



Distributions of cloud condensation nuclei related to two synoptic situations in 2016

Viktoria Kleshtanova^{1, 2*}, Anastasiya Stoycheva², Veselin Tonchev¹

¹*Faculty of Physics, Sofia University, James Bourchier 5, 1164 Sofia, Bulgaria*

²*National Institute of Meteorology and Hydrology, Tsarigradsko shose 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

Abstract. The aerosol particles play an important role in the global climate and air quality. They directly scatter and absorb the solar radiation, act as Cloud Condensation Nuclei (CCN) and ice nuclei thus changing the albedo and clouds lifetime. Here we use data from the CCN counter of the Base Ecological Observatory (BEO) Moussala – an observatory established on the top of the highest mountain peak of the Balkan Peninsula Moussala (2925.4 m). We focus on two situations from 2016, in January and in July, when extreme of the CCN concentrations were observed. In parallel, data on the geopotential and relative air humidity at 700 hPa, the isobaric height closest to the Moussala peak is resorted to. For a complete description of the synoptic situations all other baric and thermal fields that characterize the processes in the atmospheric processes are used. Analyses from the global numerical model of NOAA – GFS (Global Forecasting System), maintained by National Center for Environmental Prediction (NCEP) are also used. Additionally, details of the CCN distribution in July are rationalized. In both synoptic situations, at moments of extremes in the number of CCNs, the baric valley associated with a multicenter cyclone with two main centers approaches the country: one - above the northern regions of the Scandinavian Peninsula and the other - west of the coast of Norway, above the Atlantic. In the winter synoptic situation, the baric valley reaches the country. In the summer, the country remains under the influence of the valley front during the whole period at 500 hPa. At 700 hPa, the baric field during the summer is less gradient compared to the winter one. The relative humidity in the Moussala region is low, up to 30-60%. During the extremes, a strong wind with prevailing northwest and southwest directions was observed in winter while in summer it was to moderate northwest and northeast.

Keywords: Cloud condensation nuclei, synoptic situations, BEO Moussala.

* Viktoria.Kleshtanova@meteo.bg

Разпределения на облачни кондензационни ядра и връзка с две синоптични обстановки през 2016 година

Виктория Клещанова^{1,2}, Анастасия Стойчева², Веселин Тончев¹

¹ Физически Факултет, Софийски Университет, Джеймс Баучер 5, 1164 София

² Национален Институт по метеорология и хидрология, Цариградско шосе 66, 1784 София

Резюме. Аерозолните частици играят важна роля в глобалния климат и качеството на въздуха. Те могат директно да разсейват и поглъщат слънчева радиация, да действат като облачни кондензационни ядра (ОКЯ) и ледени ядра, като по този начин променят албедото и продължителността на живот на облаците. В настоящата работа са използвани данни от Базова екологична обсерватория Мусала. Това е високопланинска обсерватория, разположена на връх Мусала, най-високият връх на Балканския полуостров с надморска височина 2925.4 m. Измерванията са направени с брояч на облачни кондензационни ядра. Разгледани са две обстановки (по една от януари и от юли) през 2016-та, при които се наблюдават екстремуми на концентрацията на ОКЯ. За тези обстановки са разгледани геопотенциала и относителната влажност на въздуха на 700 hPa, изобарната височина, най-близка до височината на връх Мусала. За пълнота при описанието на синоптичните обстановки са използвани всички други барични и термични полета, характеризиращи особеностите в атмосферните процеси. За онагледяване на анализа на синоптичната обстановка са използвани картите от Глобалната прогностична система (Global Forecasting System - GFS), поддържана от National Center for Environmental Prediction (NCEP). В допълнение, за обстановката през месец юли е разгледано и разпределението по големина на ОКЯ. В моментите на екстремуми на броя на ОКЯ, и при двете обстановки, към страната приближава барична долина, асоциирана към многоцентрова циклонална област с два основни центъра: единият - над северната част на Скандинавския полуостров и втори - западно от крайбрежието на Норвегия, над Атлантическия океан. При зимната обстановка баричната долина достига страната. При лятната обстановка през целия разглеждан период на височина 500 hPa страната остава под влияние на челото на долината. На 700 hPa баричното поле през лятната обстановка е по-слабо градиентно в сравнение със зимната. Относителната влажност на въздуха в района на Мусала е ниска, до 30-60%. По-време на екстремумите през зимната обстановка е отчетен силен вятър с преобладаващи посоки северозапад и югозапад, а през лятната – до умерен от северозапад и североизток.

Ключови думи: Облачни кондензационни ядра, синоптични обстановки, БEO Мусала.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Аерозолите са течни или твърди частици, суспендирани в газова фаза (Hinds, 2012). Те влияят върху радиационния баланс на Земята – взаимодействайки с

облаците, променят радиационните им свойства (индиректен ефект на аерозолите върху радиационния баланс) (Pierce&Adams, 2007). Повишената концентрация на аерозолите води до промяна на албедото, продължителността на живот и оптичната дебелина на облака. Облачното алbedo е по-голямо за облаци с повече на брой, но по-малки капки – това е първият индиректен ефект върху радиационния баланс на Земята от аерозолите. Също така времето на живот на облаци с по-малки облачни капки е по-голямо от това на облаци, съдържащи по-големи капки, защото процесите на коагулация и кондензация протичат по-бързо. Това е вторият индиректен климатичен ефект от аерозолите. Двата ефекта водят до образуване на облаци, които отразяват повече и са по-устойчиви, което води до охлаждане на земната повърхност и до намаляване на глобалното затопляне.

