



**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА, ГЕОДЕЗИЯ И
ГЕОГРАФИЯ**

Ивелина Христова Георгиева

**Локални процеси на пренос и химични трансформации в
атмосферата**

АВТОРЕФЕРАТ

на

дисертация за придобиване на образователна и научна степен “Доктор” по
специалност 01.04.08 "Физика на океана, атмосферата и околоземното
пространство"

Научен ръководител: Член Кор. Проф. дфн Костадин Ганчев Ганев

София, 2017

Данни за дисертационния труд:

Брой страници	240
Брой фигури	205
Брой таблици	11
Брой цитирани заглавия	95

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на департамент „Геофизика“ на НИГГГ-БАН, състояло се на 22 февруари 2017 г.

Защитата на дисертацията ще се състои на2017 г. от часа в зала 101 на НИГГГ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

1. Член Кор. Проф.дфн Костадин Ганев
2. Доц. д-р Ренета Димитрова
3. Проф. д-р Димитър Атанасов
4. Доц. д-р Емилия Георгиева
5. Проф. дфн. Екатерина Бъчварова

Автор: Ивелина Христова Георгиева

Заглавие: Локални процеси на пренос и химични трансформации в атмосферата

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в стая 105 на НИГГГ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 3.

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод	<u>2</u>
Актуалност на проблема	<u>2</u>
Цели и задачи на изследването	<u>2</u>
Структура на дисертационния труд	<u>3</u>
Благодарности	<u>3</u>
<u>Глава I: Методика на изследването</u>	<u>4</u>
I.1. Въведение	<u>4</u>
I.2. Обзор на числените модели използвани при изследването	<u>4</u>
I.3. Методика - модели, входни данни, параметризационни схеми, области и телескопизация на избраните области, емисионно моделиране, инвентаризация на емисии в страната	<u>5</u>
I.4. Грид моделиране	<u>9</u>
I.5. Достоверност на резултатите от компютърните симулации	<u>10</u>
<u>Глава II: Климат на атмосферно замърсяване за избрана градска среда - гр. София</u>	<u>11</u>
II.1. Въведение	<u>11</u>
II.2. Осреднени полета на приземни концентрации на различни замърсители	<u>12</u>
II.3. Статистически характеристики на приземните концентрации на различните замърсители на територията на град София и за отделни точки.	<u>15</u>
II.4. Изводи	<u>17</u>
<u>Глава III: Индекс за качеството на атмосферния въздух за град София.</u>	<u>18</u>
III.1. Въведение	<u>18</u>
III.2. Индекс за качеството на атмосферния въздух	<u>18</u>
III.3. Анализ на пространствено - времевото поведение на индекса за качество на атмосферния въздух за град София	<u>19</u>
III.4. Изводи	<u>22</u>
<u>Глава IV: Оценка приноса на различните видове замърсители и различните категории източници (SNAP категории) към замърсяването на град София и за отделни точки.</u>	<u>23</u>
IV.1. Въведение	<u>23</u>
IV.2. Емисионни сценарии и някои полета на ансамблово осреднените приноси на отделните категории източници към приземните концентрации.	<u>23</u>
IV.3. Годишно и сезонно осреднени приземни приноси на отделните източници за отделни точки от град София.	<u>27</u>
IV.4. Изводи	<u>29</u>
<u>Глава V: Оценка приноса на различните процеси към формиране на замърсяването за град София.</u>	<u>31</u>
V.1. Въведение	<u>31</u>
V.2. Функцията на модела CMAQ - "Integrated Proces Rate Analysis"	<u>31</u>
V.3. Осреднените приземни приноси на отделните процеси	<u>31</u>
V.4. Годишно и сезонно осреднени приземни приноси на отделните процеси водещи до образуването на различни замърсители за територията на град София и за различни точки от град София.	<u>37</u>
V.5. Изводи	<u>39</u>
<u>Заключение</u>	<u>41</u>
<u>Литература</u>	<u>43</u>
<u>Списък на съкращенията</u>	<u>47</u>
<u>Приноси</u>	<u>50</u>

Увод

Въздухът е жизнената среда на човека и редица атмосферни, социални и демографски, параметри имат голямо значение за качеството на живот и здравето на хората. Все повече в практиката навлиза терминът "качество на живот". Подобряването на състоянието на компонентите на околната среда в населените места е задължително за постигане на по-високо качество на живот. Качеството на живот в градовете е пряко зависимо от баланса между социално равенство, приходи, жилища, благоустройство, чиста околна среда, социални отношения, здравеопазване и образование.

Градската околната среда, осигуряваща по-добро качество на живот, трябва да отговаря на следните условия: добро качество на атмосферния въздух, ниско ниво на шумово замърсяване, чиста и достъпна вода, градски дизайн, осигуряващ достъпни и поддържани публични и зелени площи, благоприятен локален климат.

Населението на света се концентрира предимно в градовете. Очаква се 80 % от живеещите по света девет милиарда души през 2050 г. да обитават градските зони. Много от градовете трудно се справят със социални и екологични проблеми, които са в резултат на пренаселване, бедност, замърсяване и автомобилен трафик. По света градовете заемат едва 2 % от земната повърхност, а в тях живеят половината от населението на планетата. Европа е един от най-урбанизираните континенти като 75 % от хората живеят в градове. Има вероятност тези показатели да нараснат до 80 % до 2020 г. (<http://www.eea.europa.eu/bg/articles/ot-gradski-prostranstva-do-gradski-ekosistemi>)

Развитието на градовете има широко европейско измерение. Големите градове взаимодействат и влияят на околната територия, като така оказва въздействие върху екологията на много по-широка зона.

Човешката дейност в градовете води до интензивна промяна на покриващата повърхност (Changnon 1992), например използването на материали с висок топлинен капацитет при изграждането на сгради и пътища, което влияе върху локалния микроклимат. Разликата в енергийния баланс, температурата, влажността, оттичането след валеж, е съществена между градски район и заобикалящата го среда. „Градския остров на топлина“ (ГОТ) е свързан със задържането на топлина в бетона и другите строителни материали за по-дълго време през нощта, в сравнение с извън градската покриваща повърхност (Bornstein 1987; Oke 1988; Emmanuel and Fernando 2007, Fernando 2010; Fernando et al. 2010). Създаденият градски микроклимат е уникален за всеки район, поради специфичните орография и характеристики на покриващата повърхност (топлопроводимост, отражателна способност, влажност, грапавост и т.н.). Многото нерешени въпроси продължават да бъдат предизвикателство пред световната научна общност, а в България, най-голямо препятствие е липсата на достатъчно експериментални данни събрани за нашата страна.

Замърсяването на въздуха в Европа в периода 1990–2004 г. показва, че въпреки намаленията на емисии, високите концентрации на фини прахови частици и озонът при земното равнище продължават да причиняват проблеми в много големи градове и околните области. Фините прахови частици в момента са общопризнати като заплаха за човешкото здраве вследствие на замърсяването на въздуха. Според Световната здравна организация (СЗО) смъртта на около 100 000 души на година може да е свързана със замърсяването на атмосферния въздух в големите градове на Европа, като така скъсява продължителността на живота средно с една година.

Основна причина за замърсяването на въздуха е увеличаването на моторизираният трафик, който също води до намаляване на наличните зелени и тихи пространства в центровете на големите градове. Това кара хората да се местят в покрайнините извън града и във вътрешността на страните. Новите градски зони с ниска гъстота водят до по-голямо използване на индивидуалния транспорт, което изостря съществуващите проблеми (<http://www.eea.europa.eu/bg/themes/urban/about-the-urban-environment>)(<http://www.eea.europa.eu/bg/signals/signali-2016-g/statii/transport-i-obshtestveno-zdrave>)

1. Цели и задачи на изследването

Обширни проучвания и симулации за климата и състава на атмосферата в България бяха извършени с помощта на актуални инструменти за моделиране и подробни надеждни входни данни. Тези компютърни симулации са за достатъчно дълъг период от време и с добра резолюция (Gadzhev et. all. 2011 a,b, 2012, 2013 a,b,c, 2014 a,b,c, 2015 a,b,c).

Следващата стъпка в изучаване на климата на състава на атмосферата е извършването на симулации в градски мащаб.

Градския климат на замърсяване в България не е системно проучен все още, макар че е било извършвано моделиране на замърсяването на въздуха за град София (Ganev, 1981, Ganev and Yordanov, 1981, 1983, 1985, Ganev et. all., 2004) и също така от няколко години се прави прогноза на замърсяването на въздуха за града (Syraikov et. all. 2013, 2014, Етрополски Е., 2015).

Основана цел: на настоящото изследване е изучаването на закономерностите на атмосферното замърсяване в локални мащаби и градска среда, по-специално на град София, а именно:

- ✓ Получаване на достатъчно надежден ансамбъл, осигуряващ статистическа значима оценка за климата на атмосферно замърсяване в локални мащаби (включително и в градска среда)
- ✓ Изчерпателна оценка и анализ на полетата на замърсяване на отделните химически видове замърсители.
- ✓ Пресмятане на индекс на замърсяване за гр. София. Анализ на неговото пространствено - времево поведение.
- ✓ Изучаване на локалните процеси на пренос и химични трансформации в атмосферата за градски райони - град София.
- ✓ Определяне приноса на различните видове замърсители и източници към замърсяването на избраната градска среда – гр.София.
- ✓ Определяне приноса на различните процеси към формиране замърсяването в град София.

2. Структура на дисертационния труд

Дисертационният труд се състои от Увод, Пет глави, Заключение, Приноси и Литература. Към всяка от петте глави са приложени "Приложения" в електронен формат.

В **Глава I** е направен кратък преглед на използваните модели при моделиране състава на атмосферата, входни данни, параметризационни схеми, области, емисионно моделиране и инвентаризация на емисии в страната. В **Глава II** са разгледани и коментирани някои осреднени полета на приземни концентрации и статистически им характеристики на различните замърсители в София. В **Глава III** са представени някои резултати от компютърни симулации, показващи индекса за качеството на атмосферния въздух за град София. **Глава IV** е посветена на изследване приноса на различни категории източници към общата картина на замърсяването в град София. **Глава V** е посветена на изследване на различните процеси на пренос и трансформация и оценка на техния принос към формиране замърсяването в за град София.

3. Благодарности

Настоящата работа е извършена с подкрепата на:

- Българския Национален Фонд "Научни Изследвания" (договор ДЦВП-02/1/29.12.2009).
- Министерство на образованието и науката на България (грант Д01-206/21.07.2014)
- Европейски социален фонд 2007–2013 Оперативна програма „развитие човешките ресурси проект BG051PO001-3.3.06-0063 „Програма за мултидисциплинарно обучение на докторанти и млади учени насочена към подобряване на дейностите в България по изграждане на интегрирана система за наблюдение и информационно обслужване в метеорологията, хидрологията и геофизиката с цел намаляване на риска от бедствия, рационално използване и опазване на природните ресурси и изследване на климатичните промени”.
- Проекта от ЕС -H2020 project 675121(project VI-SEEM)
- Проекта от ЕС-7ПП grant PIRSES-GA-2013-612671 (project REQUA).
- Проекта от ЕС-7ПП grant 261 323 (проект EGI-INSPIRE).
- Специални благодарности на на US EPA, US NCEP, EMEP и TNO за предоставянето на безплатна база данни и софтуер и Европейската инвентаризация на антропогенни емисии с висока резолюция.
- По време на работата по дисертацията авторът е бил стипендиант на Световната Федерация на Учените (World Federation of Scientists).

Дължа благодарност и на редица колеги, които по един или друг начин ми помагаша при работата върху дисертационния труд:

Член. Кор. Костадин Ганев
гл.ас. д-р Георги Гаджев
Мария Проданова
проф. Димитър Сираков
доц. д-р Ренета Димитрова
доц. д-р Емилия Черкезова
гл.ас. Мария Дурчова
доц. д-р. София Ивановска
доц. д-р. Емануил Атанасов

Глава I: Методика на изследването

I.1. Въведение

При моделирането на замърсяването на въздуха от особено значение е да се направи адекватен избор, верификацията и валидацията на различните модели, разглеждане на техните симулационни възможности и ограничения, както и чувствителността и реакциите при варирането на различните параметри. Такъв вид изследване налага и изисква използването на големи компютърни ресурси и може да се осъществи чрез използването на компютърни клъстери и грид като изчислителна платформа.

В глава I.2. ще бъдат разгледани и обяснени методите използвани в настоящия дисертационен труд, самите модели и техния начин на работа.

В I.3. е обърнато внимание на входните данни необходими за моделите, избраните параметризационни схеми, области и емисионното моделиране и инвентаризацията на емисиите.

В глава I.4 са показани необходимите компютърни ресурси при провеждане на такива изследвания.

I.2. Обзор на числените модели използвани при изследването

Качеството на моделите и на входните данни са от огромно значение за успешните компютърни симулации. Особено важно е да се постигне органично съответствие между използвани модели и входни данни – използването на много усъвършенствани модели при наличието на недостатъчно детайлни или некачествени входни данни може да доведе дори до по-лоши резултати като генериране на грешки и нарастващи при числените симулации. От особена важност е качеството на емисионните данни. Целия процес на компютърно симулиране е обработка на емисионните данни, което налага в този раздел, наред с моделите, да бъде направен и кратък обзор на създаването на инвентаризация на емисиите.

Европейската и Национална нормативна база няма стриктни и определени изисквания и дефиниции за моделите, с които да се правят симулации за състава на атмосферата, това е и причината да има и да се използват изключително голям набор от такива модели. Тези модели са различни по сложност и разполагат с различна физическа основа, и са приспособени към многообразието на мащабите на пренос - от глобален до локален мащаб (Гаджев Г., 2013).

За целите на настоящата работа е използвана система от модели US EPA Models-3 System, която съчетава в себе си един метеорологичен модел, химически транспортен модел за пренос на данни и един емисионен модел. Тази система от 3 модела има висока оценка на симулационни възможности и е призната от световната научна общност.

В настоящата част от главата ще бъдат разгледани трите компонента от US EPA Models-3 System.

WRF - е съкращение от Weather Research and Forecasting (WRF), (Dudhia, 1993, Grelletal., 1994), (Shamarocketal., 2007) <http://www.wrf-model.org/> е свободен за достъп модел, който е предназначен за научни изследвания и приложения, за числена прогноза на времето (NWP) и за атмосферни симулации. Развитието на WRF е с цел изграждане на следващо поколение модел за прогноза и система за асимилация на данните, за напредък в прогнозирането и ускоряване на трансфера на научните изследвания. WRF е съвместна разработка между Националния център за атмосферни изследвания (NCAR), Мезо и микро мащабната метеорологична организация (MMM), Национална океанска и атмосферна администрация (NOAA), Национален център за прогноза на околната среда (NCEP) и Лаборатория за изследване на земята (ESRL), Агенция на военновъздушните сили и времето (AFWA), Център за анализ и изследване на бурите (CAPS) и Федералната авиационна администрация (FAA).

В последните години WRF е все по-често използван в целия свят, като изходната информация от него захранва различни дисперсионни модели, включително и CMAQ. Освен това той непрекъснато се развива и подобрява, като достъпът до него е много лесен чрез Internet страницата на модела. WRF се поддържа като модел за обществеността, за да се улесни широка употреба в международен план, за научни изследвания, оперативна работа, и преподаване. Той е подходящ за широк диапазон на приложения за всички вариращи от големи вихри до глобални симулации. Тези приложения включват прогноза в реално време NWP, асимилация на данни и проучвания за развитие, параметризация на физика, научни изследвания, регионален климат, симулации, моделиране на качеството на въздуха, връзката атмосфера-океан, и идеализирани симулации.

Броят на регистрираните потребители на WRF надвишава 6000, а WRF е в системи за изследвания по целия свят.

CMAQ - е съкращение от Community Multiscale Air Quality (CMAQ) (<http://www.cmaq-model.org/>) (Byun etal., 1998, Byun and Ching, 1999) е модел за пренос и химични трансформации в атмосферата и е част от системата US EPA Models-3 System на Американската агенция по околна среда.

Адвективно-дифузионните процеси в атмосферата се разпростират в широки диапазони от мащаби и в сложна турбулентна среда и за да се обхванат всички процеси трябва да се направи 3D числено моделиране, като най-ефикасния начин за такова е използването на точно тази система Models-3 System. CMAQ като част от системата се обезпечава от една страна от метеорологичен модел (WRF) и от друга страна емисионно от модела SMOKE, който подготвя емисионните данни за дадената област.

CMAQ е Ойлеров модел, "one atmosphere" - отчитащ взаимодействието между множество замърсители (около 100 вида) в различни динамични мащаби. CMAQ симулира: озон, прахови частици (PM), видимост, киселинни отлагания, транспорт на трасери, токсични замърсители, видимост. Модела обработва сложни композиции от замърсителите и сложна конфигурация на източниците, моделира транспорта и дифузията в динамична среда в широки времеви мащаби - от минути до дни и седмици и в съответстващите пространствени мащаби - от локални до глобални. CMAQ работи с уравнения, записани в обобщени координати и може да използва различни картографски проекции. Този подход осигурява съвместимост между CMAQ и използвания метеорологичен модел, който за целите на настоящия дисертационен труд е WRF модела.

SMOKE - е съкращение от The Sparse Matrix Operator Kernel Emissions (SMOKE) (<http://www.smoke-model.org/>) (CEP, 2003) и е разработен за интегриране на емисионни данни чрез алгоритми за разредени матрици. SMOKE е създаден от Центъра за моделиране на околната среда (EMC), който позволява обработката на емисионни данни за целите на моделите за транспорт на замърсители. Този модел осигурява механизъм за подготвяне на специализирани входни данни и прави възможно прогнозирането състоянието на въздуха. SMOKE може да обработва газови замърсители като CO, NO_x, VOC, SO_x, PM, като практически няма ограничения в броя и вида на замърсителите, които могат да бъдат използвани от модела.

Основната цел на модела е да трансформира емисионните данни във форматиранни входни данни, изисквани от моделите за качество на въздуха.

Обикновени емисионните входни данни са с годишни стойности за всеки емисионен източник. Транспортните химични модели обаче, изискват емисионните данни да са на часова база за всяка клетка от мрежата и именно SMOKE преработва тези данни, за нуждите на моделите за качество на въздуха.

SMOKE поддържа различни източници на замърсяване - Площни (Area Sources), Мобилни (Mobile Sources) и Точкови (Point Sources), като също са включени и Биогенните (Biogenic). За всеки от отделните видове източници има определени включени модели, които ги изчисляват в системата SMOKE.

Всички модели от системата US EPA Models-3 System са подробно описани и е разгледан техния принцип на работа в **Приложение I.2**.

I.3. Методика - модели, входни данни, параметризационни схеми, области и телескопизация на избраните области, емисионно моделиране, инвентаризация на емисии в страната.

Използваната система от модели е US EPA Models-3 System. Периодът на симулации е 7 годишен, като покрива времето от началото на 2008 година до края на 2014 година.

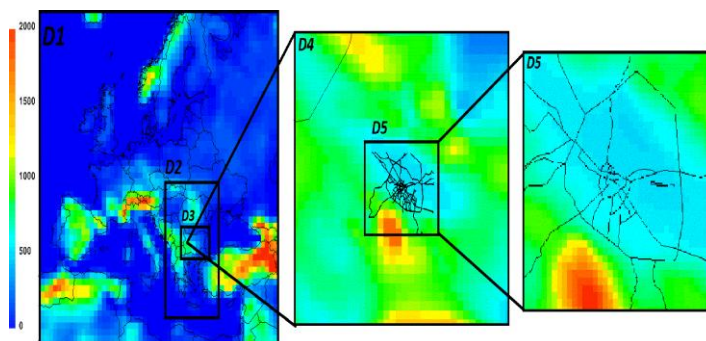
I.3.1. Метеорологични входни данни:

За начало ще бъдат разгледани метеорологичните данни и областите на интегриране.

WRF- Weather Research and Forecasting е мезо - метеорологичен модел използван като метеорологичен пре-процесор в системата Models 3.

В настоящото изследване метеорологичните данни са взети от Американския Национален Център за изследване на атмосферата (NCEP Global Analysis Data) и са със хоризонтална разделителна способност - $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. Използваните данни са Re - Analyze, със стъпка на всеки 6 часа, а форматът, в който са данните е GRIB2 формат.

Моделите имат опции за така наречената телескопизация или нестинг, която позволява да се разгледат няколко области вместени една в друга, като разделителна способност постепенно намалява с



Фигура I.3.1.: Нестинг (Телескопизация) на 5-те вместени една в друга области за модела WRF: D1 (Европа) - 81x81 км, D2 (Балкански п-ов) - 27x27 км, D3 (България) - 9x9 км, D4 (София област) - 3x3 км и D5 (София град) - 1x1 км.

дадена стъпка докато се достигне до такава разделителна способност нужна за даденото изследване. В настоящото изследване за метеорологичния модел WRF са подбрани общо 5 области вместени една в друга с намаляваща хоризонтална резолюция. (**Фигура I.3.1.**).

Най - голямата област е D1, която покрива цяла Европа и е със хоризонтална разделителна способност 81x81 км, следващата по малка област вместена в D1 (Европа) е D2 (Балкански полуостров) – 27x27 км, следва D3 (България) покриваща цялата територия на страната с 9x9 км разделителна способност, вместена в D3 е D4 (София област) – 3x3 км и последната и най - фина мрежа е избрана за областта D5 (София град) със разделителна способност 1 x 1 км.

Началните и гранични условия на най-голямата област D1 се подготвят от определен пре-процесор в системата на метеорологичния модел, като се използват метеорологичните полета от Американския Национален Център за Изследване на Атмосферата (NCEP). За всяка следваща вместена област началните и гранични условия се предават от предходната област. Трябва също да се отбележи и използваната възможност за двупосочното взаимодействие между областите или така нареченото "Two - Way Nesting", което позволява симулациите да се извършват едновременно за всяка област, като по-малката вместена област подава информация (обратна връзка) към предходната по-голяма (по-груба) област. При интерполацията за всяка стъпка по времето на по-грубата мрежа се използват началните и гранични условия за по-фината вместена област, която от своя страна при следваща интерполация подава данни към предходната по-груба мрежа и по този начин оказва влияние върху нея.

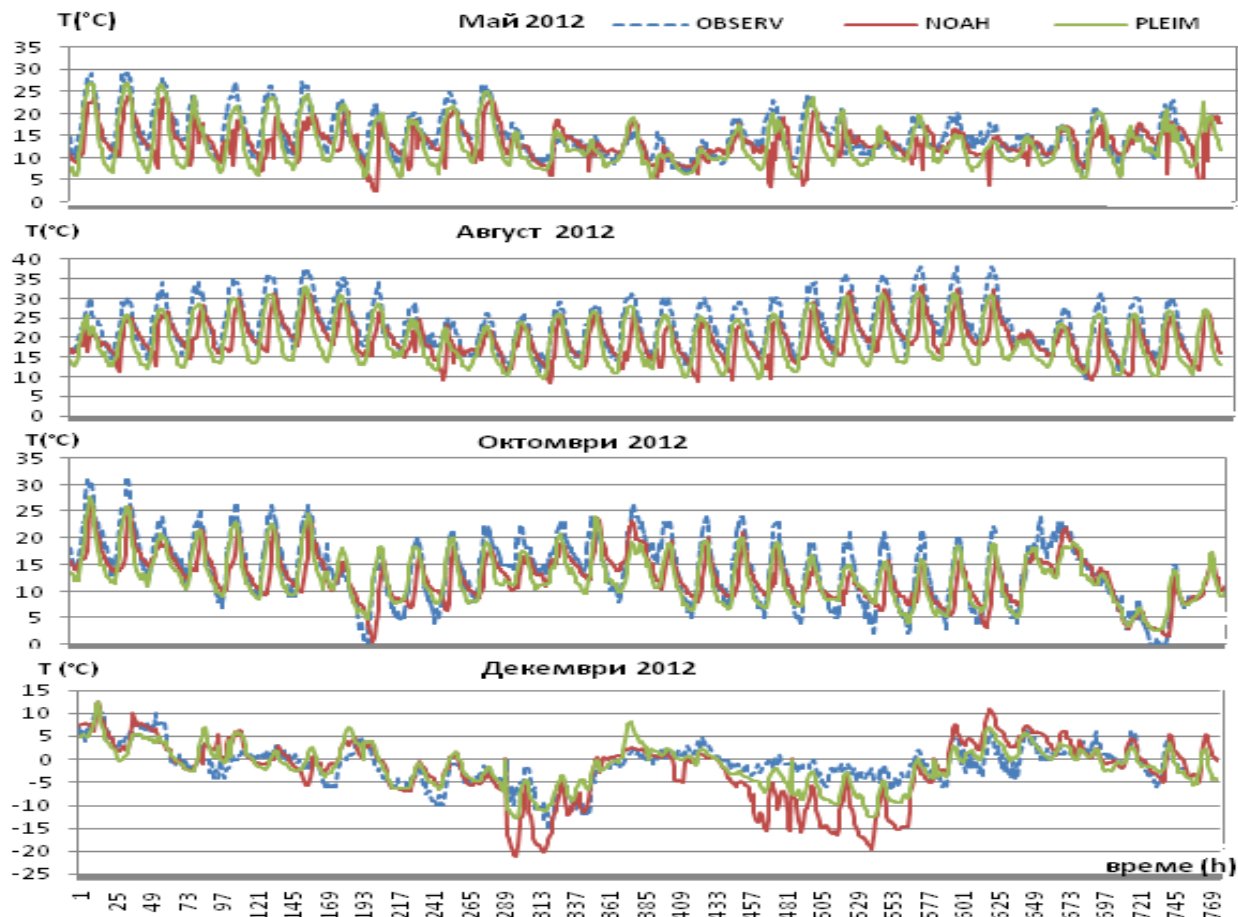
Данни за подложната повърхност и релефа се генерират от специална програма на модела WRF - GEOGRID, която интерполира статичните географски данни към мрежата в избраната област на интегриране. Глобалната база данни за релефа и подложната повърхност е от USGS (United States Geological Survey) базата данни с разделителна способност 30"x30" и 24 категоризации на подложната повърхност. Освен класификацията на USGS, може също така да се избере и алтернативна класификация на подложната повърхност MODIS, която съдържа 20 категории (21 при включени езера) на подложната повърхност и се прилага при използване на модел за подложната повърхност Noah. При избор на подходяща схема за параметризация на физиката в модела WRF бяха разгледани две различни параметризационни схеми Pleim-Xiu и Noah с двете възможни класификации USGS и MODIS, както и съответните модели за подложна повърхност.

