



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА “МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА”

**КОМПЛЕКСЕН ПОДХОД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА
АТМОСФЕРНИ АЕРОЗОЛИ**

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

НА
ВИКТОРИЯ ЛЮБОМИРОВА КЛЕЩАНОВА

СОФИЯ, 2023



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА “МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА”

КОМПЛЕКСЕН ПОДХОД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА АТМОСФЕРНИ АЕРОЗОЛИ

АВТОРЕФЕРАТ на ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД

НА

ВИКТОРИЯ ЛЮБОМИРОВА КЛЕЩАНОВА

За присъждане на образователна и научна степен „доктор“ по специалност
4.1 Физически науки – Метеорология

Научен ръководител:

/доц. д-р В. Тончев/

Ръководител катедра:

/доц. д-р Г. Герова/

Дисертантът е зачислен като редовен докторант (по-късно докторантурата е трансформирана в задочна форма на обучение) към Катедра "Метеорология и геофизика" на Физически факултет при Софийски университет "Св. Климент Охридски" в периода 2019-2023 г. Дисертацията е с обем 111 страници. Състои се от 10 глави и списък на цитираната литература. Брой фигури – 50. Брой таблици – 7. Брой цитирани литературни източници – 129, от тях 6 интернет сайта.

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита на разширен катедрен съвет на катедра "Метеорология и геофизика" при Физическия факултет на 30.03.2023 г.

Защитата на дисертационния труд ще се проведе на2023 г. от часа в аудитория на Физическия факултет на Софийския университет "Св. Климент Охридски", бул. "Джеймс Баучер" 5. Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в библиотеката на Физическия факултет на Софийския университет "Св. Климент Охридски", бул. "Джеймс Баучер" 5.

Благодаря на:

научния ми ръководител доц. д-р Веселин Тончев за съвместната работа, за насоките и помощта за реализиране на дисертационния труд,

доц. д-р Христо Ангелов, ИЯИЯЕ-БАН, ръководител на БЕО Мусала, за предоставянето на необходимите данни, използвани в дисертационния труд,

гл. ас. д-р Анастасия Стойчева, НИМХ, за помощта при изготвяне на синоптичния анализ,

колегите синоптици от НИМХ за подкрепата и разбирането през годините,

цялото ми семейство и всички мои близки за търпението и подкрепата.

Съдържание

1. Актуалност и цел на дисертационния труд.....	6
1.1. Актуалност на проблема	6
1.2. Цел и задачи на дисертационния труд	7
2. Съвременно състояние на проблема	7
2.1. Аерозоли	7
2.2. Облачни кондензационни ядра (ОКЯ).....	8
2.3. Аерозолно-облачни взаимодействия	9
2.4. Прогнозиране концентрацията на ОКЯ.....	10
2.4.1. Теория на Köhler	10
2.4.2. Емпиричен закон на Twomey	11
2.5. Други изследвания на ОКЯ в световен мащаб	11
2.6. Изследване на ОКЯ на Балканския полуостров	12
2.7. Изследване на ОКЯ в България	12
2.8. Изследвания върху зародишообразуване	12
3. Методология и източници на данни	13
3.1. Базова екологична обсерватория Мусала.....	13
3.1.1. Брояч на ОКЯ	13
3.2. Обратни траектории на въздушните маси.....	14
3.3. Анализ на синоптични обстановки	15
3.4. Класификация на Jenkinson-Collison-Types	16
4. Разпределения на ОКЯ и връзка с две синоптични обстановки през 2016 г.....	17
4.1. Разпределение на ОКЯ през януари 2016 и анализ на синоптичната обстановка в края на месеца	17
5. ОКЯ и обратни траектории на въздушните маси на връх Мусала	21
5.1. Характеристики на ОКЯ през юли и декември 2016	21
5.2. Въздушни маси, оказващи влияние на връх Мусала	24
5.3. Метеорологични данни	26
5.4. Екстремни концентрации на ОКЯ.....	27

6. Екстремуми в концентрацията на ОКЯ и връзка с автоматична синоптична класификация на атмосферните процеси през 2016 г.	30
6.1. Концентрация на ОКЯ на средноденонощна база през 2016 г.	30
6.2. Концентрация на ОКЯ на средночасова база през 2016 г.	31
6.3. Разпределение на дните с екстремуми с помощта на HYSPLIT	32
7. Приложение на закона на Twomey.....	35
7.1 Апроксимация на концентрациите на ОКЯ	35
7.2. Зависимост на параметрите C и k от температурата	36
7.3. Корелационен коефициент между параметрите C и k и температурата	38
7.4. Зависимост между параметъра C и температурата при AC и W тип циркулация по JCT	40
7.5. Зависимост между параметъра C и температурата при най-високите корелационни коефициенти	41
8. Анализ на данни от хетерогенно зародишообразуване.....	42
8.1. Модел α_{21}	43
8.2 Модел на Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov	44
8.3. Модел на Ричардс	45
9. ЗАКЛЮЧЕНИЯ.....	46
10. Научни приноси, публикации и представяне на резултатите по дисертацията	49
10.1. Приноси на дисертационния труд.....	49
10.2. Публикации по дисертацията	50
10.2.1. Публикации в списание с ISI импакт-фактор.....	50
10.2.2. Публикации в списание без ISI импакт-фактор	50
10.2.3. Публикации извън темата на дисертацията	50
10.3. Участия в проекти	50
10.3.1. Ръководител на научен проект, финансиран от български източници.....	50
10.3.2. Участник в научен проект, финансиран от български източници	51
10.3.3. Участник в научен проект, финансиран от чуждестранни източници	51
10.4. Представяне на резултатите от дисертацията.....	51
10.4.1. Представяне на резултатите на научни форуми	51
10.4.2. Представяния извън темата на дисертацията.....	52
БИБЛИОГРАФИЯ	52

