегодно от Европейския тематичен център за замърсяването на въздуха, транспорта, шума и промишленото замърсяване и са налични в интерполираните данни за качеството на въздуха. (<https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations>)

## **15.6. Качество на градския въздух**

По-голямата част от градското население на Европа е изложено на опасни нива на замърсяване на въздуха. Последният доклад на ЕАОС "Състоянието на качеството на въздуха в Европа през 2022 г. — Европейска агенция по околна среда" представя оценки на концентрациите на всички основни замърсители в европейските градове.

Според доклада, въпреки намаляването на емисиите през 2020 г., концентрациите на прахови частици (включително и двете  $PM_{2.5}$  и  $PM_{10}$ ), озон ( $O_3$ ), и азотен диоксид ( $NO_2$ ) редовно надвишават стандартите за качество на въздуха на Европейския съюз (ЕС) и те са доста над последните препоръки на Световната здравна организация (СЗО).



## 15.7. Качеството на въздуха и Covid 19

Блокирането и свързаните с него мерки, прилагани от много Временното намаляване на човешките дейности доведе до по-ниски емисии на някои замърсители на въздуха. Данните за качеството на въздуха, докладвани на ЕАОС, показват, че концентрациите на азотен диоксид (NO<sub>2</sub>) — замърсител, отделян главно от автомобилния транспорт — са намалели през април 2020 г. в много европейски градове, където са били въведени мерки за блокиране (с големи вариации между и в градовете), по отношение на обичайния сценарий. Най-големият спад в концентрациите на NO<sub>2</sub> (около 70 %) се наблюдава в станциите за мониторинг на въздуха в Испания и Италия.

Концентрациите на PM<sub>10</sub> също са имали тенденция да бъдат по-ниски през април 2020 г. в сравнение с обичайния сценарий. Най-големите относителни намаления (35 – 40 %) бяха оценени в пунктовете за трафик в Испания и Италия, докато ограничен брой обекти (главно фонові станции в селските райони) отчетоха увеличение на концентрациите на ПЧ<sub>10</sub>. По-малкото намаление на концентрациите на PM<sub>10</sub> в сравнение с NO<sub>2</sub> се дължи на това, че концентрациите на PM се влияят както от първичните емисии от антропогенни и природни източници, така и от прекурсорни газове, емитирани от различни източници, които впоследствие могат да образуват PM в атмосферата.

Има две други връзки между замърсяването на въздуха и COVID-19: възможният ефект от замърсяването на въздуха върху уязвимостта и податливостта към COVID-19 (чрез предишно дългосрочно излагане на замърсители на въздуха) и възможната роля на замърсяването на въздуха за разпространението на SARS-CoV-2 коронавирус.

(<https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution>)

## 15.8. Въздействие върху здравето на замърсяването на въздуха

Замърсяването на въздуха е основна причина за преждевременна смърт и заболявания и е най-големият единичен риск за здравето на околната среда в Европа. Последните оценки на Европейската агенция за околна среда (ЕАОС) показват, че фините прахови частици (PM<sub>2.5</sub>) продължават да причиняват най-съществените въздействия върху здравето.

Повечето европейци живеят в райони, особено градове, където замърсяването на въздуха може да достигне високи нива. Както краткосрочното, така и дългосрочното излагане на замърсяване на въздуха може да доведе до широк спектър от заболявания, включително инсулт, хронична обструктивна белодробна болест, рак на трахеята, бронхите и белите дробове, влошена астма и инфекции на долните дихателни пътища.

#### **1.5.9. Същност и използване на оптични данни от Sentinel -2.**

Sentinel-2 притежава иновативен широкоспектърен мултиспектрален излъчвател с висока разделителна способност и с 13 спектрални канала. Комбинацията от висока разделителна способност, нови спектрални възможности, ширина на откоса от 290 km и често преразглеждане дава безпрецедентна гледка към Земята. Мисията се базира на съзвездие от два еднакви спътника в една и съща орбита, 180 ° един от друг за оптимално покритие и доставка на данни. Заедно те обхващат всички земни повърхности, големи острови, вътрешни и крайбрежни води на всеки пет дни. Мисията основно предоставя информация за земеделие и горски практики, и за подпомагане на управлението на продоволствената сигурност. Сателитните изображения могат да се използват за определяне на различни индекси на растенията, като например индекси на хлорофила и съдържанието на вода в листата. Това е особено важно за ефективното прогнозиране на добива и приложения, свързани с растителността на Земята.

#### **1.5.10. Същност и използване на SAR**

Първият в серията от спътници на ESA (Европейската космическа агенция) от програма Copernicus, Sentinel-1 разполага с усъвършенстван радар за осигуряване на всички климатични времена, ден и нощ снабдяване с изображения от повърхността на Земята. Синтетичната апертура (SAR) със С-диапазона се основава на системите на ESA, Канада- ERS-1, ERS-2, Envisat и Radarsat.

Като съзвездие от два спътника, които обикалят около 180°, мисията представя цялата Земя на всеки шест дни. Освен, че предава данни на редица наземни станции по целия свят за бързо разпространение, Sentinel-1 също има лазер за предаване на данни към геостационарната европейска система за предаване на данни за непрекъсната доставка.

Мисията Sentinel-1B облагодетелства множество услуги. Например услугите, които се отнасят до мониторинга на арктическия лед, рутинното картографиране на морския лед, наблюдението на морската среда, включително мониторинга на разлив на петрол и откриването на кораби за морска сигурност, мониторинг на земната повърхност за рискове от движение, картографиране за управление на горите, водите и почвите, картографиране в подкрепа на хуманитарната помощ и кризисни ситуации.

(<https://www.esa.int/Copernicus>)

Спектрорадиометърът за изображения с умерена разделителна способност (MODIS) е инструмент, който събира данни от дистанционно наблюдение, използвани от учените за наблюдение, моделиране и оценка на ефектите от природни процеси и човешки действия върху земната повърхност. Непрекъснатото калибриране на инструментите MODIS, усъвършенстването на алгоритмите, използвани за създаване на продукти от по-високо ниво, и текущото валидиране на продукта правят изображенията на MODIS ценна времева серия (2000-настояще) от геофизични и биофизични измервания на земната повърхност.

Аерокосмическите методи, технически средства и технологии имат решаващо отношение във всички направления при изучаване и решаване на екологични проблеми и проблемите на околната среда. (Мардиросян, 2015)

### **1.5.11. Избор на данни**

Пясъчните бури са глобално явление. От тази гледна точка, сателитни данни с ниска пространствена разделителна способност и широк пространствен прозорец са най-подходящи.

Времевите изменения от друга, доколкото са непосредствено свързани с движението на въздушните потоци, са бързи. За пълно изследване на такива процеси са необходими данни с времева разделителна способност от порядъка на час. Спътникови данни с такава висока времева разделителна способност рядко са достъпни. По тази причина е удачно данните от сателити да се съчетават с моделни изследвания (модели за движение на въздушните маси и разпространение на замърсители в тях).

За изследване на състава на пясъчните и прахови потоци е необходима голяма спектрална разделителна способност. От друга страна – минералният състав на пясъка от един източник е практически еднакъв във времето. Затова по-удачно е той да бъде изследван посредством проби и други наземни методи.

За изследване на поведението във времето и сезонните изменения е необходимо наличие на данни от един и същи източник за дълъг период от време (от порядъка на десетки години).

При избора на тип спътникови данни са на лице няколко съображения. От една страна – оптичните данни (например данните от MODIS ( <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> ) дават много добра визуална представа. Те могат добре да разграничават типа замърсител и неговия източник. При наличие на облачна покривка, обаче, те не могат да бъдат използвани. Данните от метеорологични спътници като MetOP, NOAA или сензора OMI (7.

<http://www.temis.nl/index.php>), дават данни за оптичната дебелина AOD (aerosol optical depth) и/или AAI (aerosol absorption index), посредством които можем да поучим както визуална, така и количествена представа за наличните в атмосферата прахови частици. Те не дават добра представа за типа замърсител. (Martin de Graaf, Olaf Tuinder, 2015). Те дават много добра оценка на количеството пренасян замърсител, каквато оптичните изображения не могат да предоставят.

От всичко казано до тук можем да направим извода, че за регистрирането на пясъчни бури, тяхната количествена оценка и изследване на сезонната естота е най-удачно да се използват данни за оптичната плътност на атмосферата, които могат да се съчетаят при нужда с данни във видимия диапазон.

За изследване на бързите промени в поведението във времето (в рамките на една буря например) е необходимо съчетаването на спътникови данни с метеорологични модели.

По-доброто пространствено покритие на данните за AAI от тези за AOD се дължи на това, че аерозолният индекс, като всички индекси в дистанционните изследвания, се определя посредством сравнение на регистрираното отражение в два различни спектрални канала, докато AOD се определя от сравнението на данните от един канал с теоретично определена стойност. При плътна облачност отражението от наситена с аерозолни замърсители атмосфера не може да се разграничи надеждно от наличието на облачност.

Използването на различен инструмент води до различни, макар и подобни резултати. Това донякъде се дължи на различното време на снемане на данните, но, в по-голяма степен, на разликите в сензорите. За просто регистриране на събитие може да се използва комбинация от различни инструменти. За количествена оценка на явленията и нейната динамика във времето следва да се придържаме към данни от един или няколко еднакви инструмента. ( Димитрова, 2018).

## **1.6. Мониторинг на околната среда**

Мониторингът е специална информационна система за повтарящи се наблюдения и анализ на един или повече елементи върху състоянието на природната среда, предназначена да регистрира, преценява и прогнозира въздействието на антропогенните фактори. Системата, чрез която се наблюдават, анализират и прогнозира изменението в състоянието на биосферата, настъпили или настъпващи вследствие на антропогенното въздействие се нарича екологичен мониторинг. Обекти на мониторинга може да бъдат природни, антропогенни или природно-антропогенни системи. Целта на мониторинга е провеждането на непрекъснати изследвания, създаване на модели за установяване на актуалното състояние на наблюдаваните територии и екосистеми и моделиране и прогнозиране на тяхното развитие в краткосрочен и дългосрочен аспект имайки предвид тяхното поддържане, опазване и възстановяване.

## **1.7. Изводи към глава 1**

1. Приложимостта на спътниковите данни в оптичния диапазон силно зависи от наличието на облачност над изследвания обект.
2. Данните с ниска пространствена, но висока времева разделителна способност са приложими за глобални, но бързо изменящи се във времето явления.
3. Данните със средна пространствена и по-ниска времева разделителна способност са подходящи за изследване в детайли на бавно протичащи процеси.
4. Комбинирането на данни от различни източници силно разширява кръга от явления, които могат да бъдат изследвани с тяхна помощ.

## ГЛАВА 2

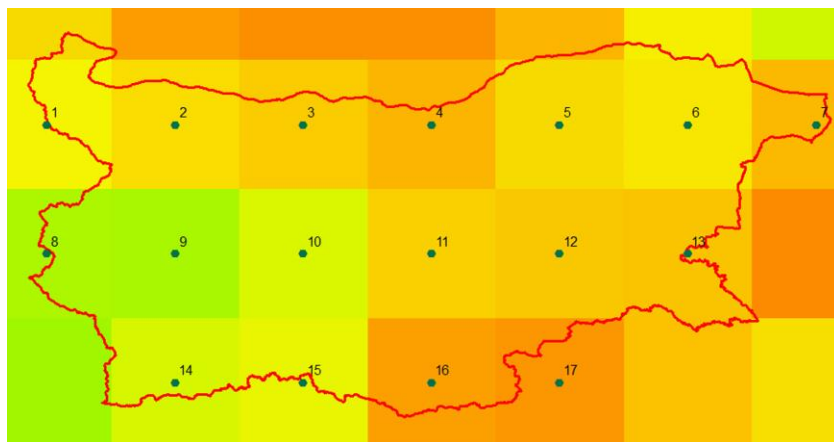
### МЕТОДИКА ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДАННИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА АТМОСФЕРНО ЗАМЪРСЯВАНЕ

#### 2.1. Избор и приложимост на спътникови данни за мониторинг на атмосферни замърсявания с фини прахови частици

Изборът на спътникови данни зависи от пространствените, времевите и спектралните характеристики на изследвания обект.

