

Връзка между метеорологичните характеристики и замърсяването на въздуха в София

**Орлин Георгиев, Благородка Велева, Елена Христова,
Екатерина Бъчварова, Мария Коларова**

Национален институт по метеорология и хидрология,
Българска академия на науките,
бул. Цариградско шосе 66, 1784 София

Abstract. Air pollution remains a serious problem for the big Bulgarian urban agglomerations. This problem is particularly important for Sofia, due to the location of the city in the closed Sofia valley with specific microclimate. The unfavorable microclimatic conditions, low wind speed, fogs and frequent temperature inversions during the cold season, together with a great number of different air pollution sources lead to poor air quality.

In the present investigation synoptic data for air temperature, precipitation and atmospheric pressure as well as wind, relative humidity and potential temperature vertical profiles from the 12 UTC aerological soundings are used. The basic air pollutants SO₂, NO₂, and PM₁₀ data used are from five urban automatic monitoring stations in Sofia and one at 1350 m a.s.l. on Vitoshka mountain operated by the Executive Environmental Agency (ExEA).

The Mixed-Layer Height (MLH) is an important parameter determining the air pollution levels in Sofia. At low MLH during the cold season, the PM₁₀ concentration often exceeds the limit values, while at high MLH observed during the warm periods of the year, the air pollutants concentrations in the surface layer are much lower. During the period 2012-2014, from 250 days with exceeds of the daily norm, 164 are at MLH below 400 m. MLH is determined from the radio sounding data analyzing the vertical profiles of the potential temperature, wind and relative humidity. Low MLH of 150-200 m is often observed in winter, while in summer due to the convective mixing MLH reaches 1800 m.

1 Увод

Град София и прилежащите населени места са разположени в затвореното котловинно Софийско поле с постоянно нарастващо население – над 1,5 милиона жители. На тази най-гъсто населена територия в страната съществуват голям брой различни индустриални, транспортни и битови източници на замърсители на въздуха. Замърсяването на въздуха и неблагоприятните метеорологични условия налагат развитие на програмите за мониторинг, изследване

приноса на отделните източници и по-ефективни средства за подобряване качеството на атмосферния въздух [1].

Софийското поле, със средна надморска височина около 500–600 m, е оградено от планината Витоша на юг с Черни връх (2290 m), Люлин планина на югозапад, Стара планина с връх Мургаш (1687 m) на север и части от Средна гора и Лозенска планина на югоизток (с височина до 1226 m), както и Вакарел на изток (700–900 m). Софийското поле е дълго 75 km от NW към SE и между 5 и 20 km широко.

Условията на смесване в атмосферния граничен слой (АГС) определят дисперсията на замърсителите на въздуха. Височината на слоя на смесване (ВСС) е основен параметър за АГС, силно влияещ на нивото на концентрация на замърсителите на въздуха. Височината на слоя на смесване се влияе от местния релеф и климат, синоптичната обстановка, термодинамичната стратификация, облачното покритие и процесите на обмен между атмосферата и повърхността.

Съществуват различни методи за изследване на слоя на смесване и за определяне на неговата височина от аерологични сондажи и от наземни дистанционни измервания, дискутирани подробно в [2-4]. В редица изследвания на замърсяването на въздуха в София са използвани вертикални профили от радиосондажите [5-8]. Неблагоприятните метеорологични условия в София и връзката със замърсяването на въздуха са предмет и на предишни изследвания провеждани в НИМХ [9,10]. Замърсяването с прах в София се характеризира със сезонен ход с максимум през студените периоди на годината [11,12]. Връзката между качеството на атмосферния въздух и височината на градския слой на смесване е широко изследвано през последните години в различни райони и градове [13-15].

Всички споменати природни и антропогенни фактори, обуславящи нивата на замърсяване в района на София, се изменят значително във времето и това налага непрекъснати и измервания и анализи.

Основната цел на настоящата работа е да се оцени връзката на замърсяването с ФПЧ_{10} , NO_2 и SO_2 и условията на смесване, определени от ВСС, валежите и други метеорологични параметри в периода след 2012 г.