I.3.2. Избор на параметризационни схеми за описание на земната повърхност: Noah/Pleim-Xiu

Моделирането на процесите на земната повърхност е важно за мезо - мащабните метеорологични модели, затова е важна и отговорна задача избора на подходящ модел за земната повърхност (LSMs). Целта на LSMs е по-добро и пълно представяне на повърхностната енергия и влага, както и тяхната способност да представят и реагират на променящите се климатични условия и промените настъпващи в екосистемите. За мезо-мащабно моделиране на метеорологията в дългосрочен план тези промени не са толкова важни, но сезонните промени на растителност и синоптичните промени в повърхностните условия на влага имат значими ефекти върху метеорологичните симулации. Повърхностните процеси, като влажността на почвата и проводимостта на растителността, контролират разпределението на радиационната енергия, на латентна енергия и на топлинните потоци на земната повърхност, които от своя страна оказват силно влияние върху температурата и влажността на въздуха на това равнище, както и върху параметризацията на планетарния граничен слой (PBL). В настоящата глава са разгледани два от най-често използваните модели за земната повърхност Noah и Pleim-Xiu LSM включени във физичните опции на метеорологичния модел WRF. Симулации са направени както при стартиране на модела с Noah LSM и параметризационна схема за микро - физика Noah MP, така и с Pleim-Xiu LSM и Pleim-Xiu схема за параметризация на микро - физика. Резултатите от симулациите са сравнение една с друга, и паралелно с това с данни от измервания, с цел да се определи кой модел и коя схема по - добре описват променящата се климатична среда. Стартираните симулации с WRF модела заедно с двете PBL схеми са за период от 2011 до 2012 година, като резултатите са за тренда на температурата на 2м. и посока и скорост на вятъра. Направени са сравнения между двете схеми и паралелно с реални данни от измервания **Фигура I.3.2.1.**

Направени са сравнения на данните получени от модела с двата типа параметризационни схеми и са сравнени с данните от измервания. На **Фигура I.3.2.1** са показани само по един типичен месец от всеки сезон за 2012 година. Със син цвят е представена графиката на данни от наблюденията, с червен - данните при симулациите на WRF със схема Noah, и със зелен са моделните резултати със схема Pleim. И за 4-те месеца се вижда, че Pleim схемата следва тренда на наблюденията по-добре спрямо Noah. И двата модела не са съвсем точни спрямо данните от наблюденията и двата модела в по-голямата си част показват по-занижени стойности на температурата от реалните измерени.

През по студените, зимни месеци симулациите стартирани със схема Noah дават доста голямо подценяване за стойностите на температурата, спрямо тези на схема Pleim, особено за стойности под 0°C. През топлите месеци, схема Pleim дава по добро приближение за температурата както за максималните, така и за минималните измерени стойности от схемата Noah. Направената проверка и съответните получените резултати водят до извода, че е по-подходящо е да се използва параметризационна схема и модел Pleim-Xiu LSM.



Фигура I.3.2.1 Сравнение на данни от измервания с данни от модела WRF с двете параметризационни схеми Noah /Pleim за Май, Август, Октомври и Декември 2012 година.

I.3.3. Емисионни входни данни

При моделиране състоянието на атмосферата освен метеорологични данни са необходими и емисионни данни, които служат като вход за химичните транспортни модели (например CMAQ). За целите на настоящото изследване в системата Models 3 емисионният модел, който подготвя данните в определен формат, модел и отразяващ еволюцията във времето на всички замърсители (включени за определения хим. механизъм) е SMOKE – the Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modelling System. Този модел е използван именно с цел обработка на емисионните данни за целите на модела за транспорт на замърсители CMAQ. Като входни емисионни данни за територията на България е използвана Националната емисионна база данни, докато извън страната данните са от Нидерландска организация за приложни научни изследвания (TNO) (Vestreng, 2001, Vestreng et al., 2005) със резолюция 0.25° x 0.125° за 10 SNAP категории. Вход за транспортните химични модели, като в настоящата теза се използва CMAQ модела, са метеорологичните изходни данни от WRF модела и емисиите предварително подготвени от SMOKE модела. Стартираните симулации със CMAQ са проведени не за всички избрани 5 области от **Фигура I.3.1**, а само за 4 от тях - D2 (Балкански п-ов) - 27x27 км, D3 (България) - 9x9 км, D4 (София област) - 3x3 км и D5 (София град) - 1x1 км. Като начални условия за симулациите се използват стандартните за CMAQ профили на концентрациите, получени от глобалните модели, а за начални и гранични условия за всяка следваща вместена област се получават от предходната външна (както при метеорологичния модел).

1.3.4. Инвентаризация на емисии в страната

Икономиката на съвременното общество зависи както от достъпа до наличните енергийни ресурси, така и от начина на получаване на енергия от тях, която се използва навсякъде: за транспорт, отопление, осветление, в промишлеността и селското стопанство. В момента по-голяма част от енергията се произвежда чрез горене на т.н. изкопаеми (фосилни) горива. Емисиите от всички тях са вредни и опасни за човешкото здраве и околната среда. Загърсители от тези източници са опасни не само в непосредствена близост, но също и на по-големи разстояния. Голяма част от тях търпят химически трансформации при определени атмосферни условия и като резултат се наблюдават вторични неблагоприятни за околната среда ефекти. Загърсители се класифицират като първични – изпускани в атмосферата директно от различни източници и вторични, които се формират когато първичните загърсители влизат в химични реакции помежду си или с други компоненти, присъстващи във въздуха. Съвременният голям проблем на чистотата на атмосферния въздух както пред развитите, така и пред развиващите се страни са емисиите на първичните загърсители. При определени метеорологични условия, някои от първичните загърсители влизат във фотохимични реакции, които довеждат до образуването на вторични загърсители. Първичните и вторичните загърсители могат да се пренесат далеч от района, в който са образувани и са причина както за замърсяване в селскостопанските райони, така и за трансгранично замърсяване.

Инвентаризацията на емисиите е абсолютно необходима както за моделна оценка нивата на замърсяване, във връзка с оценката на качествата на околния въздух, така и за идентификация източниците на замърсяване. Инвентаризацията оценява количеството загърсители, изпускани от отделния източник, а така също и комбинираните емисии от много източници.

За стандартизиране на изчислителния процес при оценката на емисиите в международен план най-често се използват методиките IPCC-Методиката е стандарт за докладване на емисиите от парникови газове съгласно Конвенцията на ООН за промяна на климата UNFCCC и CORINAIR-Методика за оценка на атмосферните емисии в Европа и по Конвенцията за трансгранично замърсяване на въздуха на далечни разстояния (CLRTAP).

За изпълнение ангажиментите на Република България по Конвенцията за трансгранично замърсяване на въздуха на далечни разстояния, Изпълнителна агенция по околна среда при Министерство на околната среда и водите и Националният статистически институт ежегодно извършват инвентаризация на емисиите на вредни вещества в атмосферния въздух. Резултатите се използват за докладване на общите годишни национални и секторни емисии пред Секретариата на КТЗВДР, пред Европейската агенция за околна среда, пред ЕК по отношение прилагането на Директива 2001/81/ЕС за националните тавани за емисии, както и пред Европейския регистър на емисиите. Инвентаризациите се извършваха по методика, базирана на Ръководството CORINAIR на ЕАОС.

1.3.5. Емисионно моделиране:

Всички транспортни химични модели изискват входните емисии да са в определен формат и да отразяват еволюцията във времето на всички загърсители, които са включени в съответния химичен механизъм. Тези изисквания са в сила и при подготовката на входните емисионни данни за химичния транспортен модел CMAQ.

Обикновено инвентаризацията на емисиите е на годишна база за големи територии (общини, окръзи, държави) и загърсители се изчисляват на групи (фамилни) - CH_4 , CO , NH_3 , VOC , NO_x , SO_x , PM . При подготовката на файловете с емисиите за химичния транспортен модел е необходимо цялата първична информация в суров вид, зададена по общини и други населени места да се интерполира в съответната избрана мрежа. За всяка точка от мрежата се задава скоростта на емитиране от клетката с център точката от мрежата. Друга важна необходимост е налагането на времеви профили, които да модифицират годишните стойности, така че да могат да се отчитат сезонните и дневните вариации. Необходимо също така е и емисиите от отделните групи (NO_x , SO_x , PM) да бъдат преобразувани или разцепени в по-голям брой компоненти, понеже такива са изискванията при използването на CMAQ модела. Такъв вид разцепване на емисиите на повече компоненти се нарича "speciation" (Гаджев Г., 2013).

Както вече беше споменато емисионните данни са годишни стойности за всеки емисионен източник и е необходимо тези данни да са на часова база за всяка клетка от мрежата. SMOKE модела преработва емисионните данни за времеви, химични и пространствени нужди като необходим вход за моделите за качеството на въздуха. Източниците, които модела SMOKE поддържа са Площни (Area Sources), Мобилни (Mobile Sources), Точкови (Point Sources) и Биогенни (Biogenic Sources) източници. Антропогенните емисии се включват в Площните и Точковите източници и са разделени в SNAP категории. Всеки от различните типове източници се третира по специфичен начин. Емисиите от

транспорта също са отделна категория, но поради начина на инвентаризирането им в България те се обединяват с площните източници.

За целите на настоящото изследване времевите вариации на емисиите са изчислени на базата на дневни, седмични и месечни профили предоставени в (Builtjesetal., 2003, Schaapetal., 2008). Тези времеви профили са специфични за държава, замърсител и относно SNAP категория (Selected Nomenclature for Air Pollution).

Процедурата по разцепването - "speciation" е зависима от използвания химичен механизъм. CMAQ поддържа различни химични механизми. За целите на озоновото моделиране най-често се използва Carbon Bond v.4 - **CB4** (Geryetal., 1989). Основата на **CB4** механизма е реактивността на органичните компоненти в атмосферата може да бъде симулирана добре от различни механизми представящи различни типове въглеродни връзки. От времето на публикуването **CB4**, са направени няколко промени. По-специално, добавена е химия на **PM**.

Разцепването е специфично за държави и по категории източници (SNAP). В подготовката на файла с емисиите, тези 25 съединения трябва да бъдат комбинирани в горните блокови замърсители в зависимост от използвания химичен механизъм следвайки съответните процедури.

Разработен беше специфичен подход за осъществяване на това разцепване (speciation). Предлага се за целите на прогноза нивата на озона в нашата страна да се следва технологията разработена от US EPA Emission Factor and Inventory Group (Ryan, R., 2002). Входната информация, необходима за изчисляване на емисиите са мрежови данни за площните източници (Area Sources – AS), за мощните точкови източници (Large Point Sources – LPS) и данни за характера на земната повърхност (Land Use), необходими за моделиране на естествените (или биогенни) източници (BgS). Последните емитират органика, CO и NO и стойностите им зависят силно от метеорологичните условия, включително слънчевото греење.

Данните за площните източници захранват специално създадената програма **AEmis**, която извършва разцепването (speciation) и налагането на времевите профили за всяка клетка от мрежата за всеки SNAP, за съответните юлиански дати. Получените часови стойности на всичките 22 (CH₄, CO, NH₃, 10 типа VOC, NO_x, SO_x, PMC и 5 типа PM_{2.5}) се записват във файл в NetCDF формат.

Базата данни LPS съдържа данни само за 4 SNAP сектора – 1, 3, 4 и 8. Тази информация, заедно с изхода на MCIP се подават на **LPS-процесора** на **SMOKE**, който произвежда съответния емисионен файл. За целта инвентаризацията на мощните точкови източници се трансформира в изисквания от **SMOKE** IDA-формат. В този файл, наред с инвентаризационните данни, влизат и редица параметри на източниците като географски координати, височина и диаметър на комина, скорост и температура на изхвърляне на замърсителите и др. Моделът не само извършва специация и времева алокация, но и изчислява т.нар. "plume-rise" изхвърлянето на замърсителите във височина в резултат от механичния импулс и архимедовите сили. Това нарастване на височината на струята зависи съществено и от метеорологичните условия – вятър и устойчивост на атмосферата. В резултат **SMOKE** произвежда 3D-файл – замърсителите се изхвърлят на различни нива (нивата съвпадат с вертикалната структура на **CMAQ**).

1.4 Грид моделиране

Изследванията ще бъдат провеждани с използване на най-съвременни мезомащабни динамични модели, както и на такива за качество на въздуха. За получаване на надеждни полета на параметрите на въздушната среда и градската въздушна среда се налагат ансамблови симулации с вариране на много параметри и оценка на чувствителността на получените резултати. Нещо повече, симулациите трябва да бъдат направени за изчерпателен набор емисионни сценарии за да се изясни приносът на различните по тип източници на замърсяване върху качеството на въздуха. Изследване от този тип изисква много големи компютърни ресурси - високопроизводителни компютърни платформи (компютърни клъстери, Грид, суперкомпютри), и оптимална организация на числените експерименти и потока на данни като изчислителни платформи. (Foster J., C. Kesselmann, 1998, Atanasov et al., 2006, Ganev et al., 2009, Todorova et al., 2010)

Изискванията за компютърни ресурси на моделите WRF, SMOKE и CMAQ са доста големи. Поради това числените експерименти бяха организирани в ефективна HPC среда като изчисленията се изпълняват на суперкомпютър на клъстера HPC в ИИКТ-БАН (Intel Xeon E5-2650v2 процесори и 64GB RAM). Симулациите за домейни D2, D3 и D4 и тези, за D5 бяха организирани в отделни работни места (джобове), което позволи времето за изпълнението на един джоб от 24 часа, да бъдат симулирани 6 дни.

Изходните данни от моделите, обаче са твърде големи. Не цялата информация от изходните файлове е толкова ценна и се налага допълнителна обработка на данните и съответния софтуер за да може информацията да се " филтрира " и само необходимата такава да се запази. В изхода от модела CMAQ се запазват часовите данни за повърхностните концентрации на следните най-важни замърсители:

- NO₂, NO, O₃, NO₃, OH, HO₂, N₂O₅, HNO₃, HONO, PNA (Peroxynitric acid), H₂O₂, CO, FORM, ALD2, C₂O₃, PAN (Peroxyacetylnitrat), PACD (Peroxyacetic acid), PAR, OLE, FACD (Formic acid), AACD (Acetic Acid), ETH, TOL, CRES (Cresol), TO2, XYL, MGLY (Methylglyoxal), ISOP, ISPD (Products of isoprene rxns), SO₂, SULF (H₂SO₄ Sulfuric acid), UMHP (Methanediol), TERP, NH₃ (gases34)
- PSO₄, PNH₄, PNO₃, POA, PEC (aerosol—5)
- SOAA, SOAB (Anthropogenic and Biogenic secondary organic aerosol—2)
- FPRM, CPRM (fine and coarse PM—2).

Симулации за WRF /CMAQ са извършени ден за ден за период от 7 години - от 2008 г. до 2014 г. за град София. По този начин е създадена една доста обширна база данни, която би могла да се използва за различни проучвания и съображения, свързани с основните характеристики и произхода на атмосферния състав в град София, включително климат на замърсяване и индекс за качество на атмосферния въздух.

I.5. Достоверност на резултатите от компютърните симулации

Компютърните симулации са извършени със система от модели с доказани симулационни качества. Това, разбира се, не гарантира автоматично достоверността на резултатите от компютърните симулации, защото те зависят от избраните моделни конфигурации и особено от входните данни. Известно е, че емисионните данни внасят голяма неопределеност в компютърните симулации и са, вероятно, основен източник на грешки в симулирания състав на въздуха.

Проверка на симулационните качества на системата (модели и входни данни) вече беше извършена за територията на цяла България и за град София (Гаджев, 2013; Gadzhev et al., 2015, Етрополски 2015, Syrakov et al., 2014, 2015, Georgieva et al., 2014) и показва задоволително съвпадение на данните от измерванията с моделните резултати.

Това добро съвпадение показва, че и резултатите от компютърните симулации по настоящото изследване, особено разглеждани като ансамбъл, са достатъчно надеждни и съответно направените от тях изводи достатъчно добре отразяват основните черти на климата на замърсяването на въздуха в района на град София.

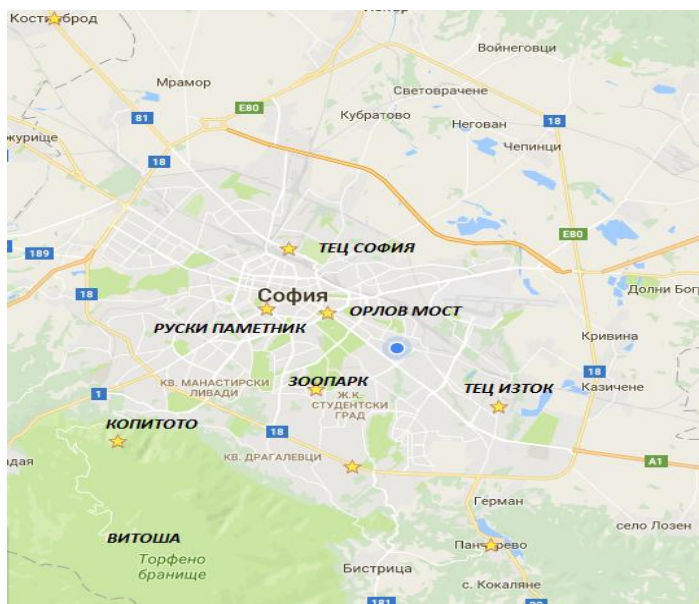
Глава II: Климат на атмосферно замърсяване за избрана градска среда - град София

II.1. Въведение

Изследвания район е град София. Той е избран поради това, че е столица на България и е най-големият град в страната (население: 1 291 591 души; площ: 492 км²) и 15 по-големина град в Европейския съюз. Изследването на замърсяването на въздуха за град София е от голямо значение и поради факта, че столицата е основен туристически, административен, производствен и индустриален център (най-голям за България) с локация на около 800 големи предприятия (около 1/6 от промишленото производство на България-75% от черната металургия, 50% от полиграфическата, 15% от електротехническата и електронната промишленост, 14% от кожухарската и обувната промишленост). София също така е най-големия транспортен център с най-интензивен транспорт. В града са разположение четири Топло Електрически Централни, от които две са основните замърсители на града - ТЕЦ "София" в центъра на града и ТЕЦ "Изток" в кв. Дружба (**Фигура II.1**). Основни замърсители на въздуха в столицата са фините прахови частици и азотните оксиди, които се генерират основно от автомобилния транспорт, отоплението с твърди и течни горива, замърсените пътни настилки и ТЕЦ-те.

При разглеждане климат на замърсяване в градска среда основна роля при проблема със замърсяването на въздуха е географското разположение. София се намира в Софийската котловина, заобиколена от планини (Витоша на юг, Люлин на запад и Стара планина на север), които възпрепятстват възможността за само прочистване на атмосферата. Климатът е умерено континентален със средна годишна температура от около 10°C. (<https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F#.D0.9A.D0.BB.D0.B8.D0.BC.D0.B0.D1.82>).

На следващата фигура е представена картата на град София. На тази карта освен територията на града са обозначени и по-важни "горещи точки", които при анализиране резултатите от компютърни симулации имат важно значение и се открояват като райони: ТЕЦ"Изток" в кв. Дружба, в югоизточната част на града; село Панчарево; Копитото; Зоопарк София в южната част на града; Орлов мост и Руски паметник - две натоварени пътни кръстовища в централната част на града; ТЕЦ"София" в центъра на града и района на Костинброд в северозападната част.



Фигура II.1 Карта на град София - "горещи точки".

Преобладаваща е антициклонална циркулация, благоприятстваща замърсяването на приземния атмосферен слой и континенталния характер на климата. Характерна, за района, е и локална циркулация, свързана с появата на фьон, северно от Витоша, през студения сезон и планинско-долинна циркулация, характерна за топлия сезон (през деня вятърът духа от полето към планината, а през нощта обратно - от планината към полето). Блокиращият ефект на планина Витоша затруднява процесите на локалната атмосферна циркулация и създава условия за натрупване на маси замърсен въздух до северните ѝ склонове

Качеството на атмосферния въздух е функция от въздействието както на климатичните фактори, но и от вида и количествата на емитираните вредни вещества от разнообразни източници. Нивата на замърсителите в приземния атмосферен слой са динамична величина, зависеща освен от физикохимичните им свойства, също така и от атмосферната циркулация - разсейването, отлагането или задържането на високи концентрации на замърсителите в определен район.

Повторяемостта на комплекс от определени метеорологични параметри създава условия за характерна сезонна или денонощна вариабилност в нивата на някои от атмосферните замърсители. (http://sofia.bg/smet/Programa_OS_1.pdf)

В настоящата глава са разгледани **II.2.** Осреднени полета на приземни концентрации на различни замърсители и **II.3.** Статистически характеристики на приземните концентрации на различните замърсители, като в последната част **II.4.** са обобщени изводите от направените компютърни симулации.

В автореферата по-подробно ще бъдат показани само годишно осреднените двумерни полета на концентрациите и някои статистически характеристики на приземните концентрации.

II.2. Осреднени полета на приземни концентрации на различни замърсители: Годишни средни полета на приземните концентрации на азотен диоксид (NO₂), озон (O₃), серен диоксид (SO₂) и финни прахови частици (FPRM).

За да се направи оценка състава на атмосферата най-лесно и нормално е да се оценят приземните концентрации, още повече, че те са тези, които влияят на човешкото здраве и, в голяма степен, екосистемите. Чрез осредняване върху всички симулирани полета от ансамбъла, са получени средните годишни и сезонни приземни концентрации и тяхното поведение може да се разглежда като "типични" ежедневни модели на концентрациите. Чрез осредняване по целия ансамбъл за различните замърсители са получени средните годишни и сезонни приземни концентрации. Карти на такива годишни полета разглеждани като "типични" са представени за някои замърсителите: азотен диоксид (NO₂), озон (O₃), серен диоксид (SO₂), финни прахови частици (FPRM) и едри прахови частици (CPRM), като в автореферата по-подробно ще бъдат коментирани само годишно осреднените двумерни полета на концентрациите на замърсителите и някои статистически характеристики на приземните концентрации на различни замърсители за София и за отделни точки.

Годишни средни полета на приземните концентрации на азотен диоксид (NO₂)

Азотния диоксид е токсичен при вдишване и има остра и разпознаваема миризма. Този замърсител има вредно въздействие върху хората и се отразява предимно върху дихателните функции. Хронично болните с респираторни инфекции се повлияват неблагоприятно, а хората болните от белодробна астма са с особено чувствителни към повишаване нивото на азотния диоксид. Основните източниците на азотен диоксид са двигателите с вътрешно горене, топлоелектрическите централи, някои промишлени предприятия и други.

С Наредба №9 (ДВ, бр. 46/1999 г., изм. и доп. ДВ, бр. 86/2005 г.) са определени Предельно Допустими Концентрации (ПДК) за азотен диоксид: *Средно Часова Норма (СЧН) - 200 µg/m³ (да не бъде превишавана повече от 18 пъти годишно), Средно Годишна Норма (СГН) - 40 µg/m³ и Алармен праг - 400 µg/m³ (измерени през три последователни часа от съответните АИС и ДОАС):*

От **Фигура II.2.1** в 2 избрана часа се вижда, че максималните стойности на NO₂ се наблюдават в сутрешните часове в района на южните квартали на София и централните части. Максималната стойност е около 200 µg/m³, а минималната около 100 µg/m³. Тъй като основните източници на NO₂ в града са предимно приземни източници (автомобилния транспорт), то такива високи стойности на приземните концентрации в сутрешните часове и по-ниски по обяд и следобед, вероятно се дължат, на нестабилността на атмосферата в следобедните часове и интензивния турбулентен транспорт на NO₂. В обедните и следобедните часове, вече се открояват само 2 точки от града с повишена концентрация и това са Центъра и ТЕЦ „Изток“.

Годишни средни полета на приземните концентрации на озон (O₃)

Озонът е газ състоящ се от три атомна молекула кислород (O₃). Среща се в горната част на атмосферата на 30 - 50 км над земната повърхност и в приземния въздушен слой. В горната атмосфера озоновия слой има защитни функции (защита срещу ултравиолетовите лъчи), а в приземния слой, той може да има неблагоприятно въздействие, защото е силен окислител. Озонът не се емитира директно в атмосферата, а се формира главно от взаимодействието на азотните оксиди и летливите органични съединения под влияние на високи температури и слънчева светлина. Липсват антропогенни емисии на озон във въздуха. Естествените му фоновы стойности във въздуха са около 30 µg/m³, но могат да стигнат

много по-високи стойности (напр. $120\mu\text{g}/\text{m}^3$). Озона също влияе неблагоприятно на човешкото здраве - при проникването му в дихателната система, той оказва токсичното си въздействие върху нея. Ефектите от действието му се състоят във възпаление на респираторните органи, намаление на функционалността на белия дроб, съпроводени с ускорено дишане, намаляване устойчивостта към респираторни заболявания и отслабване на имунната система. Хората с астматични заболявания и такива, които работят на открито са в най-рисково влияние от озона.

Българското законодателство е регламентирало ПДК за озон в атмосферния въздух с Наредба № 8 (ДВ, бр. 46/1999 г.), Наредба № 4 (ДВ, бр. 64/от 5 юли 2004 г.) - за норми за озон и алармени прагове за нивата на озон в атмосферния въздух: (<http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>) : *Праг за информиране на населението (СЧН) - $180\mu\text{g}/\text{m}^3$ (измерена през три последователни часа) и Праг за предупреждение на населението (СЧН) - $240\mu\text{g}/\text{m}^3$ (измерени през три последователни часа).*

От **Фигура II.2.1** се вижда, че сутрин концентрациите на озон са много малки над града. С напредването на деня и греенето на слънцето, се забелязва как концентрациите на озона се повишават и като, че ли обгръщат територията на града. Напълно естествено, най-големи стойности се наблюдават в следобедните часове около и над планините, а по територията на София те са по-малки.

Озона в България до голяма степен се дължи на транспорт от чужбина (Gadzhev et al. (2012, 2013 a,b,c,d)), това е и една от причините, защо озоновите концентрации са ниски през сутрешните часове спрямо тези от обяд и следобедните – по-слабо изразен интензивен транспорт на озон от високите нива. Друга причина за разпределение на концентрациите в градски район е вероятно е озоновата фотохимия, която обяснява, както високите концентрации през деня и през топлите месеци, така и „озоновите дупки“, които се образуват на местата, където концентрациите на NO_2 са големи.

