

## Определяне височината на слоя на смесване от радиосондажни данни в град София – предварителни резултати

### Венцислав Данчовски

Катедра Метеорология и геофизика, Физически факултет,  
Софийски университет “Св. Климент Охридски”,  
бул. Джеймс Баучър №5, София 1164

**Резюме.** Височината на слоя на смесване (BCC – Mixing Layer Height (MLH)) е изключително важен параметър при числено моделиране на времето, климата и разпространението на атмосферни замърсители. По тази причина са предложени редица методики за нейното определяне. Повечето от съществуващите процедури разчитат на идентифициране на характерни форма и особености в профилите, получени от аерологичния сондаж. Базирани на вертикалното разпределение на температурата, влажността и вятъра методите показват значими разлики, породени от несъгласуваност между изброените атмосферни параметри. Работата представлява сравнително изследване на различните техники за извличане на информация за BCC от аерологичните профили. Получен е годишният ход на интересувания ни параметър за района на град София. Установените средни стойности на BCC за лятото и зимата са съответно 1848 и 648 метра. Значима разлика е намерена в получените BCC в зависимост от преобладаващото атмосферно налягане, най-добре доловима през есента и зимата. Ролята на водещия поток при формирането на градска струя също е изследвано, като е показано, че високите стойности на BCC съвпадат със силен поток. Влиянието на въртенето на вятъра в слоя на смесване (CC – Mixing Layer (ML)) върху BCC също е разгледано, като е показано, че силно измечивият по посока вятър може да е свързан с висок CC.

### 1 Увод

Слоят на смесване е най-ниската част от атмосферата, в която се осъществява взаимодействието с подложната повърхност. Основно свойство на CC се явява турбулентността, посредством която се осъществява транспортирането на топлина, влага, импулс и повърхностно емитирани примеси [1]. Дебелината на този слой е от особена важност при числено моделиран на времето и климата [2]. Освен това BCC е необходим параметър за определяне на приземните

концентрации на замърсители с помощта на спътникови наблюдения [3]. Моделирането разпространението на атмосферни примеси също изисква познаването на ВСС, понеже тя ограничава обема за субстанциите и така определя техните приземни нива [4]. С нарастването на дела на градското население се увеличава и нуждата от изследване на ВСС над градски зони във връзка с концентрацията на замърсители и последиците върху човешкото здраве. За разлика от извънградски райони, урбанизираните такива се характеризират със значително смесване, породено от повишената грапавост и нагриване. По тази причина параметризационните схеми за АГС, разработени за еднородна повърхност, не са приложими за комплексната градска среда [5]. Ситуацията е допълнително усложнена от наслагването на градските и орографските ефекти [6–8], какъвто е и случаят със София поради близостта на Витоша.

Въпреки своята важност ВСС не е част от стандартните метеорологични наблюдения, за определянето му се използват два типа подходи, едните разчитат на метеорологични измервания, а другите – на параметризиране. Техниките, използващи измервания, са базирани на проследяване процеса на смесване чрез пасивни субстанции, като потенциалната температура, специфичната влажност и аерозолната концентрация, а също и чрез интегралното число на Ричардсон или турбулентната кинетична енергия. Като ВСС се определя по наличието на значим градиент във вертикалните профили, предполагайки почти равномерно разпределени трейсъри в СС [9].

Регулярното провеждане на аерологични сондажи и това, че те осигуряват *in situ* информация за метеорологичните параметри са причина за използването им като еталон за сравнение по отношение регистрацията на ВСС [10]. Това, че сондирането се извършва само два пъти на ден (в 00 и 12 UTC), е основният недостатък. Понякога прилагането на приетите критерии върху получените профили е трудно и детекцията налага включването на човешкия фактор. Освен това балонът е носен свободно от вятъра при своето издигане, следователно профилите не са вертикални [9].

## 2 Използвани данни и методи

В настоящето изследване са използвани свободно-достъпни архивирани данни от аерологичните сондажи за град София за 2015 година, съхранявани в международната база данни Integrated Global Radiosonde Archive (IGRA). Пускането на сондажа се осъществява на територията на Националния Институт по Метеорология и Хидрология при Българската Академия на Науките (НИМХ-БАН) всеки ден в 12 UTC. Понеже в архива са запазени само т.нар. значими нива (ос-

### *Определяне височината на слоя на смесване от радиосондажни ...*

новните изобарни нива и особените точки), профилите са интерполирани линейно за получаване на вертикална разрешаваща способност 10 метра. Понеже скоростта на издигане на балона не фигурира в изпозваните данни е приета постоянна такава 5 m/s.