Аерозолните частици, участващи в облакообразуването са известни като облачни кондензационни ядра (ОКЯ) (Cloud Condensation Nuclei or CCN) и като цяло са част от аерозолната маса, отговорна за формирането на облачни капки (McFiggans et al., 2006; Andreae&Rosenfeld, 2008). Способността на частиците да се държат като ОКЯ зависи от множество фактори, в това число пресищането на околния въздух, аерозолните физични и химични свойства, както и метеорологичните параметри, като например температура, налягане, влажност. Поради ролята на аерозолно-облачните взаимодействия в глобалната климатична система, и още повече, поради непълното разбиране и обяснение на тези взаимодействия, жизненият цикъл на ОКЯ (техните източници и процесите, свързани с тях) е обект на значителен изследователски интерес (Hudson, 1993; Menon, 2004; Andreae et al., 2005; McFiggans et al., 2006; Rosenfeld, 2006; IAPSAG, 2007; Andreae&Rosenfeld, 2008). Теорията на Кьолер (1936) и нейните варианти (Hänel, 1976; Shulman et al., 1996; Laaksonen et al., 1998; Sorjamaa et al., 2004) описва способността на аерозолите да действат като ОКЯ. Тя лежи в основата на всички физично-базирани подходи, описващи индиректния ефект от аерозолите върху радиационния баланс на Земята (Seinfeld&Pandis, 2016; Sotiropoulou et al., 2006). Познанието за ОКЯ, тяхното поведение и корелациите им с метеорологичните елементи и днес представлява огромен и актуален научен проблем.

Изследването на всеки един атмосферен процес и обяснението му, преминава през описание на синоптичната обстановка, реализирана в съответния район. Изследванията, касаещи връзка между макро- и микро-процеси в атмосферата са много и настоящата разработка е свързана с тях, главно с интереса към замърсяването на атмосферата, както в приземния слой, поради прякото влияние върху човешкото здраве и живот, така и във височина (в средната и високата атмосфера), поради трансграничния пренос на замърсители. Комбинираното влияние на основни фактори, като метеорологичните условия, антропогенните емисии в съответния район и замърсителите, са в основата на формирането и еволюцията на явленията, водещи до намалена видимост или каквото и да е помътняване на атмосферата. Антициклоналният тип време, без вятър и

безградиентното барично поле са отговорни за намаляващия по вертикалата планетарен граничен слой и акумулирането на замърсители. (Leng et al., 2016). Изследвания, свързани с представяне на вертикалните профили на аерозоли и ОКЯ, получени по време на четири полета над Британските острови при различни синоптични ситуации и през различни сезони, са едни от първите опити в търсене на връзка между синоптична обстановка и поведение на ОКЯ. Изследвани са промените в разпределението по размери на аерозолите след преминаване на определена въздушна маса и се установява промяна в микрофизичните и макрофизичните характеристики на облаците, развили се в резултат на конкретната обстановка (Raga&Jonas, 1995). Nilsson et al. (2001) предполагат, че връзката между микрофизиката и синоптиката на процесите в тези две различни скали, може да бъде търсена и изследвана чрез мезо-процесите в граничния слой.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

В настоящата работа е направен опит за описание на връзката между конкретна синоптична обстановка с проявите ѝ като време в района на България и по-конкретно на връх Мусала и разпределението на ОКЯ по размери и концентрация. Изборът на двете обстановки е съобразен с по-рано получените резултати (Kleshtanova et al., 2019) като умишлено са търсени два случая, разположени в двете, различни по характер полугодия – есенно-зимното и пролетно-лятното, с цел откриване на първоначални ориентири относно поведението на търсената връзка при една зимна и една лятна обстановка.

2.1. Анализ на синоптичната обстановка

За онагледяване на анализа на синоптичната обстановка са използвани картите от Глобалната прогностична система (Global Forecasting System - GFS), поддържана от National Center for Environmental Prediction (NCEP), свободно достъпни от архива на <http://www.wetterzentrale.de>; www.wetter3.de. Самият анализ е изготвен, следвайки утвърдените дългогодишни оперативните практики, обновени със съвременните методи за описание на синоптичните процеси, използвани в отдел „Метеорологични прогнози“ на НИМХ.