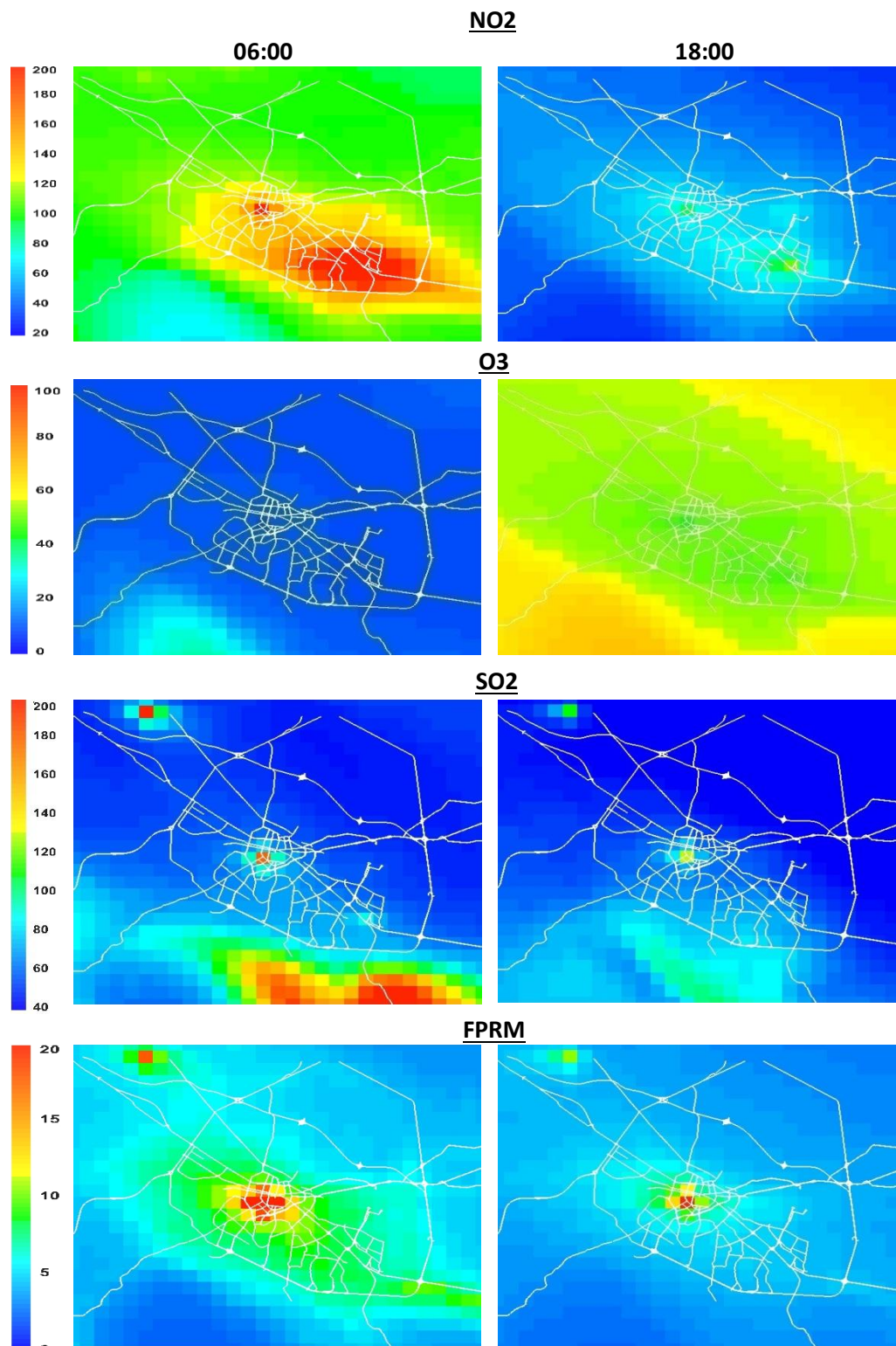
Годишни средни полета на приземните концентрации на серен диоксид (SO_2).

Серният диоксид е от групата на серните оксиди (SO_x), които се формират при изгаряне на горива с високо сярно съдържание. Енергетиката е най-големият източник на серен диоксид – 93,9% от общото емитирано в страната количество. Основен антропогенен източник на серен диоксид са ТЕЦ- те и битовите източници (изгарянето на природни горива). Други източници на замърсяване със серен диоксид са двигателите с вътрешно горене, металургията и химическата промишленост.

Серния диоксид може да попадне в организма чрез респираторната система и да окаже влияние върху човешкото здраве. При попадане на високи концентрации в организма, 90% от него се абсорбира от горните дихателни пътища. Децата, възрастните, хората с астма и сърдечносъдови заболявания или хронични белодробни заболявания са особено чувствителни към високите нива на серен диоксид. Като здравни ефекти върху здравето се проявяват нарушение на дишането, белодробни заболявания, нарушение на имунната защита на белия дроб.

С Наредба №12 от 15 юли 2010 г. (обн. ДВ, бр. 58 от 30 юли 2010 г.) са определени ПДК за серен диоксид. (<http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/s2o.html>): *Средно Часова Норма (СЧН) - $350\mu\text{g}/\text{m}^3$ (да не бъде превишавана повече от 24 пъти годишно), Средно Дневна Норма (СДН) - $125\mu\text{g}/\text{m}^3$ (да не бъде превишавана повече от 3 пъти годишно) и Алармен праг - $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ (измерени през 3 последователни часа от съответните АИС и ДОАС).*

От **Фигура II.2.1** се вижда, че високи концентрации се наблюдават най-вече в сутрешните и обедните часове в района на Панчарево и сутрин се забелязва района на Костинброд в западните покрайнини на града. В следобедните и вечерните часове, концентрациите намаляват, като през нощта се забелязват само в подножието на Витоша планина. На картите се вижда, че максималните приземни концентрации на SO_2 са предимно в районите на Центъра, Панчарево и подножията на Витоша планина. В районите на село Панчарево и в селата в подножието на Витоша, вероятни източници на серен диоксид, са домакинствата отопляващи се на твърдо гориво, което е една от причините за тези високи концентрации в района. Възможна причина са и особеностите на циркулацията, обусловена от характеристиките на релефа. В централните райони, основен източник на серен диоксид е ТЕЦ "София".



Фигура II.2.1.: Средно годишни приземни концентрации на NO₂, O₃, SO₂ и FPRM [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] в 06:00 и 18:00 GMT.

Годишни средни полета на приземните концентрации на финни прахови частици (PRM).

Един от основните замърсители на въздуха е прахта. Основни източници на прах са промишлеността, транспорта и енергетиката и тя естествено има вредно влияние върху човешкото здраве. Това влияние зависи главно от размера и химичния състав на праховите частици. По-едрите прахови частици (от $2.5 \mu\text{m}$ до $10 \mu\text{m}$ - PM10 или CPRM) при попадане в организма чрез дихателната система, се задържат в горните дихателни пътища, а по-финните (под $2.5 \mu\text{m}$ - PM2.5 или FPRM) достигат до по-ниските отдели на дихателната система и водят до увреждане на тъканите в белия дроб. Особено

чувствителни към високи стойности на **PM10** са децата, възрастните и хора с хронични белодробни заболявания, грип или астма.

С Наредба № 9 (ДВ, бр. 46/1999 г.), (изм. и доп. ДВ, бр. 86/2005 г.) са приети норми за пределно допустими концентрации (ПДК) за фини прахови частици. Въведените ПДК целят предпазване от техния вреден ефект върху здравето на хората и околната среда. (<http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/pm.html>):

Едри прахови частици (CPRM) (от 2.5 µm до 10 µm): Средно Дневна Норма (СДН) - 50µg/m³ (да не бъде превишавана повече от 7 пъти годишно) и Средно годишна Норма (СГН) - 40µg/m³

Финни прахови частици (FPRM) (под 2.5 µm): Средно Дневна Норма (СДН) - 40µg/m³ (да не бъде превишавана повече от 14 пъти годишно) и Средно годишна Норма (СГН) - 20µg/m³.

През цялото денонощие се забелязват концентрации на FPRM около 20 µg/m³ в Центъра на града (**Фигура II.2.1**). В сутрешните часове се забелязват и концентрации в южните части на града около 10 µg/m³. През цялото денонощие се откроява и района на Костинброд. Високите сутрешни концентрации вероятно се дължат на стабилността на атмосферата и възпрепятствания турбулентен транспорт, както и интензивен автомобилен трафик.

При средно годишните приземни концентрации на едрите прахови частици (CPRM) на най-големи са стойностите в сутрешните и следобедните часове, както и през нощта. Местата на, които са тези максимални стойности са Центъра на града и околностите му, както и района на Костинброд. Максималните концентрации са около 100 µg/m³.

II.3. Статистически характеристики на приземните концентрации на различните замърсители на територията на град София и за отделни точки.

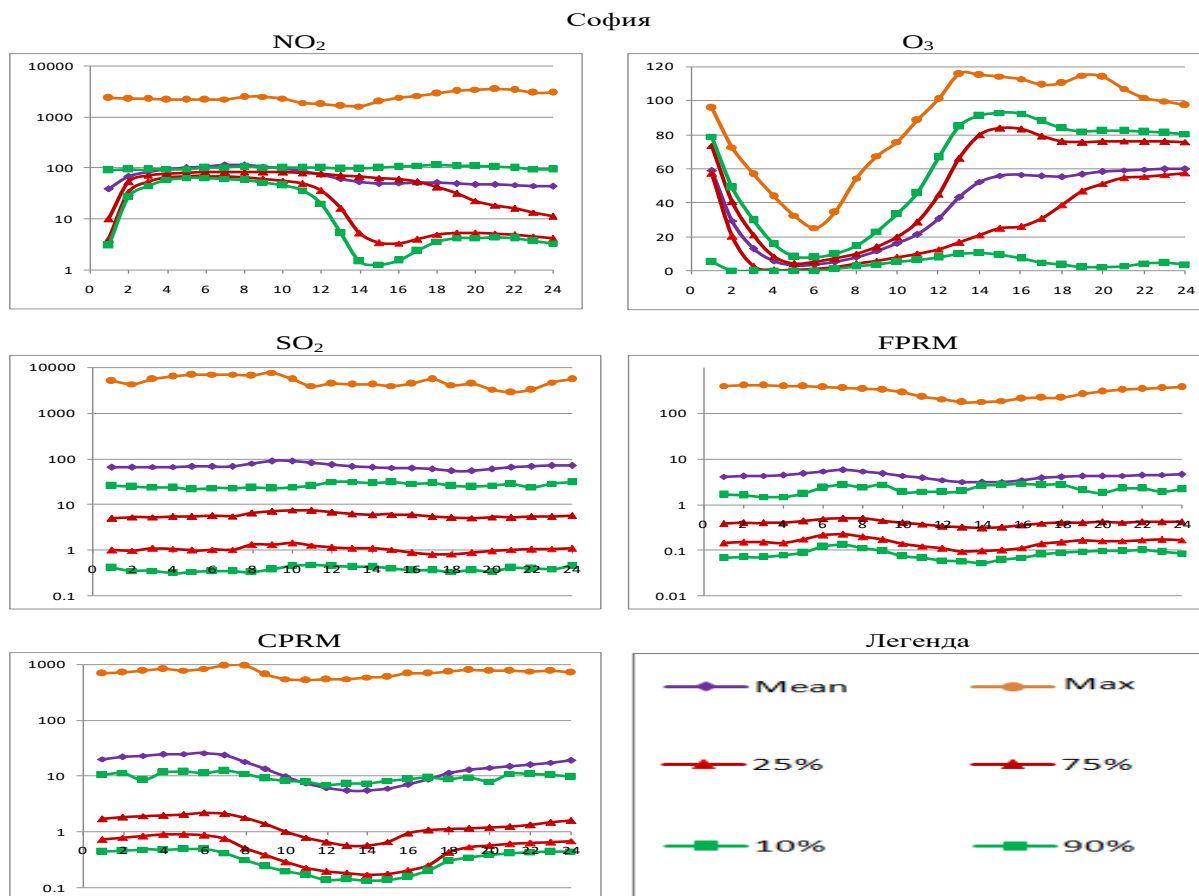
Компютърно симулирания седем годишен ансамбъл е достатъчно голям и изчерпателен за да позволява разнообразни статистически обработки. Представените средногодишни концентрации на някои замърсители в глава II.2. не изчерпват информацията, която може да бъде извлечена от ансамбъла, а биха могли да се изчислят различни статистически характеристики, както за цялата област София град, така и за избрани точки.

Статистическите характеристики, които могат да се изчислят са дисперсия, абсолютните минимални и максимални концентрации, процент на средните стойности в даден интервал от всички стойности на ансамбълът, плътността на вероятността, асиметричност, ексцес/куртозис (височина на върха на нормалното разпределение) и други.

В глава II.3.1 - II.3.6 в дисертацията са представени графики показващи основни ансамблови характеристики на замърсяването, а именно сезонни и годишни характеристики за някои замърсители (NO₂, O₃, SO₂, FPRM, CPRM), осреднени за цялата област София град и в някои подобрани отделни точки от областта (Площад Руски паметник, Орлов мост, ТЕЦ „Изток“, Зоопарк, Копитото). Графиките на други подобрани точки от областта са представени **Приложение II.3**. В автореферата ще бъде представен един пример за статистическите характеристики на годишно осреднените приземни концентрации на някои замърсители в гр. София **Фигура II.3**.

На всички графики са изобразени средните концентрации, максимални по ансамбъл концентрации и кривите обозначени с 10%, 25%, 75% и 90%. Тези криви представляват мислени концентрации, за които съответно в 10%, 25%, 75%, 90% от случаите са били симулирани по-ниски концентрации. При така представените криви в интервала между 25%-75% попадат 50% от случаите, а в интервала 10%-90% попадат 80% от случаите. Изобразените по този начин криви дават достатъчно добра представа за статистическите характеристики на ансамбъла – дисперсия, асиметрия, ексцес, без да бъдат показани явно.

Графиките за NO₂, SO₂, FPRM и CPRM са представени в логаритмична скала, поради големите стойности на абсолютните максимални концентрации и невъзможността да се разгледат интервалите от случаи с дадени концентрации на една графика с абсолютните максимални такива. Абсолютните минимални концентрации са, в повечето случаи, близки до нула, така че те не са показани на логаритмичните графики.



Фигура 11.3.: Статистическите характеристики на годишно осреднените приземни концентрации на някои замърсители в София

Годишно и сезонно осреднени концентрации на азотен диоксид (NO_2) за София показват, че средните концентрации имат добре изразен денонощен ход с максимум в сутрешните часове и минимум в следобедните. Средните концентрации следват 75% крива, като по скоро попадат в 80% интервал от случаи (между двете зелени криви 10%-90%). Средните концентрации са асиметрично разположени в различните отрязъци от броя случаи както през денонощието, така и през различните сезони. Сезонният ход показва, че абсолютните максимални концентрации на азотен диоксид са най-високи през есента и зимата, което вероятно се дължи на по-често устойчивата атмосфера и възпрепятствания турбулентен транспорт на NO_2 във височина.

Годишно и сезонно осреднени концентрации на озон (O_3) за София показват, че средните концентрации са с добре изразени денонощен и сезонен ход. Озонът има добре изразен максимум през деня в следобедните часове, който е свързан с ниските стойности на NO_2 по това време на денонощието и ускорените фотохимични реакции. През сутрешните часове има добре изразен минимум в вероятно дължащ се на по-слабо изразен транспорт на озон от по-високите нива. Средните концентрации се разпределят в интервала съдържащ 50% случаи и са симетрично разположени в различните отрязъци от броя случаи през денонощието и през различните сезони. Средните и абсолютните максимални концентрации са най-високи през пролетта и лятото, което вероятно се дължи на фотохимичните трансформации и неустойчивата стратификация през топлите месеци (спускането от височина на озон към приземния слой).

Годишно и сезонно осреднени концентрации на серен диоксид (SO_2) за София. показват, че средните концентрации имат много слабо изразен денонощен ход с максимум около обяд и попадат в 80% интервал от случаи през пролетта и лятото и над него през студените месеци, като са най-близо до кривата 90% и са асиметрично разположени в различните отрязъци от броя случаи както през денонощието, така и през различните сезони. Абсолютните максимални и средните концентрации са най-високи през есента и зимата, като през студените месеци средните концентрации са по-големи от 90% от случаите. Вероятна причина за това, е че именно тогава е най-голямо производството на емисиите от енергетиката и отоплението както и метеорологичните условия (устойчивата стратификация).

Годишно и сезонно осреднени концентрации на финни и едри прахови частици (FPRM/CPRM) за София показват, че средните концентрации са с добре изразени денонощен и сезонен ход и са асиметрично разположени в различните отрязъци от броя случаи през денонощието и през различните сезони. Средните концентрации попадат в интервала съдържащ 80% случаи през топлите месеци и над него през есента и през зимата съвпадат с 90% кривата. Абсолютните максималните и средни концентрации са най-високи през есента и зимата (устойчивата стратификация). В сутрешните часове има добре изразен максимум, както е и при NO_2 и минимум около обяд за FPRM.. Вероятна причина за този максимум са стабилната атмосфера и интензивния автомобилен транспорт сутрин. При CPRM има добре изразен минимум през деня и максимум вечер. Абсолютните максималните и средни концентрации са най-високи през есента и зимата (устойчивата стратификация). Източници на едри прахови частици са енергетиката и локалното отопление, които са най-интензивни през по-студените месеци .

II.4. Изводи

От представените полета на концентрациите на различните замърсители могат да се направят следните изводи:

Местата и районите по територията на град София, които се открояват с високи концентрации на всички замърсители са Южните части на града, Централните части, ТЕЦ "Изток" и района на Костинброд (западна част на София).

Големи стойности на концентрациите на NO_2 се наблюдават в Центъра, ТЕЦ "Изток" и Южните квартали, като средно годишна норма се превишава в районите на ТЕЦ "Изток" и ТЕЦ "София". Над планините - Витоша, Люлин, Стара планина и Лозен, концентрациите на почти всички замърсители са най-ниски с изключение на озона (O_3), който има най-високи концентрации там. Озоновите концентрации не превишават определените ПДК.

Най-големи концентрации на серен диоксид (SO_2) се наблюдават в района на Панчарево и подножието на Витоша, както и района на Костинброд.

Полетата на концентрациите на праховите частици (FPRM/CPRM), както на финните така и на едрите са високи в Централните части и Южните квартали на София. Като отделно място с висока концентрация се откроява и района на Костинброд в западните покрайнини. На места в споменатите райони на високи концентрации се достигат определените ПДК за финни прахови частици (около $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), докато едрите прахови частици превишават ПДК в Центъра на града и района на Костинброд.

От Статистически характеристики на замърсителите за София и за отделни точки изводите са:

Денонощният и сезонният ход е добре изразен за всички точки.

Средните концентрации на NO_2 , SO_2 и FPRM/CPRM. са асиметрично разположени в различните отрязъци от броя случаи както през денонощието, така и през различните сезони. Средните концентрации на тези замърсители попадат в 80% интервал от случаи. Почти за всички замърсители ивицата 25%-75% попада под средното за съответния случай. Тези на NO_2 следват 75% крива, като по скоро попадат в 80% интервал от случаи, като в сутрешните часове средните концентрации надвишават 90% крива.

Средните концентрации от графиките на SO_2 , FPRM и CPRM през пролетта и лятото следват 90% крива, като попадат в интервала 80% от случаите, докато през студените месеци дори са по-големи от 90% крива. Фактът, че в много случаи линията на средните концентрации попада дори над линията 90% показва, че в останалите 10% от случаите концентрациите са изключително високи.

Средните и абсолютните максимални концентрации на NO_2 , SO_2 , FPRM и CPRM са най-високи през есента и зимата (устойчивата атмосфера и слаб турбулентен транспорт във височина).

Средните концентрации на O_3 се разпределят в интервала съдържащ 50% случаи и са симетрично разположени в различните отрязъци от броя случаи през денонощието и през различните сезони. Средните и абсолютните максимални концентрации на озона също имат добре изразен денонощен и сезонен ход с максимум през топлите месеци и около обяд и с минимум в сутрешните часове. Това вероятно се дължи на слабо изразен транспорт на озон от по-високите нива сутрин и стабилността на атмосферата.

Прави впечатление много високите максимални стойности на концентрациите за повечето замърсители с изключение на озона. Трябва да се има предвид, че тези стойности се получават за всяка отделна точка и част от денонощието в различни дни и както се вижда от графиките 90% от случаите, концентрациите са много по-малки. Анализът на конкретните метеорологични условия при които тези екстремни концентрации се получават, ще бъде обект на по-нататъшни изследвания.

Средните по ансамбъл концентрации, са получени и с отчитане на екстремно високите концентрации. Една друга възможна характеристика на ансамбъла са най-вероятните концентрации, които както се вижда и от графиките ще бъдат по-ниски от средните. Определянето на най-вероятните концентрации също ще бъде обект на по-нататъшна обработка на ансамбъла.

Глава III: Индекс за качеството на атмосферния въздух за град София.

III.1. Въведение

Атмосферния въздух е жизнената среда на човека, който има огромно значение за качеството на живот и човешкото здраве. Въздухът, който ни заобикаля и дишаме е сложна смес от широк спектър от замърсители, свързани по сложен начин, които влияят на качеството на живот. Поради това влияние се определя качество на самия въздух като мярка за състоянието на въздуха спрямо изискванията на една или повече биологични видове. Качество на въздуха (AQ) е ключов елемент за благосъстоянието и качеството на живот на европейските граждани. Асоцииране между повишената честота на дихателната, сърдечно-съдови, неопластични заболявания, намалената продължителност на живота и замърсяването на въздуха е енергично установен (Brunekreef B, Holgate S 2002), (Atkinson at all, 2012). Според Световната здравна организация (СЗО), замърсяването на въздуха силно се отразява на здравето на европейските граждани (СЗО, 2000, 2004), между 2.5 и 11% от общия брой на смъртните случаи се дължат на замърсяването на въздуха). Действащото законодателство (Директива 2002/3/2008 ЕС) изисква информиране на обществеността за качеството на въздуха, за оценка на концентрациите на замърсители на въздуха над цялата територия на държавите-членки и показва превишенията на предельно допустимите стойности (ПДК) и целеви стойности, прогнозира потенциални превишения и оценката на възможните аварийни мерки за намаляване на превишенията, използвайки инструменти за моделиране. Качеството на въздуха се определя, като се конструира Индекс за качеството на въздуха (AQI), който да показва до каква степен е чиста или замърсена средата, която дишаме и какви биха били последиците за здравето на хората. Индексът за качеството на атмосферния въздух е съставен и се измерва, за да се определи състоянието и качеството на въздуха, спрямо широкия кръг от замърсители от който е съставен. Основна функция на индекса за качеството на въздуха е оповестяването на реалното състояние на въздуха и обобщаването му в една цифра (например, изразена като цветна пиктограма или като код), като се дава възможност да се опише по един прост и разбираем за хората начин.

В глава III.2. е описан използвания в настоящата работа Индекс за качеството на атмосферния въздух, в глава III.3. са представени резултати от числени симулации направени за определяне индекса за качеството на атмосферния въздух както и анализ на неговото пространствено - времевото поведение за град София. В глава III.4. са представени изводите от представените резултати.

В автореферата ще бъдат показани и коментирани само годишно осреднените двумерни полета на повтаряемостта на индекса за качеството на атмосферния въздух за град София.

III.2. Индекс за качеството на атмосферния въздух

Индексът за качеството на атмосферния въздух дава интегрална оценка на влиянието на цялата съвкупност от замърсители върху човешкото здраве и се изчислява на базата на концентрацията на различните замърсители получена от измерване или числено моделиране. Предоставянето на информация за реалното качество на въздуха се осъществява чрез преобразуване на концентрацията на замърсителите в индекс, който се определя за всеки замърсител поотделно и по различен начин. След преобразуването на концентрацията в индекс, се образува безразмерна скала, в която попада индексът и е свързана с интуитивен цветен код (напр. от зелено до червено) и лингвистично описание (например от много добро до много лошо).

Индексът на замърсяване се определя в няколко интервала, за всеки от които е линейна функция на концентрацията на съответните примеси (ЕРА, 2009):

$$I = \frac{I_{\text{high}} - I_{\text{low}}}{C_{\text{high}} - C_{\text{low}}} (C - C_{\text{low}}) + I_{\text{low}} \quad (\text{III.2.1})$$

където: I = индекс на замърсяване, C = концентрация на замърсителя, C_{low} = долна гранична стойност на концентрацията C , C_{high} = горна гранична стойност на концентрацията C , I_{low} = долна граница на индекса съответстваща на C_{low} , I_{high} = горна граница на индекса съответстваща на C_{high}

Така изчисления индекс на замърсяване попада в някой от диапазоните на безразмерната скала. Образуването на безразмерна скала се прави спрямо стойностите на индекса на замърсяване, които се разделят на диапазони. Във всеки диапазон стойностите на индекса са свързани с определен цветен код, лингвистично описание и препоръка касаеща човешкото здраве.

В различните държави и организации се конструират различни индекси и скали описващи замърсяването на въздуха и влиянието му върху човешкото здраве, като се взимат за база различни замърсители: За страните от Европейския съюз в рамките на проекта CITEAIR беше разработен Общ Индекс на Замърсяване, който различава часови, дневен и годишен индекс. (<http://www.citeair.eu/>)

Часовия и дневен индекси имат 5 нива използвайки скала от 0 (много слабо) до > 100 (много силно) в относителни единици от концентрацията на замърсителите. Базират се на три замърсителя, които са най-значими за Европа – PM_{10} , NO_2 и O_3 . Могат да се използват в допълнение следните примеси: CO , SO_2 и $PM_{2.5}$. Пример за легендата използвана при общия индекс на замърсяване в Европа е представен на Таблица III.2.1.