2 Методи и данни

2.1 Използвана метеорологична информация и данни за замърсяването в София

В настоящото изследване са използвани данни за основните замърсители на въздуха финни прахови частици с размер до 10 микрона (ФПЧ_{10}), азотен диоксид (NO_2) и серен диоксид (SO_2) от автоматич-

Метеорологични характеристики и замърсяване на въздуха в София

ните измервателни станции (АИС) от системата за мониторинг на замърсяването на въздуха в София на ИАОС – МОСВ за 2014 година. Съгласно Докладите на ИАОС и РИОСВ [1,16] няма значителни промени в източниците на замърсяване на територията на София за периода 2012-2014.

Използвани са средноденоношни данни за ФПЧ_{10} и ежечасни данни за регулярно измерваните NO_2 и SO_2 в основните градски станции от мрежата на ИАОС: АИС “Павлово”, АИС “Дружба”, АИС “Орлов мост”, АИС “Надежда”, АИС “Дружба” и една извънградска станция - АИС “Копитото”. Градските станции са с надморска височина 550–600 m, АИС “Копитото” е разположена на северния склон на Витоша на 1350 m надморска височина (югозапад от София). От тези станции най-близо до Централната метеорологична и аерологична обсерватория на НИМХ е разположената АИС “Дружба”.

Синоптичните и аерологични данни от НИМХ и данните от месечния бюлетин на НИМХ са използвани, за да опишат местните метеорологични условия.

2.2 Определяне на височината на слоя на смесване

Аерологичните сондажи се осъществяват ежедневно в 12:00 UTC с висока вертикална резолюция 5-6 m от система Вайсала MW41 от юли 2013 в Централната Аерологична Обсерватория (ЦАО) с номер 15614 в международния обмен на данни в рамките на Световната метеорологична организация. Преди юли 2013 данните са получавани от система Вайсала MW21 и са с вертикална резолюция от 10–12 m. За определянето на ВСС са обработвани и анализирани вертикалните профили от 588 до 3000 m надморска височина, за да надминават най-високата планинска точка, като включват и добре развития конвективен АГС.

Височината на слоя на смесване се определя чрез експертна оценка от обедния вертикален профил на потенциалната температура (θ), относителната влажност (RH), скоростта (WS) и посоката на вятъра (WD).

3 Резултати и дискусия

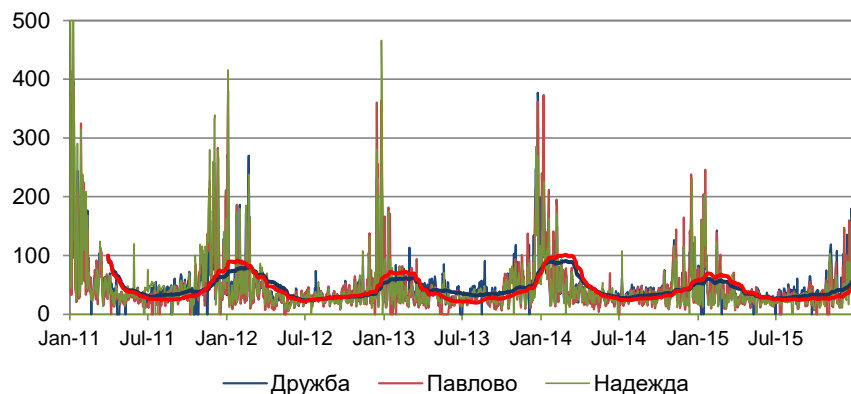
3.1 Сезонни и годишни вариации на ФПЧ_{10} в София

Концентрациите на ФПЧ се изменят в широки граници и в различни времеви мащаби, като се наблюдава денонощен, сезонен и многогодишен ход [17, 18]. В настоящата работа са използвани средноденоношните концентрации на ФПЧ_{10} в София.

Европейската (EU Directive 2008/50/EC) и националната средноденонощната норма (СДН) за концентрацията на ФПЧ_{10} е $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, като тази стойност не трябва да се надвишава за повече от 35 дни за календарна година.

През периода 2012–2014 год. средногодишните стойности за ФПЧ_{10} са над нормата от $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ за всички софийски градски АИС. Дните с превишение през 2012, 2013 и 2014 в 4 основни АИС варират между 59–108 през 2012, 62–110 през 2013 и 55–105 през 2014 [16,19].

На Фиг. 1 е показан средноденонощният ход на концентрациите на ФПЧ_{10} за три от градските станции. Ясно се вижда максимум през студените месеци (пълзящо средно с период 90 дни) и минимум през топлите, когато има силен турбулентен обмен с високи ВСС [20]. Подобен на София ход е забелязан и в Солт Лейк Сити. [17].