Глава 1

Актуалност и цел на дисертационния труд

1.1. Актуалност на проблема

Според последния, шести оценъчен доклад на работна група I на Междуправителствения панел за климатични промени (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) [1], публикуван през 2021 г., аерозолният принос към ефективното радиационно въздействие (ЕРВ), количествено получената или загубена енергия от земната система след наложено смущение, намалява по магнитуд от 2014 до 2019 г. Промяната през този период е оценена на $+0.2 \text{ W/m}^2$. Приносът на аерозолите към ЕРВ е оценен на -1.1 [-1.7 до -0.4] W/m^2 от началото на индустриалната ера, 1750 г. За сравнение, петият оценъчен доклад на IPCC [2] оценява това въздействие на -1.3 [-2.0 до -0.6] W/m^2 за периода 1750–2014 г. Приблизително 75-80% от това ефективно радиационно въздействие се дължи на взаимодействията между аерозолите и облаците. Аерозолно-облачните взаимодействия остават основно предизвикателство в глобалните числени модели, поради ограниченото познание на важни процеси в субмикронния мащаб, от емисиите на аерозоли и техните прекурсори до образуването на валежи. Аерозолите, участващи в аерозолно-облачните взаимодействия се наричат облачни кондензационни ядра (ОКЯ). Именно тяхното пространственото и времево разпределение в атмосферата е от изключително значение, за да могат да се включат техните ефекти в метеорологичните числени модели във всички мащаби, от регионални до глобални. ОКЯ се изследват по различни методи в целия свят – от точкови измервания или вертикални профили, през търсене на преки зависимости с атмосферните процеси, до изследване на закономерности чрез емпирично изведени закони. Измерванията на ОКЯ във високите слоеве на атмосферата често са представителни за условията на свободната атмосфера. Затова разпределението на ОКЯ по планинските върхове е показателно за преноса на въздушни маси, оказващи влияние върху съответния регион.

В България ОКЯ се отчитат от края на 2015 г., когато през ноември месец в Базова екологична обсерватория Мусала започва да функционира брояч на ОКЯ (БОКЯ). БЕО Мусала е разположена на връх Мусала, най-високият връх в България, както и на целия Балкански полуостров, с надморска височина 2925 метра. В дисертационния труд е

изследвано поведението на ОКЯ, по данни от БЕО Мусала през 2016 г. Изследванията са първите по рода си върху ОКЯ на територията на страната.

1.2. Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертацията е да се изследват за първи път ОКЯ в България. Данните са отчетени в БЕО Мусала и са за периода от 1.01.2016 до 31.12.2016 година. Задачите, свързани с тази цел са:

- 1) Намиране на закономерности в разпределението на ОКЯ;
- 2) Определяне и изследване на екстремумите (минимуми и максимуми) на концентрацията на ОКЯ;
- 3) Свързване на разпределението на ОКЯ с различни синоптични обстановки и циркулационни особености в страната;
- 4) Описване на една система зародишообразуване с помощта на известни емпирични закони.

Глава 2

Съвременно състояние на проблема

2.1. Аерозоли

Аерозолът представлява съвкупност от твърди или течни частици, суспендирани в газова фаза. В атмосферните науки обаче терминът аерозол обикновено се използва в множествено число за обозначаване на „аерозолни частици“. Освен това, за да се разграничат облачните частици от другите видове частици в атмосферата, в дефиницията на аерозолите са изключени всички хидрометеори (облачни капчици, ледени кристали, дъждовни капки, снежинки и суграшица) [3].

Количеството на аерозолите, както и техните свойства са разнообразни и променливи по пространство и време. Поради тази причина аерозолите могат да бъдат разделени по няколко признака:

- 1) Спрямо източника си – първични и вторични [4].
- 2) Спрямо свойствата им, зависещи от средата, в която се намират [5] – градски (и техните производни – полу-градски, селски), континентални, пустинни, морски, вулканични, стратосферни.

3) Спрямо произхода си – естествени и антропогенни. От климатична гледна точка глобалния радиационен баланс е повлиян от аерозолите както директно, така и индиректно.

Способността на аерозолите да поглъщат и разсейват слънчевата радиация обуславя директния им ефект върху климата. Това води до модификации на вертикалния профил на късовълновото радиационно нагряване и атмосферната температура. Тези промени обуславят полу-директния ефект от аерозолите [6]. Индиректният ефект се дължи на взаимодействието на аерозолите с облаците [7]. Аерозолите променят свойствата на облаците, вкл. микрофизичните, като например алbedo, продължителност на живот и валежна структура. Доказано е, че увеличаването на броя на аерозолите, вследствие на антропогенни фактори, води до намаляване диаметъра на облачните капки и до увеличаване на облачното алbedo, също и на продължителността на живот на облаците, вследствие на което валежите намаляват [8]. Взаимодействието между аерозолите и облаците е една от най-големите загадки в моделирането на влиянието на аерозолите върху климата.

2.2. Облачни кондензационни ядра (ОКЯ)

Аерозолите, участващи в облакообразуването се наричат облачни кондензационни ядра (ОКЯ) (Cloud Condensation Nuclei, CCN) [9,10]. Способността на аерозолите да играят ролята на ОКЯ зависи от множество фактори. Главно това са пресищането (supersaturation, S) на пресищането на водната пара в околния въздух, физичните и химичните свойства на аерозолите, както и метеорологичните параметри (например температура, налягане, влажност).

Облачните кондензационни ядра могат да бъдат ясно разграничени от аерозолите чрез различни измервания, както и с помощта на различни числени модели, благодарение на напредването на технологиите и разработването на подобрени методи за симулирането им.