2.2. Измервания на ОКЯ

Измерванията на облачни кондензационни ядра (разпределение по размер и концентрация), представени в настоящата работа, са направени с брояч на облачни кондензационни ядра (БОКЯ) (<http://www.dropletmeasurement.com>) в Базова екологична обсерватория (БЕО) Мусала. Това е високопланинска обсерватория,

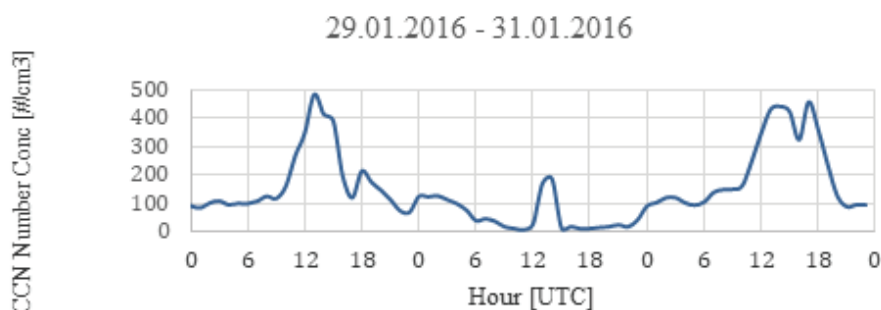
разположена на връх Мусала, най-високият връх на Балканския полуостров с надморска височина 2925.4 m. Обсерваторията е оборудвана с уникални за Балканския полуостров измервателни уреди. Поради нейното географско разположение и надморска височина, през голяма част от годината тя се намира в облачния слой.

3. РЕЗУЛТАТИ

Разгледани са по една конкретна обстановка от един зимен (януари 2016) и един летен (юли 2016) месец. Обстановките са подбрани спрямо максимум на концентрацията на ОКЯ за същия месец в БЕО Мусала (Kleshtanova et al., 2019). За тези обстановки са разгледани геопотенциала и относителната влажност на въздуха на 700 hPa, изобарната височина, най-близка до височината на връх Мусала (2925.4 m). За пълнота при описанието на синоптичните обстановки са използвани всички други барични и термични полета, характеризиращи особеностите в атмосферните процеси. В допълнение за обстановката през юли месец е разгледано и разпределението по големина на ОКЯ.

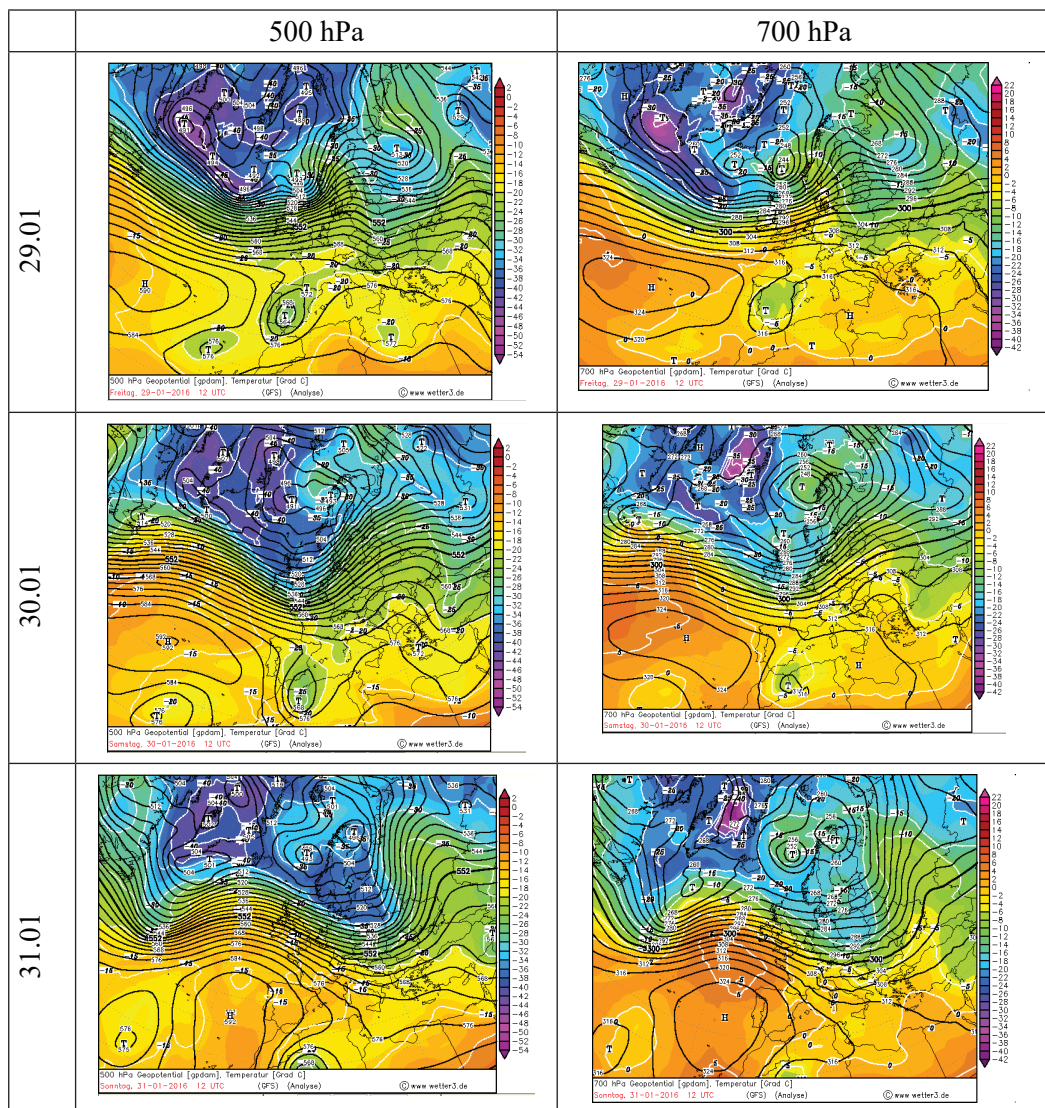
3.1. Разпределение на облачните кондензационни ядра през януари 2016 и анализ на синоптичната обстановка в края на месеца.