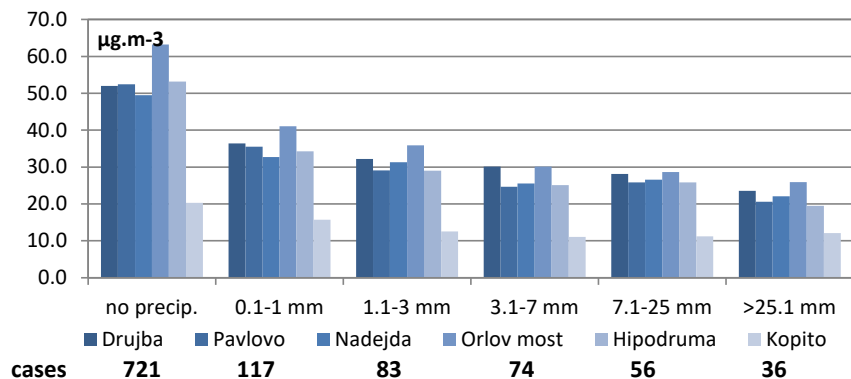


Фиг. 1: Средноденонощни концентрации на ФПЧ_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) в АИС Дружба, Павлово и Надежда за периода 2011-2015 г. Показано е пълзящо средно (плътна линия) за АИС Дружба (в черно) и АИС Павлово (в червено).

Добре смесеният АГС е предпоставка за синхронните изменения в дневния ход на замърсителите за градските станции. Корелацията между отделните градски станции е висока за всеки две станции в града ($R^2 \sim 0.81 \div 0.97$). Обратното се наблюдава в планинската АИС “Копитото”, за която отсъства корелация на годишна база в сравнение с градските станции ($R^2 \sim 0.03$). Ако се разгледат данните за един по-дълъг период – 2011-2015, и месеци като април, май и септември, се наблюдава покачване на корелацията между АИС “Копитото” и градските станции ($r \sim 0.51-0.65$). Това е пряко доказателство за по-интензивно смесване през тези месеци и по-високия слой на смесване, обхващащ и “Копитото”.

Метеорологични характеристики и замърсяване на въздуха в София

Валежите играят съществена роля за самоочистването на атмосферата от замърсителите и за подобряването на качеството на атмосферния въздух. Средните стойности на ФПЧ_{10} , изчислени за шест групи на дни с различно количество валеж за всяка АИС, са показани на Фиг. 2. Ясно се вижда разликата в концентрацията между валежни и сухи дни.



Фиг. 2: Средна концентрация на ФПЧ_{10} за дни с различно количество валеж за 6 АИС за периода 2012-2014.

Валежите оказват влияние и върху средногодишните концентрации на ФПЧ_{10} . В Таблица 1 са показани вариациите в средните по години концентрации на ФПЧ_{10} с и годишните суми и брой дни с валеж за периода 2010-2014. Най-високите стойности на замърсяване на въздуха кореспондират с най-сухата, 2011, година от представения период. Това означава, че при хипотезата за тенденция за по-сух климат в региона, според климатичните сценарии, при непроменени емисии могат да се очакват по-високи нива на замърсяване на въздуха.

Таблица 1: Средногодишни концентрации на ФПЧ_{10} за АИС, годишна сума на валежите в ЦМОи дни с валеж ≥ 0.1 mm

Година	Валеж сума [mm]	Дни с валеж ≥ 0.1 mm	АИС Друж- ба	АИС Надежда	АИС Орлов мост	АИС Хипо- друма	АИС Пав- лово	АИС Копи- тото
2010	719.8	158	50.6	49.5	54.6	47.1	46.0	20.6
2011	405.6	94	61.9	70.0	66.3	62.8	59.7	22.4
2012	561	114	42.1	44.7	53.9	47.7	43.7	19.6
2013	501.4	118	49.0	41.3	52.4	41.5	43.2	16.6
2014	1063.4	139	44.7	41.6	53.0	46.5	47.7	

3.2 Височина на слоя на смесване (ВСС)