ОКЯ не могат да бъдат измерени директно. За да бъдат отчетени се използват индиректни методи, които оценяват пресищането на водните пари в облака. Един от начините е чрез измерване на температурния градиент в непрекъснат поток от брояч на ОКЯ (БОКЯ, Cloud Condensation Nuclei Counter). Най-често, облачните частици преминават през поредица от цикли (обикновено от порядъка на 10 или повече, за да се достигне необходимото пресищане на водната пара [11]. Частиците се активират в

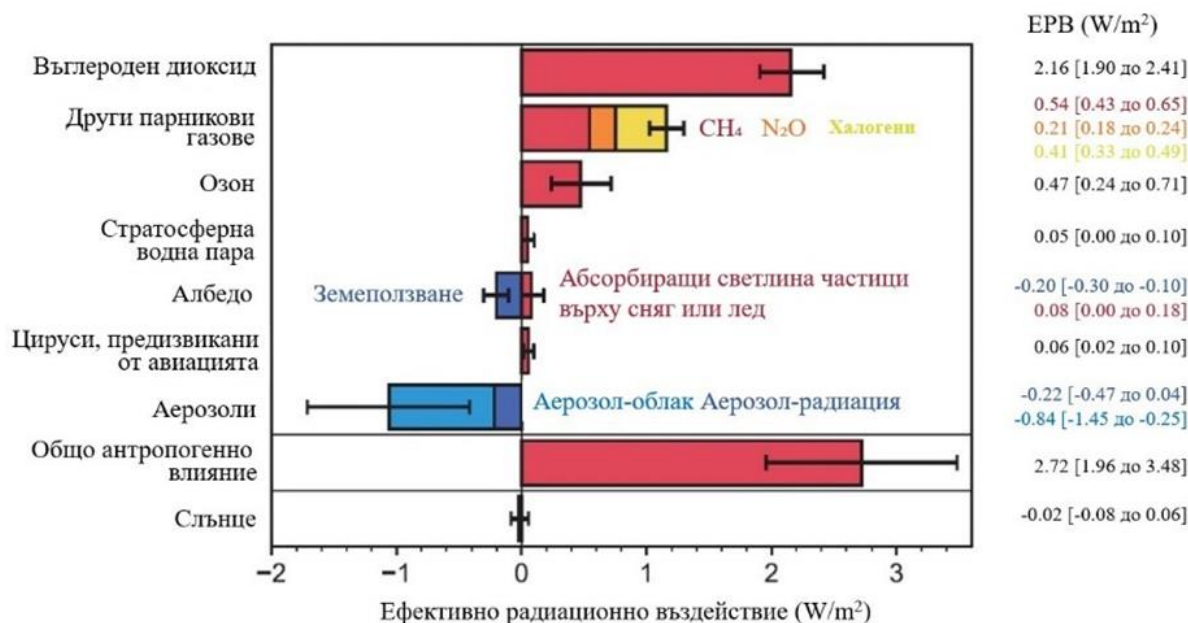
облачни капчици при определено ниво на пресищане. Поради тази причина, едно пресищане не е достатъчно да опише целия спектър от ядра (капчици). Затова ОКЯ често се сравняват при различни метеорологични параметри, като температура, относителна влажност, посока и скорост на вятъра, валеж [12].

Познаването на пространственото и времево разпределение на ОКЯ в атмосферата е от изключително значение, за да могат да се включат техните ефекти в метеорологичните числени модели във всички мащаби, от регионални до глобални [26].

2.3. Аерозолно-облачни взаимодействия

Антропогенната дейност, най-вече изгарянето на биомаса и изкопаеми горива, води до значително увеличаване на емисиите на аерозоли и техните прекурсори. По този начин се достига до повишени атмосферни аерозолни концентрации спрямо тези от преиндустриалната епоха.

Според шестия, последен, оценъчен доклад на работна група I на Междуправителствения панел за климатични промени (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [1], публикуван на 9.08.2021 г., общият принос от човешката дейност към ЕРВ от началото на преиндустриалната епоха до края на периода, изследван в отчета (от 1750 до 2019 г.), е оценен на 2.72 [1.96 до 3.48] W/m². За същия период, аерозолите имат отрицателен общ принос към ЕРВ от -1.1 [-1.7 до -0.4] W/m² (Фигура 2.1). Около 75-80% от това ЕРВ се дължи на аерозолно-облачните взаимодействия, а останалата част от приноса се дължи на аерозолно-радиационните взаимодействия. За сравнение, петият оценъчен доклад на IPCC [2] оценява това въздействие на -1.3 [-2.0 до -0.6] W/m² за периода 1750–2014 г. Това означава, че промяната през периода 2014-2019 г., обект на изследване на шестия оценъчен доклад на IPCC, е оценена на +0.2 W/m². Следователно тези 5 години аерозолното ЕРВ остава отрицателно, но намалява по магнитуд с 0.2 W/m². Това се дължи на намаляване на глобалната аерозолна оптична дебелина и намаляването на аерозолните емисии и техните източници чрез редица държавни и световни постановления [14]. Въз основа на тези оценки, вместо потискане на затоплянето, облаците ще доведат до засилване на глобалния радиационен баланс в бъдеще, поради отделянето на повече парникови газове и по-малко аерозоли в атмосферата от човешката дейност.



Фигура 2.1: Промяна в ефективното радиационно въздействие от 1750 г. до 2019 година по различни видове източници, отбелязани на лявата скала. Репродукция от IPCC [1].

2.4. Прогнозиране концентрацията на ОКЯ

Има различни начини за прогнозиране концентрацията на ОКЯ, но най-широкоразпространените и използвани методи са два. Първият използва теорията на Köhler [15] и затова е по-точен теоретично. Вторият е чрез известния емпиричен степенен закон на Twomey [16], който е приложен и в настоящия дисертационен труд.