Таблица III.2.1: Общ Индекс на Замърсяване - легенда

Замърсяване	Стойност
Много слабо	0/25
Слабо	25/50
Средно	50/75
Силно	75/100
Много силно	>100

Общият годишен индекс се изчислява по различен метод, като представя отклонението от така наречената гранична стойност извлечена от Европейските директиви за годишни стандарти на въздуха. Когато този индекс е по-голям от 1 това означава, че за един или повече замърсители граничната стойност не е достигната, т.е. има превишение на съответния стандарт. Ако индексът е по-малък от 1 това означава, че граничната стойност е достигната т.е. няма превишение на съответния стандарт за нито един от замърсителите. Този индекс представя излагането на вредното влияние на замърсяването за по-дълготраен период и е свързан с препоръките за опазване здравето на населението направени от Световната Здравна Организация (СЗО).(http://www.airqualitynow.eu/about_indices_definition.php)

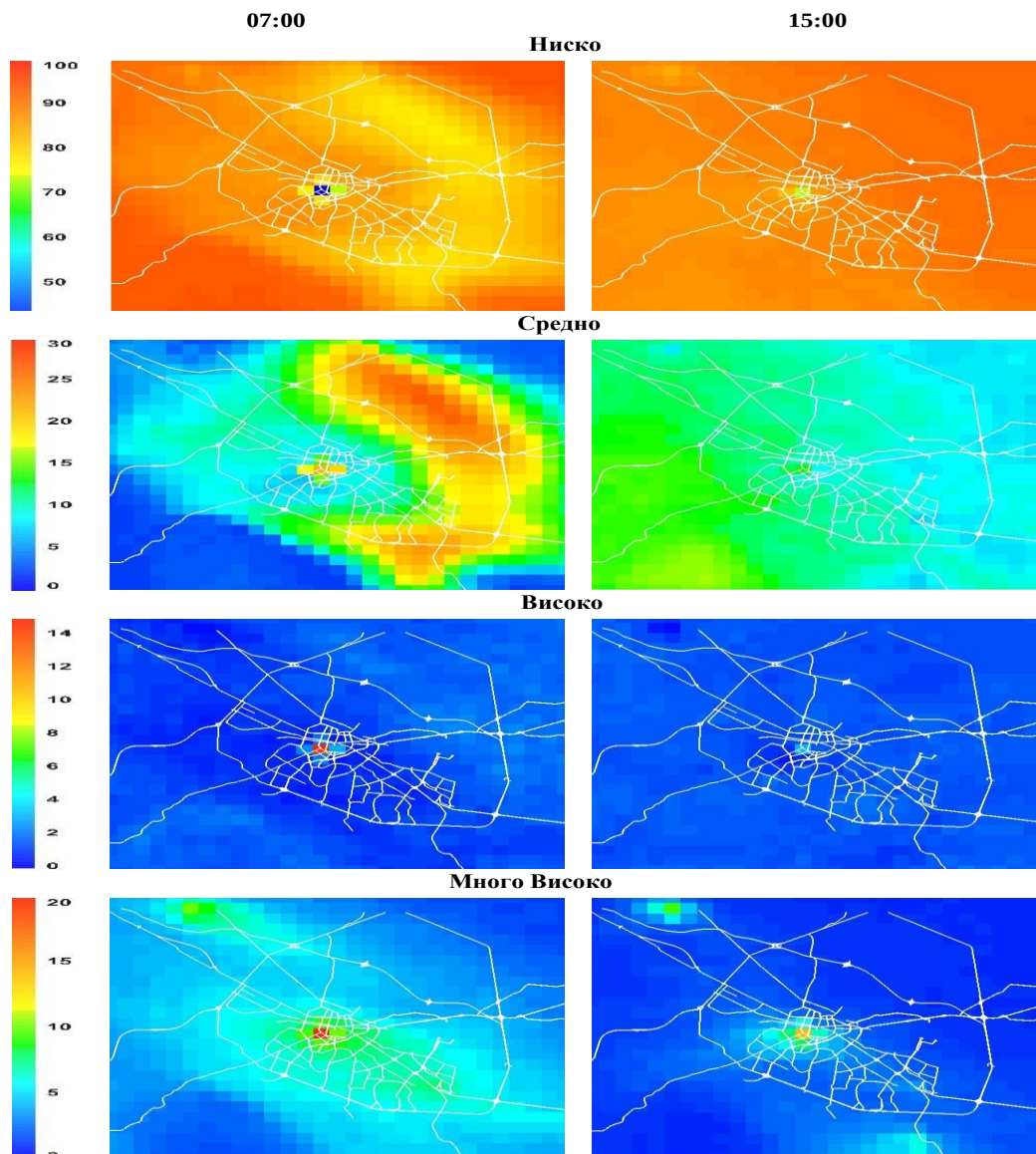
Често използван Индекс за замърсяване е Британският индекс за качество на атмосферния въздух (Leeuw, F. de, Mol, W., (2005)). Той се използва и в България в рамката на Българската Система за Прогноза на Химичното време (Syakov et al., 2009, 2011a,b, 2012, Etropolska et al, 2010). Този индекс е конструиран на 10 нива, които са разпределени в 4 категории: **ниско, средно, високо и много високо**. Индексът на замърсяване се базира на концентрациите на 5 замърсителя: Озон (O_3), Азотен диоксид (NO_2), Серен диоксид (SO_2) и Прахови частици ($PM_{2.5}$, PM_{10}). Граничните стойности между индекса се определят за всеки замърсител поотделно и общия индекс се определя като се вземе максималната стойност на индекса. Референтните нива използвани при образуването на такива таблици и скали са свързани с директивите за граничните нива за опазване на човешкото здраве, определени от Европейския Съюз и/или от Световната Здравна Организация (WHO 2005).

III.3. Анализ на пространствено - времевото поведение на индекса за качество на атмосферния въздух за град София

Както вече беше споменато в България се използва Британският индекс на замърсяване в рамката на Българската Система за Прогноза на Химичното време (Syakov et al., 2009, 2011a,b, 2012, Etropolska et al, 2010). Индексът е съставен на 10 нива, като са разпределени в 4 категории: **Ниско, Средно, Високо и Много Високо**.

Пространственото и времево поведение на индекса за качество на въздуха за град София е определен като всички симулации са представени като сума на всеки индекс във всяка една от категориите - Ниско, Средно, Високо и Много високо. В категорията "Ниско" въздуха е най чист, което означава, че високи стойности при полетата с повторемостта на дните с даден индекс за качеството на въздух, показват повече случаи с чист въздух, а ниските стойности означават по-малко случаи с чист въздух, респективно – повече случаи със замърсен въздух. При останалите категории Средно, Високо и Много Високо, високите стойности показват повече случаи със замърсен въздух, а ниските – повече случаи с чист въздух.

Представени са годишно осреднени полета (**Фигура III.3.1**) на повторемостта в проценти на индекса на замърсяване в 4-те категории - Ниско, Средно, Високо и Много Високо за град София в два избрани часа (07:00 и 15:00 GMT), с цел да се обхванат пиковите часове на интензивен транспортен трафик.



Фигура III.3.1: Повтаряемост на ИКВ в 4-те категории - годишно осреднена за град София

През пролетта по-малка повтаряемост на дните с Индекс на замърсяване в категорията "Ниско" се наблюдават в сутрешните часове само в централните части на града в района на Руски паметник, а след обяд около и над Витоша планина. Това може да се проследи и на полетата от категория "Средно" с около 20% повтаряемост в следобедните часове. В категорията "Много високо" се откроява централната част и южните квартали на града с повтаряемост на дните със замърсен въздух около 10 - 15%, както и района на Костинброд в сутрешните часове, когато обикновено атмосферата е стабилна.

През лятото почти навсякъде повтаряемостта на случаите в диапазон "Ниско" е почти 100%, освен около Северната дъга на околновръстния път. В сутрешните часове могат да се видят тези изключения, които надвишават 20% повтаряемост в диапазон "Средно", а след обяд около и над Витоша планина, както и повтаряемост около 15% над целия град. Това замърсяване се дължи на по-високата концентрация на озон в планинските райони и интензивен транспорт от по-високи нива при интензивна атмосфера в обедните часове. Повтаряемостта на случаите с най-замърсен въздух е сравнително висока (около 20%) и се наблюдава в центъра на града (в близост до Руски паметник) рано сутринта. Високата повтаряемост на индекса в диапазоните "Средно" и "Високо" през сутрешните часове вероятно се дължи на автомобилния транспорт и стабилността на атмосферата, която води до високи концентрации на NO_2 рано сутринта.

През есенните месеци се наблюдава понижено качество на въздуха по Северната дъга на околновръстния път в сутрешните часове, в диапазоните "Ниско" и "Средно", което вероятно се дължи на интензивния транспортен трафик и високите концентрации на NO_2 . В категорията "Много високо" се

откроява единствено центъра на София с повтаряемост на дните със замърсен въздух около 20% отново в сутрешните часове.

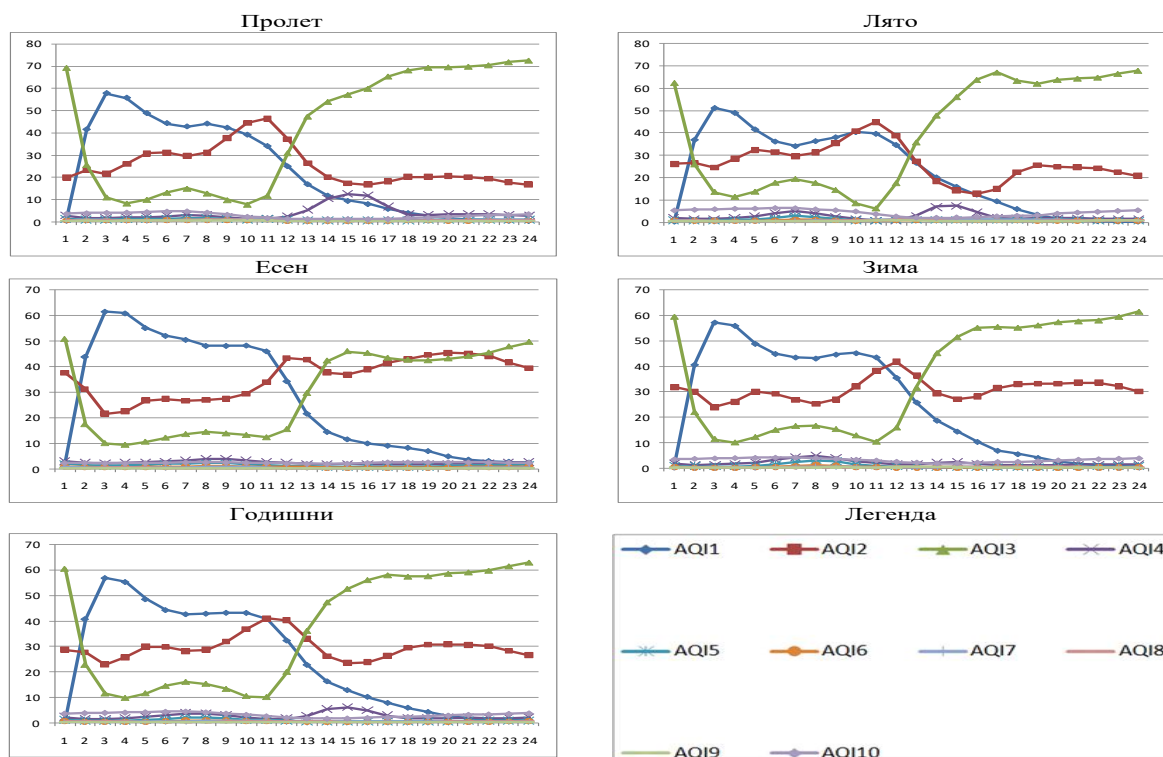
През зимата повтаряемостта на случаите в диапазон "Средно" и "Много Високо" е по-висока сутрин и по обяд. В диапазон "Средно" повтаряемостта е между 15 и 30% почти над целия град. Високото замърсяване в града по обяд се обяснява с по-интензивния трафик и по-стабилната зимна атмосфера, и поради атмосферните условия не се транспортира замърсяването във височина.

Годишно осреднените (Фигура III.3.1) полета на повтаряемостта на дните с определен индекс за качество на въздуха, показват резултати, които напълно естествено следват сезонните полета. В категорията "Ниско", районите със занижен индекс на качеството на въздуха са предимно околоръстната мрежа на града и по-натоварените транспортни трасета, както и централните части, най-вече в сутрешните часове. Това се проследява и в категорията "Средно", рано сутрин с около 20-30% повтаряемост на дни със замърсен въздух. В следобедните часове в тази категория се откроява замърсяване над Витоша планина, което вероятно се дължи на турбулентния транспорт на озон от по-високи нива при турбулентна атмосфера.

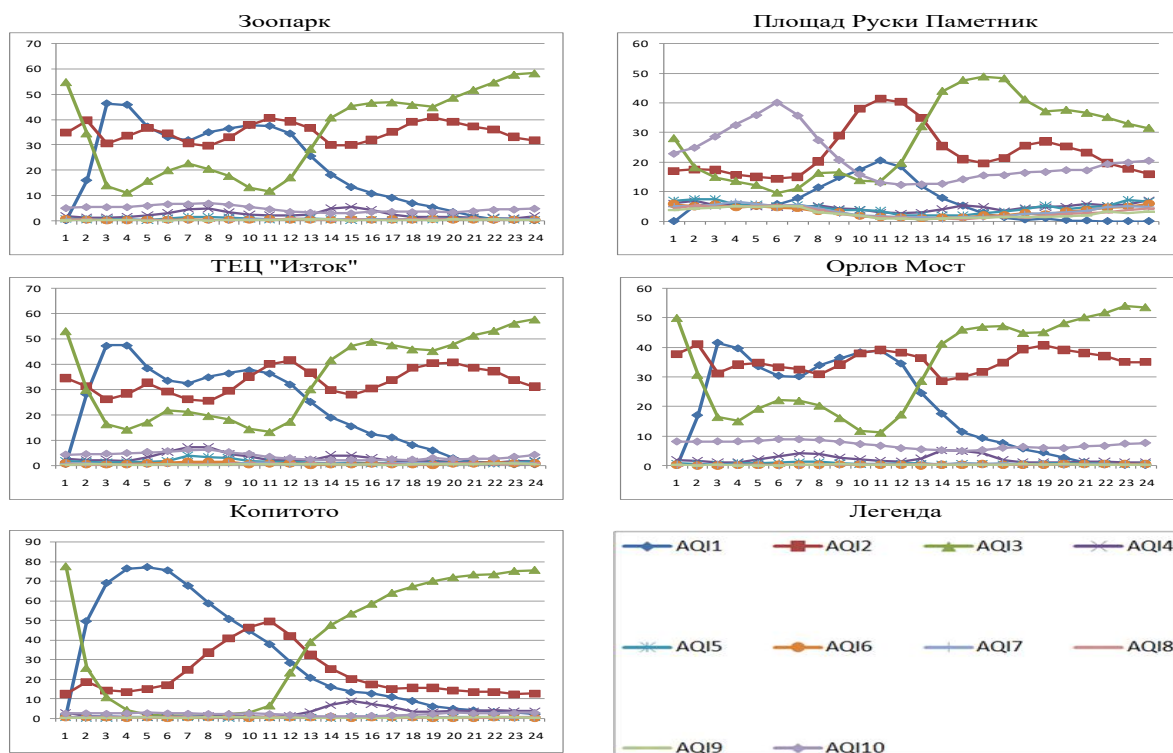
Фигура III.3.2 представя денонощния ход и сезонното разпределение на средните повтаряемости в [%] за различните индекси на замърсяване (от 1 до 10) за територията на град София, както и за различни избрани точки от града – Орлов мост, Площад Руски паметник, ТЕЦ "Изток", Зоопарк и Копитото (Фигура III.3.3) Графиките на останалите извадени точки от София са показани в Приложение III.3.

На Фигура III.3.2 се вижда, че най-голяма повтаряемост през различните сезони имат индексите AQI1, AQI2, AQI3, които попадат в интервал „Ниско“. Денонощния ход на тези индекси е добре изразен. В сутрешни часове повтаряемост от около 40-50% имат AQI1, AQI2, а по това време AQI3 има минимална повтаряемост. През пролетта и лятото в следобедните часове AQI4 има пик с повтаряемост около 10%. През всички сезони се откроява и AQI10, който отговаря на категория „Много Високо“ с около 5% повтаряемост. Останалите индекси имат незначителна повтаряемост.

На Фигура III.3.3 се вижда, че най-голяма повтаряемост за всички точки имат индексите AQI1, AQI2, AQI3, които попадат в интервал „Ниско“ и AQI4 (категория "Средно"). Денонощния ход на тези индекси е добре изразен. За точките Площад Руски паметник и Орлов мост се откроява и AQI10, който отговаря на категория „Много Високо“ с много висока повтаряемост - около 10% за Орлов Мост и около 30 за Руски паметник. Най-голяма повтаряемост на AQI10 е сутрин и през зимата, което вероятно се дължи на стабилната зимна атмосфера и възпрепятстваното изнасяне на замърсяването във височина. Тези точка се открояват, като едни с най-нисък статус на качеството на въздуха.



Фигура III.3.2: Средни повтаряемости в [%] за различните индекси на замърсяване (от 1 до 10) за територията на град София.



Фигура III.3.3:Годишно осреднени повтаряемости в [%] за различните индекси на замърсяване (от 1 до 10) за различни точки от град София

III.4. Изводи

От фигурите показващи статуса за (ИКВ /AQI) качеството на атмосферния въздух на град София, могат да се заключат следните изводи:

Както в **глава II.**, където бяха показани концентрациите на някои замърсители се откриха няколко точки, така и при определяне индекса за качеството на въздуха, се забелязват именно тези места по територията на града. Това е напълно естествено имайки предвид, че за да се изчисли и моделира AQI се изисква концентрация на даден замърсител получена от наблюдения или от модел.

На фигурите се откроява Центъра на града със занижен AQI статус, както през цялото денонощие, така и през всички сезони. Това е една от точките с постоянно замърсен въздух.

Северната скоростна тангента и изхода за АМ "Тракия" се открояват с повтаряемост на дните със замърсен въздух около 30%, но въпреки това повтаряемостите попадат в категориите "Ниско" и "Средно".

В категория "Много Високо" попадат Централните части, както и района на Костинброд в западните покрайнини с повтаряемост около 20% на дни със ниско качество на атмосферния въздух.

С оглед на резултатите от полетата показващи повтаряемостта на дните с даден AQI статус в града, бяха разгледани и денонощния ход и сезонното разпределение на средните повтаряемости за различните индекси в някои от споменатите по-горе точки.

На всички фигури се открояват AQI1, AQI2, AQI3, AQI4 като такива с най-голяма повтаряемост за всички точки и всички сезони. Тези индекси попадат в категориите "Ниско" и "Средно".

Притеснителен е факта, че в точките намиращи се в централните части на града - Орлов Мост и Руски паметник, повтаряемостта на AQI10 е висока, като за района около Руски паметник е около 40%. За точките Зоопарк и ТЕЦ "Изток" също се откроява сравнително висока повтаряемост на AQI10, макар и не толкова голяма колкото в централни части на града - около 10%. Този индекс попада в категорията "Много Високо" и високата му повтаряемост се открива предимно в Центъра на София през всички сезони.

Глава IV: Оценка приноса на различните категории източници (SNAP категории) към замърсяването на град София и за отделни точки.

IV.1. Въведение

Качеството на атмосферния въздух в град София освен от физико - географски и метеорологични особености, зависи също от разнообразни антропогенни източници. Градските източници на атмосферно замърсяване са стационарни и мобилни. Стационарните източници в градските райони, се дефинират допълнително в: **точкови** - големи неподвижни източници с един или няколко високи комини; **площни** - малки неподвижни източници (битови източници, производствени сгради, ниски комини).

Голяма част (27%) от територията на град София е заета от производствени дейности, при което значителна част от предприятията, замърсяващи въздуха с токсични вещества, се намират в жилищните зони или в непосредствена близост до тях. Този тип застрояване затруднява ясното разграничаване на промишлените зони, а фактът, че около 34% от производствените територии са разположени до 4 км от центъра на града, допълнително усложнява управлението на качеството на атмосферния въздух в района.

Основните групи антропогенни дейности, имащи отношение към замърсяване на атмосферния въздух в Столицата са :

Промислени и индустриални дейности - Инвентаризацията на източниците и вредните им емисии идентифицираха отрасловите дейности, имащи пряко отношение към качеството на въздуха в района на София. Те са представени основно от черна/цветна металургия и от централите за производство на топлоенергия (ТЕЦ-те).

Интензивен автомобилен трафик - замърсява въздуха с широка гама от химични съединения: азотни и въглеродни окиси, прахови аерозоли, сажди, серни оксиди, полициклични ароматни въглеводороди.

Извършването на *строителни и ремонтни дейности*, в различни райони на града, е свързано с допълнително повишение на концентрациите на суспендиран прах и вредни газове от нефтени горива.

Емисиите от МПС замърсяват приземния атмосферен слой на град София с азотен диоксид, докато промишлеността има по-голямо значение за замърсяването със серен диоксид. Основни източници на прах (PM) са в приблизително еднаква степен трафикът, големите индустриални предприятия, битовото или промишлено изгаряне на твърди и течни горива за отопление.

Битови дейности - използването на твърди и течни горива за отопление през зимния сезон в битовия сектор и местните топлоцентрали продължава да бъде от съществено значение за качеството на въздуха в Столична община.

Съществена роля за качеството на въздуха в района на Столицата има интензивният трафик. На второ място, са индустриалните дейности, предимно производството на топлоенергия, електроенергия и дейностите на металургичните предприятия, а с най-малък дял към общото замърсяването на въздуха са строителните, ремонтните и битовите дейности. (http://sofia.bg/smet/Programa_OS_1.pdf)

Замърсяването на въздуха силно зависи от емисиите на примесите. Ето защо изследването на приноса на емисиите от отделни категории източници (SNAP категории) към общата картина на замърсяване е задача с голямо практическо значение, чиито резултати могат да бъдат пряко използвани при формулирането на краткосрочни (текущи) решения и дългосрочни стратегии за намаляване замърсяването на въздуха.

IV.2 Емисионни сценарии и някои полета на ансамблово осреднените приноси на отделните категории източници към приземните концентрации.

Резултатите в настоящата глава са получени въз основата на 5 емисионни сценария, всеки един за целия период от 2008 - 2014 година.

Изборът на тези сценарии е подбран спрямо разпределението на дяловете на всяка категория източници, към общата емисионна картина както в страната, така и в София. Инвентаризацията на емисиите на TNO е за 10 SNAP категории, което, позволява оценката на приноса на различни антропогенни дейности към общата картина на замърсяване на страната и по специално за разглеждания район София град.

Източниците от SNAP категория 01 (Енергетика) имат най-голям дял в сумарните, както за страната, така и за София емисии на SOx и NOx. Източниците от SNAP категория 02 (Неиндустриални изгаряния) имат относително малък дял в сумарните за страната емисии на повечето замърсители, но за София имат голям дял към сумарните за NOx. Емисиите от SNAP категория 03 (Индустриални изгаряния) имат голям дял в сумарните за страната и София емисии на CO, но също така са със втори по-големина дял в

сумарните емисии на SOx. За София източниците от SNAP категория 03 имат и най-голям дял от сумарните за града емисии на PM₁₀. Източниците от SNAP категория 07 (Пътен транспорт) са с втори по големина дял в сумарните емисии на NOx за страната и за София и имат най-голям дял към сумарните за София на PM_{2.5}. Най-голям дял към сумарните за София имат емисиите от SNAP категория 01 (Енергетика), поради наличието на точкови източници в областта.

Поради разпределението на емисиите от различните източници към сумарните за страната и София град бяха подбрани точно тези 5 сценария:

Сценарий 1: Емисиите от SNAP_01 (Енергетика) редуцирани с фактор 0.8

Сценарий 2: Емисиите от SNAP_02 (Неиндустриални изгаряния) редуцирани с фактор 0.8

Сценарий 3: Емисиите от SNAP_03 (Индустриални изгаряния) редуцирани с фактора 0.8

Сценарий 4: Емисиите от SNAP_07 (Пътен транспорт) редуцирани с фактора 0.8.

Сценарий 5: Емисиите от всички категории SNAP_ALL редуцирани с фактора 0.8

В глава IV.2. са представени някои осреднени по ансамбъл приноси на източници от категории SNAP_01, SNAP_02, SNAP_03, SNAP_07 и SNAP_ALL (източниците от всички категории) водещи до замърсяването на територията на град София. В глава IV.3. са представени съответните оценки, осреднените за територията на София и за отделни точки от града. В автореферата само ще бъдат описани резултатите от тези две глави.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_03, SNAP_07 и SNAP_ALL водещи до образуването на азотен диоксид (NO₂).