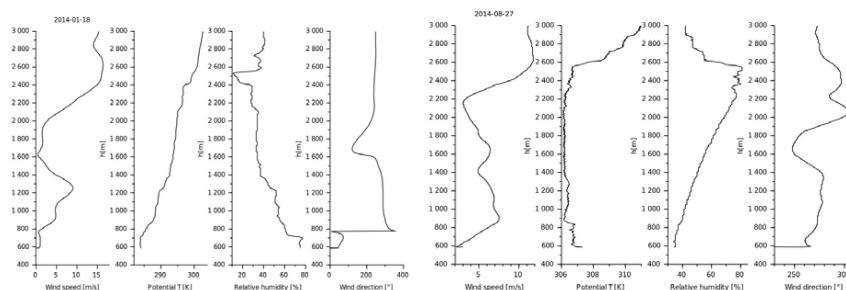
ВСС е с ключово значение за разпределението на замърсителите, изхвърлени в рамките на АГС. Приповдигнатата инверсия или зоната на увеличаване показва най-високата точка на относително постоянната потенциална температура и служи като горна граница за замърсителите, задържаща ги в АГС.

ВСС се определя по най-големия вертикален градиент на потенциалната температура (θ) [3]. За дни, когато профилът на θ се изменя твърде бавно с височината, се използват градиентите в профили на скоростта (WS) и посоката на вятъра (WD) и на относителната влажност (RH). Профилите на потенциалната температура θ и на относителната влажност RH често корелират и по тях добре може да се определи височината на АГС.

ВСС се изменя през деня заради промените в генерирането на механични и конвективни турбулентни потоци. Този растеж може да се оцени на базата на приземни измервания на метеорологичните параметри, на градиента на потенциалната температура и на синоптичната обстановка [21]. Атмосферата е добре смесена около обед, по време на сондажа, когато са определени и най-високите стойности на ВСС от 800–1800 m през лятото, пролетта и есента и от 100–400 m през зимата.

На Фиг. 3 е показан пример за профилите на скоростта на вятъра, потенциалната температура, относителната влажност и посоката на вятъра, получени след обработването и анализа на аерологичните сондажи в конкретни дни, през зимата и лятото на 2014 г.

На базата на профилите се определя височината на слоя на смесване ВСС, като при нисък ВСС от 110 m над земната повърхност през



Фиг. 3: Вертикални профили на скоростта на вятъра, потенциалната температура, относителната влажност и посоката на вятъра за 18 януари, 2014 (ляво) и 27 август, 2014 (дясно).

Метеорологични характеристики и замърсяване на въздуха в София

зимата (18 януари 2014) са регистрирани 4–5 пъти по-високи концентрации на ФПЧ_{10} и до 2.5 пъти на NO_2 спрямо измерените на 27 август 2014 г.

Предишни изследвания на ВСС от оперативни и експериментални радиосондажи в Софийско поле също показват забележим сезонен ход на взаимовръзката между ВСС и замърсителите на въздуха през годините [5,7,8].

3.3 Връзка между концентрациите на основните замърсители и ВСС в София

Липсата на силен вятър и инверсиите са сред най-важните фактори за високите концентрации на ФПЧ_{10} и други замърсители през студения период на годината. Като допълнителен фактор трябва да се отчита и влиянието на битовото отопление с твърдо гориво.

За да бъде оценена корелацията между високите концентрации на ФПЧ_{10} с ВСС за 2012-2014, са извадени всичките дни с превишения на нормата. Такива са 264 дни за АМС “Дружба” и 250 дни за другите градски АМС. Обобщено, за дни с превишения на нормата, отрицателна корелация от $r = -0.354$ между концентрацията е регистрирана на ФПЧ_{10} и ВСС. Намалението на концентрацията на ФПЧ_{10} с повишаването на ВСС е показано в Таблица 2, където дните са групирани в зависимост от височината на слоя на смесване в 4 категории.

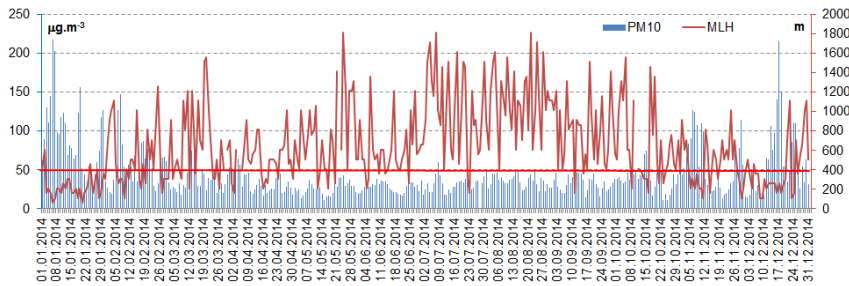
Таблица 2: ВСС и средна концентрация на ФПЧ_{10} за дните с превишение на СДН

ВСС, [m]	Средна ФПЧ_{10} , [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Брой случаи
60-210	127.55	81
260-410	78.80	83
460-660	71.81	43
> 700	61.34	36

Висок брой дни с превишения на нормата на ФПЧ_{10} са регистрирани през януари, февруари, ноември и декември 2014. Единични случаи на превишения са измерени през топлото полугодие на 2014 в отделни градски АИС, което е свързано с местни източници на ФПЧ като пожари, строителни дейности и др.