От изменението на концентрацията на ОКЯ през месец януари в БЕО Мусала се открояват 4 обстановки с екстремуми над 400 ОКЯ на кубичен сантиметър. Избрана е една от тези обстановки, единствената, която е с два много близки екстремума на концентрацията, в периода 29.01.2016 – 31.01.2016, представена на фигура 1. От нея ясно се вижда, че екстремумите са в следобедните часове на денонощието.



Фиг. 1. Разпределение на ОКЯ по часове на 29.01.2016 – 31.01.2016 г.

Fig. 1. CCN's distribution by hours during 29.01.2016 – 31.01.2016.



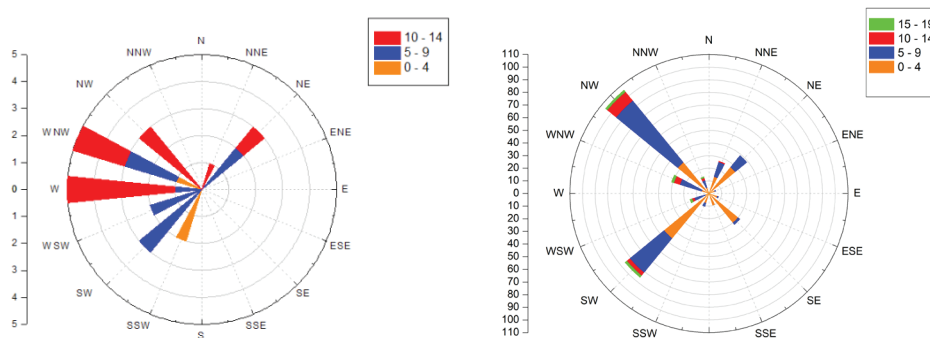
Фиг. 2. Геопотенциал на 500 hPa (ляво) и на 700 hPa (дясно) на 29, 30 и 31.01.2016 г. в 12 UTC (<http://www1.wetter3.de>).

Fig. 2. Geopotential at 500 hPa (left) and at 700 hPa (right) on 29th, 30th and 31.01.2016 year at 12 UTC (<http://www1.wetter3.de>).

От анализа на картите на абсолютната топография на 700 hPa (АТ700) се вижда, че в моментите на екстремуми на броя на ОКЯ (29-ти и 31-ви след обяд), над страната геопотенциалът все още е относително висок (фигура 2), по-висок на 29-и, с тенденция за понижениe на 31-и, като формата на баричния релеф е по-скоро

с характеристиките на циклонална кривина. Баричното поле на височина 700 hPa на 29.01.2016 г. в 12 UTC е слабо-градиентно, относително високо, като към страната приближава плитка барична долина, добре изразена и на двете изобарни повърхнини – 500 и 700 hPa (фигура 2). През нощта на 29-и срещу 30-и баричната долина преминава през страната. В сутрешните часове на 30-ти от запад започва изграждането на гребен, чиято ос до обяд преминава през страната и гребенът е добре различим и на двете геопотенциални височини. В 12 UTC се наблюдава по-малък, в сравнение с този от 29-ти и 31-ви, екстремум на ОКА.

През нощта гребенът се разрушава и на 31.01.2016 г. страната отново е под влияние на барична долина, асоциирана към циклон с два основни центъра: единият - над северната част на Скандинавския полуостров и втори - западно от крайбрежието на Норвегия, над Атлантическия океан (фигура 2). Геопотенциалът се понижава, но остава относително висок. Баричното поле вече е по-градиентно, вятърът се усилва, потокът на 500 и 700 hPa е предимно западен, центровете на циклоните са далече на север, а Балканите са в широката градиентна фронтална зона на обширната долина.