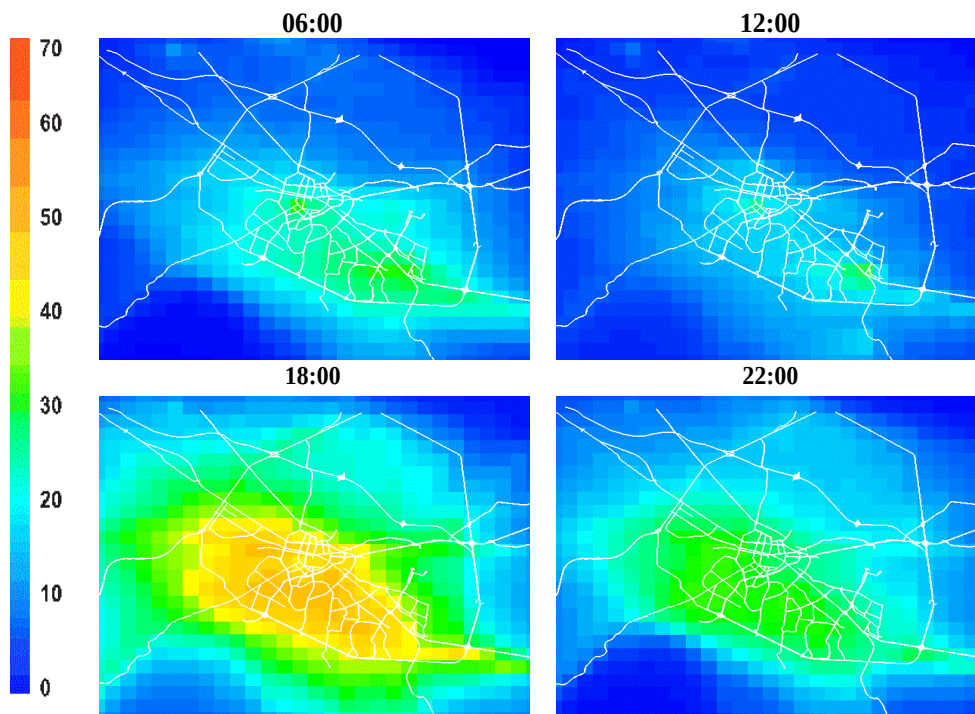
От полетата за средните годишни приноси на емисиите от SNAP_01 Енергетика за образуване на приземен азотен диоксид (NO₂), в 06:00 и 12:00 часа добре се открояват две точки, които са двата ТЕЦ-а в София - ТЕЦ Изток (кв. Дружба) и ТЕЦ София (централна част), като места с висок и силно локализиран над тях принос около 40 – 50 %. Приносът на тецове е максимален в сутрешните часове. В 18:00 се забелязва понижение в приносите на тецове и вече в 22:00 часа са най-ниските приноси за цялата област.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_02 Неиндустриални изгаряния за образуване на приземен азотен диоксид (NO₂), се вижда, че през цялото денонощие той е положителен, като най - голям е за района на ТЕЦ Изток около 50%. Откроява се и центъра на града с принос около 30% през целия ден. Над останалата част средният годишен принос е около 20% - 30%.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_03 Индустриални изгаряния за образуване на приземен азотен диоксид (NO₂), се вижда, че той е изцяло положителен. Най-висок е приноса за района на двата ТЕЦ-а София и Изток, около 40% в 06:00 и 12:00 часа. В следобедните и нощните часове приноса се откроява само в Центъра и то с доста висок процент около 40 - 50%.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_07 Автомобилен транспорт за образуване на приземен азотен диоксид (NO₂) (**Фигура IV.2.1.**), се вижда, че през цялото денонощие той е положителен. В 06:00 и 12:00 часа средният принос е най-нисък около 30% за районите около двата ТЕЦ-а София и Изток. В 18:00 часа приносът е най-висок около 50%, като се открояват южните квартали и централните части на София.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от всички категории SNAP_ALL за образуване на приземен азотен диоксид (NO₂), се вижда, че той е изцяло положителен. В 06:00, 12:00 часа приносът е около 40% в района на ТЕЦ София и ТЕЦ Изток, докато в 18:00 и 22:00 часа се вижда, че почти за цялата област средният принос е максимален и е около 40%-50%. С по-нисък принос около 20% се откроява Северната дъга на околновръстния път. Като място с висок положителен принос се откроява и района на Костинброд. В 06:00 часа средния принос е минимален.



Фигура IV.2.1. Средни годишни приземни приноси [%] на SNAP_07 за NO₂.

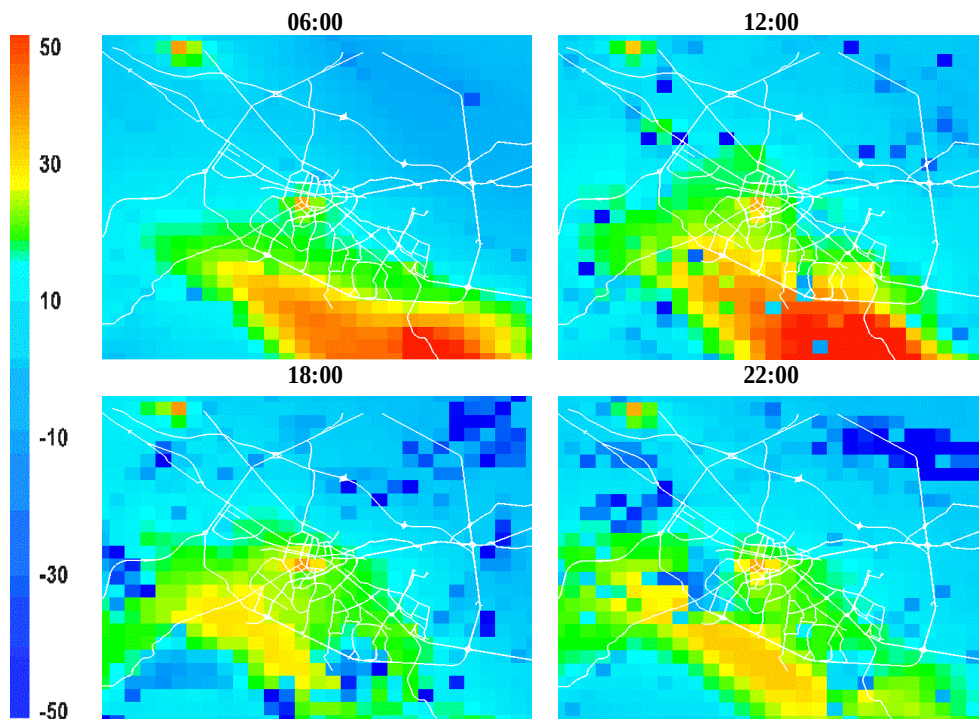
Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_03, SNAP_07 и SNAP_ALL водещи до образуването на озон (O₃).

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_01 Енергетика за образуване на приземен озон (O₃), се вижда, че той е строго отрицателен. В 06:00 и 12:00 часа, приносът почти над целия град включително и над планините е почти нулев, като се открояват централните части на града с отрицателен принос около -50% в 06:00 и 12:00 часа и района около ТЕЦ Изток с голям отрицателен принос около -80 - (-100)% в 12:00 часа. В следобедните и вечерните часове приноса на емисиите от този снап почти над цялата област става отрицателен. Това показва, че озонът в района на град София се дължи най-вече на пренос в областта, а собствените източници чрез емитираните азотни оксиди допринасят за разграждането на озона.

На фигурите не се открива качествена и количествена разлика при приноса на емисиите от различните SNAP категории, което само потвърждава това, че озона над София град се формира на друго място извън града и неговото количество и разпределение се дължи на пренос отвън към града. При сезонното разпределение (**Приложение IV**) може да се проследи разлика, която през топлите сезони се откроява с отрицателни приноси клонящи към нула от всички снапове над цялата област, освен над Витоша планина, където приносите са големи и строго отрицателни.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_03, SNAP_07 и SNAP_ALL водещи до образуването на серен диоксид (SO₂).

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_01 за образуване на приземен серен диоксид (SO₂) (**Фигура IV.2.2.**), се вижда, че той е предимно положителен в района на Панчарево, подножието на Витоша планина, центъра на града и района на Костинброд. Максимален е приноса в 06:00 и 12:00 часа в района на Панчарево около 50%.



Фигура IV.2.2. Средни годишни приземни приноси [%] на SNAP_01 за SO₂

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_02 за образуване на приземен серен диоксид (SO₂), се вижда, че той е положителен като се открояват местата центъра на града, ТЕЦ Изток и района на Костинброд. Максимален е приноса в 06:00 и 12:00 часа на тези места около 50%.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_03 за образуване на приземен серен диоксид (SO₂), се вижда, че той е положителен като се открояват местата центъра на града и района на Костинброд. Максимален е приноса за района на Костинброд, през цялото денонощие около 50%.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_07 за образуване на приземен серен диоксид (SO₂), се вижда, че той е много малък и положителен като се открояват местата центъра на града, района на Костинброд и района на Панчарево. Над останалата част от областта приноса е почти нулев.

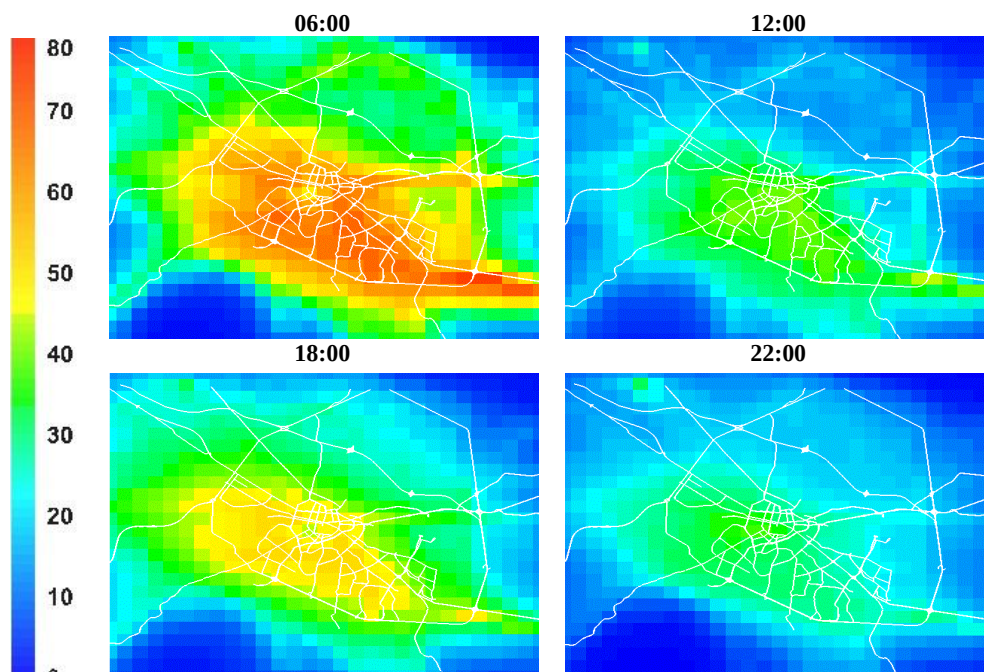
От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_ALL за образуване на приземен серен диоксид (SO₂), се вижда, че той е максимален и положителен почти над цялата област. Максимален е приноса за района на Костинброд както и над Панчарево в 06:00 и 12:00 часа около 50%. Над планините приноса е нулев.

На всички фигури се откриват и места със строго и големи отрицателни стойности, особено в следобедните и вечерните часове. Тези отрицателни приноси вероятно се дължат на локални процеси на хетерогенна химия и взаимодействието с аерозоли.

Годишни полетата на средните относителни приноси на емисиите от SNAP_01, SNAP_02, SNAP_03, SNAP_07 и SNAP_ALL водещи до образуването на финни прахови частици (FPRM).

От полетата за средния годишния принос на емисиите от SNAP_01 за образуване на финни прахови частици (FPRM), се вижда, че приносът през цялото денонощие навсякъде е положителен. Само над високите части на планините Витоша и Стара Планина той е минимален и почти нулев, а над останалата част от областта приноса е около 30%. Приносът е най-висок над централните части на града, южните квартали и района на Костинброд около 40%.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от Неиндустриалните изгаряния SNAP_02 за образуване на финни прахови частици (FPRM), се вижда, че приносът през цялото денонощие навсякъде е положителен, като средният принос за града е около 30%. В 06:00 часа приноса е най-висок около 40% в централните части на града, като се откроява и района на Костинброд в северозападната част. В 18:00 средният принос намалява и в 22:00 часа вече той е минимален около 20%.



Фигура IV.2.3. Средни годишни приземни приноси [%] на SNAP_07 за FPRM.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от Промислеността SNAP_03 за образуване на финни прахови частици (FPRM), се вижда, че приносът през цялото денонощие навсякъде е положителен. В 06:00 и 18:00 часа той е максимален за цялата област, а в 12:00 и 22:00 часа е максимален само в центъра и района на Костинброд. Средния принос за почти цялата област е около 20%.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от Автомобилния транспорт SNAP_07 за образуване на финни прахови частици (FPRM) (Фигура IV.2.3.), се вижда, че приносът през цялото денонощие навсякъде е положителен. В 06:00 и 18:00 часа средният принос е максимален и е около 50%, като в 06:00 се откроява с принос над 60%. В 12:00 и 22:00 часа приноса е по нисък в сравнение с другите часове, но въпреки това остава около 30% в централните части и началото на АМ Тракия както и основните пътни трасета в Столицата.

От полетата за средния годишния принос на емисиите от всички категории източници SNAP_ALL за образуване на финни прахови частици (FPRM), се вижда, че приносът през цялото денонощие навсякъде е положителен и максимален. Достига стойности над 60% за цялата област освен над планините Витоша и Стара планина, където той е нулев през цялото денонощие. Приносът е максимален в 06:00 и 18:00 часа със стойности около 70%, в централните части и южните квартали, като с голям принос се откроява и района на Района на Костинброд.

IV.3. Годишно и сезонно осреднени приземни приноси на отделните категории източници за отделни точки от град София.

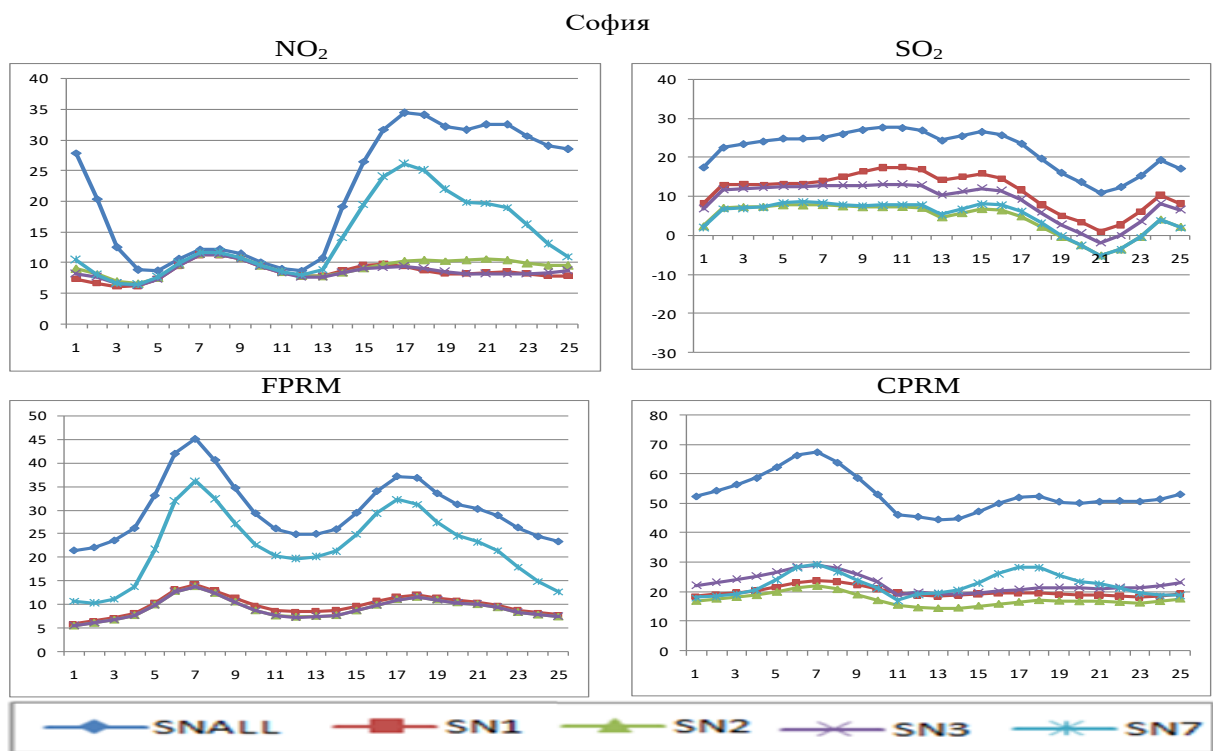
Показаните по-горе резултати за приземният относителен принос на различните източници осреднени по целия ансамбъл получени чрез компютърно симулиране, могат да бъдат използвани за да се определят, както относителните приноси на отделните източници за определен замърсител за областта, така и за избрана отделна точка от нея. Това дава ценна информация за дългосрочни или краткосрочни стратегии за намаляване на емисиите от въпросните източници на замърсяване, за да се предпази съответната област или регион от превишаване на определените Пределно Допустимите Концентрации (ПДК). Подбрани са точките така, че да има представителна от всеки от засегнатите по-горе райони, показващи най-голямо замърсяване. От централните части са показани точките Орлов мост и Руски паметник, от южните части представител е точка Зоопарк, естествено са отразени и двата ТЕЦ-а в София - "Изток и София", Панчарево и една чисто планинска точка е избрана за по-добро сравнение - Копитото. Във всички тези точки са показани осреднените приноси на емисиите от различните SNAP категории водещи до образуването на даден замърсител.

Тук ще бъдат показани само Годишно осреднени приземни приноси на отделните категории източници за град София, а за останалите точки ще бъдат накратко описани.

От **Фигура IV.3.1.** за осреднените по ансамбъла годишни и сезонни (представени в дисертацията) приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземен NO_2 в София, през отделните сезони приносът на различните типове източници е различен, но с почти еднакъв денонощен ход. Навсякъде в следобедните часове и през нощта водещ е приносът на емисиите от всички снопове, (SNALL) - около 40% следван от този на автомобилния транспорт (SN7) около 30%, през всички сезони. Приносът на всички останали източници в сутрешните часове имат лек пик около 10% принос.

От фигурите за осреднените по ансамбъла годишни и сезонни представени в дисертацията приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземен O_3 се вижда, че през отделните сезони приносът на различните типове източници е различен, но с почти еднакъв денонощен ход и освен това той е изцяло отрицателен. В сутрешните и следобедните часове са най-големите отрицателни стойности, докато около обяд приносът на всички снопове се доближава до 0. През зимните месеци, се открояват най-големите отрицателни стойности, а през есента и лятото - най-малките. Не може да се определи кои източници, са с най - голям принос, всички имат еднакво разпределение.

От **Фигура IV.3.1.** за осреднените по ансамбъла годишни и сезонни (представени в дисертацията) приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземен SO_2 се вижда, че той е изцяло положителен, и че през отделните сезони приносът на различните типове източници е различен и с почти еднакъв денонощен ход. Навсякъде доминиращият принос е този на източниците от всички снопове (SNALL) около 30%, следван от този на енергетиката (SN1) около 20%. Приносът на останалите източници е под 10%. Максимални приноси на емисиите от всички снопове и на тези от енергетиката се забелязват около обедните часове.



Фигура IV.3.1: Осреднени по ансамбъл годишни приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземените концентрации на азотен диоксид, озон, серен диоксид, финни и едри прахови частици.

От **Фигура IV.3.1.** за осреднените по ансамбъла годишни и сезонни (представени в дисертацията) приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземни FPRM се вижда, че през отделните сезони приносът на различните типове източници е различен, но с почти еднакъв денонощен ход. Доминиращият принос е този на източниците от всички снопове (SNALL) около 40%, следван от този на автомобилния транспорт (SN7) - около 30%. Приносът на останалите източници е около 10% през всички сезони. Денонощното разпределение показва, че максимален принос имат снопове в сутрешните и

следобедните часове, а минимален около обяд (ефекта на по-интензивен вертикален пренос при преобладаващо неустойчива атмосфера) и през нощта.

От **Фигура IV.3.1.** за осреднените по ансамбъла годишни и сезонни (представени в дисертацията) приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземни CPRM се вижда, че приносите са изцяло положителни и през отделните сезони приносът на различните типове източници е различен, но с почти еднакъв денонощен ход. Навсякъде доминиращият принос е на източниците от всички снапове (SNALL) около 50%. Вторият по големина принос е на автомобилния транспорт (SN7), като в сутрешните часове, той се изравнява с приноса на емисиите от промишлеността (SN3). Най-големи стойности на приносите са в сутрешните часове през всички сезони, както и в следобедните. Най-малък принос имат източниците на Неиндустриалните изгаряния около 10%.

Осреднените по ансамбъла годишни и сезонни приноси на отделните източници, водещи до формирането на приземните концентрации на замърсителите за различни избрани точки от областта, са представени в дисертацията, както и в **Приложение IV.**

IV.4.Изводи

От полетата за средните относителни приноси на емисиите от различните SNAP категории, водещи до образуването на различни замърсители могат да се направят следните изводи:

Приносът на емисиите от (SNAP_01) Енергетиката е положителен за почти всички карти с изключение на озоновите полета, където приноса е отрицателен. Много добре се открояват двата ТЕЦ-а "София" (в центъра на града) и "Изток", в кв. "Дружба". Максималният принос на SNAP-01 към приземните концентрации на серен диоксид е в района на Панчарево особено през деня, както и в района на района на Костинброд. Големият относителен принос на източниците от енергетиката в подножието на Витоша през деня вероятно се дължи на особеностите на локалната циркулация в Софийското поле – потоци насочени към планината, което комбинирано с по-интензивното смесване през деня евентуално води до по-високи приземни концентрации на серен диоксид.

При полетата на средния принос на енергетиката към формирането на финни прахови частици, се открояват централните части и района на Костинброд.

Приносът на емисиите от Неиндустриалните изгаряния (SNAP_02) също е положителен над територията на града освен при полетата за озона, където е строго отрицателен. Тук се открояват 3 точки, като места с най-голям принос на емисиите от тази категория и това са Центъра на града, ТЕЦ "Изток" и района на Костинброд. Максимален е приноса на емисиите от Неиндустриалните изгаряния за образуването на прахови частици.

Приносът на емисиите от Индустриалните изгаряния (SNAP_03) е положителен макар и по-малък в сравнение с другите категории, за всички замърсители без озона като се открояват местата Центъра на града и района на Костинброд с максимален принос.

Приносът на емисиите от Автомобилния транспорт (SNAP_07) е положителен и максимален за образуването на азотен диоксид (NO_2) и прахови частици (PM). Добре се описват по-големите пътни трасета в столицата като основен източник на NO_2 . Местата с най-голям положителен принос на емисиите от тази категория са предимно в южните квартали - Южната дъга на околновръстния път, изхода на Цариградско шосе към АМ Тракия и централните части характеризирани се с едни от най-натоварените пътни транспортни трасета. Там където са местата с максимален положителен принос на транспорта към образуването на азотен диоксид (NO_2), при озоновите полета ситуацията е обратна - на тези места приноса е строго отрицателен и максимален, което означава, че това са районите където озона (O_3) най-силно се разрушава.

Приносът на емисиите от всички категории към образуването на всички замърсители с изключение на озона, напълно естествено е максимален и положителен спрямо всички останали приноси на разгледаните категории. Местата, на които този принос е максимален са центъра на града, южните квартали и района на Костинброд, вероятно дължащ се на разгледаните по горе категории SNAP_01, SNAP_02, SNAP_03, SNAP_07. Районите над планините Витоша и Стара планина са местата с нулев принос на емисиите от всички снапове поради липсата на източници.

На полетата за образуване на озон и приносите на различните категории не се открива качествена и количествена разлика при приноса на емисиите, той е строго отрицателен. Това потвърждава, че озона над град София се формира на друго място извън града и неговото количество и разпределение се дължи на пренос отвън навътре към територията на града. Местата на които приноса на транспорта е максимален и положителен, то там има "изяждане" и разрушаване на озона. За повечето точки избрани от областта, доминиращ е приноса на автомобилния транспорт (SNAP_07) през деня, а през нощните часове доминиращ отрицателен принос имат Неиндустриалните изгаряния (SNAP_02).

Прави впечатление изключително големият по абсолютна стойност отрицателен принос, който се наблюдава на места на практика за всички категории източници. Този изключително голям по абсолютна стойност отрицателен принос се дължи на простия факт, че в някои, ограничени по брой епизоди самите базови (с отчитане на всички източници) концентрации са много малки, на практика близки до нула, което естествено води до много големия по абсолютна стойност принос.

За територията на град София относителните приноси имат добре изразен денонощен и сезон ход. Сезонният ход може да бъде различен за различните замърсители и да се мени в зависимост от източника на дадената емисия. Това се проследява на графиките за осреднените приземни приноси на отделните източници за различни точки.

Както за град София (цялата област), така и за отделните разглеждани точки може да се направи обобщен извод, че за образуването на азотен диоксид (NO_2) и Прахови частици (PM) доминира Автомобилния транспорт (SNAP_07), а за серния диоксид (SO_2) - Енергетиката и Индустриалните изгаряния (SNAP_01, SNAP_03). Приносът на емисиите от всички категории (SNAP_ALL) в отделните точки, както и за цялата област София град, е по-малък от 100% (за някои замърсители е значително по-малък от 100%), което означава, че част от концентрациите се формират и от източници, които са външни за областта D5 и са резултат на пренос през границите и.

Глава V: Оценка приноса на различните процеси към формиране на замърсяването за град София.

V.1 Въведение

Атмосферното замърсяване формира в резултат на взаимодействието на различни динамични и химични процеси. Разглеждането на взаимодействието и приноса на тези процеси дава възможност за обяснение на общата картина на замърсяване в град София.

Процесите, които влияят върху формиране картината на замърсяване са: хоризонтална и вертикална дифузия, хоризонтална и вертикална адвекция, емисии, сухо отлагане, химически трансформации, аерозолни процеси, хетерогенна химия и облачни процеси, запазване/съхранение на масите.

В настоящата глава ще бъдат представени главно някои резултати от компютърните симулации, оценяващи приноса на различните динамични процеси на пренос и трансформация на замърсителите, които формират климата на замърсяването на въздуха за град София. В V.2. е представено кратко описание на “Integrated Proces Rate Analysis” функцията на модела CMAQ, позволяваща разглеждането на тези процеси и техния принос, в V.3 са представени двумерни полета и графики на някои осреднени по ансамбъл приземни (първия слой в областта на интегриране) приноси на отделните процеси. В V.4. са изводите от направените симулации.

V.2 Функцията на модела CMAQ - “Integrated Proces Rate Analysis”.

Химичния транспортен модел CMAQ, който е използван при симулациите има специфична опция “Integrated Process Rate Analysis”, която дава възможност да се оцени ролята на всеки от отделните процеси споменати по-горе, при формиране на атмосферното замърсяване. По този начин изменението на концентрацията за даден интервал от време Δt може да се представи като сума от приноса на различните процеси:

Процеси:

HADV - Хоризонтална дифузия
ZADV - Вертикална дифузия
HDIF - Хоризонтална адвекция
VDIF - Вертикална адвекция
EMIS - Емисии
DDEP - Сухо отлагане
CLDS - Облачни процеси
CHEM - Химични процеси
AERO - Аерозолни процеси

Включването на опцията за изследването на приносите на отделните процеси, дава възможност да се определят не само приносите на отделните процеси за определен замърсител, но също така и за група от замърсители:

$GNOY = NO + NO_2 + NO_3 + 2 \cdot N_2O_5 + (HONO + HNO_3 + PNA)$ - **Азотни окиси**

$ORG_N = PAN + NTR$ - **Органични нитрати**

$HYDC = PAR + ETH + OLE + TOL + XYL + ISOP$ - **Хидро Карбони**

$CAR_PHE = PAR + ETH + OLE + TOL + XYL + ISOP$ - **Карбон Феноли**

$CPRM = ACORS + ASEAS + ASOIL$ - **Едри Прахови Частици (CPRM)**

$A2_5 = SO_4 + NH_4 + NO_3 + EC + (ORGA + ORGB) + PM_{2.5}$ - **Финни Прахови Частици (FPRM)**

В тази глава се разглеждат само една група от газовите замърсители GNOY и две групи от праховите замърсители CPRM и FPRM (едри и финни прахови частици).