Отрицателната корелация между концентрацията на ФПЧ_{10} и среднодневните, максималните и минималните температури е индикатор за влиянието на тези фактори.

О. Георгиев, Бл. Велева, Е. Христова, Е. Бъчварова, М. Коларова



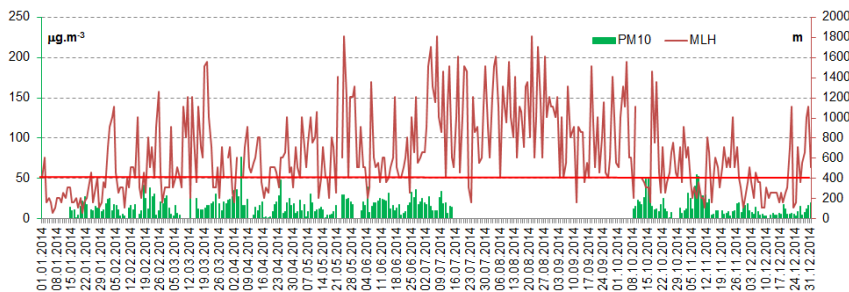
Фиг. 4: ФПЧ₁₀ (PM10) в АИС ”Дружба” и височина на слой на смесване.

Коефициентът на корелация варира между -0.32 през 2012 до -0.45 през 2014 за всички градски станции. Предишни наши резултати от експериментално изследване на ФПЧ₁₀ показват отрицателен коефициент на корелация, пресметнат както следва: за T_{avg} ($r = -0.41$); за T_{min} ($r = -0.43$); за WS ($r = -0.37$); за обедната BCC ($r = -0.31$) [21,22]. Слаба положителна корелация е отбелязана между концентрацията на ФПЧ₁₀ и относителната влажност.

На Фиг. 4 и Фиг. 5 е показан годишен ход на BCC и на концентрациите на ФПЧ₁₀ в една от градските станции (АИС ”Дружба”) и в извънградската станция (АИС ”Копитото”) за цялата 2014 година.

Ниските концентрации, измерени в градските АИС съответстват на висок слой на смесване, особено през топлата част на годината, Фигура 4. На височината на АИС Копитото, най-ниски са концентрациите през зимата при нисък BCC, който задържа примесите в градския АГС, Фигура 5.

Съществуват средночасови (СЧН), средноденонощни (СДН) и сред-



Фиг. 5: ФПЧ₁₀ (PM10) в АИС ”Копитото” и височина на слой на смесване.

Метеорологични характеристики и замърсяване на въздуха в София

ногодишни норми за NO_2 и SO_2 , които не са надхвърляни в София през 2014 г. [1]:

- за NO_2 средночасовата норма е $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (не повече от 18 пъти за 1 календарна година), а средногодишната норма е $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- за SO_2 СДН е $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (не повече от 3 пъти за 1 година), а СЧН е $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (не повече от 24 пъти за 1 година).

Приземните концентрации на други замърсители, като NO_2 и SO_2 също се влияят от условията на смесване в АГС.

В Таблица 3 са показани коефициентите на корелация между пресметнатата височина на слоя на смесване и концентрациите на NO_2 и SO_2 за обедните часове преди, по време и след аерологичния сондаж.