За да бъде пространствено различимо, явлението следва да заема поне 3x3 пиксела от изображението. Това ограничение се налага от факта, че един пиксел може да бъде възприет като случаен шум или дефект, а при размер от порядъка на два пиксела не може да бъде гарантирано точното съвпадение на границите на явлението и пиксела. Така явление с размер равен на този на два пиксела може да попада върху три такива от изображението, като двата крайни ще отразяват средно излъчване от засегната и незасегната площ и при по-малка разлика в интензивността, явлението няма да бъде категорично разпознато там. За да бъде регистрирано явлението, то следва да бъде активно в момента на заснемане на поне едно преминаване на спътника.

За целта на настоящото изследване са използвани данни от сензора GOME-2, за които са налични средно месечни данни за области с пространствена разделителна способност от 10 , чието покритие на територията на България е представено на следната фигура.



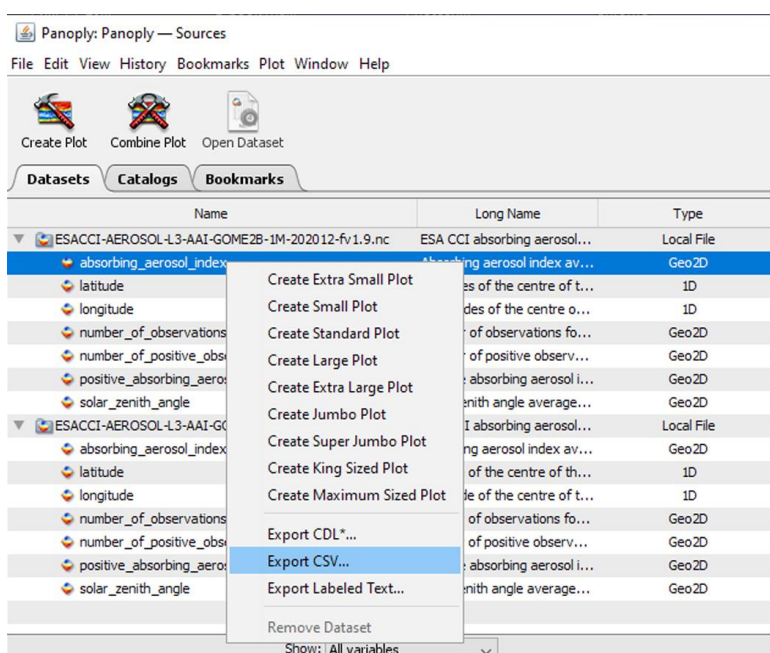
Фигура 2.9 Разположение на средномесечните стойности на AAI над България по данни от

TEMIS

За всеки месец от разглеждания период 2013-2023 година и за всяка една от показаните 17 области са взети стойностите на ААІ, построени са графики по сезони и години за всяка една област, както и обобщени, усреднени графики за цяла България.

Изводи за времето и сезонно изменение са направени на база тези резултати.

Средномесечните стойности на ААІ в TEMIS са представени във формат „netcdf“ - .nc. До края на 2019 година за използвани данни от версия 1.7, които директно се отварят в ArcGIS Desktop. Тези данни вече не са налични. В момента данните са във версия 1.9, за чието прочитане използваме свободния софтуер Panoply на NASA. На следващата фигура е показан начинът на извличане на данни

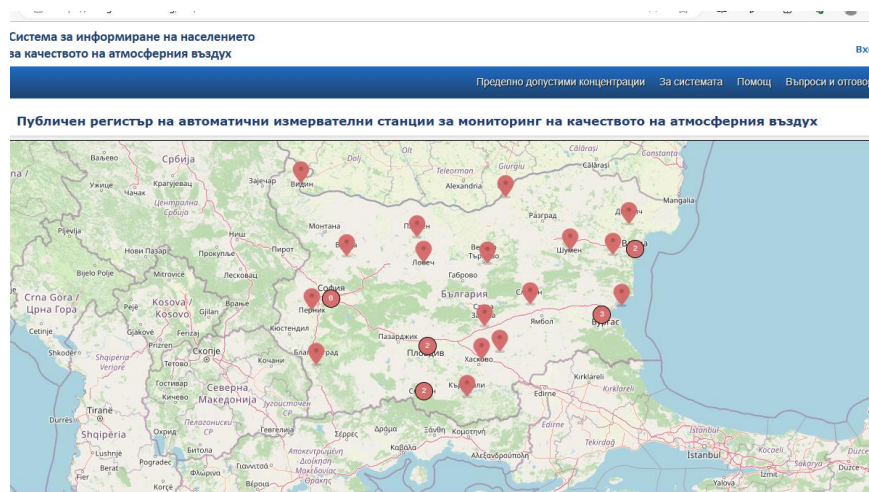


Фигура 2.10 Извличане на данни чрез софтуер Panoply на NASA

## 2.2. Използване на данни от автоматични измервателни станции АИС

Системата за предоставяне на обществеността на информация за качеството на атмосферния въздух (КАВ) в реално време служи за представяне на данни, събирани и обработвани чрез Националната автоматизирана система за мониторинг на КАВ. Поради специализираният характер, естество и обществената значимост на този тип информация, системата служи за представянето ѝ в лесноразбираем формат.

Началният екран на приложението за извличане на базата е показан на фигура 3.1.



*Фигура 2.11 Начален екран на базата данни*

От началния екран се избира съответната АИС. Избрани са средногодишни данни за измерване на концентрацията на PM10 в 19 АИС на територията на България.

Събраната информация е представена в отделни диаграми по градове на територията на България.

Направен е анализ по години в период от 2013-2023 г.

Направен е среден резултат и анализ по градове.

Направена е диаграма със среден резултат за територията на България, както и статистика за него, който съдържа извадково средно, стандартна грешка на средното, медиана, стандартно отклонение, извадкова дисперсия, ексцес, асиметрия, размах, минималната стойност в извадката, максимална стойност в извадката, сумата от стойностите на вариантите в извадката, обем на извадката.

За целите на предоставянето на информация за КАВ, Информационната система се базира на нормите, заложи в националното и европейското законодателство, както и утвърден на европейско ниво индекс за КАВ, публикуван на Европейския индекс за качеството на атмосферния въздух (European Air Quality Index - <http://airindex.eea.europa.eu/>)

Следвайки наложените от Европейския индекс за качеството на атмосферния въздух тенденции, Информационната система за предоставяне на обществеността на данни за КАВ използва географски карти за визуализиране на измервателните пунктове от Националната автоматизирана система за мониторинг на КАВ, както и възможност за



преглед на измерваните от даден пункт концентрации на съответните замърсители. Данните за измерените концентрации се визуализират с помощта на графики. Информационната система предоставя освен възможността на преглед на данни в реално време, така и възможност за изготвяне на справочна информация за период относно измерените средночасови, средноденонощни и средногодишни стойности на съответните замърсители.

Визуализирането на информация за качеството на атмосферния въздух се извършва на базата на постъпващите в реално време данни от Националната автоматизирана система за мониторинг на КАВ. Тези данни са предварителни, като подлежат на проверка за тяхната достоверност и верифициране. Окончателните данни се публикуват в тримесечните и годишните бюлетини, издавани от Изпълнителната агенция по околна среда (ИАОС).

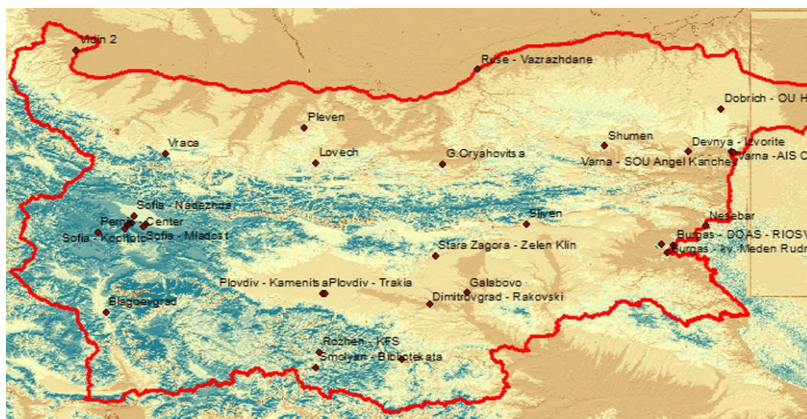
Данните са в период от 2015-2023 година.

В настоящата работа са използвани данни от АИС на територията на България от два официални портала за получаване на данни за качеството на атмосферния въздух, които отговарят на европейските стандарти и изисквания – European Air Quality Portal (<https://aqportal.discomap.eea.europa.eu/>) и българския портал – Система за информиране на населението за качеството на атмосферния въздух, който е базиран на първия КАВ.

Българският портал е много удобен за ползване, интерактивен, дава данни от началото на 2015 година до момента на часова, дневна и годишна база за всеки един замърсител, измерван от конкретната АИС за избран от потребителя период. В настоящата работа са използвани средногодишни данни за PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> от всички налични в този източник АИС. Такива са 3 АИС за PM<sub>2.5</sub> и 29 за PM<sub>10</sub>.

Европейският портал предоставя данни единствено за една година за всеки един замърсител и всяка една станция по отделно, като данните са или почасови, или дневни. Данните там са от началото на 2013 година и за територията на България са в реално време за същите АИС, които са налични до края на 2022. В портала, обаче, се предоставят данни до края на 2021 година от 41 АИС за PM<sub>10</sub> и 9 за PM<sub>2.5</sub>. От този източник са попълнени всички липсващи данни за първите 2 години 2013 и 2014, както и за останалите АИС за целия период. За тази цел дневните данни са усреднени за да се получат средногодишните стойности.

За определяне на средните стойности за всяка една АИС, средногодишните данни отново се усредняват за периода 2013-2023 година. На фиг. 1 е представено разположението на АИС на територията на България



Фигура 2.14 Местоположение на АИС на територията на България

### 2.3. Използвани данни

Използвани са данни за периода 2013 – 2023 година, защото само за този период има едновременно данни от АИС и спътникови данни.

За мониторинг на времето, пространствено и сезонно изменение на праховото замърсяване над България са използвани средно месечни данни от метеорологичния спътник MetOp В, EUMETSAT, инструмент GOME 2. които са с пространствена разделителна способност от 1 градус.

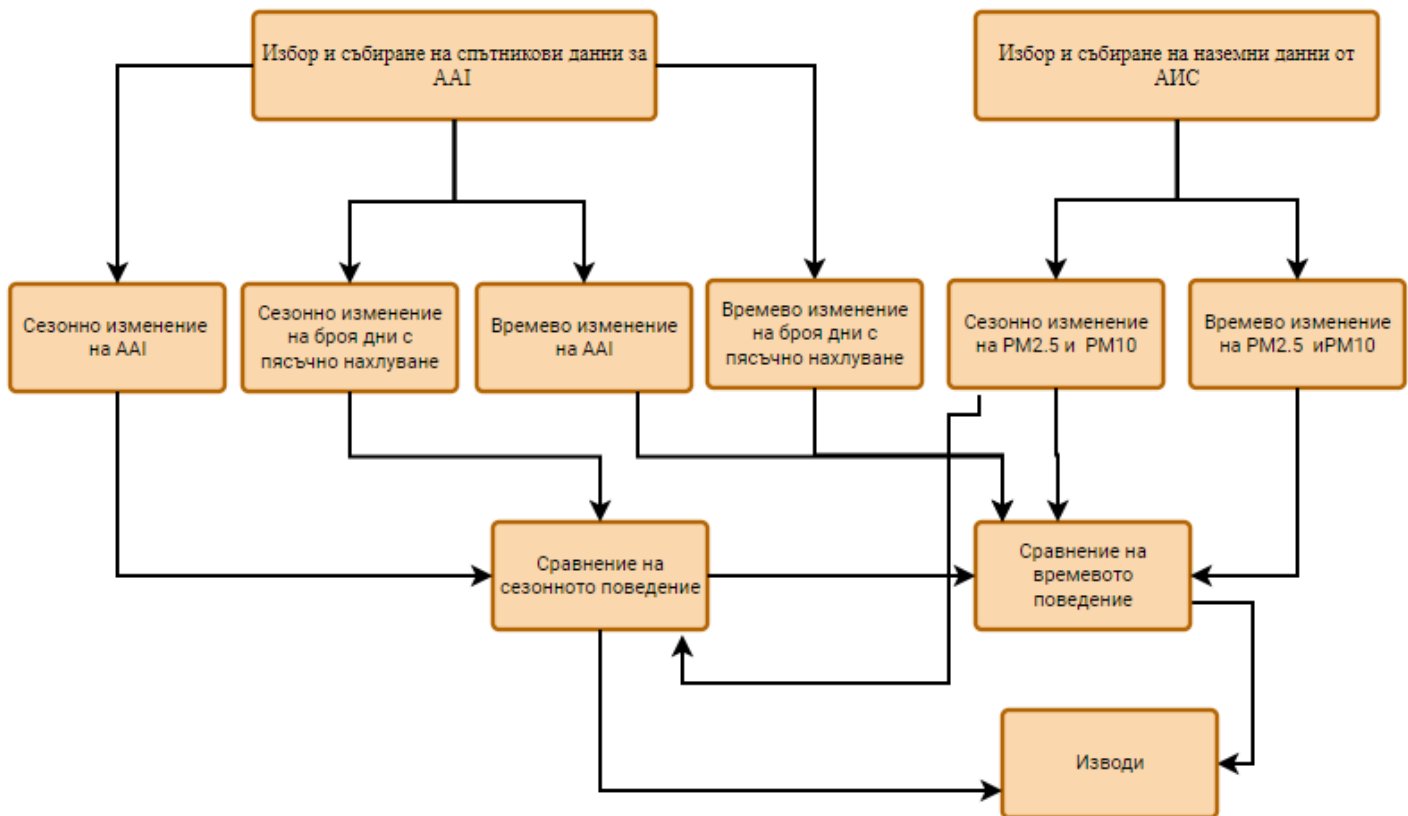
За сравнение с наземните измервания са използвани данни от АИС на дневна база, които са усреднени по години. За повечето станции българския портал КАВ предоставя и средногодишни данни за периода 2015-2023.