2.4.1. Теория на Köhler

Активирането на ОКЯ при процесите на кондензация в облака е систематизирано от Köhler през 1923 година. Теорията на Köhler [15] описва равновесното парно налягане на водата над нарастващи облачни капки. Също така се използва, за да се определи дали капката е активирана, т.е. дали е станала облачна капка или не и съответно дали ще продължи да нараства спонтанно. Основата на теорията на Köhler лежи във всички физично-базирани подходи, описващи индиректния ефект от аерозолите върху радиационния баланс на Земята [17]. Уравнението на Köhler дава основна равновесна връзка между капка от воден разтвор на сол и водните пари над нея:

$$\frac{e}{e_s} = a_w \exp Ke = a_w \exp \left(\frac{2v_w \sigma_{sol}/v}{RT r} \right), \quad (2.1)$$

където e е парното налягане на водата, e_s налягането на наситените пари на водата, $e/e_s=S$ е коефициентът на пресищане, a_w е активността на водата, K_e е коефициентът на Келвин, v_w е парциалният моларен обем на водата, $\sigma_{sol/v}$ е тензорът на повърхностното напрежение на разтвора при съединяване с капката, R е универсалната газова константа, T е температурата на капката, r е радиусът на капката.

2.4.2. Емпиричен закон на Twomey

Най-често използваната емпирична формула за описание зависимостта на концентрацията на ОКЯ (N_{CCN}) от пресищането (S) е предложена от Twomey [16]:

$$N_{CCN} = CS^k \quad (2.3)$$

където параметърът C е равен на броя на активираните ОКЯ при $S=1$ и отразява промяната в концентрацията на аерозолите [18]. Затова C има най-големи стойности при замърсен въздух и най-малки – при чист въздух. Параметърът k е безразмерен и представлява скоростта на промяна на ОКЯ с промяната на пресищането [19]. Двата параметъра са използвани в разработването на числени модели за прогнозиране на облачността [20–22].

2.5. Други изследвания на ОКЯ в световен мащаб

В последните няколко години все по-често се правят изследвания на ОКЯ по различни методи.

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 [23]. Nilsson и колектив [24] предполагат, че връзката между микрофизиката и синоптиката на процесите в тези две различни мащаби, може да бъде търсена и изследвана чрез мезо-процесите в граничния слой на атмосферата.

Направени са множество изследвания за намиране на корелации между произхода и пътя на въздушните маси и синоптичните ситуации или отделни метеорологични параметри и елементи, като вятър, облаци или валежи, съдържание на влага във въздушната маса и др. [12,25–32]. Анализ на обратните траектории на въздушните частици се използва и в атмосферната химия, например за проследяване на замърсителите и анализ на озон и фотохимия на други газови фракции [33]. Наскоро са

направени първите изследвания на ОКЯ на много места в Европа, с цел да открият връзки между пътя на въздушните маси и валежите чрез използване на обратни траектории.

2.6. Изследване на ОКЯ на Балканския полуостров

В тази секция е направено разглеждане на изследванията на ОКЯ през последното десетилетие в страните от Балканския полуостров. Районът е избран, защото в него попада и БЕО Мусала, откъдето са взети данните за ОКЯ, използвани в настоящото изследване. С помощта на библиографска и реферираща база данни [34] са намерени и описани накратко 11 публикации от Гърция и 1 от Сърбия.

2.7. Изследване на ОКЯ в България

Данни за ОКЯ в България се събират от края на 2015 година с Брояч на ОКЯ (БОКЯ) в Базова Екологична обсерватория (БЕО) Мусала, описани подробно в глава 3. Първите резултати от изследвания на ОКЯ в България са част от магистърската теза на докторанта и са представени от Kleshtanova и колектив в публикация от 2019 г. [35]. В статията е изследвано разпределението на ОКЯ, както и зависимостта на това разпределение от основни метеорологични параметри – атмосферното налягане, температурата и относителната влажност на въздуха.

2.8. Изследвания върху зародишообразуване

През 1975-76 г. И. В. Марков и Е. Стойчева (Армянова) от Института по Физикохимия при Българска академия на науките изследват [36] кинетиката на образуване на зародиши от живак върху катода от платина в електрохимични условия, в които движещата сила, пресищането, се задава посредством фиксиране на електрохимическия потенциал (*overpotential*), с други думи свръхнапрежение, в системата. Това не е единственият възможен подход към изследване на зародишообразуването в електрохимични условия. Друга възможност е да се зададе скоростта на електрохимичната реакция, т.е. да се фиксира тока [37]. При дефиниция на движещата сила на процеса в термините на свръхнапрежение, авторите отбелязват и аналога му – пресищането в газова фаза, а в самостоятелна статия, посветена на теорията на явлениято, авторите представят броя на образуваните до момента на преброяването зародиши като функция на времето за n фиксирани свръхнапрежения (пресищания) – от

83 до 88 mV, фигури 5 и 6 на Марков и Стойчева [36]. Разглежданият интервал от време е от порядъка на 10 милисекунди.

Разликата между двете фигури е в геометрията на катода. За получаване на данните върху фигура 5 е използван плосък безструктурен платинов катод. За данните от фигура 6 е използван монокристален платинов катод във формата на полусфера [36].

Глава 3

Методология и източници на данни

3.1. Базова екологична обсерватория Мусала

През 1959 г. на връх Мусала, най-високият връх на Балканския полуостров с надморска височина 2925.4 m (42° 10' 45" N, 23° 35' 07" E), е изградена станция за измерване на космически лъчи по идея на изтъкнатия български учен академик Георги Наджаков и известния унгарски физик академик Л. Яноши. През 1983 г. станцията изгаря. През 1999-2000 г. с финансовата помощ на българското „Министерство на околната среда и водите“ станцията е реконструирана и преименувана на Базова Екологична Обсерватория (БЕО) „Мусала“, [38]. БЕО Мусала е част от Института за ядрени изследвания и ядрена енергетика (ИЯИЯЕ) към Българската академия на науките.