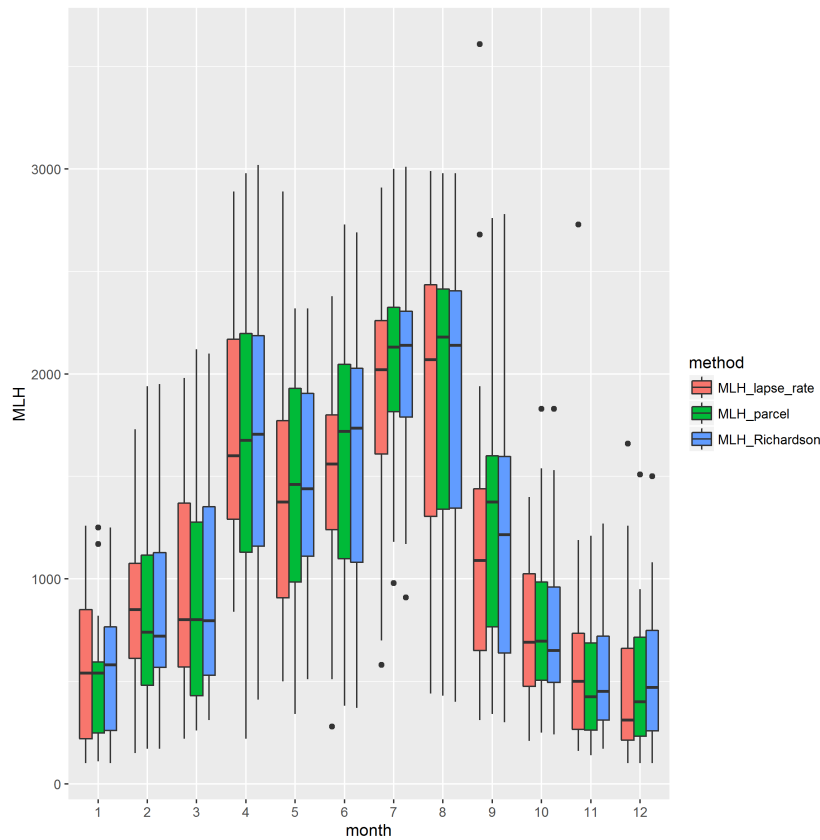
Оценката на ВСС е направена по три различни методики. Първата от тях е субективен критерий, базиран на вертикалните градиенти в атмосферните профили (градиентен метод -- lapse rate method), ВСС се избира като първото ниво, за което изменението на относителната влажност с височината е отрицателно и градиентът на потенциалната температура е по-голям от 2 deg/km. Методът на индивидуалната въздушна частичка (ИВЧ -- parcel method) е вторият способ, според който ВСС е нивото, на което адиабатно издигаща се ИВЧ има нулева плаваемост, т.е. това е пресечната точка на температурния профил с наклонена линия, описваща охлаждането на ИВЧ по сухо-адиабатния закон, или в термини на потенциалната температура пресечната точка с вертикална линия, прекарана през приземната температура [11]. Последната методика е базирана на интегралното число на Ричардсон (Richardson method), когато то превиши отнапред зададена критична стойност, атмосферата се счита напълно откъсната от влиянието на подложната повърхност. Тук, следвайки [12], 0.21 е използваната стойност.

За оценка влиянието на приземното атмосферното налягане върху ВСС отклонението на последното от изгладената му стойност (посредством нискочестотен Butterworth филтър с праг 15 дни) е стандартизирано, като налягането е категоризирано като “ниско” (Low), “високо” (High) и “нормално” (Normal), ако стандартизираните стойности са съответно  $< -0.5$ ,  $> 0.5$  и между  $-0.5$  и  $0.5$ .

### **3 Резултати**

За съпоставка на резултатите за ВСС, получени чрез прилагането на трите гореописани метода, са използвани дескриптивни статистически походи. Очевидно е сходството в месечните разпределения на ВСС за използваните методи (Фиг. 1). Много добро е съвпадението в интерквартилните обхвати, като прави впечатление и наличието на силно различаващи се стойности от останалите при градиентния метод през месеци септември и ноември.