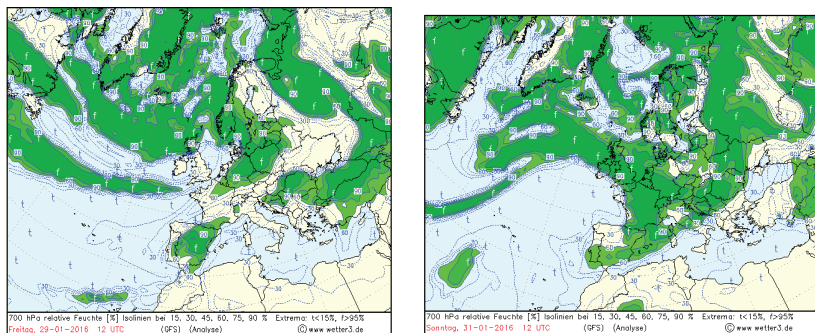
Фиг. 3. Роза на вятъра за периода от 29.01.2016 в 00 UTC до 31.01.2016 в 21 UTC по данни на НИМХ (ляв панел) и на БЕО Мусала (десен панел). Скалата в ляво се отнася за ширината на кръговете в розата. Всеки кръг отчита броя повторения на дадена скорост.

Fig. 3. Wind rose from 29.01.2016 at 00 UTC to 31.01.2016 at 21 UTC according NIMH's data (left panel) and BEO Moussala (right panel). The scale on the left responds to the width of the rings in the wind rose. Every ring responds to the number repetitions of the corresponding direction

В резултат на повишения баричен градиент в периода 29-31 януари е отчетен и силен вятър – до 14 m/s от запад и запад-северозапад по данни на НИМХ (фигура 3, ляв панел). Силен вятър е регистриран и от североизток. Преобладаваща посока на вятърът е и югозападната – до 9 m/s. Данните на НИМХ са във всички синоптични срокове – 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC. Уредът на БЕО Мусала (автоматична метеорологична станция VAISALA) дава информация за посока и скорост на всеки 10 минути (фигура 3, десен панел). Според отчитанията на

уредата там, няма регистрации на западен вятър. Преобладаващите посоки, които се запазват са северозапад, и югозапад и скорост над 15 m/s.

Относителната влажност на въздуха в началото на обстановката (29.01.2016 около обяд) в по-голямата част от страната е между 60 и 75%, само над Югозападна България е до 30-45% (фигура 4, ляво). След 12 UTC на 29.01.2016 г. относителната влажност на въздуха намалява до около 30% и не се променя до следобедните часове на 31.01.2016 г., когато от северозапад започва да расте (фигура 4, дясно).



Фиг. 4. Относителна влажност на въздуха на 700 hPa на 29.01.2016 г. в 12 UTC (ляво) и на 31.01.2016 г. в 12 UTC (дясно) (<http://www1.wetter3.de>)

Fig. 4. Relative humidity at 700 hPa on 29.01.2016 at 12 UTC (left) and on 31.01.2016 at 12 UTC (right) (<http://www1.wetter3.de>)

Видимостта при тази обстановка е висока. По данни от измерванията на НИМХ през по-голямата част от периода (в 20 от разглежданите 24 синоптични срока тя е между 60 и 75 км), в 4 синоптични срока (на 29.01 21 UTC, 30.01 00 UTC, 31.01 18 UTC и 21 UTC) е отчетена видимост между 0 и 100 m, поради мъгла.

3.2. Разпределение на облачните кондензационни ядра през юли 2016 и анализ на синоптичната обстановка 12-13.07.2016 г.

От изменението на концентрацията на ОКЯ през месец юли в БЕО Мусала (Kleshtanova et al., 2019) се открояват 2 обстановки с екстремуми над 2500 ОКЯ на кубичен сантиметър. Едната от тези обстановки, която е представена на фигура 5, не е с по-висока концентрация на ядрата за месеца, но е с ОКЯ с по-голям размер, в сравнение с другата. Големината на ядрата също се измерва от БОКЯ. Размерът на обхвата за активираните частици е от 0,75 до 10 μm , а частиците са групирани в 20 бина. В първия бин попадат частици с размери до 0,75 μm , във втория бин се групират частици с размери от 0,75 μm до 1 μm . След това ширината на биновете е 0,5 μm (1,0 – 1,5 μm , 1,5 – 2,0 μm , ..., 9,5 – 10,0 μm).

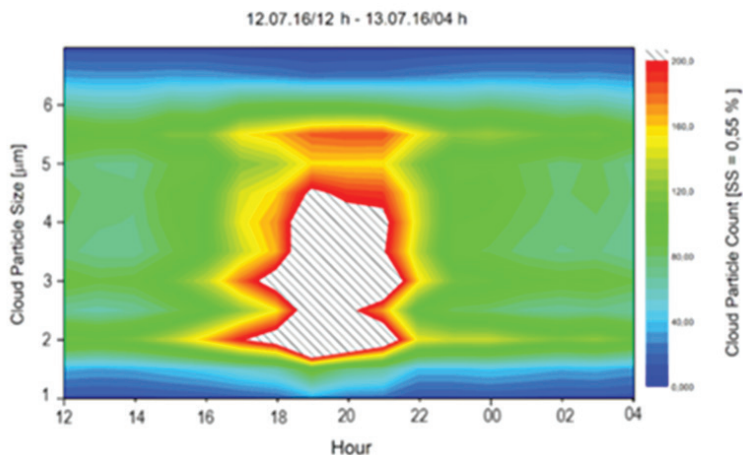
На фигура 6 е представено разпределението по размери на ОКЯ за периода от 12.07 в 12 UTC до 13.07 в 04 UTC, когато наблюдаваме остър екстремум