3.1.1. Брояч на ОКЯ

В настоящия дисертационен труд, използваните данни за ОКЯ са отчетени от Брояч на облачни кондензационни ядра (БОКЯ, Cloud condensation Nuclei Counter), който е част от системата за измерване на аерозоли на БЕО Мусала.

Размерът на активираните частици, т.е. на ОКЯ, се отчита в микрони и е в обхват от 0,75 μm до 10 μm , а частиците се разпределят в 20 бина (интервали на размери). В първия интервал попадат частици с размери до 0,75 μm , във втория интервал се групират частици с размери от 0,75 μm до 1 μm . След това ширината на интервалите е 0,5 μm (1,0 – 1,5 μm , 1,5 – 2,0 μm , ..., 9,5 – 10,0 μm). Концентрацията на ОКЯ се измерва на кубичен сантиметър ($\#/ \text{cm}^3$).

Във всеки един момент, БОКЯ работи при едно единствено пресищане. В БЕО Мусала се използват шест различни пресищания, 0.13; 0.23, 0.43, 0.53, 0.73 и 1.13%,

които се сменят автоматично на всеки 10 минути. Колоната има три контролни зони на температурата по стените ѝ, като температурата нараства от горната към долната зона.

Концентрацията на ОКЯ ($\#/cm^3$) е получена за всеки ден от 2016-а година.

3.2. Обратни траектории на въздушните маси

За да се проследят произхода и характеристиките на въздушните маси, оказващи влияние върху количеството на ОКЯ, а и за да се намерят връзки между тях, са изчислени техните обратни траектории.

В настоящия дисертационен труд за получаване на обратните траектории на въздушните маси е използван модела HYSPLIT [39].

Обратните траектории са изчислени за местоположението на БЕО Мусала. Избраната продължителност на траекториите е 72 часа, тъй като този интервал от време много добре описва развитието на атмосферните процеси и път на въздушните маси на континента Европа.

Обратните траектории, използвани в настоящата дисертация са разделени по няколко признака, които добре описват пътя на въздушните маси над Балканите: От една страна спрямо подложната повърхност, морска (S) или континентална (C), на въздушните маси. За целта, субективно, е преброено във всеки един час над какъв вид подложна повърхност се намира съответната въздушна маса. Определени са три подгрупи:

а) Когато въздушната маса е през повече от половината и по-малко от 75% от времето, $\geq 36 < 54$ часа, над континента (C) или над океана (S) се отбелязва допълнително с “а”.

б) Когато въздушната маса е през 75% или повече часове от времето, ≥ 54 часа, над континента или над океана се отбелязва допълнително с “b”.

в) Когато въздушната маса е през цялото време, 72 часа, над континента или над океана се отбелязва допълнително с “с”.

Въздушните маси се движат в слоеве от атмосферата, които се намират на различна височина. Спрямо тях е направено следното разделение на траекториите: високи (high, H) са тези, които при своето движение достигат надморска височина над 4500 метра; средни (medium, M) са тези, които се движат в слой с надморска височина между 1500 и 4499 метра; ниски (low, L) са тези, които са преминали по пътя си през слой от атмосферата с надморска височина под 1499 метра.

За да се намерят връзки с приложимите оперативни практики, използвани в Националния институт по метеорология и хидрология в България е направено групиране на траекториите на адвективен и не-адвективен тип, следвайки класификацията направена от Стефанов и колектив [40]. Според тази класификация, адвективния (циклоналния) тип има 4 подтипа: Атлантически (Atlantic, (Atl)), Средиземноморски (Mediterranean, (Med)), континентален (Continental, ((Cont)) и антициклонален тип (Low gradient pressure (LGP)). Всеки от адвективните подтипове има подтипове, маркирани с цифри, като всички те са подробно описани от Стефанов и колектив [40].

Има три вида атлантическа (океанска) адвекция: подтип Atl1 – океанска адвекция по циклон, подтип Atl2 – океанска адвекция по антициклон, подтип Atl3 – смесен тип на океанска адвекция при комбинирано влияние на циклон и антициклон. Континенталните адвекции са разделени на: подтип Cont1 – адвекция на континентална въздушна маса от северозападния и северния сектор, подтип Cont2 – адвекция на континентална въздушна маса от северния и североизточния сектор, подтип Cont3 – адвекция на континентални въздушни маси от североизточния сектор, Cont4 – адвекция на континентални въздушни маси от източния и югоизточния сектор. Средиземноморските адвекции са подробно описани от Stoev и Guerova [41]. Неадвективните (антициклоналните) типове са разделени на антициклонален тип (anticyclonic type (AC)) – зимен и летен антициклон, както и безградиентно барично поле.

3.3. Анализ на синоптични обстановки

За онагледяване на анализа на синоптичната обстановка са използвани картите от Глобалната прогностична система (Global Forecasting System - GFS), карти от атмосферни реанализи, които са комбиниран продукт на Националния център за прогноза на околната среда (National Centers for Environmental Prediction, NCEP) и Националния център за атмосферни изследвания (National Center for Atmospheric Research, NCAR) на Съединените щати, както и данни от НИМХ за посоката и скоростта на вятъра.

Самият анализ е изготвен, следвайки утвърдените дългогодишни оперативни практики, обновени със съвременните методи за описание на синоптичните процеси, използвани в отдел „Метеорологични прогнози“ на НИМХ.