За мониторинг на праховите нахлувания от Африка са използвани ежедневни спътникови данни със средна разделителна способност от 250 метра в оптичния диапазон от инструмент MODIS, базиран на борда на спътниците Terra и Aqua [10, 11], както и спътникови данни с ниска пространствена разделителна способност от 40 км от инструмента GOME-2, базиран на метеорологичните спътници EUMETSAT и инструмент Tropomi от спътника Sentinel 5P от портала TEMIS [12].

Данните от източник [10] вече не са налични, но се съхраняват като архив на секция Аерокосмическа информация към ИКИТ-БАН.

Влиянието на пясъчните нахлувания от Африка върху атмосферното запрашаване над България може да се отчете единствено на места, където локалните източници на прах са сведени до минимум. Повечето АИС са разположени в големите градове или в изцяло промишлени райони. Единствено АИС Рожен отговаря напълно на изискването за отдалеченост от антропогенни прахови източници.

## 2.4 Схема на използваната методика



Фигура 2.15 Схема на използваната методика

## 2.5.Изводи към Глава 2

1. Данните от MODIS са подходящ източник на информация за регистриране значителни по размер наводнения, пожари и атмосферни замърсявания, както и за проследяване на динамиката на продължителни пожари и наводнения. След регистрирането им, тези явления могат да бъдат изследвани по-подробно чрез подходящи данни със средна и висока разделителна способност.

2. Данните от метеорологичните спътници с ниска разделителна способност са подходящи за проследяване на продължителни глобални явления.

3. Данните от АИС дават възможност за регистриране на локални атмосферни замърсявания и други екологични процеси

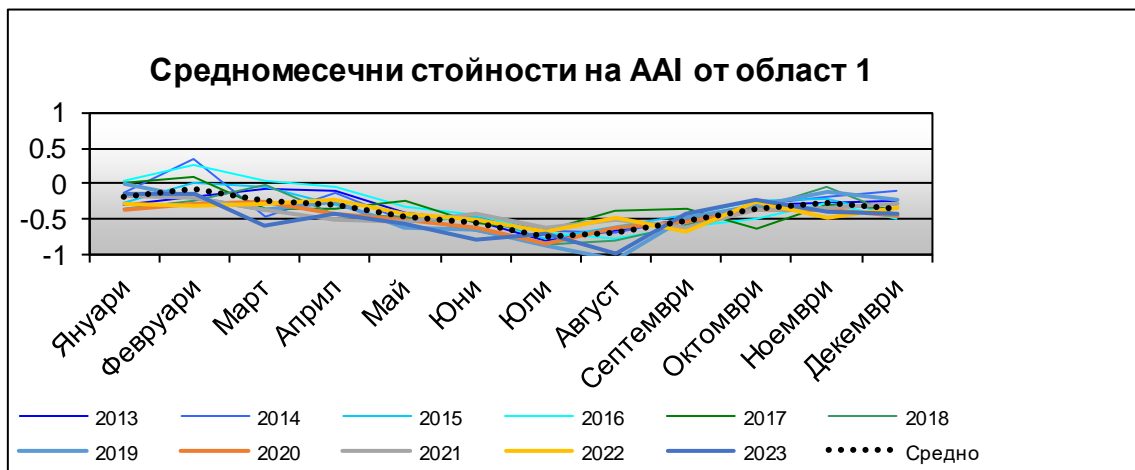
4. Комбинираното използване на данни от АИС и спътникови данни е една добра база за екологичен мониторинг на територията на България.

## ГЛАВА 3

### РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

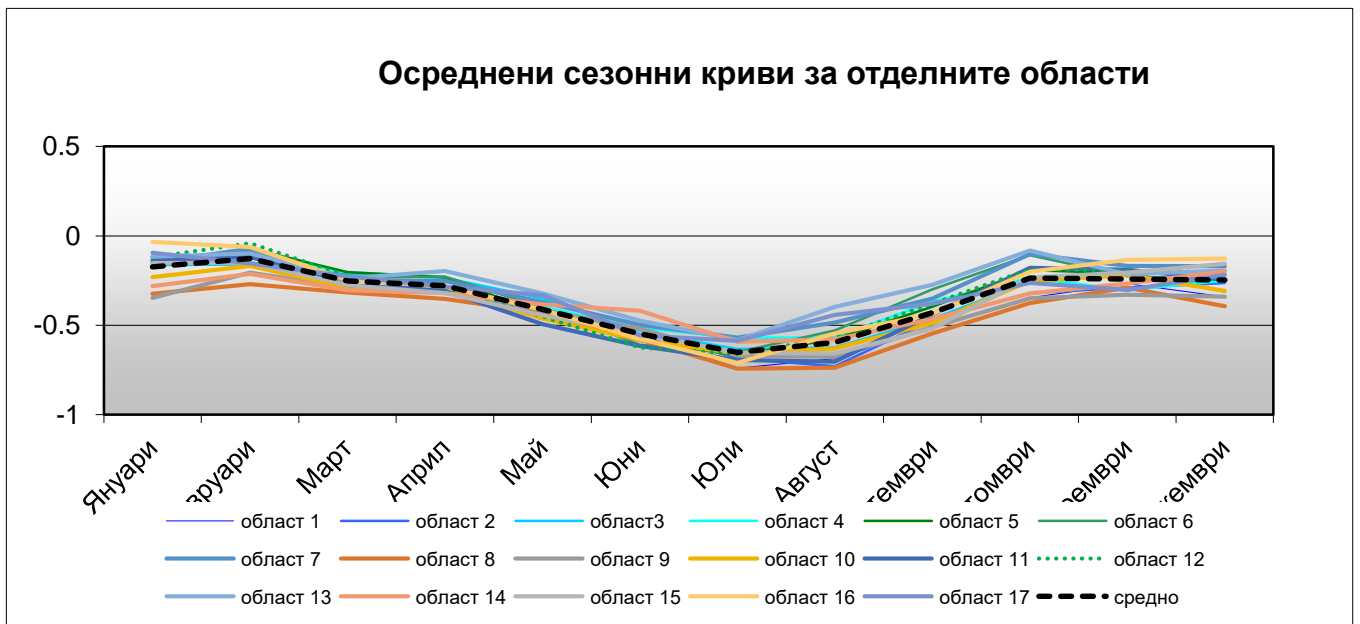
#### 3.1 Прахово замърсяване по спътникови данни

За всичките 17 области, показани на фигура 2.9 от глава 2, са взети средномесечните стойности на ААІ, по които са построени сезонни графики за всички 11 години. Един пример за това е показан на фигура 3.1.



Фигура 3.1 Средномесечни стойности на ААІ от област 1

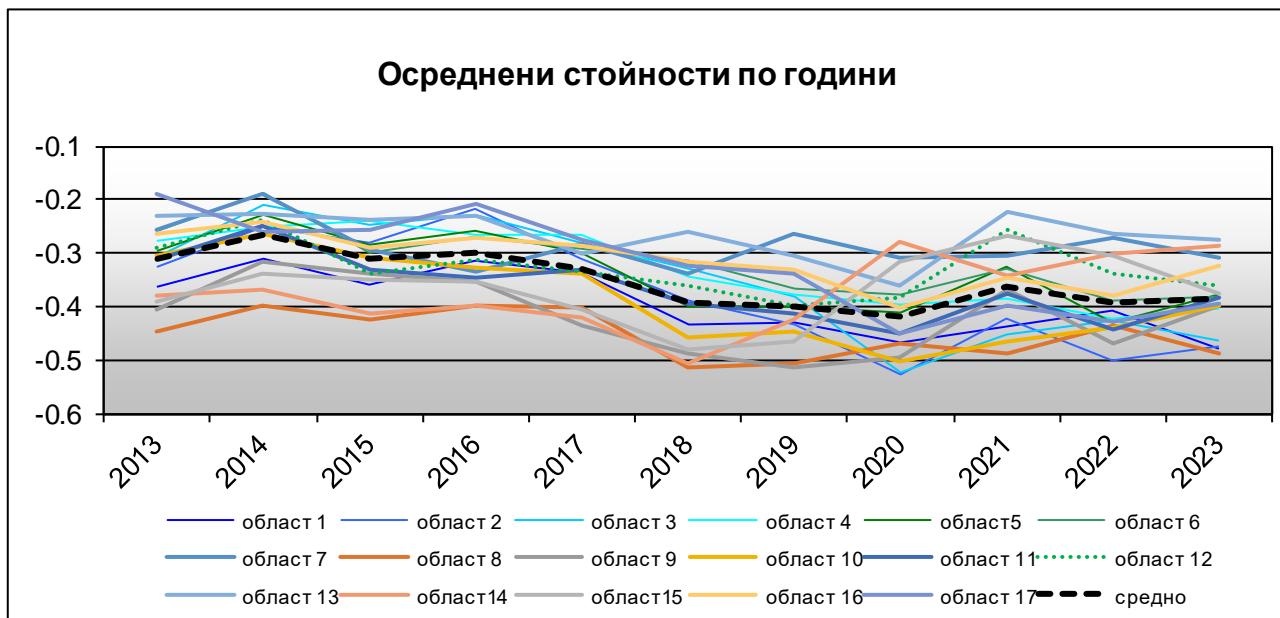
Получените усреднени сезонни криви за отделните области са обединени и показани на фигура 3.2



Фигура 3.2 Осреднени сезонни криви за отделните области

Както се вижда от фигурата, аерозолният индекс във всичките 17 области показва близко поведение.

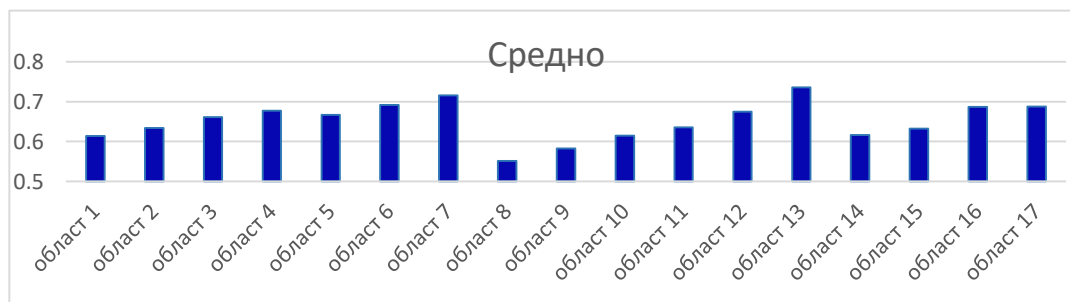
За получаване на времевото и пространствено поведение на ААІ, са използвани усреднени по години стойности, на чиято база е построена графиката от фиг. 3.3



Фигура 3.3 Осреднени стойности по години

На фигура 3.4 са показани усреднените годишни стойности за 11 годишния период за всяка една област.