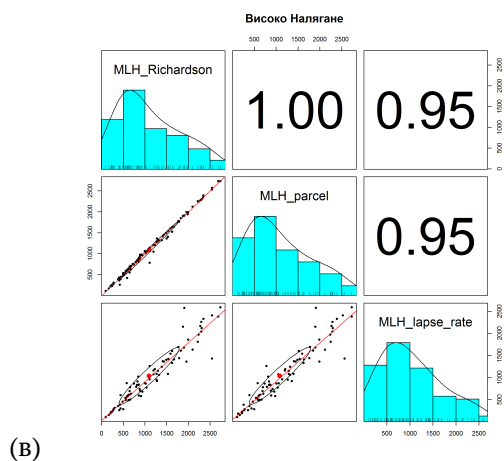
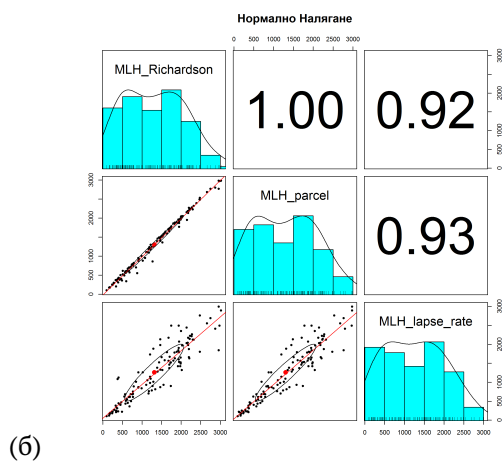
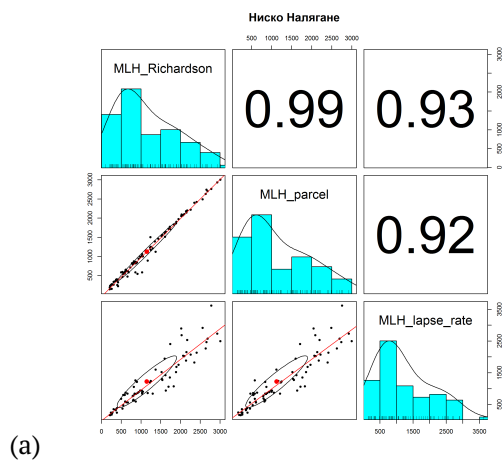
От корелационните матрици (Фиг. 2), получени за различно приземно атмосферно налягане, се вижда, че ИВЧ и Ричардсон методите дават много близки стойности, като съвпадението при високо налягане е особено добро. По-разхвърляни са данните от градиентния метод. По тази причина, а и защото методиката на Ричардсон е най-препоръчвана в литературата, последващият анализ е на база получените по нея ВСС.



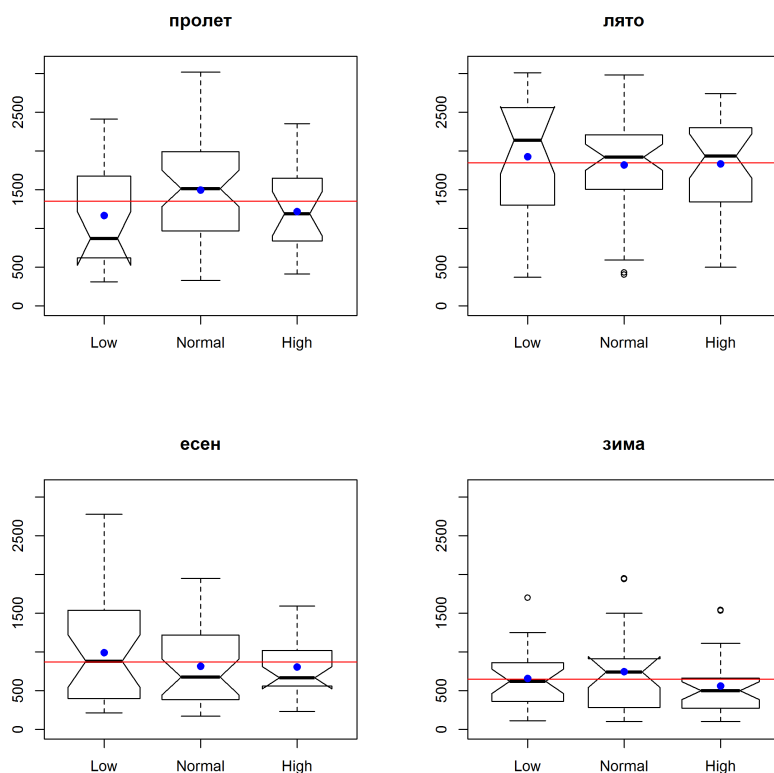
Фиг. 1: Квартилни диаграми на ВСС получени чрез градиентния, ИВЧ и Ричардсон методи за всеки месец.