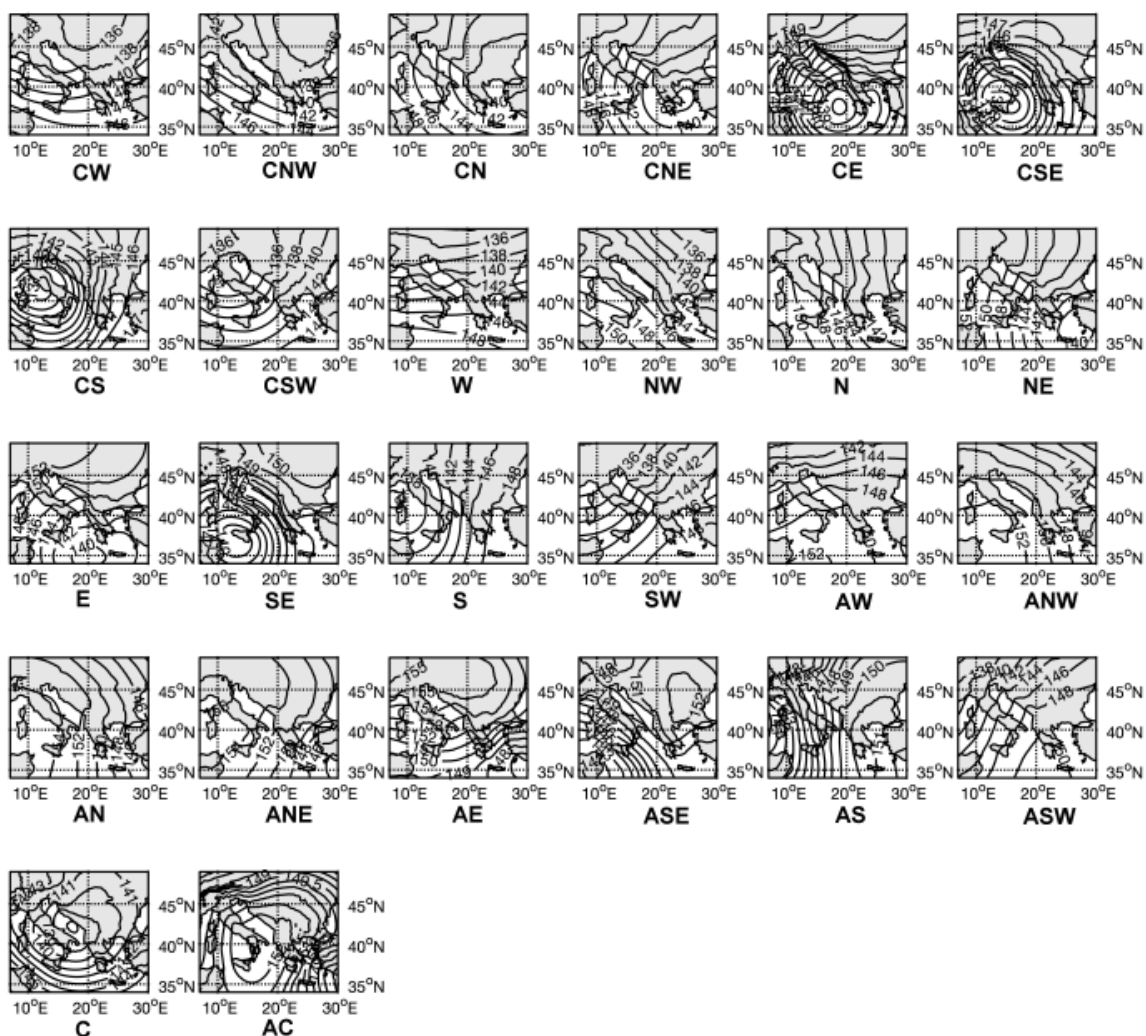
NCEP/NCAR реанализите [42] са използвани за изследване на пространственото разпределение на геопотенциала, влажността и температурата. Анализирани са осреднени

карти (composite maps) за разглежданите периоди, а за температурата - карти на аномалията спрямо многогодишен период (1991-2020 г.)

3.4. Класификация на Jenkinson-Collison-Types

Атмосферната циркулация на Jenkinson-Collison-Types (JCT), описана от Stoev и колектив [43], представена на Фигура 3.1, е използвана за групиране на различни характеристики, свързани с концентрация на ОКЯ. Класификацията включва: 1) осем основни посоки, *west (W)*, *southwest (SW)*, *northwest (NW)*, *north (N)*, *northeast (NE)*, *east (E)*, *southwest (SE)* и *south (S)*, 2) един циклонал тип (C) и 3) един антициклонален тип (AC). Има и две допълнителни групи: 1) осем антициклонални типа (AW, ASW, ANW, AN, ANE, AE, ASE и AS) и 2) осем циклонални типа (CW, CSW, CNW, CN, CNE, CE, CSE и CS).

От типизацията са отделени най-често срещаните типове време и те са съпоставени с данни от обратните траектории на въздушните маси, получени от HYSPLIT модела на NOAA.



Фигура 3.1: ЈСТ циркулационна схема с 26 циркулационни типа. Репродукција от Stoev и колектив [43].

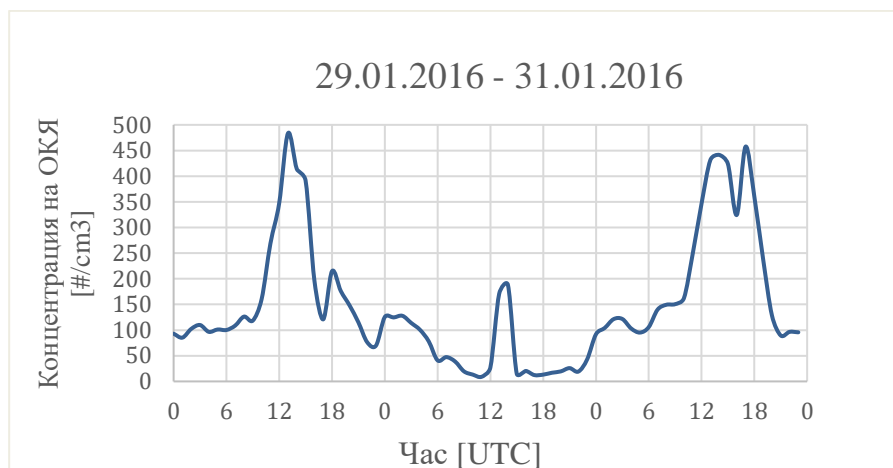
Глава 4

Разпределения на ОКЯ и връзка с две синоптични обстановки през 2016 г.