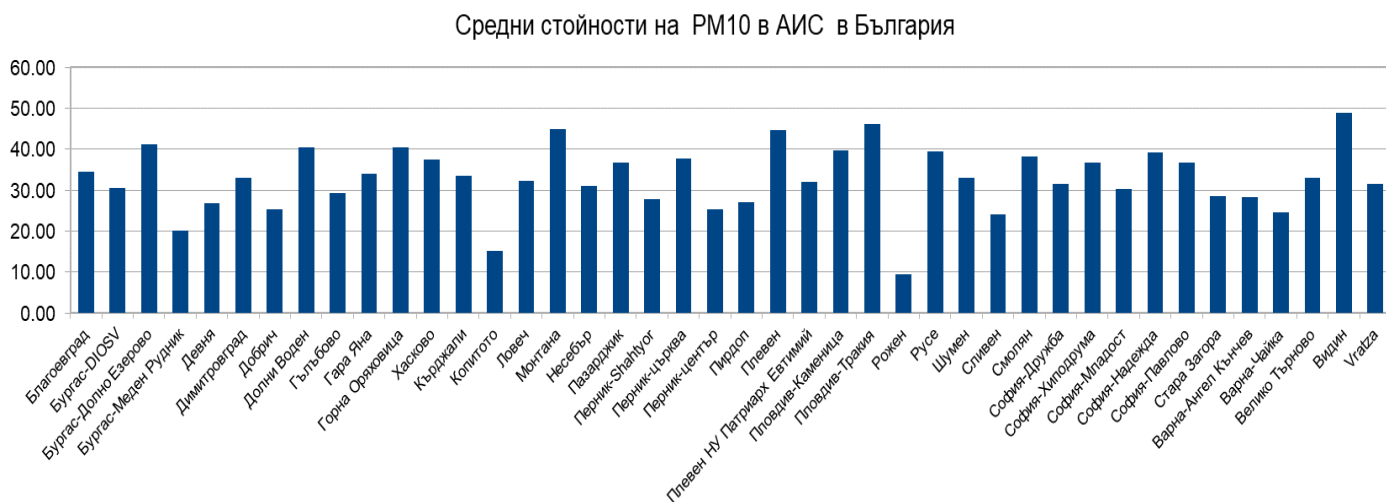
Както се вижда, средните стойности на ААІ за отделните области силно се различават, като най-замърсени са източните области, тези около Бургас (област 13) и Варна (област 7).



Фигура 3.4 Осреднените годишни стойности за 11 годишния период по области

### 3.2. Прахово замърсяване по наземни данни

На фиг. 3.5 са представени средните стойности на PM10 за всички 41 АИС, усреднени за периода 2013-2022 година.



Фигура 3.5 Измерени средни стойности на PM10 за периода 2013-2022 година в различните АИС в България

Броят на станциите с превишаване на ПДН също спада с годините, като през последните 2 години няма станция с превишаване на ПДН. През отделните години превишавания са наблюдавани както следва:

2013 — в 19 АИС като максималната стойност е 62.18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  в Пловдив-Каменица

2014 – в 21 станции, като максимум се наблюдава в Монтана – 64  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

2015 – в 13 станции – максимум във Видин – 69.97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

2016 – в 13 станции

2017 – в 11 станции

2018 – в 7

2019 – в 6

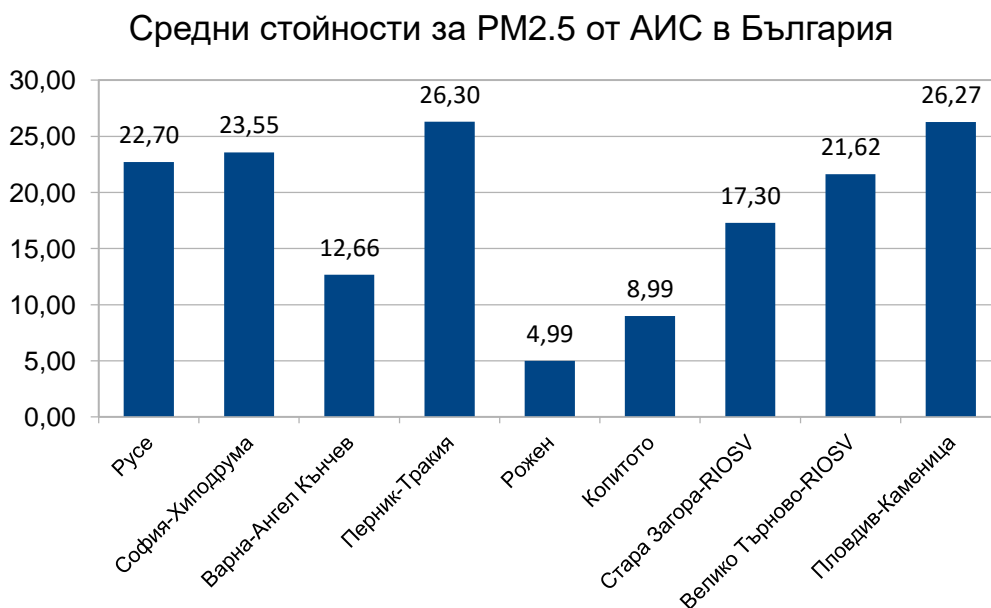
2020 – единствено в Пловдив - Тракия

На фигура 3.6 е представена същата информация за PM2.5

Както се вижда от фигурата, отново се наблюдава превишаване на пределно допустимата норма в две станции

- Пловдив — Каменица

- Перник - църква

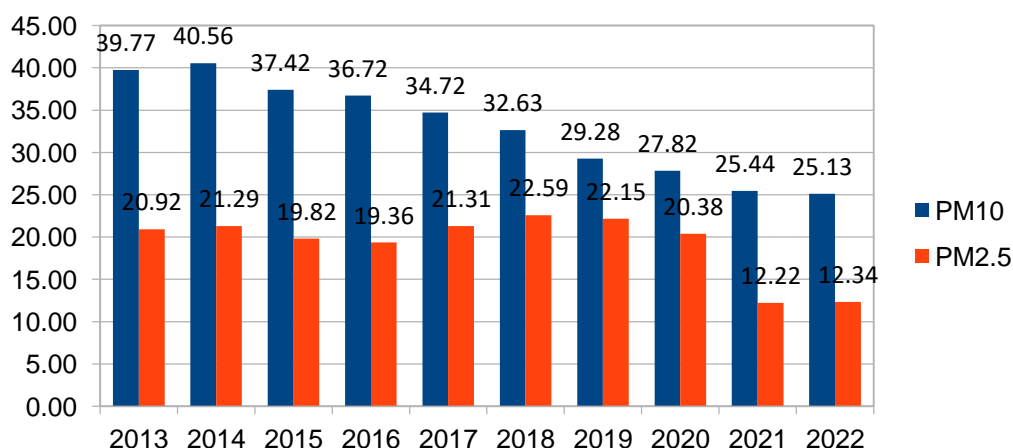


Фигура 3.6 Измерени средни стойности на PM2.5 за периода 2013-2022 година в различните АИС в България

На фигура 3.7 е представена средната за страната стойност на PM2.5 и PM10 по години за периода 2013-2022.



### Разпределение на средногодишните стойности



Фигура 3.7 Разпределение на средногодишните стойности на PM2.5 и PM10 по години

Както се вижда от фигурата, за 2013 година средната стойност на PM10 от АИС в България е на границата на ПДН, а за 2014 година я превишава. За PM2.5 превишение не се наблюдава.

Основната тенденция, обаче, особено за PM10 е към трайно и драстично намаляване. За целия период от 10 години се наблюдава спад с 36.82 % от началната стойност и 38.05% от максималната.

За PM2.5 поведението е по-колебливо, но съответното спадане е по-осезаемо — съответно 41.04% от началната стойност, като през последните две години средната стойност е на под половината от ПДН.

#### 3.2.1 Анализ на резултатите за PM10 период 2013-2023 година за 19 АИС на територията на България

През 2013 година не е превишена СГН от 40 µg/m<sup>3</sup> в градовете Благоевград, Ловеч, Кърджали, Сливен, Шумен, Добрич, Варна и Несебър.

Най-много отново се проявяват във Пловдив, а най-слабо в Добрич.

През 2014 година не е превишена СГН от 40 µg/m<sup>3</sup> в градовете Благоевград, Перник, Ловеч, Кърджали, Сливен, Добрич, Варна и Несебър.

Най-много се проявяват във Видин, а най-слабо в Добрич.

През 2015 година е превишена СГН от 40 µg/m<sup>3</sup> в градовете Видин, Перник, Благоевград, Плевен, Ловеч, Смолян, Русе, Горна Оряховица, Димитровград и Бургас.

Най-много се проявяват във Видин, а най-слабо в Добрич.

През 2016 година е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  в градовете Видин, Благоевград, Плевен, Пловдив, Смолян, Горна Оряховица, Димитровград и Бургас.

Най-много отново се проявяват във Видин, а най-слабо в Сливен.

През 2017 година е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  в градовете Видин, София, Плевен, Пловдив, Горна Оряховица и Бургас.

Най-много се проявяват в Горна Оряховица, а най-слабо в Стара Загора.

През 2018 година е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  в градовете Видин, Горна Оряховица и Бургас.

Най-много се проявяват във Видин, а най-слабо в Стара Загора.

През 2019 година е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  във Видин. Най-слабо се проявява във Сливен.

През 2020 година не е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Най-силно се проявяват във Видин и Бургас, а най-слабо в Димитровград.

През 2021 година не е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - запазва се тенденцията от най-силна проява във Видин и най-слаба в Димитровград.

През 2022 година не е превишена СГН от 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Най-много се проявяват Русе и Бургас, а най-слабо в Димитровград и Сливен.

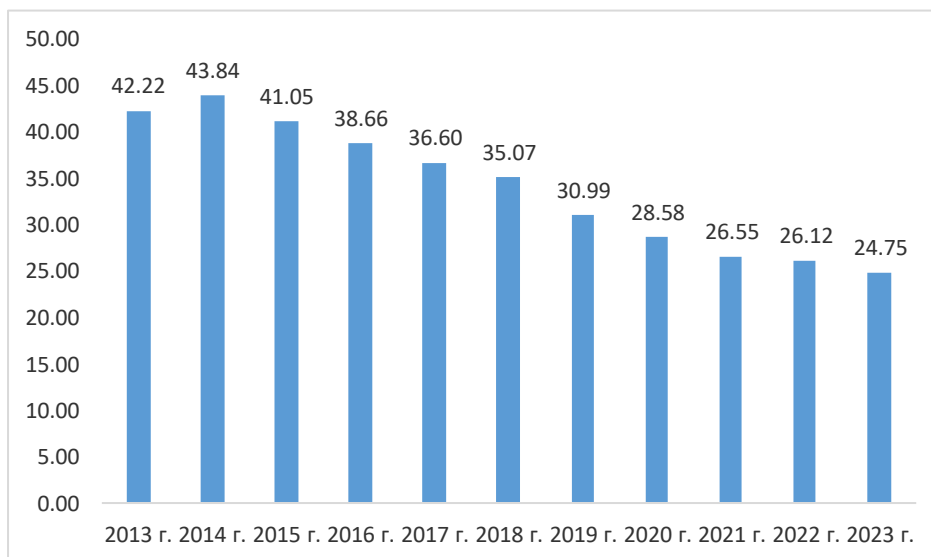
През 2023 година СГН е под 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Най-силна проява има в градовете Видин, София, Русе и Бургас, а най-слабо в Ловеч и Перник.

### 3.2.2. Статистика на среден резултата за територията на България за период 2013-2023 година

Фини прахови частици <10 $\mu\text{m}$ (PM10)	
Година	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2013 г.	42.22
2014 г.	43.84
2015 г.	41.05
2016 г.	38.66
2017 г.	36.60
2018 г.	35.07
2019 г.	30.99
2020 г.	28.58
2021 г.	26.55
2022 г.	26.12
2023 г.	24.75

Таблица 3.1 Фини прахови частици <10 м (PM10) за период 2013-2023 година

Наблюдава се значително понижаване на средната стойност на PM10 в рамките на изследвания период. Проявяването им през 2023 година е приблизително 41% по-малко в сравнение с началния период-2013 година. В интервала 2013 г-2015 година няма значителна разлика, в три години намаляването продължава и от 2019-2023 г. се наблюдават стойности, които са значително по-малки.



Фигура 3.8 Среден резултат за територията на България за период 2013-2023 година

2013-2023 година	
Извадково средно	33.22
Стандартна грешка на средното	2.14
Медиана	33.03
Стандартно отклонение	6.76
Извадкова дисперсия	45.73
Ексцес	-1.46

Асиметрия	0.23
Размах	19.08
Минималната стойност в извадката	24.75
Максимална стойност в извадката	43.84
Сумата от стойностите на вариантите в извадката	332.20
Обем на извадката	11.00

*Таблица 3.2 Статистически показатели на среден резултат за територията на България за период 2013-2023 година*

Мерки за централна тенденция са извадковото средно и медианата, които показват, че средната стойност на наличие на фини прахови частици <10  $\mu\text{m}$  (PM10) за период 2013-2023 година е около 33.