(между 17 и 22 UTC) на броя на ядрата. Преди и след появата на това явление броят на ОКЯ е почти постоянен за всеки отделен размер (бин). Най-много ядра са отчетени с големина 2, 3, 5,5 и между 4 и 4,5 микрона в низходящ ред – екстремуми, които са доминантни (фонови) в БЕО Мусала (Kleshtanova et al., 2019). Това разпределение е представено графично на фигура 7, където с червени линии са отбелязани часовете между 17 и 22 UTC. Разпределението в тези часове е отместено както по брой, така и по големина, спрямо нормалното разпределение преди и след това явление. Екстремумите в съответните бинове се запазват, но се променя максималният брой ядра в тях.



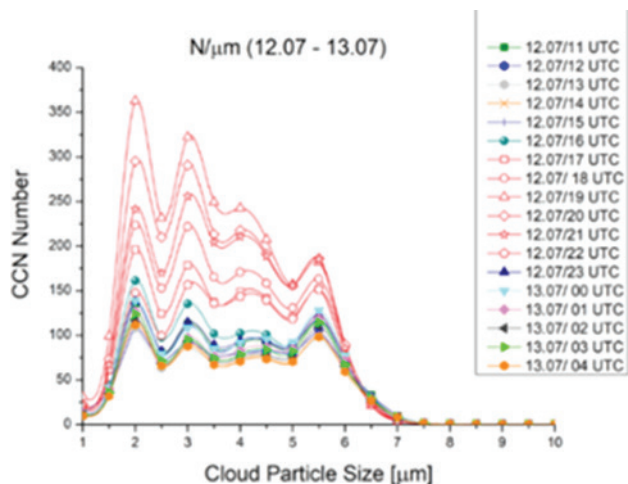
Фиг. 5. Разпределение на ОКЯ по часове на 12.07.2016 – 13.07.2016 г.

Fig. 5. CCN's distribution by hours during 12.07.2016 – 13.07.2016.



Фиг. 6. Разпределение на ОКЯ по размери от 12.07.2016 в 12 до 13.07.2016 в 04 UTC

Fig. 6. CCN's distribution by size from 12.07.2016 at 12 to 13.07.2016 at 04 UTC

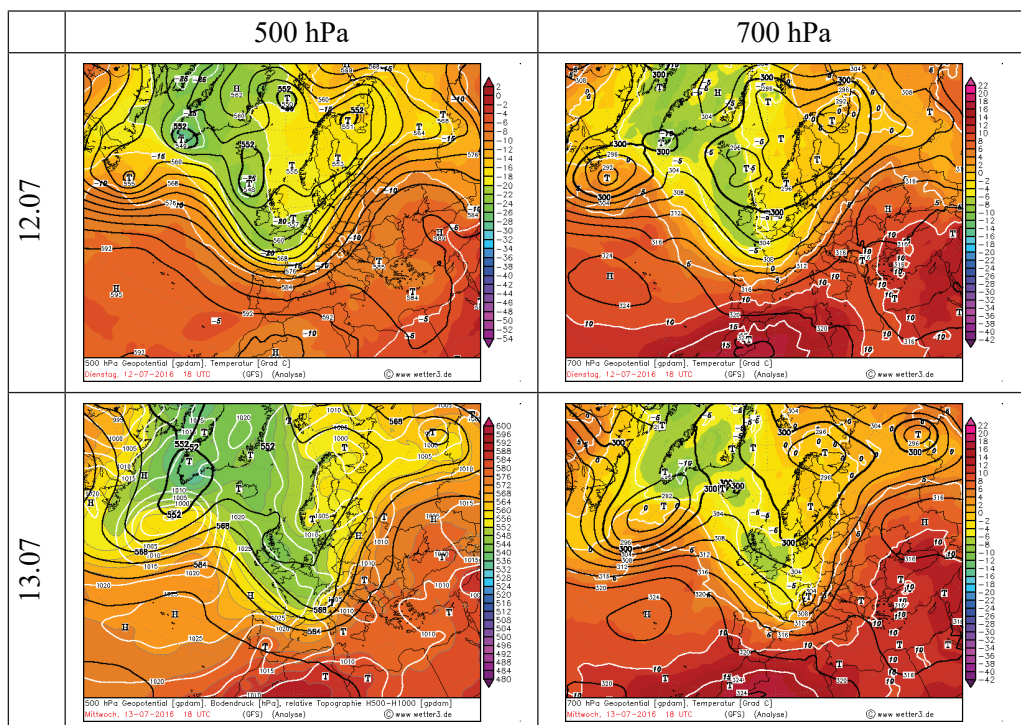


Фиг. 7. Графично представяне на разпределението на ОКЯ от 12.07.2016 в 12 UTC до 13.07.2016 в 04 UTC

Fig.7. Graphical representation of CCN's distribution from 12.07.2016 at 12 UTC to 13.07.2016 at 04 UTC