Съгласно установените представи скоростта на увличане и вертикалната скорост определят скоростта на нарастване на ВСС. По тази причина в области с високо атмосферно налягане низходящите движения частично потискат увличането и така забавят нарастването на ВСС. Обратно, при ниско атмосферно двата фактора действат в една посока и за това ВСС е по-голяма. От Фиг. 3 е видно, че това е изпълнено за лятото, есента и зимата, но през пролетта очакванията не се оправдават. Възможно обяснение за наблюдаваното може да се търси в топлофизичните свойства на подложната повърхност за градската среда. В антициклонално време поради значителното слънчево греене термичният генератор на турбулентност частично компенсира слабия динамичен такъв. Този ефект може да се види и на лятната диаграма.

Определяне височината на слоя на смесване от радиосондажни ...



Фиг. 2: Корелационни матрици от трите метода за определяне на ВСС при: ниско (а); нормално (б); и високо (в) атмосферно налягане.



Фиг. 3: Квартилни диаграми на ВСС по Ричардсон при ниско, нормално и високо атмосферно налягане през различните сезони. Сините точки са средните стойности за съответния сезон и налягане, а червената линия е средносезонната стойност на ВСС.

Поради изключително различаващите се по своите физични свойства подложни повърхности в града е интересно да се провери дали пространственото им разпределение се “отразява” и на ВСС. За целта положението на балона при удовлетворяване на приетия критерий за детекция на ВСС е нанесено на карта, като цветовото запълване е според стойността на ВСС (Фиг. 4). Забелязва се, че през пролетта и лятото позициите на сондата са равномерно разпръснати около мястото на пускане, докато през есента и зимата се наблюдава едно подреждане в направление северозапад-югоизток. Вижда се, че не може да се открие привилегирована посока на вятъра в СС, за която стойностите на ВСС да са силно отличаващи се. Очевидно градска-

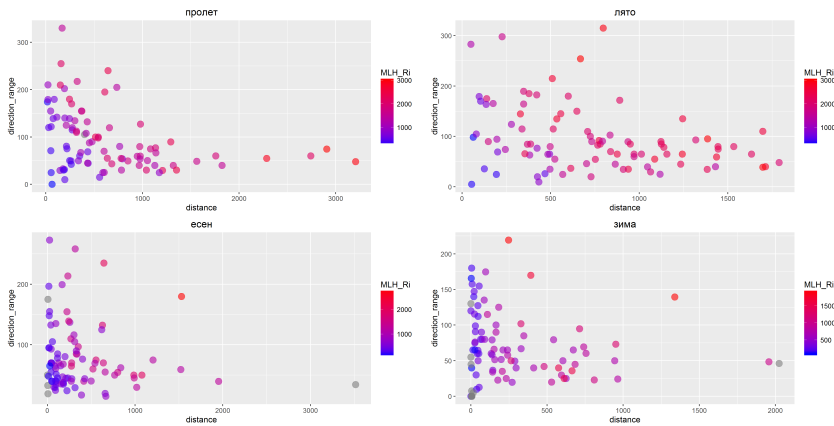
Определяне височината на слоя на смесване от радиосондажни ...



Фиг. 4: Стойности на ВСС в зависимост от положението на балона в момента на детекция през различните сезони.

та струя не може да бъде регистрирана, ако сондажът се провежда в урбанизираната територия. Освен това изглежда, че точките близо до станцията са с по-ниски стойности на регистрираната ВСС, което може да се обясни с по-слаб вятър и съответно по-слабо механично генериране на турбулентност.

За потвърждение на изказаното твърдение позицията на балона, респективно изминатото радиално разстояние, не е достатъчно,



Фиг. 5: Стойности на ВСС в зависимост от изминатото разстояние и дължината на интервала от ъгли, покриващи въртенето в СС през различните сезони.

нужно е да се отчете и изминалият път, т.е. дали при издигането си балонът се движи праволинейно, или пък вятърът в СС е силно променлив по посока и съответно изминатите разстояние и път съществено се различават. За целта на Фиг. 5 са представени стойностите на ВСС за отделните сезони в зависимост от изминатото разстояние и обхвата от ъгли, отчитащи посоката на вятъра (обхват 0 означава фиксирана посока, а 360 – вятърът се е въртял от всички посоки при издигането на балона в СС). Вижда се, че слабопроменливия по посока, умерен и силен вятър по големина води до по-високи стойности на ВСС (по-отчетливо през пролетта и лятото). При слаб вятър СС е нисък, но, ако вятърът е силен, макар и със значително завъртане във височина отново имаме висок СС.