Мерките за разсейване (вариране) са дисперсията, стандартното отклонение, размаха и стандартната грешка.

Показателите, характеризиращи формата на разпределението на извадката, т.е вариационната крива са асиметрията и ексцеса.

Мерки в личен план при наднормени концентрации на ФПЧ: - да се намали времето, прекарвано навън, в периодите с повишени концентрации на ФПЧ в атмосферния въздух. - когато престоят на открито през периодите с повишени нива на прах е неизбежен, са препоръчителни дейности, свързани с по-леко физическо натоварване. - ползване на маски за кратък период при придвижване по пътя от дома до работното място. През зимния период могат да се ползват и плътни шалове, които не само филтрират, но и затоплят вдишания въздух; - консумация на плодове и зеленчуци, като източници на витамини и антиоксиданти.

### 3.3. Пясъчни нахлувания от Африка над страната – времево и сезонно поведение

На фигура 3.9 е показано времевото изменение на броя прахови нахлувания от Африка над територията на България за периода 2004-2023 година.



Фигура 3.9 Времево изменение на броя прахови нахлувания от Африка над територията на България за периода 2004-2023 г.

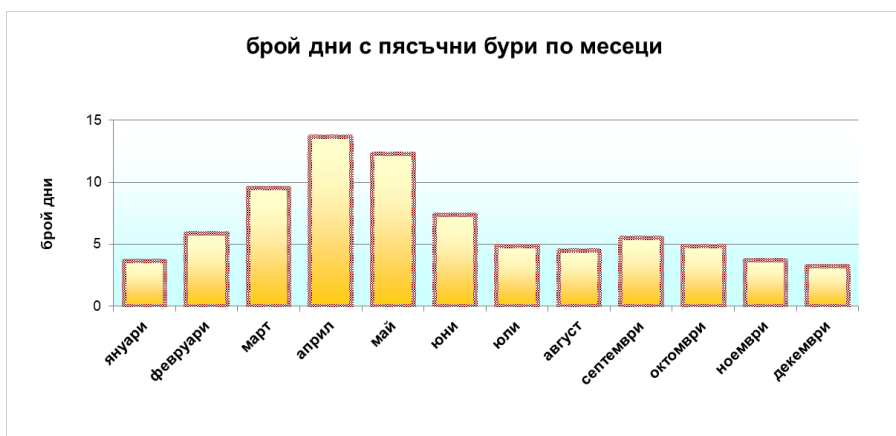
Както се вижда, за целия период няма единна тенденция на намаляване или увеличаване на броя дни за година.

На фигура 3.10 е представено времевото изменение на броя дни с прахови нахлувания по години само за изследвания 11 годишен период. Тук ясно се забелязва тенденция към покачване на броя дни, съответно, на количеството прах от Сахара, пренасян към територията на България.



Фигура 3.10 Времево изменение на броя дни с прахови нахлувания в период 2013-2023 година

На фигура 3.11 е представено сезонното изменение на броя дни с прахови нахлувания по години само за изследвания 11 годишен период.



Фигура 3.11 Сезонно изменение на броя дни с прахови нахлувания в период 2013-2023 година

Както се вижда, ясно изразен максимум има през пролетните месеци – април и май.

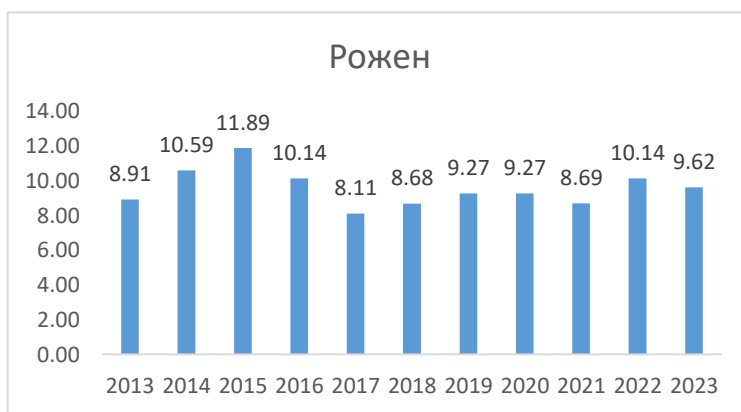
### 3.4. Сравнителни анализи на резултатите

#### 3.4.1 Сравнение на сезонното поведение на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и сезонното поведение на праховото замърсяване , измерено от АИС Рожен.

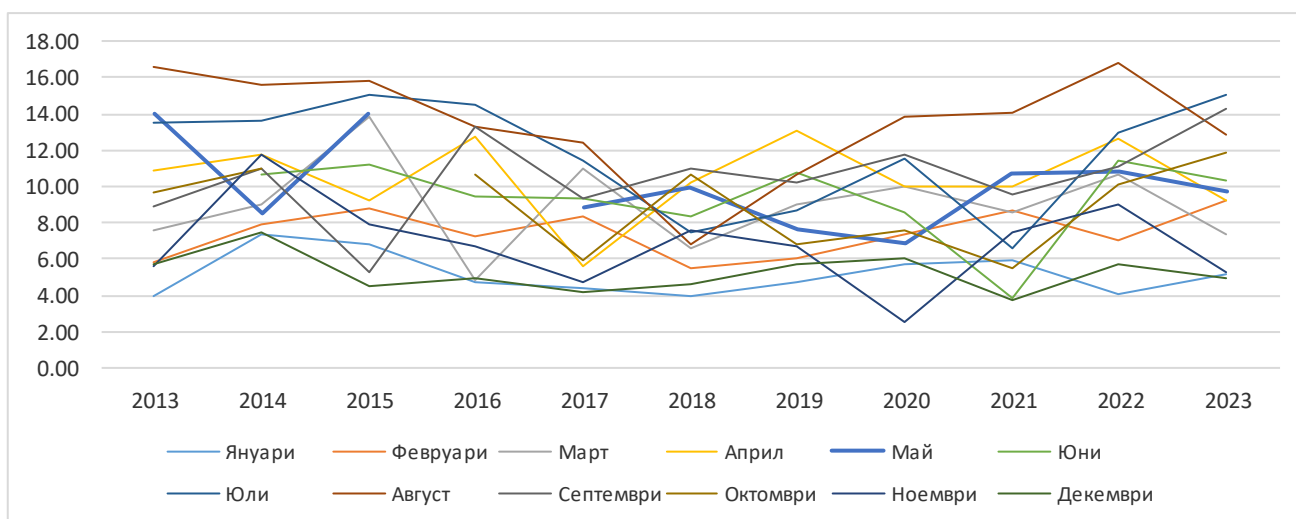
Станцията за комплексен фонов мониторинг КФС “Рожен” е разположена в южната част на планинския масив Родопи на връх „Рожен”, южно от гр. Чепеларе и на север от гр. Смолян.

Фоновият мониторинг е насочен към получаване на пълна, обективна и комплексна информация за съвременното състояние на биосферата и нейните отделни компоненти на фоново ниво.

КФС „Рожен” работи в непрекъснат режим на работа (24 часа), като данните за качество на атмосферния въздух (КАВ) от нея постъпват в реално време в регионалния диспечерски пункт (РДП) в РИОСВ - Смолян и в ИАОС, гр. София, където е разположена Националната база данни за КАВ.

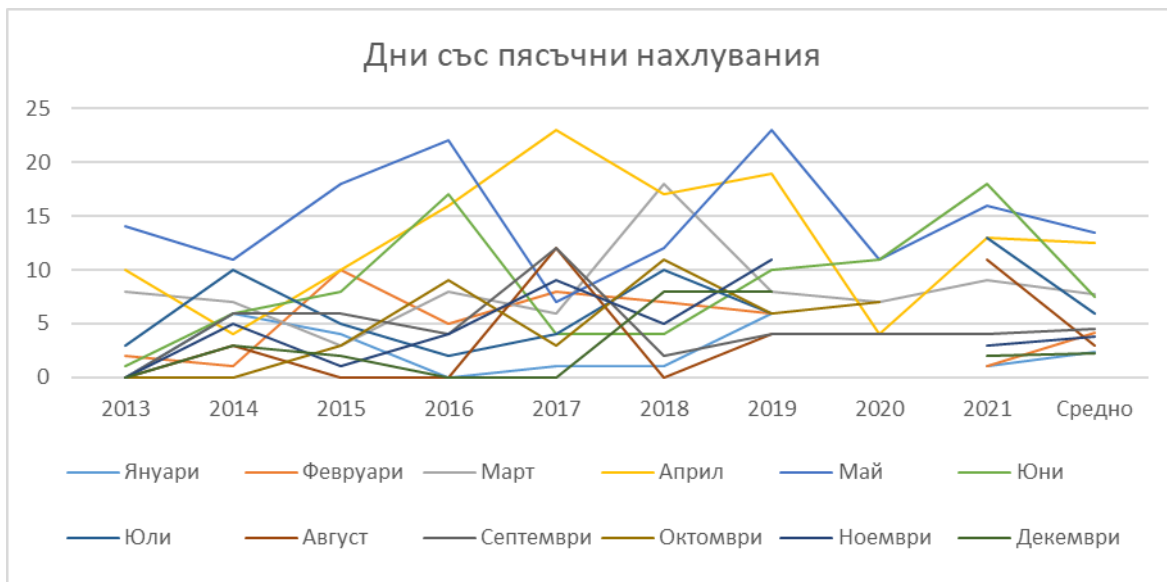


Фигура 3.12 КФС Рожен



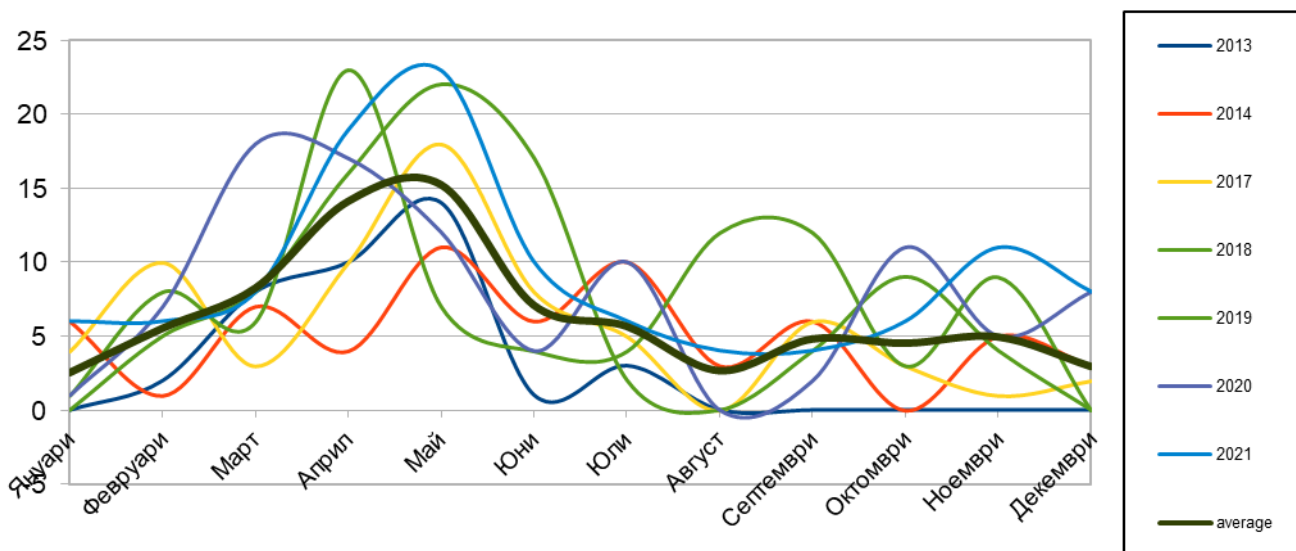
Фигура 3.13 Средномесечни криви по години од наземни данни КФС Рожен

От графиката се забележува, че максимума през годините се достигнува през пролетните и летни месеци, а минимума през зимните.