V.3. Осреднените приземни приноси на отделните процеси

Изследването на отделни процеси на транспорт и трансформация на замърсителите има за цел да покаже, кой или кои процеси са водещи при определяне замърсяването на въздуха. Това силно зависи не само от емисиите на даденият замърсител, релефа, подложната повърхност и метеорологията, но и от спецификата на даденият замърсител - дали той е газ или аерозол, дали, до колко и как ще му влияят химичните и аерозолните процеси при изменението на неговите концентрации.

В дисертацията са представени само годишно осреднените полета на приземните приноси на различните процеси (VDIFF, HDIFF, VADV, HADV, EMIS, DDEP, CLDS, CHEM, AERO), водещи до образуването на различните замърсители (GNOY, NO_2 , O_3 , SO_2 , CPRM и FPRM). Сезонните полета на

въпросните приноси на процесите водещи до формирането на замърсителите за град София са представени в **Приложение V**.

В автореферата ще бъдат показани само годишно осреднените полета на приземните приноси на различните процеси, водещи до образуването на азотен диоксид (NO_2), **Фигура V.3.1.** и озон (O_3) **Фигура V.3.2.**, а приноса на процесите към останалите замърсители за областта са показани в дисертацията, а тук само ще бъдат описани накратко.

Средно годишни полетата на приземните приноси на процесите (HADV, VADV, HDIFF, VDIFF, DDEP, CLDS, CHEM, EMIS) водещи до образуването на въглероден диоксид (NO_2).

От полетата за средните приноси на хоризонталната адвекция за образуване на приземен азотен диоксид (NO_2) се вижда, че минималните стойности са по Витоша планина, в центъра на града и самите източници. Откроява се също така и над ТЕЦ "Изток" с минимални стойности. Максимални стойности се наблюдават в подножията на планините. В 18:00 часа приносът на хоризонталната адвекция е най-малък, а в 06:00 най-голям.

От полетата за средните приноси на вертикалната адвекция за образуване на приземния азотен диоксид (NO_2) се вижда, че максималните стойности са по планините, а минимални се наблюдават в подножията на планините, точно противоположно на плотовете от хоризонталната адвекция. В 18:00 часа приносът на вертикалната адвекция е най-малък, а в 12:00 най-голям.

Двойката Хоризонтална-Вертикална адвекция се изменят в един диапазон и са с противоположни знаци, което е отражение на уравнението на непрекъснатостта. И двете адвекции добре описват планинските части.

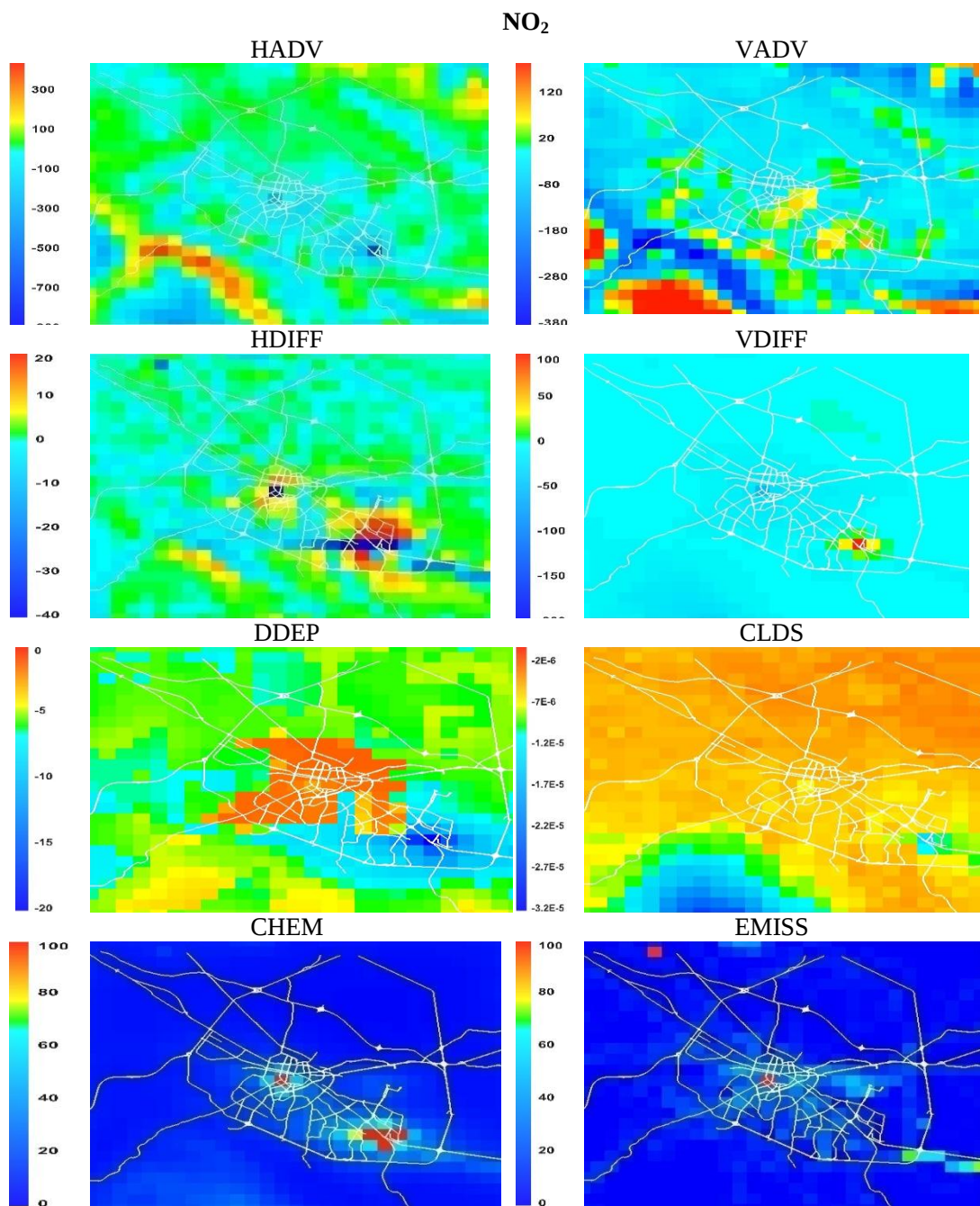
Следващата разглеждана двойка е Хоризонтална-Вертикална Дифузия **Фигура V.3.1.** От полетата за средните приноси на хоризонталната дифузия за образуване на приземния азотен диоксид (NO_2) се открояват минимални стойности в подножията на планините, центъра на града и над ТЕЦ "Изток". Завишени стойности се наблюдават по планините и около самите източници на NO_2 . В 18:00 часа приносът на хоризонталната дифузия е най-малък, а в 06:00 най-голям (големи хоризонтални градиенти на концентрацията).

Полетата за средните приноси на сухото отлагане за образуване на приземния азотен диоксид (NO_2) показват, че той, естествено, е отрицателен над цялата територия на града. Като специфичен район се откроява центъра на града, където приноса на отлагането е нулев, а мястото с най-голям отрицателен принос е ТЕЦ "Изток" в квартал "Дружба" в сутрешните часове. През нощта в 22:00 часа приносът на сухото отлагане навсякъде е нулев.

От полетата за средните приноси на облачните процеси и водната химия за образуване на приземния азотен диоксид (NO_2) се вижда, че той е изцяло отрицателен. Мястото с най-голям отрицателен принос е над Витоша планина в сутрешните и обедните часове.

От полетата за средните приноси на химичните процеси за образуване на приземния азотен диоксид (NO_2) се вижда, че приносът е положителен като местата с най-високи стойности са централните части и ТЕЦ "Изток" в сутрешните часове. В следобедните и вечерните часове средният принос намалява, като само центъра на града се откроява с висок принос на химичните процеси.

Полетата за средния принос на емисиите за образуването на приземния азотен диоксид (NO_2) са като тези на химичните процеси - положителен за град София, като местата с най-голям положителен принос са центъра на града, района на АМ "Тракия" и района на Костинброд в западната част на София. Максимален положителен принос се наблюдава в 06:00 и 12:00 часа.



Фигура V.3.1. Средно годишен приземен принос на процесите (HADV, VADV, HDIFF, VDIFF, DDEP, CLDS, CHEM, EMISS) за образуването на NO₂[(µg/m³)/h] за 06:00 GMT

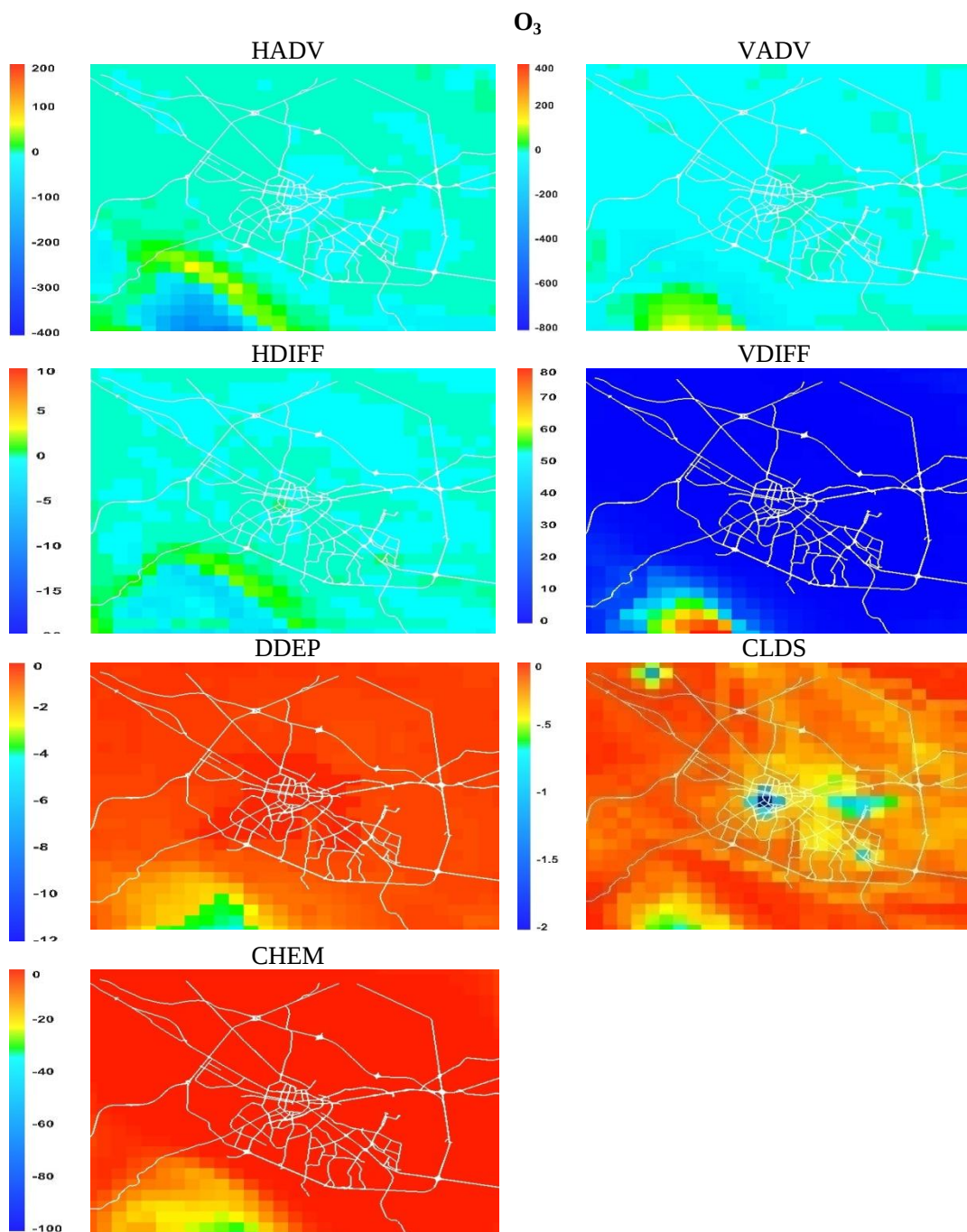
Средно годишни полетата на приземните приноси на процесите (HADV, VADV, HDIFF, VDIFF, DDEP, CLDS, CHEM) водещи до образуването на озон (O₃).

Средно годишните приземни приноси на Хоризонталната - Вертикалната адвекция **Фигура V.3.2.** водещи до образуването на озон са в противофаза. Максималните и положителни стойности за приноса на хоризонталната адвекция се наблюдават в подножията на планините и АМ "Тракия", където пък стойностите за приноса на вертикалната адвекция в тези райони са отрицателни. Минималните отрицателни стойности за приноса на хоризонталната адвекция са по планините, като най-голям отрицателен принос се наблюдава в 22:00 часа, а полетата на вертикалната адвекция по планините приноса е максимален и положителен.

От полетата за средните приноси на хоризонталната дифузия за образуване на приземния озон (O₃) се вижда, че минималните отрицателни стойности са по билата на планините. Завишени стойности се наблюдават в подножието на Витоша планина. Като цяло над по-голямата част града приноса е много

малък. В 18:00 и 22:00 часа приносът на хоризонталната дифузия е максимален и положителен в центъра на града.

Полетата за средните приноси на вертикалната дифузия обаче имат съществена разлика с приносите на вертикалната дифузия при образуването на азотен диоксид - на първо място той е изцяло положителен и на второ място там където приноса е отрицателен при образуването на NO_2 , то при озона е положителен. С други думи стойностите са в противофаза. Това е нормално при положение, че основните източници на NO_2 са приземните, а приземния озон е резултат в голяма степен на вертикален пренос от по-високи нива. Най-високите стойности се наблюдават над Витоша планина и приносът е най-голям в 06:00 часа и най-малък в 22:00 часа почти нулев.



Фигура V.3.2. Средно годишен приземен принос на процесите (*HADV*, *VADV*, *HDIFF*, *VDIFF*, *DDEP*, *CLDS*, *CHEM*) за образуването на $\text{O}_3[(\mu\text{g}/\text{m}^3)/\text{h}]$ за 06:00 GMT

От полетата за средните приноси на сухото отлагане за образуване на приземния озон (O_3) се вижда, че той е отрицателен, като сухото отлагане в центъра на града е почти нула. Местата с най-голям отрицателен

принос са над планините. В 12:00 часа отрицателният принос на сухото отлагане е най-голям, а в 06:00 е почти нулев навсякъде освен над Витоша планина.

Полетата за средните приноси на облачните процеси и водната химия за образуване на приземния озон (O_3) показват, че местата с по-голям отрицателен принос са центъра на София и района на Костинброд. Отрицателният принос е най-голям в 22:00 часа, където се откроява и Витоша планина.

От полетата за средните приноси на химичните процеси за образуване на приземния озон (O_3) се вижда, че той е отрицателен. Местата с най-голям отрицателен принос са ТЕЦ "Изток" и центъра на града в 18:00 и 22:00 часа. В сутрешните часове приноса над целия град е нулев с изключение на Витоша планина.

Средно годишни полетата на приземните приноси на процесите (HADV, VADV, HDIFF, VDIFF, DDEP, CLDS, CHEM, EMIS, AERO) водещи до образуването на азотни окиси (GNOY).

Фигурите на средно годишните приноси на Хоризонталната и Вертикалната адвекция представени в дисертацията водещи до образуването на азотните окиси и тук са в един диапазон и също са с противоположни знаци. Прави впечатление също така, че те са около 2 пъти по големи от тези на азотния диоксид. Максималните стойности на приноса на хоризонталната адвекция (и съответно минимални при вертикалната) са в подножието на планините и околоръстната мрежа на града. Максимален отрицателен принос се откроява в центъра на града и около ТЕЦ "Изток". Обратното важи за полетата на приноса на вертикалната адвекция.

От полетата за средните приноси на хоризонталната дифузия за образуване на приземни азотни окиси (GNOY) се вижда, че минималните стойности са над самите източници. Завишени стойности се наблюдават в подножията на планините и покрай източниците.

Полетата за средните приноси на вертикалната дифузия показват, че приносът почти навсякъде е отрицателен, като най-ниските стойности се наблюдават в централните части на града. Отрицателен принос се откроява и над Витоша планина в сутрешните часове. Приносът на вертикалната дифузия е положителен и дори максимален само над ТЕЦ "Изток".

От полетата за средните приноси на сухото отлагане за образуване на приземни азотни окиси (GNOY) се вижда, че в централните части на града сухото отлагане е почти нула. Местата с най-голям отрицателен принос са над планините и около АМ "Тракия". В 18:00 и 22:00 часа приноса на сухото отлагане почти навсякъде намалява.

От полетата за средните приноси на облачните процеси за образуване на приземни азотни окиси (GNOY) се вижда, че местата с най-голям отрицателен принос са над планините. В 06:00 часа приноса на облачните процеси е почти нулев, а максимален отрицателен той е в 22:00 часа.

От полетата за средните приноси на химичните процеси за образуване на приземни азотни окиси (GNOY) се вижда, че приносът навсякъде е отрицателен като мястото с най-ниски е централната част. В 12:00 стойностите стават положителни и тренда се обръща, но все пак си остават пренебрежимо малки и близки до нула.

Полетата на средният принос на емисиите показват, че той е положителен. Местата с най-голям принос в 06:00 и 12:00 са части на централна София. В 18:00 и 22:00 приноса намалява.

Полетата за средния принос на аерозолните процеси показват, че той е изцяло положителен. Максимален е приноса в обедните часове около 40 ($\mu g/m^3$)/h предимно в центъра на града.

Средно годишни полетата на приземните приноси на процесите (HADV, VADV, HDIFF, VDIFF, DDEP, CLDS, CHEM, EMIS) водещи до образуването на серен диоксид (SO_2).

От полетата за средните приноси на хоризонталната адвекция за образуване на приземния серен диоксид (SO_2), представени в дисертацията се вижда, че минималните стойности са по планините, и самите източници на SO_2 . Тъй като хоризонталната адвекция е пропорционална на вятъра и концентрацията, а основните източници на SO_2 са високи (съответно концентрациите непосредствено под тях са сравнително ниски), малкият принос на хоризонталната дифузия непосредствено под източниците е лесно обясним.

Максималните стойности се наблюдават в подножията на планините. Приносът на хоризонталната адвекция в 22:00 най-голям. Откроява се висок отрицателен принос в района на Панчарево. При полетата на вертикалната адвекция за образуване на приземния серен диоксид (SO_2) е обратно на тези от хоризонталната - максималните стойности са над самите източници, и по Витоша планина. Минимални стойности се наблюдават в подножията на планините.

Полетата за средните приноси на хоризонталната дифузия за образуване на приземния серен диоксид (SO_2) показват, че минималните стойности са над ТЕЦ "Изток" и в центъра на града, както и в района на

Панчарево. Завишени стойности се наблюдават покрай горе споменатите райони. Над по-голямата част от града приноса е много малък и дори нулев. Полетата за средните приноси на вертикалната дифузия показват, че приносът почти навсякъде е нулев, като места с отрицателен принос се открояват центъра на града и района на Костинброд, а положителен принос има в района на Панчарево. Приносът е максимален в 12:00 часа.

От полетата за средните приноси на сухото отлагане за образуване на приземния серен диоксид (SO_2) се вижда, че над целия град той е отрицателен. Местата с най-голям отрицателен принос са по планините и в района на Панчарево (там където са и най-големите приземни концентрации на SO_2).

От полетата за средните приноси на облачните процеси за образуване на приземния серен диоксид (SO_2) се вижда, че местата с най-голям отрицателен принос са центъра на града и района на Костинброд в 06:00 часа. През останалата част на денонощието се наблюдава отрицателен принос по Витоша планина. На другите места приносът е много малък и почти клонящ към нула.

Приноса на химичните процеси за образуване на приземния серен диоксид показват, че над целия град той е много малък и отрицателен. Местата с най-голям отрицателен принос са в 06:00 и 12:00 са в центъра на града и района на Панчарево, а над останалата част е почти нулев.

Полетата на средният принос на емисиите, показват, че той е изцяло положителен, като открояващите се места с най-голям положителен принос в 06:00 и 12:00 са центъра и района на Костинброд. Навсякъде другаде той е почти нулев.

Средно годишни полетата на приземните приноси на процесите (HADV, VADV, HDIFF, VDIFF, CLDS, DDEP, CHEM, EMIS, AERO) водещи до образуването на финни и едри прахови частици (FPRM / CPRM).

От полетата за средните приноси на хоризонталната адвекция за образуване на приземни финни прахови частици (FPRM) се вижда, че минималните отрицателни стойности са по планините, центъра на града и над района на Костинброд. Максималните стойности се наблюдават в подножията на планините. В 22:00 часа приносът на хоризонталната адвекция е максимален. По планините където приноса на хоризонталната адвекция е отрицателен, то приноса на вертикалната адвекция е максимален и положителен - двете адвекции са в противофаза.

От полетата за средните приноси на хоризонталната дифузия за образуване на приземни финни прахови частици (FPRM) се вижда, че отрицателните стойности са в централните части и района на Костинброд, в районите около тези места и подножията на планините приноса е максимален и положителен.

От полетата за средните приноси на вертикалната дифузия се вижда, че приносът почти над цялата страна е нулев, като най-ниски стойности са над централните части и района на Костинброд. Приносът на вертикалната дифузия е положителен и дори максимален в 12:00 часа над по-голямата част от града, планините и около Панчарево.

От полетата за средните приноси на сухото отлагане за образуване на приземни финни прахови частици (FPRM) се вижда, че почти навсякъде приноса е нулев. Местата с най-голям отрицателен принос са над планините. Най-голям отрицателен принос сухото отлагане има в 12:00 часа.

От полетата за средните приноси на облачните процеси се вижда, че преобладава нулев принос. Като приносът е най-силно отрицателен над планините и е положителен в 06:00 часа само над центъра и района на Костинброд.

От полетата за средният принос на емисиите за образуване на приземни финни прахови частици (FPRM) се вижда, че е положителен но почти нулев. Местата с най-голям положителен принос в 06:00 и 12:00 са центъра на града, района на Костинброд и АМ Тракия. Над останалата част от града приноса е почти нулев.

От полетата за средните приноси на аерозолните процеси се вижда, че местата с най-голям положителен принос са центъра, района на Костинброд и района на Панчарево в 12:00 часа. В 12:00 часа приноса на аерозолните процеси намалява дори става отрицателен над целия град освен гореспоменатите райони.

От полетата за средните приноси на хоризонталната адвекция за образуване на приземни едри прахови частици (CPRM) се вижда, че приноса е максимален отрицателен в центъра на града и над района на Костинброд, а около тези две места приноса е максимален и положителен. Над планините приноса е малък и отрицателен, а в подножията и останалата част от града е положителен.

Полетата на вертикалната адвекция също показват че приноса е максимален отрицателен в центъра на града, над района на Костинброд в 06:00 и 22:00 часа. Над планините приноса е положителен.

Полетата за средните приноси на хоризонталната дифузия за образуване на приземни едри прахови частици (CPRM) показват, че приноса е максимален отрицателен в центъра на града и над района на Костинброд, а в областите около тези 2 източника приноса е максимален и положителен.

Средните приноси на вертикална дифузия показват, че приноса е максимален отрицателен в центъра на града и над района на Костинброд. Над планините приноса е положителен, като в 12:00 часа той е максимален и положителен над целия град освен гореспоменатите 2 района.

От полетата за средните приноси на облачните процеси и водната химия, както и на сухото отлагане за образуване на приземни едри прахови частици (CPRM) се вижда, че приноса е нулев навсякъде през цялото денонощие с изключение на централните части и района на Костинброд, където приноса е отрицателен.

Полетата за средният принос на емисиите показват, че той е почти нулев. Местата с най-голям положителен принос са центъра и района на Костинброд.

Средният принос на аерозолните процеси за образуване на приземни едри прахови частици (CPRM) е много малък почти нулев. Местата, които се открояват с максимален принос са планините в 18:00 и 22:00 часа. В 06:00 часа приноса е минимален.

V.4. Годишно и сезонни осреднени приземни приноси на отделните процеси водещи до образуването на различни замърсители за територията на град София и за различни точки от град София.

Показаните резултати в глава V.3. на полетата на приземните приноси на различните процеси осреднени по целия ансамбъл, могат да бъдат използвани за да се определят и относителните приноси на отделните източници за определен замърсител и за избрана отделна точка от областта - град София. Такава ценна информация може да бъде използвана при разглеждане по детайлно замърсяването в дадена точка, на определен замърсител или семейство от замърсители.