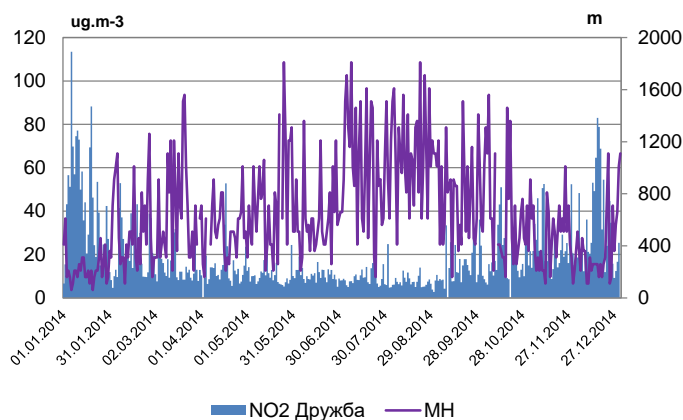
Таблица 3: Коефициент на корелация между ВСС и средночасовите концентрации на NO_2 и SO_2 за 2014 г.

Време	коефициент на корелация (r) между NO_2 и ВСС					
	Дружба	Павлово	Надежда	Орлов мост	Хиподрума	Копитото
13:00	-0.37	-0.33	-0.38	-0.33	-0.34	-0.06
14:00	-0.41	-0.34	-0.39	-0.35	-0.34	-0.07
15:00	-0.39	-0.35	-0.35	-0.33	-0.37	-0.02

Време	коефициент на корелация (r) между SO_2 и ВСС					
	Дружба	Павлово	Надежда	Орлов мост	Хиподрума	Копитото
14:00	-0.16	-0.24	-0.17	-0.28	-0.23	-0.07
15:00	-0.17	-0.26	-0.18	-0.24	-0.22	-0.11

Корелацията между концентрациите на NO_2 , измерени в различните градски станции е висока, r варира от 0.61–0.65 през нощните часове и до 0.83–0.87 в часовете с най-развит слой на смесване. Наблюдава се слаба, но статистически значима антикорелация между измерените концентрации на SO_2 и ВСС. По-големи по абсолютна стойност са коефициентите на корелация между NO_2 и ВСС. Това е свързано с вида на основния източник на азотни оксиди в градска среда - автотранспорта и влиянието на височината и обема на слоя на смесване върху дисперсията на примеси. Липсата на корелация между ВСС и стойностите на NO_2 и SO_2 за АИС Копитото (разположена на 1350 метра) се обясняват с местоположението на тази станция, която често остава над градския АГС.

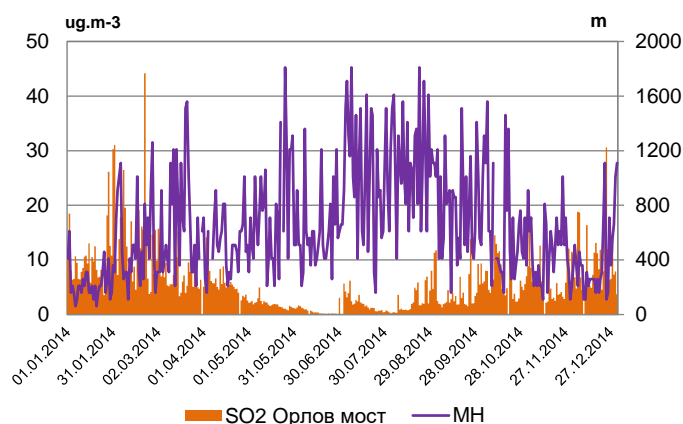
Както се вижда от Фиг. 6, най-големи концентрации на NO_2 са измерени през зимния период на годината – декември-февруари, когато



Фиг. 6: ВСС и средночасова концентрация на NO_2 за 14:00 часа в АИС Дружба.

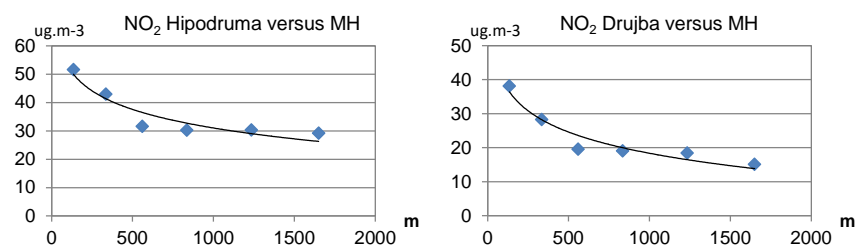
и слойт на смесване е най-нисък. Не така явна е връзката между ВСС и SO_2 (Фиг. 7), което може да се дължи на приноса от различни, мощни, високи източници от региона – топлоелектроцентрали на въглища или металургични индустриални източници. За това говори и по-високият коефициент на корелация между средноденоношните концентрации, измерени на Копитото и градските АИС (r варира от 0.47 за АИС Надежда до 0.58 за Павлово).