#### 4 Заключение

Настоящата работа представя първоначални резултати от анализ на ВСС за период от една година на базата на термодинамичните профили, получени чрез аерологичен сондаж. Сравняването на използваните критерии (градиентен, ИВЧ и Ричардсон методи) показва значително сходство, като между Ричардсон и ИВЧ методите бе установено много добро съвпадение, особено при преобладаващо високо атмосферно налягане. И трите методики показват ясно изразен годишен ход на ВСС според очакванията, като средните стойности на ВСС през зимата са около 650, а през лятото около 1850 метра. Потвърдена бе известната връзка на ВСС с приземното налягане, като само през пролетта бе установено отклонение от очакваното поведение. Показано бе, че в условия на градски терен динамичният генератор на турбуленнтост може да обясни наблюдаваните високи стойности на ВСС при по-големите изминати от балона разстояния. За отбелязване е, че регистрираните значителни стойности на ВСС при сравнително малко изминато разстояние са съчетани със съществена промяна в посоката на вятъра. Наблюдаваното въртене на вятъра в СС не може да се опише само с теорията на Екман и това налага допълнително изследване.

#### Благодарности

Представеното изследване е извършено в рамките на проект “Impact of Gas and Aerosol Pollution on Urban Air Quality in Mountain Valley” (договор E02/19) финансиран от ФНИ.

#### Литература

- [1] Stull R 1988 An introduction to boundary layer meteorology (Atmospheric Sciences Library, Dordrecht: Kluwer).



- [2] Seibert P, Beyrich F, Gryning S E, Joffre S, Rasmussen A and Tercier P 2000 Review and intercomparison of operational methods for the determination of the mixing height; *Atmospheric environment* 34(7) 1001-1027.
- [3] Dandou A, Bosioli E, Tombrou M, Sifakis N, Paronis D, Soulakellis N and Sari-  
giannis D 2002 The importance of mixing height in characterising pollution  
levels from aerosol optical thickness derived by satellite; *Water, Air and Soil  
Pollution: Focus* 2(5-6) 17-28.
- [4] Quan J, Gao Y, Zhang Q, Tie X, Cao J, Han S and Zhao D 2013 Evolution of  
planetary boundary layer under different weather conditions, and its impact  
on aerosol concentrations; *Particuology* 11(1) 34-40.
- [5] Baklanov A 2002 The mixing height in urban areas – a review; *Mixing heights  
and inversions in urban areas COST Action 715* 9-28.
- [6] Sicard M, Perez C, Rocadenbosch F, Baldasano J M and Garcia-Vizcaino D  
2006 Mixed-layer depth determination in the Barcelona coastal area from  
regular lidar measurements: methods, results and limitations; *Boundary-  
Layer Meteorology* 119(1) 135-157.
- [7] Tsaknakis G, Papayannis A, Kokkalis P, Amiridis V, Kambezidis HD, Mamouri  
RE, Georgoussis G, Avdikos G 2011 Inter-comparison of lidar and ceilometer  
retrievals for aerosol and Planetary Boundary Layer profiling over Athens,  
Greece; *Atmospheric Measurement Techniques* 4(6) 1261-73.
- [8] Pandolfi M, Martucci G, Querol X, Alastuey A, Wilsenack F, Frey S, O'Dowd C,  
Dall'Osto M 2013 Continuous atmospheric boundary layer observations in  
the coastal urban area of Barcelona during SAPUSS; *Atmospheric Chemistry  
and Physics* 13(9) 4983-96.
- [9] Schween JH, Hirsikko A, Lohnert U, Crewell S 2014 Mixing-layer height re-  
trieval with ceilometer and Doppler lidar: from case studies to long-term  
assessment; *Atmospheric Measurement Techniques* 7(11) 3685-704.
- [10] Eresmaa N, Karppinen A, Joffre SM, Rasanen J, Talvitie H 2006 Mixing height  
determination by ceilometer; *Atmospheric Chemistry and Physics* 6(6) 1485-  
93.
- [11] Holzworth G 1967 Mixing depths, wind speeds and air pollution potential  
for selected locations in the United States; *Journal of applied Meteorology*  
6(6) 1039-1044.
- [12] Menut L, Flamant C, Pelon J, Flamant PH 1999 Urban boundary-layer height  
determination from lidar measurements over the Paris area; *Applied Optics*  
38(6) 945-954.