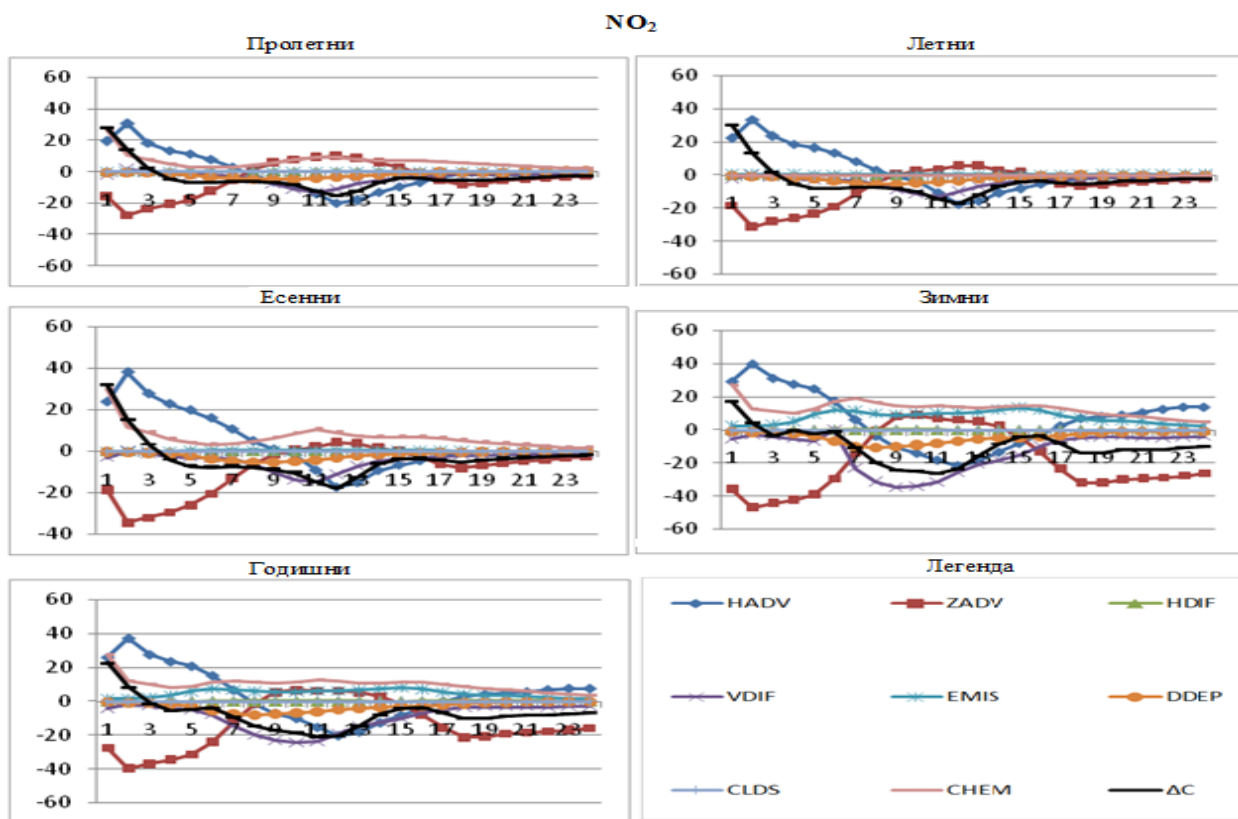
В автореферата ще бъдат показани само графики на годишно и сезонни осреднени приземни приноси на отделните процеси водещи до образуването на азотен диоксид и озон (NO_2 , O_3) за областта. Графиките на останалите разгледани 6 точки от областта град София - Копитото, НИГГ-БАН, Орлов мост, Руски паметник, ТЕЦ Изток и ТЕЦ София, и самата цяла област София са представени в дисертацията.

Годишно и сезонни осреднени приземни приноси на отделните процеси водещи до образуването на различни замърсители за територията на град София.

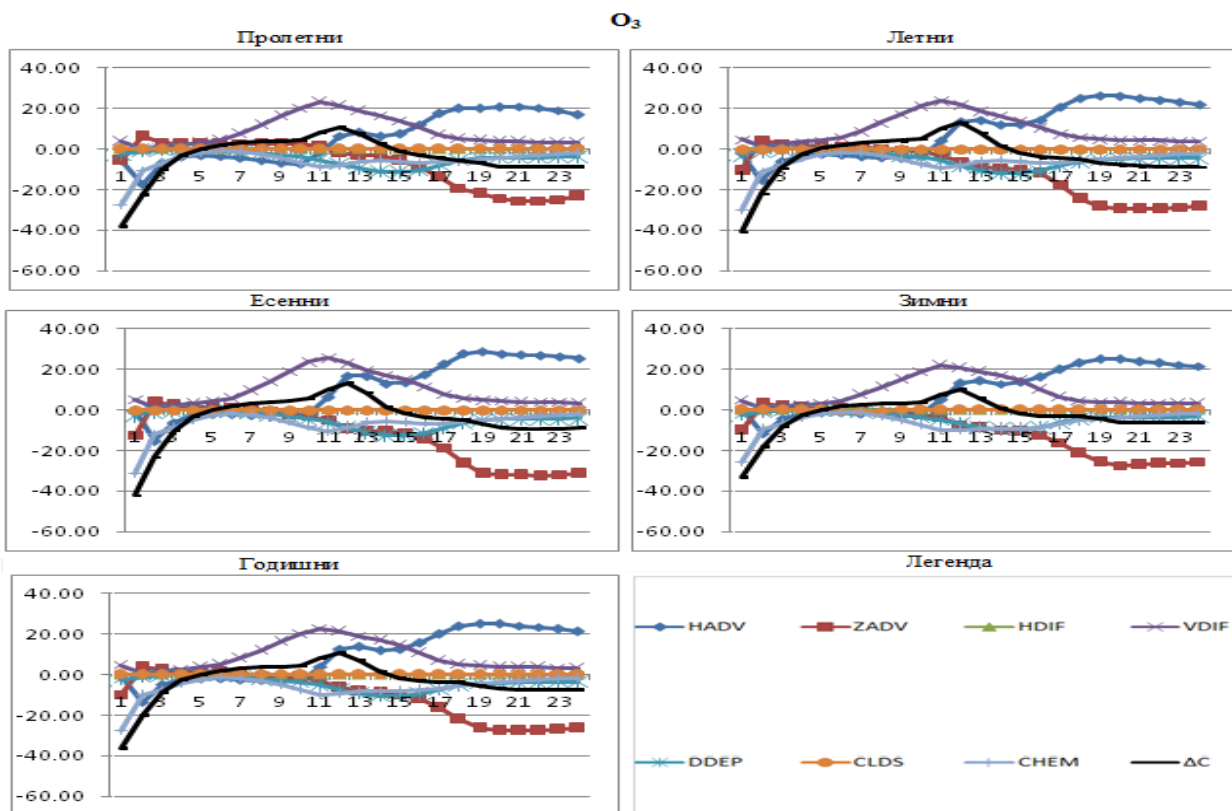
Фигура V.4.1. и Фигура V.4.2. показват годишно и сезонно осреднените приноси на различните процесите (HADV, ZADV, HDIF, VDIF, EMIS, DDEP, CLDS, CHEM, AERO), водещи до образуването на замърсителите NO_2 и O_3 , а за SO_2 , GNOY, CPRM, FPRM ще бъдат накратко описани, осреднени за цялата област - град София. Сумарното изменение на процесите (ΔC) е изобразено с черен цвят на всички графики и се вижда, че то е както с положителен, така и с отрицателен знак и има добре изразен денонощен ход. Стойностите на (ΔC) са различни през различните сезони и се определя от броя на процесите, които също са с различен знак. За образуването на различните замърсители доминират различни приноси с различни стойности и именно това е проследено със следващите графики - кой принос на даден процес е доминиращ, по кое време на денонощието и с какъв знак.

Фигура V.4.1 показва годишно и сезонно осреднените приноси на процесите, водещи до образуването на азотен диоксид (NO_2) осреднени за цялата област - град София. Сумарното изменение на процесите (ΔC) е предимно с отрицателен знак. За образуването на NO_2 основен принос имат химичните процеси, които са изцяло с положителен знак. Хоризонталната адвекция е с положителен принос в сутрешните и следобедните часове, а около обяд става с отрицателен, с противоположна на нея фаза е Вертикалната адвекция. Сухото отлагане и Вертикалната дифузия имат отрицателен принос, макар и с по-малки стойности. През зимата се откроява и положителния принос на Емисиите през цялото денонощие. Приносът на останалите процеси е почти нулев.

Фигура V.4.2 показва годишно и сезонно осреднените приноси на процесите, водещи до образуването на озон (O_3) осреднени за цялата област - град София. Сумарното изменение на процесите (ΔC) е както с положителен така и с отрицателен знак. За образуването на O_3 основен принос има Вертикалната дифузия, която е изцяло положителна през всички сезони, с максимум около обяд. Следващия доминиращ процес с положителен знак е Хоризонталната адвекция в следобедните и нощните часове, а по същото време с противофаза на нея е вертикалната адвекция. Приноса на Химичните процеси и сухото отлагане са отрицателни около обяд и са в противофаза с вертикалната дифузия. Останалите процеси имат почти нулев принос.



Фигура V.4.1. Приземни приноси на процесите водещи до образуването на азотен диоксид (NO₂) в [(μg/m³)/h] за град София.



Фигура V.4.2. Приземни приноси на процесите водещи до образуването на озон (O₃) в [(μg/m³)/h] за град София.

От годишно и сезонно осреднените приноси на процесите, водещи до образуването на серен диоксид (SO_2) осреднени за цялата област - град София, представени в дисертацията, се вижда че сумарното изменение на процесите (ΔC) е с отрицателен знак. За образуването на SO_2 основен положителен принос имат Вертикалната дифузия и адвекция, през всички сезони, с максимум около обяд (пренос на SO_2 от основно високите източници), по същото време с отрицателен принос са Хоризонталната адвекция и сухото отлагане. Следващия доминиращ процес с положителен знак е на Химичните процеси през цялото денонощие, макар и с по-малки стойности. През зимата стойностите на приносите на процесите са в различна скала, тъй като по това време на годината процесите са по-активни. Зимните стойности оказват голямо влияние и при годишното осреднените. Останалите процеси имат почти нулев принос.

От годишно и сезонно осреднените приноси на процесите, водещи до образуването на азотни окиси (GNOY) осреднени за цялата област - град София, представени в дисертацията, се вижда че сумарното изменение на процесите (ΔC) е както с положителен, така и с отрицателен знак. За образуването на GNOY основен принос имат Хоризонталната и Вертикалната адвекция, както и Вертикалната дифузия. Хоризонталната адвекция има положителен принос в сутрешните и следобедните часове и отрицателен около обяд. В абсолютна противофаза е приносът на Вертикалната адвекция. Вертикалната дифузия има изцяло отрицателен принос. През всички сезони приносът на емисиите е положителен, макар и с малки стойности, освен през зимата, където става един от доминантните приноси със стойности по-големи дори от вертикалната адвекция. Останалите процеси имат почти нулев принос.

От показва годишно и сезонно осреднените приноси на процесите, водещи до образуването на едрите прахови частици (CPRM) осреднени за цялата област, представени в дисертацията се вижда че сумарното изменение на процесите (ΔC) е както с положителен, така и с отрицателен знак. За образуването на CPRM основен положителен принос имат химичните процеси, чиито стойности са най-големи от всички други, с максимум през зимните месеци. Вертикалната дифузия и Сухото отлагане имат изцяло отрицателен принос. Вертикалната адвекция в обедните часове има малък положителен принос, а в следобедните и сутрешните, той е отрицателен. Останалите процеси имат почти нулев принос.

От годишно и сезонно осреднените приноси на процесите, водещи до образуването на финните прахови частици (FPRM) осреднени за цялата област, представени в дисертацията, се вижда че сумарното изменение на процесите (ΔC) е с отрицателен. За образуването на FPRM основен положителен принос имат Вертикалната дифузия през целия ден и Вертикалната адвекция около обяд. Приносът на Вертикалната адвекция в сутрешните и следобедните часове е отрицателен. Хоризонталната адвекция е в противофаза на Вертикалната. Сухото отлагане е с отрицателен принос с максимум около обяд. Аерозолните процеси през всички сезони с изключение на зимата са с отрицателен принос. През зимата процесите са по-активни в сравнение с другите сезони и също така се откроява този сезон със голям положителен принос на Емисиите и намаляващ до отрицателен принос на Вертикалната дифузия. Останалите процеси имат почти нулев принос.

V.5. Изводи

От двумерните карти за приземните приноси на процесите водещи до образуването на замърсителите, могат да се направят следните изводи:

Приносите на двойката Хоризонтална-Вертикална адвекция се изменят в един диапазон и са с противоположни знаци - противофаза, което е отражение на уравнието на непрекъснатостта. И двете адвекции добре описват планинските части и релефа на града. Приносът на Хоризонталната адвекция (HADV) е отрицателен за всички замърсители, над планините и в центъра на града и положителен принос в подножията, като при картите за азотните окиси (GNOY) е открояват и районите на двата ТЕЦ-а "София" и "Изток" с отрицателен принос. Вертикалната адвекция (VADV) е в противофаза на Хоризонталната и тя има положителен принос по планините и отрицателен в подножията.

Приносът на Хоризонталната дифузия (HDIF) е отрицателен над самите източници - ТЕЦ "София", ТЕЦ "Изток", района на Костинброд, а около тези източници приноса е положителен.

Вертикалната дифузия (VDIF) има положителен принос над високите източници (ТЕЦ-те) и над Витоша планина при картите за озона O_3 , където са и максималните стойности. Приносът на Вертикалната дифузия е отрицателен за праховите частици (FPRM / CPRM) в центъра на града и района на Костинброд - ниски източници.

Приносът на сухото отлагане (DDEP), естествено, е отрицателен за всички замърсители, като най-голям е над ТЕЦ "Изток" и Витоша планина, а в централните части е почти нулев.

Приносът на облачните процеси (CLDS) също е отрицателен и най-голям над ТЕЦ "Изток" и Витоша планина за всички замърсители с изключение на полетата за праховите части (FPRM), където приноса е положителен и максимален в централните части и района на Костинброд.

Приносът на химичните процеси (CHEM) е отрицателен за почти всички замърсители с максимални стойности над ТЕЦ-те и Витоша планина, с изключение на полетата за азотния диоксид (NO_2), където приноса е положителен и максимален над ТЕЦ-те. Това вероятно се дължи на окисляването на NO и превръщането му в NO_2 . На картите за серния диоксид (SO_2), се откроява отрицателен принос и в района на Панчарево, но той е много малък и почти нулев.

Приносът на емисиите (EMIS) е положителен за всички замърсители, като той е най-голяма в Центъра на града, района на Костинброд и началото на АМ Тракия.

Приносът на аерозолните процеси е положителен и най-голям за всички замърсители в централните части и района на Костинброд.

Графиките показващи приносите на процесите, водещи до промяна концентрациите на замърсителите за София и отделни избрани точки от града в **глава V.4.**, водят до следните изводи:

За цялата област София град, както и за всяка една от избраните точки, сумарното изменение на процесите (ΔC), водещо до изменение на дадена концентрация има добре изразен денонощен ход и знак както положителен, така и отрицателен. Сумарното изменение на процесите е различно и за всеки замърсител и през различните сезони. Изменението на ΔC се дължи на малък брой процеси с противоположни фази и знаци, затова и неговия краен знак е както положителен, така и отрицателен.

Доминиращите приноси за всички замърсители през повечето сезони са тези на Хоризонталната и Вертикалната адвекция (HADV/ZADV) следвани от тези на Вертикалната дифузия (VDIF) и сухото отлагане (DDEP). Приносите на HADV и ZADV са винаги в противофаза и сумарното им изменение е нула. В повечето случаи и приносите на VDIF и DDEP също са в абсолютна противофаза.

За цялата област София и точките Орлов мост и Руски паметник приносът на емисиите (EMIS) през зимата става един от доминиращите приноси при образуването на азотен диоксид (NO_2) и азотните окиси (GNOY), т.е. тези райони на града сами се замърсяват с азотни окиси. Останалите процеси имат незначителен и минимален принос към промяна на концентрациите на замърсителите, спрямо доминиращите изброени по-горе приноси.

Вертикалната дифузия (VDIF) има голям положителен принос към приземния озон, което вероятно показва пренос на озон от по-високите слоеве и вероятно е следствие на пренос от външни за областта източници.

Като цяло може да се твърди, че приносите на различните процеси имат най-различно поведение и си взаимодействат по много сложен начин.

Заклучение

Настоящият дисертационен труд беше осъществен с помощта на численото моделиране, като беше създаден ансамбъл от компютърни симулации достатъчно изчерпателно, надеждно и детайлно представящ състава на атмосферната и процесите на пренос и трансформации в градска среда. Полученият ансамбъл може да се използва за оценка на замърсяването на въздуха в локални мащаби.

Като средство за моделиране е използвана системата от модели US EPA Models-3, които са световно признати и с доказани симулационни качества. Използвани са надеждни бази данни: инвентаризация на емисиите и емисионните времеви профили (разработени от TNO), крупномасштабни метеорологични полета (US NCEP "Global Analysis Data"). Симулационният период е 7 годишен (2008-2014г.) и е достатъчно голям за да отрази и обхване целият набор типични и екстремни ситуации с тяхната характерна повтораемост и пространствено-времеви особености. Два от моделите в системата (WRF и CMAQ) притежават опция "Нестинг" или Телескопизация, която е приложена в настоящото изследване. По този начин, всички компютърни симулации, са проведени за целия период от време, като задачата е решавана последователно в няколко вместили една в друга области. Подбраните области са 5: D1 (Европа) - 81x81 км, D2 (Балкански п-ов) - 27x27 км, D3 (България) - 9x9 км, D4 (София област) - 3x3 км и D5 (София град) - 1x1 км, като крайната цел за висока разрешаваща способност от 1км за градския район София град е постигната.

От компютърните симулации са получени осреднени по ансамбъл приземните полета на концентрациите на някои замърсители, изчислен е Индексът за качеството на атмосферния въздух (AQI), разгледани и съпоставени са 5 емисионни сценария, като е изследван приноса на емисиите от отделни категории източници (SNAP категории) и на различните процеси към формирането на общата картина на замърсяване в град София.

Анализът на полученият ансамбъл разкри някои основни факти за климата на замърсяване в Столицата:

1.) Сезонна и денонощна повтораемост на осреднените по ансамбъл приземни концентрации и статистическите характеристики на замърсителите, както за града, така и за отделни точки от него, показват че:

- Районите по територията на град София, открояващи се с високи концентрации на всички замърсители са Южните части на града, Централните части, ТЕЦ "Изток" и района на Костинброд.

- Средно годишна норма на азотен диоксид (NO_2) се превишава в районите на ТЕЦ "Изток" и ТЕЦ "София". Големи стойности на концентрациите на NO_2 и праховите частици (PM) се наблюдават и в Централните части и Южните квартали. Района на Костинброд се откроява с високи концентрации на серен диоксид (SO_2) и праховите частици (FM). Озоновите концентрации не превишават определените ПДК, като по-големите концентрации се наблюдават над планините.

- Статистически характеристики на замърсителите показват, че средните по ансамбъл концентрации на NO_2 , SO_2 и FPRM/CPRM, са асиметрично разположени в различните отрязъци от броя случаи както през денонощието, така и през различните сезони. Средните концентрации на тези замърсители попадат в 80% интервал от случаи, но в много случаи линията на средните концентрации попада дори над линията 90%, което показва, че в останалите 10% от случаите концентрациите са изключително високи. Средните концентрации на O_3 се разпределят в интервала съдържащ 50% случаи и са симетрично разположени по отношение на различните отрязъци от броя случаи през денонощието и през различните сезони.

- Прави впечатление много високите максимални стойности на концентрациите за повечето замърсители с изключение на озона. Трябва да се има предвид, че тези стойности се получават за всяка отделна точка и част от денонощието в различни дни и както се вижда от графиките 90% от случаите, концентрациите са много по-малки. Анализът на конкретните метеорологични условия при които тези екстремни концентрации се получават, ще бъде обект на по нататъшни изследвания.

- Средните по ансамбъл концентрации, са получени и с отчитане на екстремно високите концентрации. Една друга възможна характеристика на ансамбъла са най-вероятните концентрации, които както се вижда и от графиките ще бъдат по-ниски от средните. Определянето на най-вероятните концентрации също ще бъде обект на по нататъшна обработка на ансамбъла.

2.) Анализа на резултатите за Индекса на замърсяване (AQI) в град София, отразяващ влиянието на качеството на атмосферния въздух върху качеството на живот и здравния риск в региона показват, че:

- Местата по територията на града със занижен статус на качеството на въздуха, са същите, както при полетата на концентрациите (Център, ТЕЦ "Изток", района на Костинброд). Това е напълно естествено имайки предвид, че AQI се изчислява на база концентрация на даден замърсител.
- Денонощния ход и сезонното разпределение на средните повтаряемости на различните индекси показва, че се открояват AQI1, AQI2, AQI3, AQI4 (категории "Ниско" и "Средно"), като такива с най-голяма повтаряемост за всички точки и всички сезони, но е притеснително това, че в централните части на града, повтаряемостта на AQI10 (категория "Много Високо") е висока - около 40%.

3.) Съпоставянето на резултатите от петте емисионни сценария:

- Сценарий 1: Емисиите от SNAP_01 (Енергетика)
- Сценарий 2: Емисиите от SNAP_02 (Неиндустриални изгаряния)
- Сценарий 3: Емисиите от SNAP_03 (Индустриални изгаряния)
- Сценарий 4: Емисиите от SNAP_07 (Пътен транспорт)
- Сценарий 5: Емисиите от всички категории SNAP_ALL

показа, че:

- Приносът на емисиите от избраните SNAP категории към образуването на замърсителите NO₂, SO₂ и PM е положителен, като максимален, той се откроява във вече гореспоменатите райони.
- В полетата показващи образуването на озон и приносите на различните категории не се открива качествена и количествена разлика при приноса на емисиите, той е строго отрицателен. Това показва, че озона над град София се формира на друго място извън града и той се дължи на пренос отвън навътре към територията на града.
- Както за цялата област (град София), така и за отделните разгледани точки може да се обобщи, че за образуването на азотен диоксид (NO₂) и Прахови частици (PM) доминира приноса на Автомобилния транспорт (SNAP_07), а за серния диоксид (SO₂) - Енергетиката и Индустриалните изгаряния (SNAP_01, SNAP_03). Приносът на емисиите от всички категории (SNAP_ALL) в отделните точки, както и за цялата област София град, е по-малък от 100%, което означава, че част от концентрациите се формират и от източници, които са външни за областта в резултат на пренос през границите и.

4.) Използваната опция на модела CMAQ - "Integrated Process Rate Analysis", даде възможност да се оцени и ролята на всеки от отделните процеси, при формиране на атмосферното замърсяване в града.

- Приносите на различните процеси имат най-различно поведение и си взаимодействат по много сложен начин.
- Доминиращите приноси за всички замърсители са тези на Хоризонталната и Вертикалната адвекция (HADV/ZADV) следвани от тези на Вертикалната дифузия (VDIF) и сухото отлагане (DDEP). За цялата област София и точките В Центъра приносът на емисиите (EMIS) през зимата става един от доминиращите приноси при образуването на азотен диоксид (NO₂) и азотните окиси (GNOY), т.е. тези райони на града сами се замърсяват с азотни окиси. Останалите процеси имат незначителен и минимален принос към промяна на концентрациите на замърсителите, спрямо доминиращите приноси.
- Вертикалната дифузия (VDIF) има голям положителен принос към приземния озон, което вероятно показва пренос на озон от по-високите слоеве и вероятно е следствие на пренос от външни за областта източници.
- За цялата област София град, и за всяка една от избраните точки, сумарното изменение на процесите (ΔC), водещо до изменение на дадена концентрация има добре изразен денонощен ход и знак, както положителен, така и отрицателен. Сумарното изменение на процесите е различно и за всеки замърсител и през различните сезони. Изменението на ΔC се дължи на малък брой процеси с противоположни фази и знаци, затова и неговия краен знак е както положителен, така и отрицателен.

Литература

- Atanassov E., T. Gurov, A. Karaivanova, (2006): Computational Grid: structure and Applications, Journal *Avtomatica i Informatica* (in Bulgarian), ISSN 0861-7562, 3/2006, year XL, September 2006, 40-43.
- Atkinson, R W, Yu D, Armstrong B, Pattenden S, Wilkinson P, Doherty R, Hea MR, Anderson HR., Concentration–Response Function for Ozone and Daily Mortality: Results from Five Urban and Five Rural U.K. Populations, *Environ Health Perspect*, 2012; 120:1411–1417
- Barlow J.F., “Progress in observing and modelling the urban boundary layer”, *Urban Clim*, 10, 216–240, 2014
- Binkowski, F.S., and Shankar, U., 1995: The Regional Particulate Model: Part I. Models description and preliminary results. *J. Geophys. Res.*, 100(D12):26,191-26,209.
- Bornstein, R. D., “Mean diurnal circulation and thermodynamic evolution of urban boundary layer”, *Modeling the Urban Boundary Layer*, M. L. Kramer (Ed.), Amer Meteor Soc, 53–93, 1987
- Bott, A., 1989: A positive definite advection scheme obtained by nonlinear renormalization of the advective fluxes, *Mon. Wea. Rev.* 117: 1006-1015.
- Brunekreef B, Holgate S: Air pollution and health., *Lancet* 2002, 360:1233-1242
- Builtjes, P.J.H., van Loon, M., Schaap, M., Teeuwisse, S., Visschedijk, A.J.H. and Bloos, J.P. (2003) _Project on the modelling and verification of ozone reduction strategies: contribution of TNO-MEP_, TNO-report, MEP-R2003/166, Apeldoorn, The Netherlands.
- Byun, D., 1998: Dynamically Consistent Formulation in Meteorological and Air Quality Models for Multi-scale Atmospheric Studies, *J. Atm.Sci.*, in review.
- Byun, D., and J.K.S. Ching, 1999: Science Algorithms of the EPA Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Washington, DC 20460, EPA-600/ R-99/030.
- Byun, D., J. Young, G. Gipson, J. Godowitch, F.S. Binkowski, S. Roselle, B. Benjey, J. Pleim, J. Ching, J. Novak, C. Coats, T. Odman, A. Hanna, K. Alapaty, R. Mathur, J. McHenry, U. Shankar, S. Fine, A. Xiu, and C. Jang, Description of the Models-3 Community Multiscale Air Quality (CMAQ) Modeling System, 10th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA, 11-16 January 1998, Phoenix, Arizona, 264-268. <http://www.epa.gov/asmdnerl/models3/doc/science/science.html>.
- Carter W. P. L. (1988) Appendix C Documentation of the SAPRC Atmospheric Photochemical Mechanism Preparation and Emissions Processing Programs for Implementation in Airshed Models. Final Report for California Air Resources Board Contract No. A5-122-32.
- Carter W. P. L. (1990) A detailed mechanism for the gas-phase atmospheric reactions of organic compounds. *Atmos. Environ.* 24A, 481-515.
- Carter W. P. L. (1996) Condensed atmospheric photooxidation mechanisms for isoprene. *Atmos. Environ.* 24, 4,275-4,290.
- Carter W. P. L. and Atkinson R. (1996) Development and evaluation of a detailed mechanism for the atmospheric reactions of isoprene and NO_x. *Int. J. Chem. Kinet.* 28, 497-530.
- Carter W. P. L., Luo D. and Malkina I. L. (1997) Environmental Chamber Studies for Development of an Updated Photochemical Mechanism for Reactivity Assessment. Final Report for California Air Resources Board Contract No. 92-345, Coordinating Research Council, Inc., Project M-9 and National Renewable Energy Laboratory, Contract ZF-2-12252-0
- CEP (2003) Sparse Matrix Operator Kernel Emission (SMOKE) Modeling System, University of Carolina, Carolina Environmental Programs, Research Triangle Park, North Carolina.
- Changnon S.A. Jr., “Inadvertent weather modification in urban areas, lessons for global climate change”, *Bull Am Meteorol Soc*, 73, 619–627, 1992
- CMAQ Modeling System, 10th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA, 11-16 January 1998, Phoenix, Arizona, 264-268.
- Chang J. S., Brost R. A., Isaksen I. S. A., Madronich S., Middleton P., Stockwell W.R. and Waleck C.J. (1987) A three-dimensional Eulerian acid deposition model: physical concepts and formulation, *J. geophys. Res.*, 92, 14,681 - 14,700.
- Ching, J., D. Byun, J. Young, F.S. Binkowski, J. Pleim, S. Roselle, J. Godowitch, W. Benjey, and G. Gipson, Science Features in Models-3 Community Multiscale Air Quality System, 10th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the A&WMA, 11-16 January 1998, Phoenix, Arizona, 269-273.
- Da Silva, V. D. P. R., De Azevedo, P. V., Brito, R. S., Da Cunha Campos, J. H. B. (2010). Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161, 45–59.
- De Leeuw, F., Mol, W., (2005), Air Quality and Air Quality Indices: a world apart. ETC/ACC Technical Paper 2005/5 http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACC_TechPaper_2005_5_AQ_Indices.pdf
- Dudhia, J. (1993) A non-hydrostatic version of the Penn State/NCAR Mesoscale Model: validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.* 121, 1493-1513.
- Emmanuel R., Fernando H.J.S., “Effects of urban form and thermal properties in urban heat island mitigation in hot humid and hot arid climates: the cases of Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA”, *Clim Res* 34, 241–251; doi:10.3354/cr00694, 2007
- EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, (2006)
- EPA (2009). Technical assistance document for the reporting of daily air quality - the Air Quality Index (AQI). EPA- 454/B-09-001, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, North Carolina 27711.EU (2007a). <http://ec.europa.eu/environment/air/legis.htm> (Accessed 2012/06/22).
- Elterman, L. 1968: Visible and IR Attenuation for Altitudes to 50 km; Air Force Cambridge Res. Lab, Bedford, MA, AFCRL-68-0153, 285.