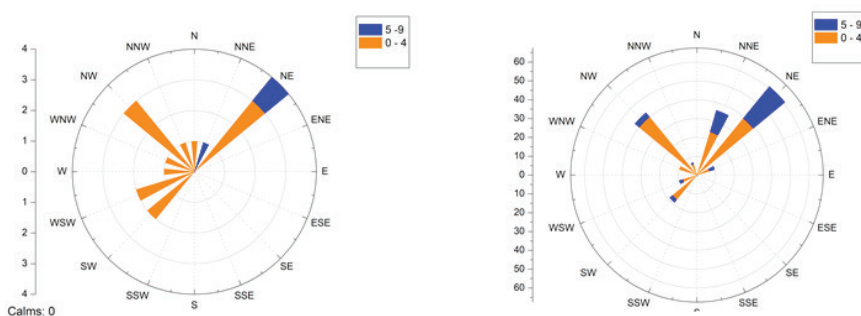
През този период синоптичната обстановка е типично лятна. Към страната отново приближава барична долина, асоциирана към многоцентрова циклонална област с два основни центъра: единият - над северната част на Скандинавския полуостров и втори - западно от крайбрежието на Норвегия, над Атлантическия океан (фигура 8). При зимната обстановка, разгледана по-горе, баричната долина достигаше страната. При лятната обстановка през целия разглеждан период на височина 500 hPa (фигура 8, вляво) страната остава под влияние на челото на долината. Само на 13.07 около 06 UTC Северозападна България попада под влиянието на преминаваща плитка вълна. На 700 hPa (фигура 8, дясно) баричното поле е по-слабо градиентно. На 12.07 в 18 UTC България е под влияние на баричен гребен, който през нощта отслабва, а на следващия ден временно се усилва.

От розата на вятъра, изчертана по данни на НИМХ и на БЕО Мусала (фигура 9 ляв и десен панел) се наблюдават две преобладаващи посоки – северозападна и североизточна. При тази обстановка, в сравнение със зимната, двете независими измервания отчитат приблизително еднакви скорости на вятъра – до 5-9 m/s.



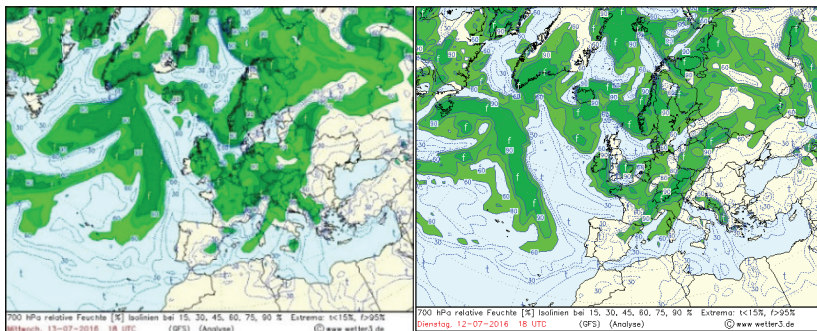
Фиг. 8. Геопотенциал на 500 hPa (ляво) и на 700 hPa (дясно) на 12 и 13.07.2016 г. в 18 UTC -(<http://www1.wetter3.de>).

Fig.8. Geopotential at 500 hPa (left) and at 700 hPa (right) on 12th and 13.07.2016 at 18 UTC (<http://www1.wetter3.de>)



Фиг. 9. Като фиг. 3., но за периода от 12.07.2016 в 00 UTC до 13.07.2016 в 21 UTC

Fig. 9. Same as Fig. 3. but for the period 12.07.2016 at 00 to 13.07.2016 at 21 UTC



Фиг. 10. Като Фиг. 4., но на 12.07.2016 г. в 18 UTC (ляв панел) и на 13.07.2016 г. в 18 UTC (десен панел) (<http://www1.wetter3.de>).

Fig. 10. Same as Fig. 4. but on 12.07.2016 г. at 18 UTC (left panel) and on 13.07.2016 г. at 18 UTC (right panel) (<http://www1.wetter3.de>).

Въпреки големия брой ядра през разглеждания период, видимостта в БЕО Мусала е била много висока – около 70 km по данни на НИМХ. Относителната влажност на въздуха отново, както при по-горе разгледаната обстановка през януари, е ниска – между 30 и 60 % (фигура 10). Тук, за разлика от зимната обстановка, няма големи разлики в хода на влажността – през целия разглеждан период тя остава в тези граници.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От разглежданията става ясно, че екстремум на ОКЯ има, когато към страната приближава или е под влияние на барична долина, асоциирана към циклонална област, чийто основни центрове са далеч на север или северозапад от Балканите. При разглежданите синоптични обстановки тези центрове са над северната част на Скандинавския полуостров и западно от крайбрежието на Норвегия, над Атлантическия океан. Освен това при такива синоптични обстановки относителната влажност на въздуха в района на връх Мусала е между 30 и 60%. Въпреки голямото количество на ОКЯ (особено при разглежданата обстановка през юли), видимостта в БЕО Мусала и при двете разглеждани обстановки е много висока – около 70 km. Преобладаващите посоки на вятъра са от западната четвърт при зимната обстановка и от северната четвърт при лятната обстановка, като има по-добър синхрон между отчетените скорости на вятъра при двете независими измервания при втората, през лятното полугодие.