4.1. Разпределение на ОКЯ през януари 2016 и анализ на синоптичната обстановка в края на месеца

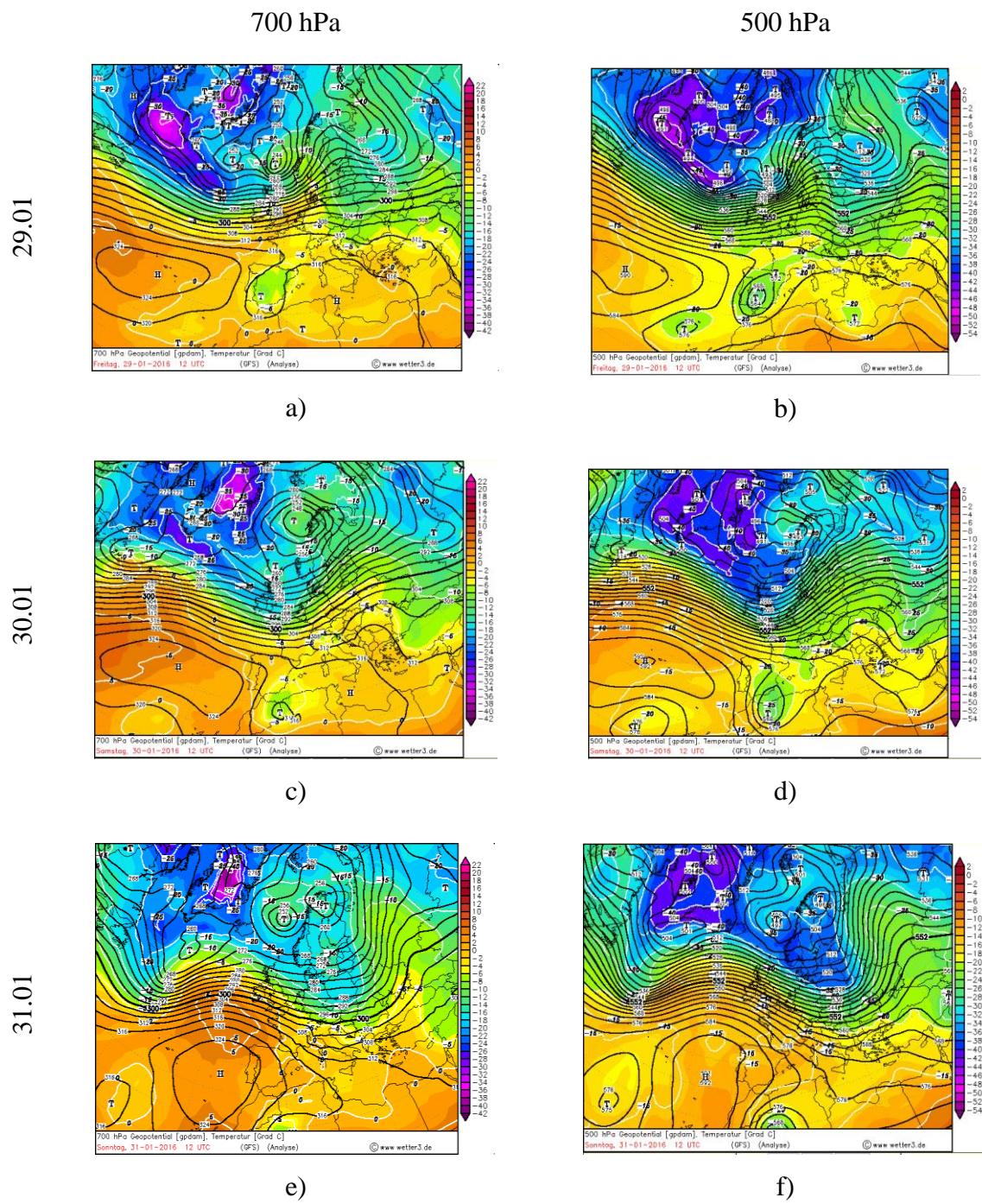
Дневният ход на концентрацията на ОКЯ през януари 2016 г., отчетен в БЕО Мусала и представен от Kleshtanova и колектив [35], показва 4 обстановки с концентрации на ОКЯ над 400 броя на кубичен сантиметър. От тези обстановки с максимални концентрации на ОКЯ е избрана една, единствената, която е с два много близки един до друг екстремума на концентрацията, в периода 29-31.01.2016 г.,

представена на *Фигура 4.1*. На нея се вижда, че екстремните стойности на концентрацията на ОКЯ са отчетени в следобедните часове, съответно на 29-ти и 31-ви. На 30-ти има отново екстремум, но повече от два пъти по-малък в сравнение с другите два.



Фигура 4.1: Разпределение на ОКЯ по часове на 29.01.2016 – 31.01.2016 г.

Картите на абсолютната топография (АТ) на 700 hPa (АТ700) показват, че когато се наблюдава екстремум на броя на ОКЯ (29-ти и 31-ви след обяд) геопотенциалът над страната все още е относително висок, *Фигура 4.2, a) и e)*, по-висок на 29-и, с тенденция за понижаване на 31-и, като формата на баричния релеф е по-скоро с характеристиките на циклонална кривина, което се вижда и от изобарна повърхнина 500 hPa през двата дни, съответно на *Фигура 4.2, b) и f)*. Баричното поле на височина 700 hPa на 29.01.2016 г. в 12 UTC е слабоградиентно, относително високо, като към страната приближава плитка барична долина, която е добре изразена и на изобарна повърхнина 500 hPa, *Фигура 4.2, a) и b)*. 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 *Фигура 4.2, c) и d)*. В 12 UTC е отчетен по-малък, в сравнение с този от 29-ти и 31-ви, екстремум на ОКЯ.