- Etropolska I., Dimiter Syrakov, Kostadin Ganey, Maria Prodanova, Nikolai Miloshev, Kiril Slavov, Georgi Jordanov, (2010), A system for information and forecasting of air quality over Bulgaria, Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes — 1-4 June 2010, Paris, France. ISBN: 2-8681-5062-4, 530-534
- European Parliament (2002) Directive 2002/3/EC of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air, Official Journal of the European Communities (9.3.2002) L 67: 14-30.
- European Parliament (2008): Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe, Official Journal of the European Union (11.6.2008), L 152: 1-44.
- Fernando H.J.S., “Polimetrics: the quantitative study of urban systems (and its applications to atmospheric and hydro environments)”, *Environmental Fluid Mechanics*, 8 (5), 397–409, 2008
- Fernando H.J.S., “Fluid dynamic of urban atmospheres in complex terrain”, *Annu Rev Fluid Mech* 42:365–389, 2010
- Fernando H.J.S., Zajic D., Di Sabatino S., Dimitrova R., Hedquist B., Dallman A., “Flow, turbulence, and pollutant dispersion in urban atmospheres”, *Phys Fluids*, 22, 051301(2010); doi:10.1063/1.3407662, 2010
- Foster J., C. Kesselmann, (1998), *The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure*, Morgan Kaufmann.
- Gadzhev G., G. Jordanov, K. Ganey, M. Prodanova, D. Syrakov, N. Miloshev (2011a) Atmospheric Composition Studies for the Balkan Region, *Lecture Notes in Computer Sciences*, Dimov, I. S. Dimova, and N. Kolkovska (Eds.): LNCS 6046, c. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 150-157
- Gadzhev, G., Syrakov, D., Ganey, K., Brandiyiska, A., Miloshev, N., Georgiev, G., Prodanova, M., (2011b), Atmospheric composition of the Balkan region and Bulgaria. Study of the contribution of biogenic emissions, *AIP Conference Proceedings*, 1404, pp. 200-209.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Syrakov, D., Miloshev, N., Prodanova, M., (2012) Contribution of Biogenic Emissions to the Atmospheric Composition of the Balkan Region and Bulgaria, *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 50, Nos. 1/2/3/4, 2012, p. 130-139.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Miloshev, N., Syrakov, D., Prodanova, M., (2013a) Numerical Study of the Atmospheric Composition in Bulgaria, *Computers and Mathematics with Applications* 65, p. 402-422.
- Gadzhev G., K. Ganey, D. Syrakov, M. Prodanova and N. Miloshev (2013b) Some Statistical Evaluations of Numerically Obtained Atmospheric Composition Fields in Bulgaria, in the Proceedings of 15th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. 6-9 May 2013, Madrid, Spain, 373-377.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Prodanova, M., Syrakov, D., Atanasov, E., Miloshev, N., (2013c), Multi-scale Atmospheric Composition Modelling for Bulgaria, *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*, 137, pp. 381-385.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Miloshev, N., Syrakov, D., Prodanova, M., (2014a), Calculation Of Some Ozone Pollution Indices For Bulgaria, *Ecology and Safety*, Volume 8, ISSN 1314-7234, pp: 384- 392
- Gadzhev, G., Ganey, K., Miloshev, N., Syrakov, D., Prodanova, M., (2014b), Analysis of the processes which form the air pollution pattern over Bulgaria, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8353 LNCS, pp. 390-396.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Miloshev, N., Syrakov, D., Prodanova, M., (2014c), Some basic facts about the atmospheric composition in Bulgaria - Grid computing simulations, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8353 LNCS, pp. 484-490
- Gadzhev, G., Ganey, K., Miloshev, N., (2015a), Numerical study of the atmospheric composition climate of Bulgaria - Validation of the computer simulation results, *International Journal of Environment and Pollution*, 57 (3-4), pp. 189-201.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Miloshev, N., Syrakov, D., Prodanova, M., (2015b), HPC simulations of the fine particulate matter climate of Bulgaria, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 8962, pp. 178-186.
- Gadzhev, G., Ganey, K., Syrakov, D., Prodanova, M., Georgieva, I., Georgiev, G., (2015c) Computer simulations of the atmospheric composition climate of Bulgaria, *Física de la Tierra*, Vol. 27 171-189
- Ganey K., 1981: Some results of the numerical modeling of mesometeorological processes in the Sofia field. (in Bulgarian), *Bulgarian Geoph. J. v.VII*, 3, 3-15.
- Ganey K., D. Yordanov, 1981: Some examples of admixture transport in the Sofia field. (in Bulgarian), *Bulgarian Geoph. J. v.VII*, 3, 16-28.
- Ganey K., D. Yordanov, 1983: On the formulation of the influence function problem in air pollution models with parameterized diffusion in the surface layer. (in Russian), *Bulgarian Geoph. J. v. IX*, 3, 25-35.
- Ganey K., D. Yordanov, 1984: On the parameterization of pollution transport in the surface layer in the numerical air pollution models. (in Russian), *Bulgarian Geoph. J. v.X*, 4, 10-18.
- Ganey K., R.Dimitrova, N.Miloshev 2004: Air flows and pollution transport in the Sofia valley under some typical background conditions, *Proceedings of the XXVI International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Applications*, 26.-30 May, 2003, Istanbul - Turkey, Kluwer Academic/Plenum Publ. Corp., 593-594
- Ganey K., D. Syrakov, M. Prodanova, E. Atanasov, T. Gurov, A. Karaivanova, N. Miloshev, H. Chervenkov, (2009), *Grid Computing for Air Quality and Environmental Studies in Bulgaria*, 23rd EnviroInfo 2009 Conference - Environmental Informatics and Industrial Environmental Protection: Concepts, Methods and Tools, Berlin, September 9th - 11th 2009, v.1, 141-149
- Giles, B. D., Balafoutis, C. H., & Maheras, P. (1990). Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology*, 34, 98–104.
- Georgieva, E., Syrakov, D., Prodanova, M., Etropolska, I., Slavov, K. (2014): Evaluating the performance of WRF-CMAQ models in Bulgaria by means of the delta tool HARMO 2014 - 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, *Proceedings* pp. 304-308
- Georgieva, I., (2014) Study of the air quality index climate for Bulgaria, *Proc. of the international conference on numerical methods for scientific computations and advanced applications*, may 19-22, 2014, Bansko, ISBN978-954-91700-7-8, p. 39-42.

- Georgieva I., G.Gadzhiev, K. Ganev, M. Prodanova, D. Syrakov, N. Miloshev (2015) Numerical study of the air quality in the city of Sofia – some preliminary results, *International Journal of Environment and pollution*, Vol. 57, Nos. 3/4, 162-174
- Gery M. W., Morris R. E., Greenfield S. M., Liu M. K., Whitten G. Z., and Fieber J. L. (1987) Development of a Comprehensive Chemistry Acid Deposition Model (CCADM). Final Report for Interagency Agreement DW 14931498, U. S. Environmental Protection Agency and U. S. Department of Interior.
- Gery M. W., Whitten G. Z., Killus J. P. and Dodge M. C. (1989) A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling. *J. geophys. Res.* 94, 12,925-12,956.
- Grell, G.A., Dudhia J., and Stauffer D.R. (1994) A description of the Fifth Generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). NCAR Technical Note, NCAR TN-398-STR, 138 pp.
- Health Aspects of Air Pollution. Results from the WHO Project Systematic Review of Health Aspects of Air Pollution in Europe, World Health Organization (WHO), 2004.
- Jacobson, M. and R.P. Turco, 1994: SMVGEAR: A Sparse-Matrix, vectorized Gear code for atmospheric models, *Atmos. Env.*, 28, 2991-3003.
- Lurmann F. W., Carter W. P. L. and Coyner L. A. (1987) A Surrogate Species Chemical Reaction Mechanism for Urban Scale Air Quality Simulation Models Volume 1. EPA-600/3-87- 014a
- Miloshev N., (1996). National CORINAIR Inventory for 1995, Executive Environment Agency - MoEW, 1997. 256/260/
- Miloshev N., (1997). National CORINAIR Inventory for 1995, Executive Environment Agency - MoEW, 1997.
- Pierce, T., Geron, C., Bender, L., Dennis, R., Tennyson, G., and Guenther, A., (1998): The Influence of Increased Isoprene Emissions on Regional Ozone Modeling, *Journal of Geophysical Research*, 103, pp. 25611–25629.
- Pleim, J.E., and Chang, J.S., 1992: A Non-Local Closure Model in the Convective Boundary Layer. *Atmos. Env.* 26A: 965-981.
- Roth M., "Review of atmospheric turbulence over cities", *Q J R Meteorol Soc*, 126, 941–990, 2000
- Shamarock et al., (2007) "A description of the Advanced Research WRF Version 2", http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf
- Schaap, M., Timmermans, R.M.A., Roemer, M., Boersen, G.A.C., Builtjes, P.J.H. Sauter, F.J., Velders, G.J.M. and Beck, J.P. (2008) "The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest 257/260 developments", *International Journal of Environment and Pollution*, 32, No. 2, pp.270–290.
- Schwede, D., G. Pouliot, and T. Pierce (2005): Changes to the Biogenic Emissions Inventory System Version 3 (BEIS3), *Proc. of 4th Annual CMAQ Models-3 Users's Conference*, September 26-28, 2005, Chapel Hill, NC.
- Smolarkiewicz, P.K., 1983: A simple positive definite advection scheme with small implicit diffusion. *Mon. Wea. Rev.* 111: 479-486.
- Stockwell W.R. (1986) A homogeneous gas phase mechanism for use in a regional acid deposition model, *Atmos. Environ.*, 20, 1,615-1,632.
- Stockwell W. R., Middleton P. and Chang J. S. (1990) The second generation regional acid deposition model chemical mechanism for regional air quality modeling. *J. geophys. Res.* 95 (d10), 16,343-16,367.
- Syrakov D., K. Ganev, M. Prodanova, N. Miloshev, G. Jordanov, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou and K. Markakis, (2009), Background Pollution Forecast over Bulgaria, Large-Scale Scientific Computing, LSSC 2009, Springer LNCS 5910, 531-537
- Syrakov D., V. Spiridonov, M. Prodanova, A. Bogatchev, N. Miloshev, K. Ganev, E. Katragkou, D. Melas, A. Poupkou, Kostas Markakis, R. San Jose and J. L. Pérez, (2011a), A system for assessment of climatic air pollution levels in Bulgaria: description and first steps towards validation, *Int. J. Environment & Pollution Vol. 46*, Nos. 1/2, 8-42, ISSN (Online): 1741-5101 - ISSN (Print): 0957-4352, IF 0.706
- Syrakov D., M. Prodanova, I. Etropolska, K. Ganev, N. Miloshev, K. Slavov, G. Jordanov, (2011b) Automated system for chemical weather forecast in Bulgaria, *Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology*, v. 16, No. 1, pp.30-40.
- Syrakov D., K. Ganev, M. Prodanova, N. Miloshev, K. Slavov, (2012), Fine resolution modeling of climate change impact on future air quality over Bulgaria, 32st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application 7-11 May, 2012, Utrecht, The Netherlands. (on a CD)
- Syrakov, D., Etropolska, I., Prodanova, M., Slavov, K., Ganev, K., Miloshev, N., Ljubenov T., (2013) Downscaling of Bulgarian Chemical Weather Forecast from Bulgaria region to Sofia city, *American Institute of Physics, Conf. Proc.* 1561, p. 120-132, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4827221>
- Syrakov D., M. Prodanova, I. Etropolska, K. Slavov, K.Ganev, N. Miloshev, and T. Ljubenov (2014): A Multy-Domain Operational Chemical Weather Forecast System, in I. Lirkov et al. (Eds.): LSSC 2013, LNCS 8353, pp. 413–420, DOI: 10.1007/978-3-662-43880-0 55, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014
- Syrakov, D., Prodanova, M., Georgieva, E., Etropolska, I., Slavov, K. (2014): Impact of nox emissions on air quality simulations with the Bulgarian WRF-CMAQ modeling system *Proceedings of the HARMO 2014 - 16th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Varna, Bulgaria, pp 187-190.
- Syrakov, D., M. Prodanova, E. Georgieva, I. Etropolska, K. Slavov (2015): Simulation of European air quality by WRF-CMAQ models using AQMEII-2 infrastructure *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 293, pp 232–245.
- Todorova A., Syrakov D., Gadzhiev G., Georgiev G., Ganev K., Prodanova M., Miloshev N., Spiridonov V., Bogatchev A., Slavov K. (2010) Grid computing for atmospheric composition studies in Bulgaria, *Earth Sci Inform* 3: 259–282, DOI 10.1007/s12145-010-0072-1., IF=0.657
- U.S. Standard Atmosphere, 1976: National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Government Printing Office: Washington, DC, NOAA-S/T76-1562.
- Vestreng V., (2001), Emission data reported to UNECE/EMEP: Evaluation of the spatial distribution of emissions. Meteorological Synthesizing Centre - West, The Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway, Research Note 56, EMEP/MS-CW Note 1/2001.
- Vestreng V., K. Breivik, M. Adams, A. Wagner, J. Goodwin, O. Rozovskaya, J.M. Pacyna, (2005), Inventory Review 2005 (Emission Data reported to LRTAP Convention and NEC Directive), Technical Report MSC-W 1/2005, EMEP

- Visschedijk A. J. H., P.Y.J. Zandveld and H.A.C. Denier van der Gon, (2007), A High Resolution Gridded European Emission Database for the EU Integrate Project GEMS, TNO-report 2007-A-R0233/B, Apeldoorn, The Netherlands.
- Walceck, C.J., and Taylor, G.R., 1986: A Theoretical Method for Computing Vertical Distributions of Acidity and Sulfate Production within Cumulus Clouds. J. Atmos. Sci., 43(4): 339-355.
- Wesely, M.L., 1989: Parameterization of surface resistance to gaseous dry deposition in regional-scale numerical models, Atm. Env., 23, 1293-1304.
- WHO - Fact Sheet Number 187, World Health Organization , 2000
- WHO - Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. Global Update 2005. Summary of risk assessment, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen;
- Национална методика за инвентаризация на емисиите в атмосферата, утвърдена със Заповед № РД- 299/16.06.2000 на Министъра на Околната среда и водите.
- Гаджев Г., 2013, Мултимасщабно моделиране на пренос на замърсители в атмосферата, Дисертация за придобиване на образователната и научна степен “доктор” по специалност „Физика на океана, атмосферата и околоземното пространство” шифър 01.04.08
- Етрополски Е., 2015 Българска система за прогноза на химическото време – версии, дизайн, визуализация, верификация (валидация) Дисертация за придобиване на образователната и научна степен “доктор” в професионално направление 4.1. Физически науки (Метеорология).

<http://www.wrf-model.org/>
http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/user_guide_V3/contents.html
http://www.dtcenter.org/wrf-nmm/users/docs/user_guide/V3/index.htm
https://www.cmascenter.org/smoke/documentation/2.6/SMOKE_v26_manual.pdf
<http://www.airquality.co.uk/archive/standards.php#band>
<http://www.citeair.eu/>
http://www.airqualitynow.eu/about_indices_definition.php
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:067:0014:0030:EN:PDF>
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=BG>
http://www.moew.government.bg/wp-content/uploads/filebase/Air/Direktivi/Dir_2001_81_EC_bg.pdf
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
<https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%8F#.D0.9A.D0.BB.D0.B8.D0.BC.D0.B0.D1.82>
<http://www.cmascenter.org/>
<http://www.smoke-model.org/>
www.usgs.gov
<http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/n2o.html>
<http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone>
<http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/s2o.html>
<http://eea.government.bg/bg/output/daily/pollutants/pm.html>
<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/pre2009/health-aspects-of-air-pollution-results-from-the-who-project-systematic-review-of-health-aspects-of-air-pollution-in-europe>
http://sofia.bg/smet/Programa_OS_1.pdf

Списък на съкращенията

<u>АГС</u>	<u>Атмосферен Граничен Слой</u>
<u>АМ</u>	<u>Автомагистрала</u>
<u>АИС</u>	<u>Автоматична измервателна станция</u>
<u>БАН</u>	<u>Българска Академия на Науките</u>
<u>ВС</u>	<u>Въздушна среда</u>
<u>ГГС</u>	<u>Градски граничен слой</u>
<u>ГОТ</u>	<u>Градския остров на топлина</u>
<u>ДОАС</u>	<u>Dedicated outdoor air system - Система за измерване състоянието на въздуха</u>
<u>ЕАОС</u>	<u>Европейска агенция за околна среда</u>
<u>ЕС</u>	<u>Европейски Съюз</u>
<u>ИАОС</u>	<u>Изпълнителна Агенция по Околна Среда</u>
<u>ИКВ</u>	<u>Индекс за Качество на Въздуха</u>
<u>КАВ</u>	<u>Качество на Атмосферният Въздух</u>
<u>КВ</u>	<u>Качество на Въздуха</u>
<u>КТЗВДР</u>	<u>Конвенцията за трансгранично замърсяване на въздуха на далечни разстояния</u>
<u>МОСВ</u>	<u>Министерството на Околната Среда и Водите</u>
<u>НИГГГ</u>	<u>Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География</u>
<u>НИМХ</u>	<u>Национален Институт по Метеорология и Хидрология</u>
<u>НСИ</u>	<u>Национален Статистически Институт</u>
<u>ООН</u>	<u>Организация на Обединените Нации</u>
<u>ПДК</u>	<u>Пределно Допустими Концентрации</u>
<u>РКОНИК</u>	<u>Рамкова Конвенция на ООН по Изменение на Климата</u>
<u>СА</u>	<u>Състав на атмосферата</u>
<u>СЗО</u>	<u>Световна Здравна Организация</u>
<u>СЧН</u>	<u>Средно Часова Норма</u>
<u>СГН</u>	<u>Средно Годишна Норма</u>
<u>СДН</u>	<u>Средно Дневна Норма</u>
<u>ТЕЦ</u>	<u>Топло Електро Централа</u>
<u>AERO</u>	<u>Aerosol processes - Аерозолни процеси</u>
<u>AFWA</u>	<u>Air Force Weather Agency - Агенция на военновъздушните сили и времето</u>

<u>AQ</u>	<u>Air Quality - Качество на въздуха</u>
<u>AQI</u>	<u>Air Quality Index - Индекс за Качество на въздуха</u>
<u>CAPS</u>	<u>Center for Analysis and Prediction of Storms - Център за анализ и изследване на бурите</u>
<u>CLDS</u>	<u>Clouds - Облачните процеси и водната химия</u>
<u>CMAQ</u>	<u>Community Multiscale Air Quality System - Химичен транспортен модел</u>
<u>CORINAIR</u>	<u>The Core Inventory of Air Emissions in Europe - Инвентаризация на емисиите във въздуха в Еропа</u>
<u>CPRM</u>	<u>Coarse Particulate Matter - Едри Прахови частици</u>
<u>CHEM</u>	<u>Chemical processes - Химични процеси</u>
<u>DDEP</u>	<u>Dry Deposition - Сухо отлагане</u>
<u>EMEP</u>	<u>European Monitoring and Evaluation Program - Европейска програма за мониторинг и оценка на емисиите</u>
<u>EMC</u>	<u>Environmental Modeling Center - Центъра за моделиране на околната среда</u>
<u>EMIS</u>	<u>Emissions - Емисии</u>
<u>EPER</u>	<u>European Pollutant Emission Register - Европейския регистър на емисиите</u>
<u>ESRL</u>	<u>Earth System Research Laboratory - Лаборатория за изследване на земята</u>
<u>FAA</u>	<u>Federal Aviation Administration - Федералната авиационна администрация</u>
<u>FPRM</u>	<u>Fine Particulate Matter - Финни Прахови частици</u>
<u>GMT</u>	<u>Greenwich Mean Time - време по Гринуич</u>
<u>GNOY</u>	<u>Азотни съединения</u>
<u>HADV</u>	<u>Horisontal Advection - Хоризонтална адвекция</u>
<u>HDIF</u>	<u>Horisontal Diffusion - Хоризонталната дифузия</u>
<u>IPCC</u>	<u>Intergovernmental Panel on Climate Change - Методиката е стандарт за докладване на емисиите от парникови газове</u>
<u>LSM</u>	<u>Land Surface Model - Модел за земната повърхност</u>
<u>MAX</u>	<u>Maximum - Максимални</u>
<u>NCAR</u>	<u>National Center for Atmospheric Research - Национален център за атмосферни изследвания</u>
<u>NCEP</u>	<u>National Centers for Environmental Prediction - Национален център за прогноза на околната среда</u>
<u>NOAA</u>	<u>National Oceanic and Atmospheric Administration - Национална океанска и атмосферна администрация</u>
<u>NWP</u>	<u>Numerical Weather Prediction - Числена прогноза на времето</u>

<u>PBL</u>	<u>Planetary Boundary Layer - Ппланетарени граничен слой</u>
<u>PM</u>	<u>Particulate Matter - Прахови частици</u>
<u>PMC</u>	<u>Particulate Matter Coarse - Едри прахови частици</u>
<u>SNAP</u>	<u>Selected Nomenclature of Air Pollutants</u>
<u>SN</u>	<u>SNAP - Selected Nomenclature of Air Pollutants</u>
<u>US EPA</u>	<u>United States Environmental Protection Agency - Американска агенция за опазване на околната среда</u>
<u>SMOKE</u>	<u>Sparse Matrix Operator Kernel Emissions Modelling System - Емисионен модел</u>
<u>TNO</u>	<u>Nederland's Organization voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek - Netherlands Organisation for Applied Scientific Research - Нидерландска организация за приложни научни изследвания</u>
<u>UNFCCC</u>	<u>UN Framework Convention on Climate Change - Конвенцията на ООН за промяна на климата</u>
<u>USGS</u>	<u>US Geological Survey - Американска база данни за релефа и подложната повърхност</u>
<u>VADV</u>	<u>Vertical Advection - Вертикалната адвекция</u>
<u>VDIF</u>	<u>Vertical Diffusion - Вертикалната дифузия</u>
<u>VOC</u>	<u>Volatile organic compound - Летливи Органични Съединения</u>
<u>WHO</u>	<u>World Health Organization - Световна Здравна Организация</u>
<u>WRF</u>	<u>Weather Research and Forecast model - Модел за числена прогноза на времето</u>

ПРИНОСИ

в дисертационния труд на Ивелина Христова Георгиева на тема „Локални процеси на пренос и химични трансформации в атмосферата”

1. Генериран е ансамбъл от компютърни симулации, който е достатъчно **детайлен, представителен, надежден и изчерпателен**, представящ състава на атмосферата и локалните процеси на пренос за избрана градска среда – София град. Генерираният ансамбъл може да се разглежда като характеристика на климата на замърсяване, а симулациите могат да се използват за оценки на замърсяването на локално ниво;
2. Анализът на резултатите от компютърните симулации на осреднените по ансамбъл приземни концентрации на замърсители за територията на град София и за отделни точки от областта, тяхната пространствена, денонощна и сезонна изменчивост, границите в които те се изменят с различна вероятност и пр. позволи да бъдат разкрити някои от основните факти относно климата на атмосферно замърсяване в Столицата.
3. Пресметнат беше **Индексът за качество на атмосферния въздух (AQI)**, който отразява влиянието на качеството на атмосферния въздух върху качеството на живот и здравния риск в региона.
4. Съпоставянето на резултатите от петте емисионни сценария позволи да бъдат оценени, в климатичен аспект осреднените по целия ансамбъл приноси на източниците от съответните категории към общата картина на замърсяване в областта (София град) с тяхната пространствена, денонощна и сезонна изменчивост. Резултатите от това изследване могат да бъдат пряко използвани при формулирането на краткосрочни (текущи) решения и дългосрочни стратегии за намаляване на замърсяването на въздуха.
5. Оценена е ролята на всеки един от отделните процеси при формиране на атмосферното замърсяване в Столицата. Чрез осредняването на тези приноси по ансамбъл беше изяснена тяхната пространствена, денонощна и сезонна изменчивост. Анализа на тези процеси, на тяхното взаимодействие и принос е изключително важно за обяснение на общата картина на замърсяване в града и отделни негови точки.