Набелязани са насоки за бъдещи изследвания на корелации между ОКЯ и преноса на сахарски прах над България. В това число: как сахарският прах променя концентрацията на ОКЯ, дали нарастват правопрпорционално „финните“ до (2,5

μm) и „грубите“ (до 10 μm) ядра, дали влиянието му е еднакво през лятното и зимното полугодие.

БЛАГОДАРНОСТИ

Специални благодарности за финансовата подкрепа на Национална програма „Млади учени и постдокторанти“ към Министерство на образованието и науката (МОН) по Решение на МС N 577/17.08.2018 г.

Благодарности към Христо Ангелов, Иво Калъпов и Тодор Арсов от БЕО Мусала, които предоставиха безвъзмездно данните, използвани в настоящата разработка, и помогнаха с анализа им.

ЛИТЕРАТУРА

- Andreae M. O., Jones C. D., Cox, P. M., (2005), Strong present-day aerosol cooling implies a hot future, *Nature*, 435, 1187–1190.
- Andreae M., and Rosenfeld D., (2008), Aerosol–cloud–precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols, *Earth-Science Reviews*, 89, 13–41.
- Hänel G., (1976), The properties of atmospheric aerosol particles as functions of relative humidity at thermodynamic equilibrium with the surrounding moist air, 19, 73–188.
- Hinds W. C., (2012), *Aerosol technology: properties, behavior, and measurement of airborne particles*, A Wiley-Interscience Publ., John Wiley & Sons, 483 pp.
- Hudson J. G., (1993), Cloud condensation nuclei, *Journal of Applied Meteorology*, 32, 596–607.
- IAPSAG, (2007), International aerosol precipitation science assessment group: Aerosol pollution impact on precipitation: A scientific review, Geneva, WMO.
- Kleshtanova V., Angelov Ch., Kalapov I., Arsov T., Guerova G., Tonchev V., (2019), What one can learn from the cloud condensation nuclei (CCN) size distributions as monitored by the БЕО Мусала?. AIP Conference Proceedings, vol. 2075, no. 1, p. 130026. AIP Publishing.
- Köhler H., (1936), The nucleus in the growth of hygroscopic droplets, *Trans. Faraday Soc.*, 32, 1152–116.
- Laaksonen A., Korhonen P., Kulmala M., Charlson R. J., (1998), Modification of the Köhler equation to include soluble trace gases and slightly soluble substances., *J. Atmos. Sci.*, 55, 853– 862.
- Leng C., Duan J., Xu C., Zhang H., Wang Y., Wang Y., Li X., Kong L., Tao J., Zhang R., Cheng T., Zha S., Yu X., (2016), Insights into a historic severe haze event in Shanghai: synoptic situation, boundary layer and pollutants, *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 9221–9234, <https://doi.org/10.5194/acp-16-9221-2016>.
- McFiggans G., Artaxo P., Baltensperger U., Coe H., Facchini M., Feingold G., Fuzzi S., Gysel M., Laaksonen A., Lohmann U., (2006), The effect of physical and chemical aerosol properties on warm cloud droplet activation, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 2593–2649.
- Menon S., (2004), Current uncertainties in assessing aerosol effects on climate, *Ann. Rev. Environ. Resour.*, 29, 1–30.

- Nilsson E. D., Paatero J.; Boy M., (2001), Effects of air masses and synoptic weather on aerosol formation in the continental boundary layer. *Tellus B*, 53.4: 462-478.
- Pierce J. R., and Adams P. J., (2007), Efficiency of cloud condensation nuclei formation from ultrafine particles." *Atmospheric Chemistry and Physics* 7.5, 1367-1379.
- Raga G. B., Jonas P. R., (1995), Vertical distribution of aerosol particles and CCN in clear air around the British Isles. *Atmospheric Environment*, 29.6: 673-684. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00314-B](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00314-B)
- Rosenfeld D., (2006), Aerosols, Clouds, and Climate, *Science*, 312, 1323– 1324.
- Seinfeld J. H., and Pandis S. N., (2016), *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, John Wiley & Sons.
- Shulman M. L., Jacobson M. C., Charlson R. J., Synovec R. E., Young, T. E., (1996), Dissolution behavior and surface tension effects of organic compounds in nucleating cloud droplets, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 277.
- Sorjamaa R., Svenningsson B., Raatikainen T., Henning S., Bilde M., Laaksonen, A., (2004), The role of surfactants in Köhler theory reconsidered, *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 2107–2117, <http://www.atmos-chem-phys.net/4/2107/2004/>.
- Sotiropoulou R. E. P., Medina J., Nenes A., (2006), CCN predictions: Is theory sufficient for assessments of the indirect effect?, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L05816, doi:10.1029/2005GL025148.
- <http://www.dropletmeasurement.com/resources/manuals-guides>
- <http://www1.wetter3.de>
- <http://www.wetterzentrale.de>