Дните, без валеж през 2014 г. (или с по-малко от 0.1 mm денонощен валеж) бяха групирани в 6 градации в зависимост от височината на



Фиг. 7: ВСС и средночасова концентрация на SO_2 в 14:00 часа в АИС Орлов мост.

Метеорологични характеристики и замърсяване на въздуха в София



Фиг. 8: Средни концентрации на NO₂ в зависимост от височината на слоя на смесване в 6 градации.

слоя на смесване, както следва: 60–210 m; 260–410 m; 460–660 m; 710–960 m; 1010–1460 m; и над 1500 m.

Пресметнати са средните за съответната градация на ВСС на средноденонощните концентрации на NO₂. Резултатите, представени на Фиг. 8, показват логаритмична зависимост за намаляване на концентрацията с увеличаване на ВСС в градските станции, както следва: за АИС Хиподрума $y = -9.45 \ln(x) + 96.34$, $R^2 = 0.89$; за АИС Дружба $y = -9.00 \ln(x) + 80.55$; $R^2 = 0.93$.

Подобна, но по-слабо изразена тенденция за намаляване на концентрацията с увеличаване на височината на слоя на смесване се наблюдава и за средноденонощните концентрации на SO₂.

4 Изводи

Наличието на температурни инверсии, мъгли и слаб вятър през студения период на годината определя неблагоприятни условия за разсейване на примеси и е причина за високите концентрации на ФПЧ₁₀ в София. Концентрации на ФПЧ₁₀, 3-5 пъти по-високи от дневната норма, са наблюдавани през зимния сезон при антициклонна обстановка, когато изчислената височина на слоя на смесване е под 250 m.

Най-високи стойности на концентрациите на NO₂ и SO₂ през 2014 са измерени също през студеното полугодие, но без да са надвишени нормите за тези замърсители.

При добре развит и висок атмосферен граничен слой през лятото концентрациите на ФПЧ₁₀, NO₂ и SO₂ са значително по-ниски в градските станции. Обратна сезонна зависимост се наблюдава за АИС Копитото, разположена на 1350 m надморска височина.

В дни с валеж, концентрациите на ФПЧ₁₀, NO₂ и SO₂ са по-ниски поради измиващия ефект на валежа и очистването на атмосферата.

О. Георгиев, Бл. Велева, Е. Христова, Е. Бъчварова, М. Коларова

Висок коефициент на корелация между отделните градски АИС е получен за концентрациите на ФПЧ_{10} и NO_2 , докато за SO_2 е по-нисък.

Благодарности

Това изследване беше проведено в рамките на Програмата за развитие на младите учени в БАН, договор ДФНП-34/20.04.2016.

Литература

- [1] Национален Доклад на МОСВ (2016) Национален доклад за състоянието и опазването на околната среда, МОСВ, София, <http://eea.government.bg/bg/soer/2014>.
- [2] P. Seibert, F. Beyrich, S.-E. Gryning, S. Jofre, A. Rasmussen and P. Tercier (2000) Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height *Atmospheric Environment* **34** 1001-1027.
- [3] M. Fearon, T. Brown and G. Curcio (2015) Establishing a national standard method for operational mixing height determination *J. Operational Meteorology* **3** (15) 172-189; <http://dx.doi.org/10.15191/nwajom.2015.0315>.
- [4] J.D. Seidel, C.O. Ao, and K. Li (2010) Estimating climatological planetary boundary layer heights from radiosonde observations: Comparison of methods and uncertainty analysis, *J. Geophys. Res.* 115 D16113; doi:10.1029/2009JD013680.
- [5] E. Batchvarova, Valkov N. and Veleva B. (2008) Study of long term air pollution and meteorological data in five Bulgarian towns, *Proc. of 17th Int. Symp. 'Ecology & Safety'* 2008, 9-13 June 2008, Sunny Beach Resort, Bulgaria, *International Scientific Publications*, publ. by INFO INVEST, Bulgaria **2** (1) 571-577.
- [6] E. Batchvarova, E. Pisoni, and G. Finzi (2010) (1.17) Evaluation of RAMS6.0 Boundary-Layer Simulation over Sofia (Bulgaria) *Air Pollution Modelling and Its Application XX*, D.G. Steyn and S.T. Rao (Eds.) **103** 97-101, DOI 10.1007/978-90-481-3812-8.
- [7] B. Veleva, N. Valkov, E. Batchvarova and M. Kolarova (2010) Variation of Radon short lived beta radionuclides (Radon progeny) and mixing processes in the atmospheric boundary layer, *Journal of Environmental Radioactivity* **101** 538-543.
- [8] N. Valkov, M. Kolarova, D. Yordanov and D. Syrakov (2008) Climatological data analysis for numerical and experimental determination of CBL height values, *Conference on Water Observation and Information System for Decision Support*, BALWOIS 2008, 27-31 May 2008, Ohrid, Republic of Macedonia.
- [9] Д. Блъскова, Л. Златкова, Ст. Лингова, Ж. Модева, Л. Събев, М. Тенева (1983) Климат и микроклимат на София, Изд. на БАН, София, 154с.
- [10] V. Andreev, Ch. Branzov, E. Koleva, A. Tzenkova, J. Ivancheva and P. Videnov (2004) Climate and human comfort of Sofia. Ecology of the City of Sofia, *Species and Communities in an urban Environment* PENSOFT Publishers, Sofia-Moscow, 25-54.