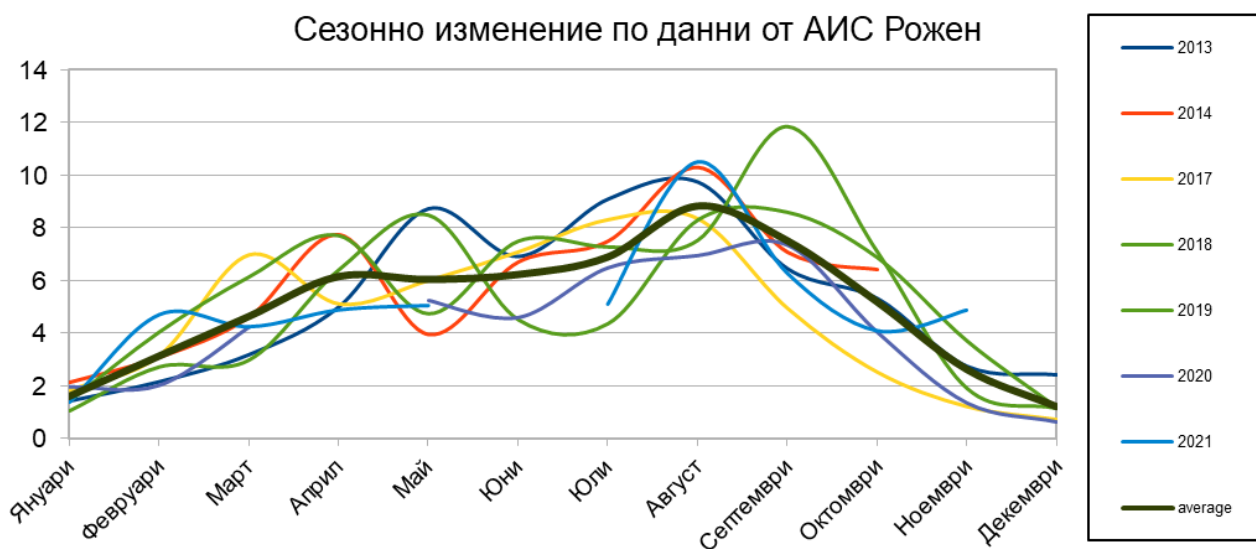
Фигура 3.14 Средномесечни криви по години от спътникови данни  
Рожен

Ясно изразен е максимума през април и май и минимума през зимните месеци  
От графиките за периода 2013-2021 г. се забелязва, че максимум варира през пролетните и летни месеци, а минимума през есенните и зимните.

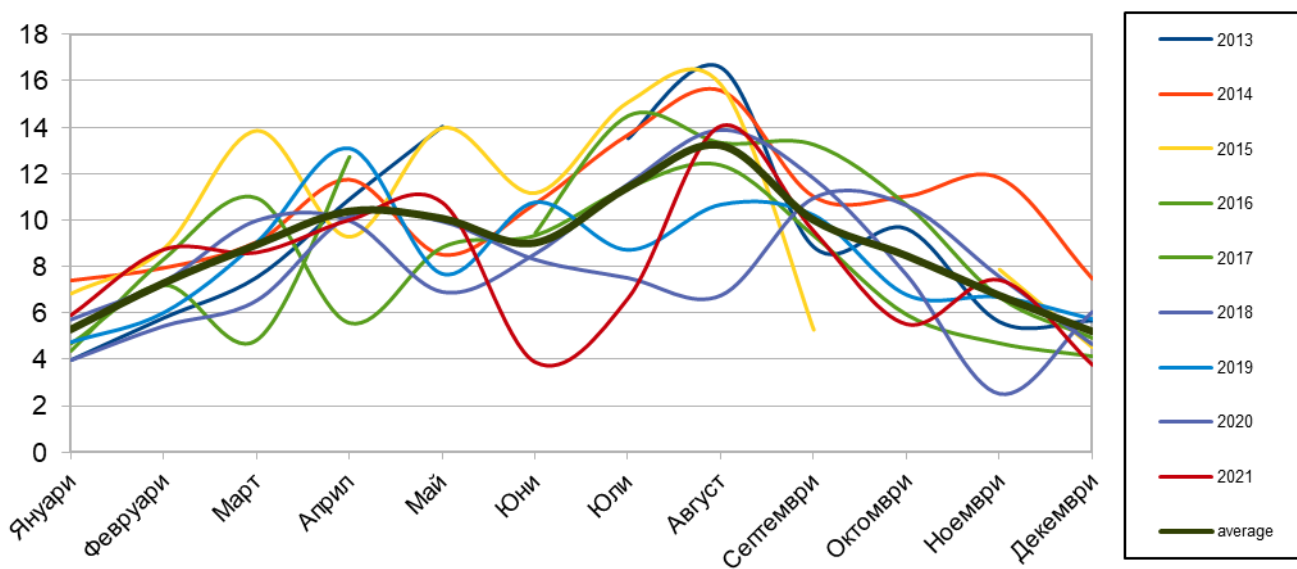




Фигура 3.24 Сезонно изменение на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка към територията на в България



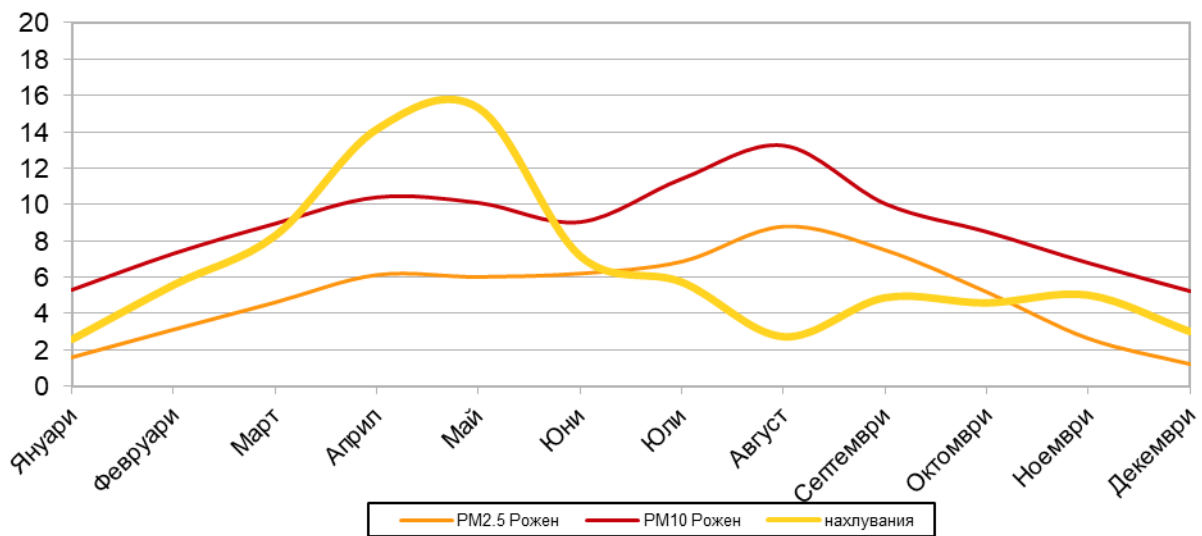
Фигура 3.25 Сезонно изменение на  $PM_{2.5}$  за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен



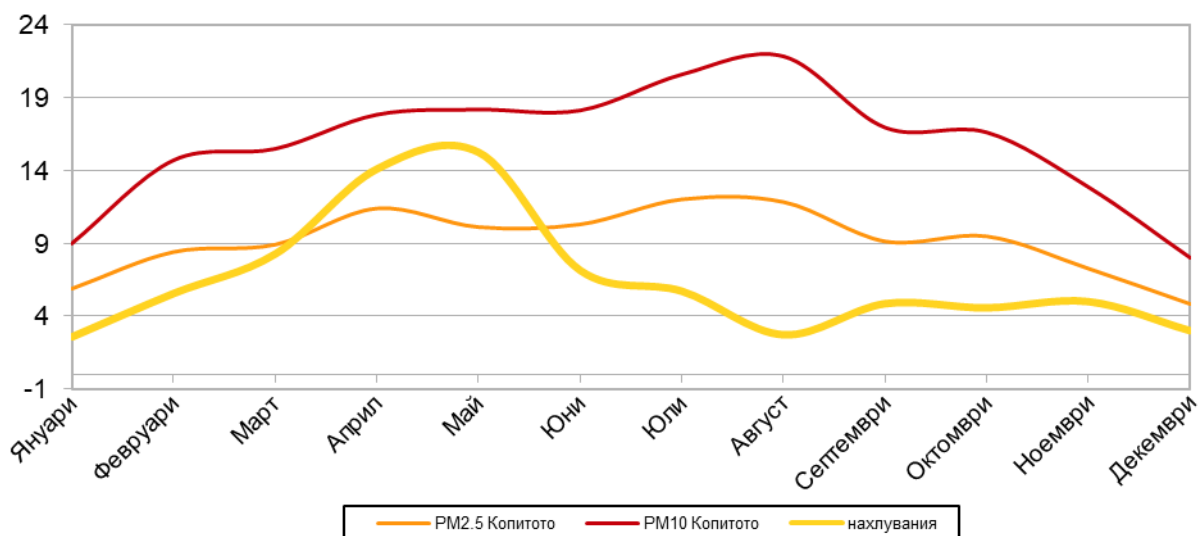
Фигура 3.26 Сезонно изменение на  $PM_{10}$  за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен

### 3.4.2 Сравнение на сезонното поведението на ААІ и сезонното поведение на броя дни с пясъчни нахлувания

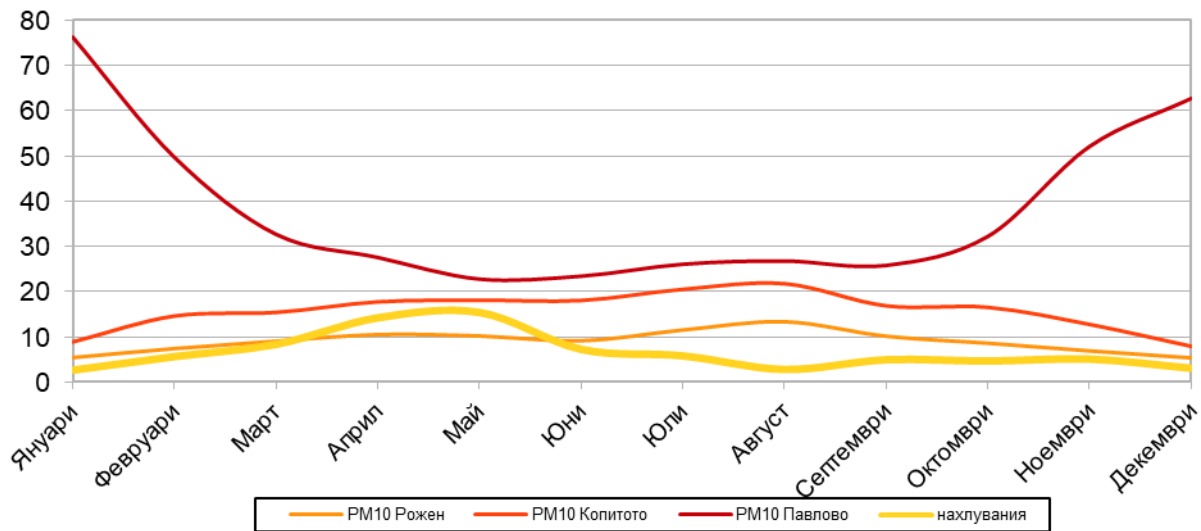
На фигура 3.18 е представено сравнение на средните сезонни криви за параметрите, показани на предходните 3 фигури.



Фигура 3.27 Сезонно изменение броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM2.5 и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен



Фигура 3.28 Сезонно изменение броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM2.5 и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Копитото



Фигура 3.29 Сезонно изменение броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Рожен, Копитото и Павлово

На фигура 3.28 е представено сезонното поведение на PM2.5 и PM10, измерени от АИС Копитото, сравнени с броя дни на пясъчни нахлувания от Африка.

На фиг.3.29 сезонното поведение на измерванията за PM10 от АИС Рожен и Копитото е сравнен с поведението на PM10, измерен от АИС Павлово.

На фиг. 3.24, 3.25 и 3.26 липсват данни за 2015 и 2016 години, защото за този период няма данни от измерването на PM2.5 от АИС Рожен. За всички останали графики и сравнения са използвани данни от всичките девет години за периода 2013-2021 година. За 2022 година липсват данни за PM2.5 и от двете АИС Рожен и Копитото, затова тази година не е използвана.

От графиката на фиг. 3.29 ясно се забелязват три различни източника на прахово замърсяване, регистрирани по данни от АИС.

Най-голям принос в градска среда са праховите частици от антропогенни източници, които показват максимална стойност през зимните месеци януари, февруари, ноември и декември.