Метеорологични характеристики и замърсяване на въздуха в София

- [11] B. Veleva (2006) Time variation of the dust concentration and deposition in Sofia during the period 1981-2002, *Proc. of BALWOIS Conference*, Ohrid, Macedonia, <http://balwois.com/conference/balwois-2006/>. (Accessed 12 December 2014)
- [12] E. Hristova, B. Veleva (2013) Variation of air particulate concentration in Sofia, 2005-2012, *Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology* **18** (1-2) 47-56.
- [13] S. Pal, I. Xueref-Remy, L. Ammoura, P. Chazette, F. Gibert, P. Royer, E. Dieudonné, J.-C. Dupont, M. Haeffelin, C. Lac, M. Lopez, Y. Morille and F. Ravetta (2012) Spatio-temporal variability of the atmospheric boundary layer depth over the Paris agglomeration: An assessment of the impact of the urban heat island intensity, *Atmospheric Environment* **63** 261-275.
- [14] G. Tang, J. Zhang, X. Zhu, T. Song, Ch. Münkel, B. Hu, K. Schäfer, Z. Liu, J. Zhang, L. Wang, J. Xin, P. Suppan and Y. Wang (2016) Mixing layer height and its implications for air pollution over Beijing, China, *Atmospheric Chemistry and Physics* **16** 2459-2475.
- [15] F. Guarnieri, F. Calastrini, C. Busillo, G. Messeri and B. Gozzini (2015) A model chain application to estimate mixing layer height related to PM10 dispersion processes, Hindawi Publishing Corporation, *The Scientific World Journal*, Vol. 2015 p. 11 Article ID 298492, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/298492>.
- [16] Доклад на РИОСВ (2015) <http://www.riew-sofia.org/index.php/2014-02-03-21-18-13>.
- [17] David C. Whiteman, Sebastian W. Hoch, John D. Horel, Allison Charland, (2014) *Relationship between particulate air pollution and meteorological variables in Utah's Salt Lake Valley*, *Atmospheric Environment* **94** 742-753.
- [18] M. Malandrino, M. Di Martino, G. Ghiotta, F. Geobaldo, M.M. Grossa, A. Giacomino, O. Abollino (2013) Inter-annual and seasonal variability in PM10 samples monitored in the city of Turin (Italy) from 2002 to 2005. *Microchemical Journal* **107**, 76-85.
- [19] AirBase – The European air quality database 2016; <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-6>(Accessed 20.08.2016).
- [20] B. Veleva, E. Hristova, E. Nikolova, M. Kolarova, and R. Valcheva (2014) Seasonal variation of PM10 elemental composition in urban environment, International Scientific Events, Sunny Beach, Bulgaria, *J. of International Scientific. Publications: Ecology & Safety* Vol. 8 Part 1 265-275; www.scientific-publications.net
- [21] E. Batchvarova and S.-E. Gryning (1991) Applied model for the growth of the daytime mixed layer, *Boundary-Layer Meteorology* **56**, 261-274.
- [22] B. Veleva, E. Hristova, E. Nikolova, M. Kolarova and R. Valcheva (2015) Statistical evaluation of elemental composition data of PM10 air particulate in Sofia, *International J. of Environment and Pollution*, **57** (3-4) 175-188.