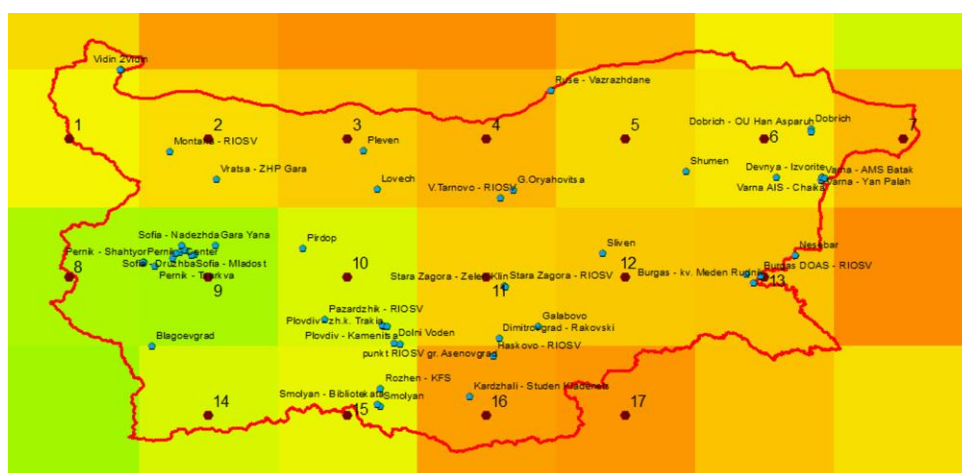
На второ място се проявяват праховите частици от естествен местен характер – максимум през август, които се дължат на разнасяне на прах и почва от земната повърхност

при горещо и сухо време. Този източник е основен за районите извън големите градове. Това се потвърждава от графиките на фигура 3.27, 3.28 и 3.29.

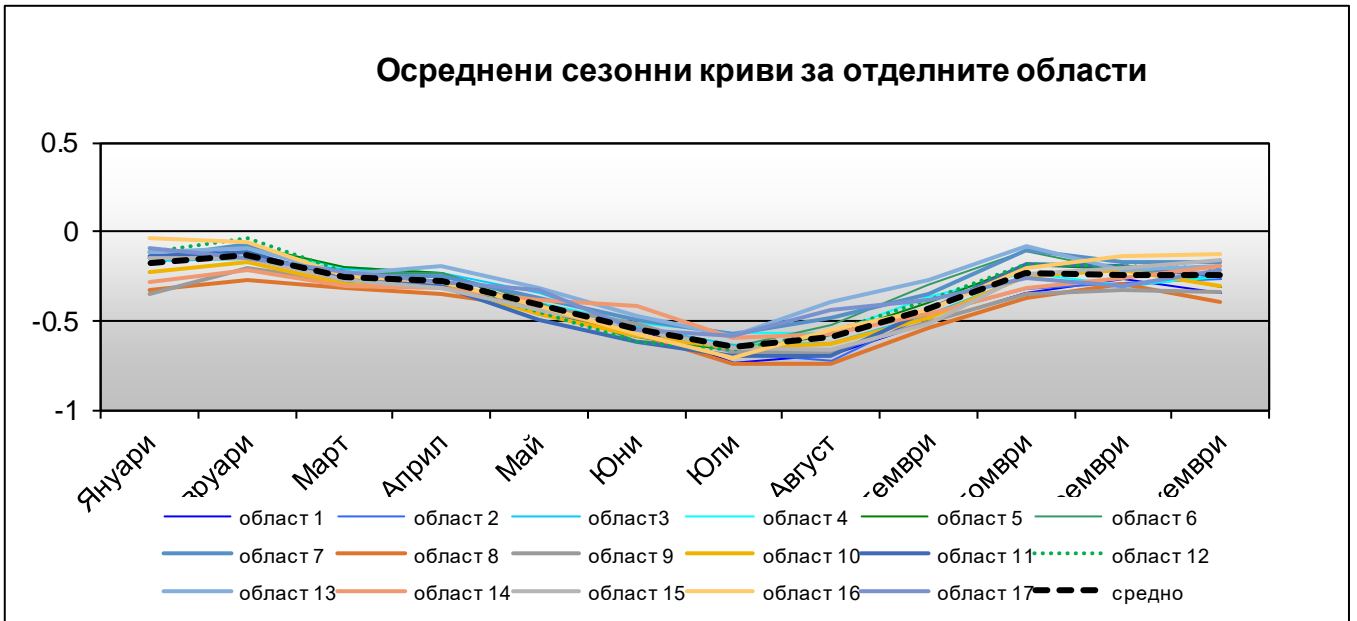
Трети, най-нисък максимум се наблюдава през пролетните месеци април и май. Той отговаря на максимума в броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и се дължи на далечен прахов пренос.

Максимумите през пролетните месеци за всяка отделна година, показани на фигури 3.24, 3.25 и 3.26 си съответстват, като се наблюдава и леко изместване. Това се дължи на климатичните особености, а именно на валежите от мръсен запрашен дъжд, предизвикани от кондензационните пясъчни ядра при по-голяма влажност на въздуха.

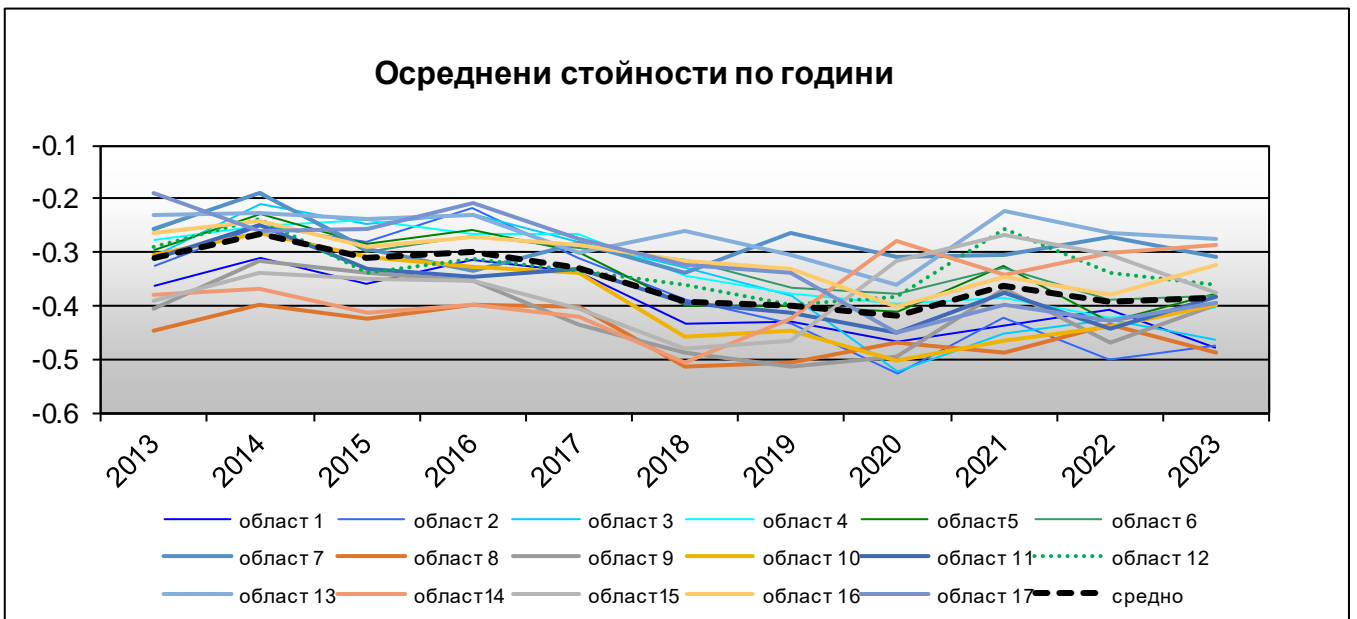
### 3.4.3. Сравнение на поведението на ААІ и наземните измервания по области



Фигура 3.30 Области на територията на България



Фигура 3.31 Осреднени сезонни криви за отделните области

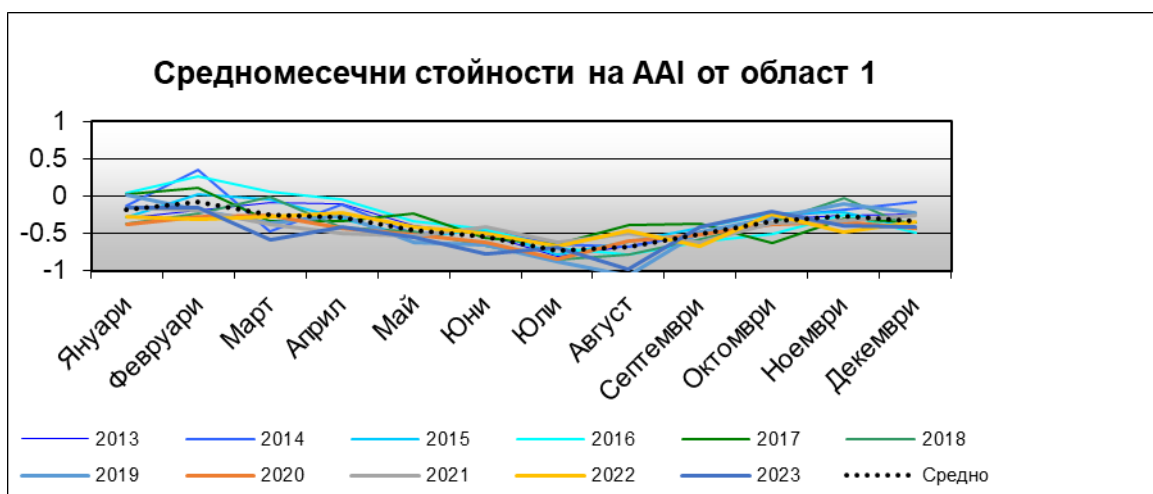


Фигура 3.32 Осреднени стойности по години



Фигура 3.33 Средни стойности по области

Най-голяма стойност се наблюдава в област 13, а най-малка в област 8.



Фигура 3.34 Средномесечни стойности на ААІ от област 1



Фигура 3.35 Сезонно изменение на PM10 за 2023 г. по данни от АИС Видин, намиращ се в област 2

От графиките се вижда, че през 2023 година се наблюдава следното сезонно изменение на PM10:

Югозападен район- максимум през октомври, декември, а минимума през май и юни.

Югоизточен район- максимум през декември, а минимум през ноември, януари.

Североизточен район- максимум през октомври, а минимум през ноември.

Северозападен- максимум през януари, февруари, а минимум през ноември.

Област 9 е пропусната, защото е проследено вече сезонното изменение на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM2.5 и PM10 за периода 2013-2021 година по данни от АИС Копитото и Павлово, намиращи се в тази област.

Област 15 е пропусната по същата причина- в не я попада АИС Рожен, по чиито данни и там е проследено сезонно изменение на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка и PM2.5 и PM10 за периода 2013-2021 г.

### **3.5. Изводи към глава 3**

1. Праховото замърсяване над България показва ясно изразен спад за единадесет годишния период 2013-2023, както по спътникови, така и по наземни данни.

2. Праховото замърсяване над България показва ясно изразен сезонен ход с максимум през зимните месеци, минимум през лятото - основно през юли, като показва леко завишаване и през месеците април и май.

3. Праховото замърсяване е максимално в източна България и минимално в планинските региони на западна България.

4. Броят пясъчни нахлувания за същия 11 годишен период показва тенденция към повишаване

5. Основният принос на праховите нахлувания от Африка към общото прахово замърсяване се изразява основно през пролетните месеци април и май, когато естествените и антропогенни източници в страната са минимално активни.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение може да се каже, че комбинирането на данни от различни източници силно разширява кръга от явления, които могат да бъдат изследвани с тяхна помощ. Данните от MODIS са подходящ източник на информация за регистриране значителни по размер наводнения, пожари и атмосферни замърсявания, както и за проследяване на динамиката на продължителни пожари и наводнения. След регистрирането им, тези явления могат да бъдат изследвани по-подробно чрез подходящи данни със средна и висока разделителна способност. Данните от метеорологичните спътници с ниска разделителна способност са подходящи за проследяване на продължителни глобални явления. Данните от АИС дават възможност за регистриране на локални атмосферни замърсявания и други екологични процеси. Комбинираното използване на данни от АИС и спътникови данни е една добра база за екологичен мониторинг на територията на България.

Праховото замърсяване над България показва ясно изразен спад за единадесет годишния период 2013-2023, както по спътникови, така и по наземни данни. Има ясно изразен сезонен ход с максимум през зимните месеци, минимум през лятото - основно през юли, като показва леко завишаване и през месеците април и май и е максимално в източна България и минимално в планинските региони на западна България.

Тенденция към повишаване на брой пясъчни нахлувания се наблюдава в същия 11 годишен период. През пролетните месеци април и май е основният принос на праховите нахлувания от Африка към общото прахово замърсяване.

## ПРИНОСИ

Установено е времето, пространственото и сезонно изменение на праховите замърсявания над България по спътникови и наземни данни за 11 годишен период.

Установено е времето и сезонно изменение на пясъчните нахлувания към територията на България за 11 годишен период по спътникови данни.

Установена е ясна тенденция на спад на замърсяванията над страната, както по спътникови, така и по наземни данни, като по-силен спад се наблюдава в големите градове на страната.

Установена е изявена разлика в териториалното разпределение на праховите замърсявания, като те са максимални в източна и спадат към западната част на страната.

Установена е тенденция на покачване на броя дни с пясъчни нахлувания от Африка към територията на България

Установен е приносът на пясъчните нахлувания от Африка към общото прахово замърсяване, което е максимално през пролетните месеци април и май.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Йорданка Прегьова, Праховите бури и тяхното екологично значение, Научни трудове, том III, изд. Съюз на учените България, Смолян, 2022 г., ISSN: 1314-9490, стр. 288

Йорданка Прегьова, Пясъчни нахлувания към Балканите, Сборник с доклади от национална научна конференция с международно участие „Образование, наука, общество“, Смолян, 2022 г., ISBN 978-619-7663-43-3, стр. 658

Йорданка Прегьова, Мария Димитрова  
Прахово замърсяване на територията на България по наземни данни , Сборник доклади SES 2023, ISSN -ISSN 2603 – 3313, стр. 174-178

Мария Димитрова, Йорданка Прегьова  
Сравнение на сезонното изменение на праховото замърсяване по наземни данни и пясъчните нахлувания от Африка, регистрирани по спътникови данни, Сборник доклади SES 2023, ISSN -ISSN 2603 – 3313, стр. 169-173

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Димитрова М. (2016). Критерии за приложимост на спътникови данни от различни оптични източници за изследване на явления от екологично значение. Екологично инженерство и опазване на околната среда, книжка 3/2016, с. 56-59, ISSN 1311-8668
2. Димитрова М., Гочев Д., Тренчев П., (2018) Избор на спътникови снимки за регистриране и изследване на пясъчни бури от Африка, насочени към Балканския полуостров -Международна научна конференция София, 2018 г.
3. Димитрова М., Сезонни промени на транспорта на прах от пустинята Сахара над балканите, 33, 2021
4. Мардироян Г., (2020) Природни бедствия и екологични катастрофи, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, София, 2020 г.
5. Мардироян, Г. Основи на дистанционните аерокосмически технологии, НБУ, 2015, 238 с. ISBN 978-954-535-882-1
6. Мардироян, Г. Космически технологии за изучаване на прахови бури. Природа, БАН, бр. 1/2018, 32–37
7. Стоименов А., Вацева Р., (1998) Спектралните сигнатури на природни обекти като елемент на компютърната картография и ГИС. 100 години картография в Софийски университет- Международна научна конференция София, 1998 г.
8. Alpert, P., Kishcha, P., Shtivelman, A., Krichak, S. O., and Joseph, J. H. (2004). Vertical Distribution of Saharan Dust Based on 2.5-year Model Predictions. Atmos. Res. 70 (2), 109–130. doi:10.1016/j.atmosres.2003.11.001
9. Avila, A., Queralt-Mitjans, I., and Alarcón, M. (1997). Mineralogical Composition of African Dust Delivered by Red rains over Northeastern Spain. J. Geophys. Res. 102 (D18), 21977–21996. doi:10.1029/97JD00485
10. Balkanski, Y., Schulz, M., Claquin, T., and Guibert, S. (2007). Reevaluation of Mineral Aerosol Radiative Forcings Suggests a Better Agreement with Satellite and AERONET Data. Atmos. Chem. Phys. 7, 81–95. doi:10.5194/acp-7-81-2007
11. Barkan, J., Kutiel, H., and Alpert, P. (2004). Climatology of Dust Sources in North Africa and the Arabian Peninsula, Based on TOMS Data. Indoor Built Environ. 13 (6), 407–419. doi:10.1177/1420326x04046935

12. Bottyán, E., Czuppon, G., Weidinger, T., Haszpra, L., and Kármán, K. (2017). Moisture Source Diagnostics and Isotope Characteristics for Precipitation in East Hungary: Implications for Their Relationship. *Hydrological Sci. J.* 62 (12), 2049–2060. doi:10.1080/02626667.2017.1358450
13. Bücher, A., and Lucas, G. (1984). Sédimentation éolienne intercontinentale, poussières sahariennes et géologie. *Bull. Cent. Rech. Elf.* E 8, 151–165.
14. Buzzi, A., Tartaglione, N., and Malguzzi, P. (1998). Numerical Simulations of the 1994 Piedmont Flood: Role of Orography and Moist Processes. *Mon. Wea. Rev.* 126 (9), 2369–2383. doi:10.1175/1520-0493(1998)126<2369:nsotpf>2.0.co;2
15. Cakmur, R. V., Miller, R. L., Perlwitz, J., Geogdzhayev, I. V., Ginoux, P., Koch, D., et al. (2006). Constraining the Magnitude of the Global Dust Cycle by Minimizing the Difference between a Model and Observations. *J. Geophys. Res.* 111 (D6). doi:10.1029/2005jd005791
16. Cantos, J. O., and Chiva, E. M. n. (1996). Red Dust Rain within the Spanish Mediterranean Area. *Climatic Change* 32, 215–228. doi:10.1007/bf00143711
17. Csontos, L., and Nagymarosy, A. (1998). The Mid-Hungarian Line: a Zone of Repeated Tectonic Inversions. *Tectonophysics* 297, 51–71. doi:10.1016/s0040-1951(98)00163-2
18. Delrieu, G., Nicol, J., Yates, E., Kirstetter, P.-E., Creutin, J.-D., Anquetin, S., et al. (2005). The Catastrophic Flash-Flood Event of 8-9 September 2002 in the Gard Region, France: A First Case Study for the Cévennes-Vivarais Mediterranean Hydrometeorological Observatory. *J. Hydrometeorol* 6 (1), 34–52. doi:10.1175/jhm-400.1
19. Emin OZSOY, “Äerosols in the Mediterranean, their origin and climatic effects”, Advanced Course: CLIMATE CHANGE IN THE MEDITERRANEAN REGION PART I: PHYSICAL ASPECTS (12-16 March 2001), Middle East Technical University Institute of Marine Sciences, Turkey, <http://indico.ictp.it/event/a0114/material/2/4.pdf>
20. European Air Quality Portal - <https://aqportal.discomap.eea.europa.eu/>
21. Goudie, A. S., and Middleton, N. J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer, 287.
22. Klein, H., Nickovic, S., Haunold, W., Bundke, U., Nillius, B., Ebert, M., et al. (2010). Saharan Dust and Ice Nuclei over Central Europe. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 10 (6). doi:10.5194/acp-10-10211-2010
23. Lara, E. R., Guardiola, R. M., Vasquez, Y. G., and Renteria, I. B. (2010). Chemical Composition of Rainwater in Northeastern Mexico. *Atmosfera* 23 (3), 213–224. doi:10.1353/ntc.2010.0064

24. Lian, S., Zhou, L., Murphy, D. M., Froyd, K. D., Toon, O. B., and Yu, P.: Global Distribution of Asian, Middle Eastern, and Saharan Dust Simulated by CESM1/CARMA, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* [preprint], <https://doi.org/10.5194/acp-2022-406>, in review, 2022.
25. Mattsson, J., and Nihlén, T. (1996). The Transport of Saharan Dust to Southern Europe: a Scenario. *J. Arid Environments* 32, 111–119. doi:10.1006/jare.1996.0011
26. O'Hara, S. L., Clarke, M. L., and Elatrash, M. S. (2006). Field Measurements of Desert Dust Deposition in Libya. *Atmos. Environ.* 40, 3881–3897. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.05.080
27. Ozer, P., Erpicum, M., Cortemiglia, G. C., and Lucchetti, G. (1998). A Dustfall Event in November 1996 in Genoa, Italy. *Weather* 53, 140–145. doi:10.1002/j.1477-8696.1998.tb03982.x
28. Su-Yin Tan, 2015. Satellite biomodelling: use of remote sensing for predicting plant biodiversity, University of Oxford, Environmental Change Institute,
29. Urban, F. E., Goldstein, H. L., Fulton, R., and Reynolds, R. L. (2018). Unseen Dust Emission and Global Dust Abundance: Documenting Dust Emission from the Mojave Desert (USA) by Daily Remote Camera Imagery and Wind-Erosion Measurements. *J. Geophys. Res. Atmospheres.* doi:10.1029/2018jd028466
30. Van der Does, M., Knippertz, P., Zschenderlein, P., Giles Harrison, R., and Stuut, J.-B. W. (2018). The Mysterious Long-Range Transport of Giant mineral Dust Particles. *Sci. Adv.* 4 (12), eaau2768. doi:10.1126/sciadv.aau2768
31. Varga, G., Kovács, J., and Újvári, G. (2013). Analysis of Saharan Dust Intrusions into the Carpathian Basin (Central Europe) over the Period of 1979-2011. *Glob. Planet. Change* 100, 333–342. doi:10.1016/j.gloplacha.2012.11.007
32. Zhang, J., Genty, D., Sirieix, C., Michel, S., Minster, B., and Régnier, E. (2020). Quantitative Assessments of Moisture Sources and Temperature Governing Rainfall  $\delta^{18}\text{O}$  from 20 years' Monitoring Records in SW-France: Importance for Isotopic-Based Climate Reconstructions. *J. Hydrol.* 591, 125327. doi:10.1016/j.jhydrol.2020.125327/
33. Савиньих В.П., Цветков В. Я. (2001) Геоинформационний анализ даних дисатнционного зондирования- М.:Картгеоцентр-Геодезиздат, 2001-228 с: ил. ISBN 5-86066-043-2 Освещено

#### **ДРУГИ ИСПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ:**

1. CrossRef Full Text | Google Scholar
2. Google Scholar
3. <http://airindex.eea.europa.eu/>
4. <http://www.esa.int/Copernicus>
5. <http://www.temis.nl/index.php>

6. <https://atmosphere.copernicus.eu/ground-monitoring-confirms-cams-forecasts-desert-dust-over-northern-europe>
  7. <https://atmosphere.copernicus.eu/historical-saharan-dust-episode-western-europe-cams-predictions-accurate>
  8. <https://atmosphere.copernicus.eu/saharan-dust-colours-skies-and-snow>
  9. <https://bg.hoboetc.com/novosti-i-obschestvo/24413-pylnye-buri-prichiny-posledstviya-gde-byvayut-pylnye-buri.html?fbclid=I>
  10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.869902>
  11. <https://earthobservatory.nasa.gov/features/Aerosols/page1.php>
  12. <https://eea.government.bg/kav/>
  13. <https://legszennyezetseg.met.hu/levegominoseg/ertekelesek/olm-ertekelesek>
  14. <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
  15. <https://www.eea.europa.eu>
  16. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/air-pollution>
  17. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-status-2021/air-quality-status-briefing-2021>
  18. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-pollution-sources-1>
  19. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-concentrations>
  20. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution>
  21. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/health-impacts-of-air-pollution>
  22. <https://www.eea.europa.eu/themes/air/urban-air-quality>
  23. [www.iaos.government.bg](http://www.iaos.government.bg)
  24. <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
  25. <http://www.temis.nl/index.php>
- Martin de Graaf, Olaf Tuinder, ALGORITHM THEORETICAL BASIS DOCUMENT ATBD for the GOME-2 Aerosol products, 2015, O3MSAF/KNMI/ATBD/002, [http://www.temis.nl/airpollution/absaai/doc/O3MSAF\\_ARS\\_ATBD\\_v2.36\\_20150706.pdf](http://www.temis.nl/airpollution/absaai/doc/O3MSAF_ARS_ATBD_v2.36_20150706.pdf)
26. MODIS Изображения Европа - [http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?subset=Europe\\_3\\_03](http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/imagery/subsets/?subset=Europe_3_03)
  27. NASA Worldview - <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
  28. Tropospheric Emission Monitoring Internet Service – TEMIS - <https://www.temis.nl/index.php>