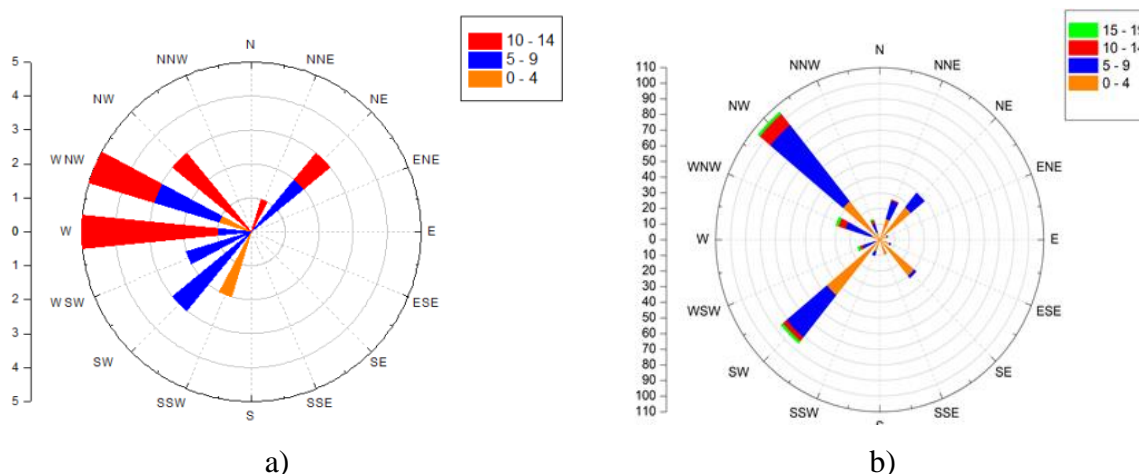


Фигура 4.2: Геопотенциал на 700 hPa на 29, 30 и 31.01.2016 г. в 12 UTC, съответно a), c) и e) и на 500 hPa за същите дни, съответно b), d), и f) [44].

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. Геопотенциалът се понижава, но остава относително висок. Баричното поле вече е по-градиентно, вятърът се усилва, потокът на

500 и 700 hPa (Фигура 4.2, e) и f)) е предимно западен, центровете на циклоните са далече на север, а Балканите са в широката градиентна фронтална зона на обширната долина.

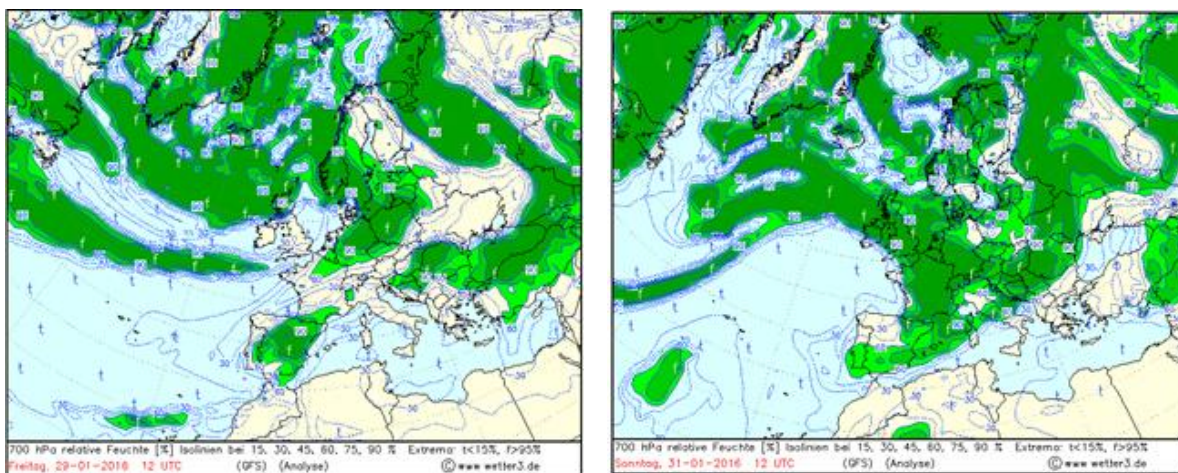
Повишеният баричен градиент през разглеждания период, 29-31.01, води до силен вятър, отчетената скорост е до 14 m/s от запад и запад-северозапад по данни на НИМХ (Фигура 4.3, a)). Силен вятър е регистриран и от североизток. Преобладаваща посока на вятъра е и югозападната – до 9 m/s. Данните от синоптичната станция на НИМХ, която също се намира на връх Мусала, 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 4.3, b)). Според отчитанията на уреда там, няма регистрации на западен вятър. Преобладаващите посоки, които се запазват са северозапад, и югозапад и скорост над 15 m/s.



Фигура 4.3: Роза на вятъра за периода от 29.01.2016 в 00 UTC до 31.01.2016 в 21 UTC по данни на a) НИМХ и на b) БЕО Мусала. Скалата в ляво се отнася за ширината на кръговете в розата. Всеки кръг отчита броя повторения на дадена скорост.

Относителната влажност на въздуха в началото на обстановката (29.01.2016 г. около обяд) в по-голямата част от страната е между 60 и 75%, само над Югозападна България е до 30-45% (Фигура 4.4, a)). След 12 UTC на 29.01.2019 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 4.4, b)).

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.



a)

b)

Фигура 4.4: Относителна влажност на въздуха на 700 hPa на *a)* 29.01.2016 г. в 12 UTC и на *b)* 31.01.2016 г. в 12 UTC (вдясно) [44].

Анализирана е аналогично и лятна обстановка в периода 12-13.07.2019 г.

Глава 5

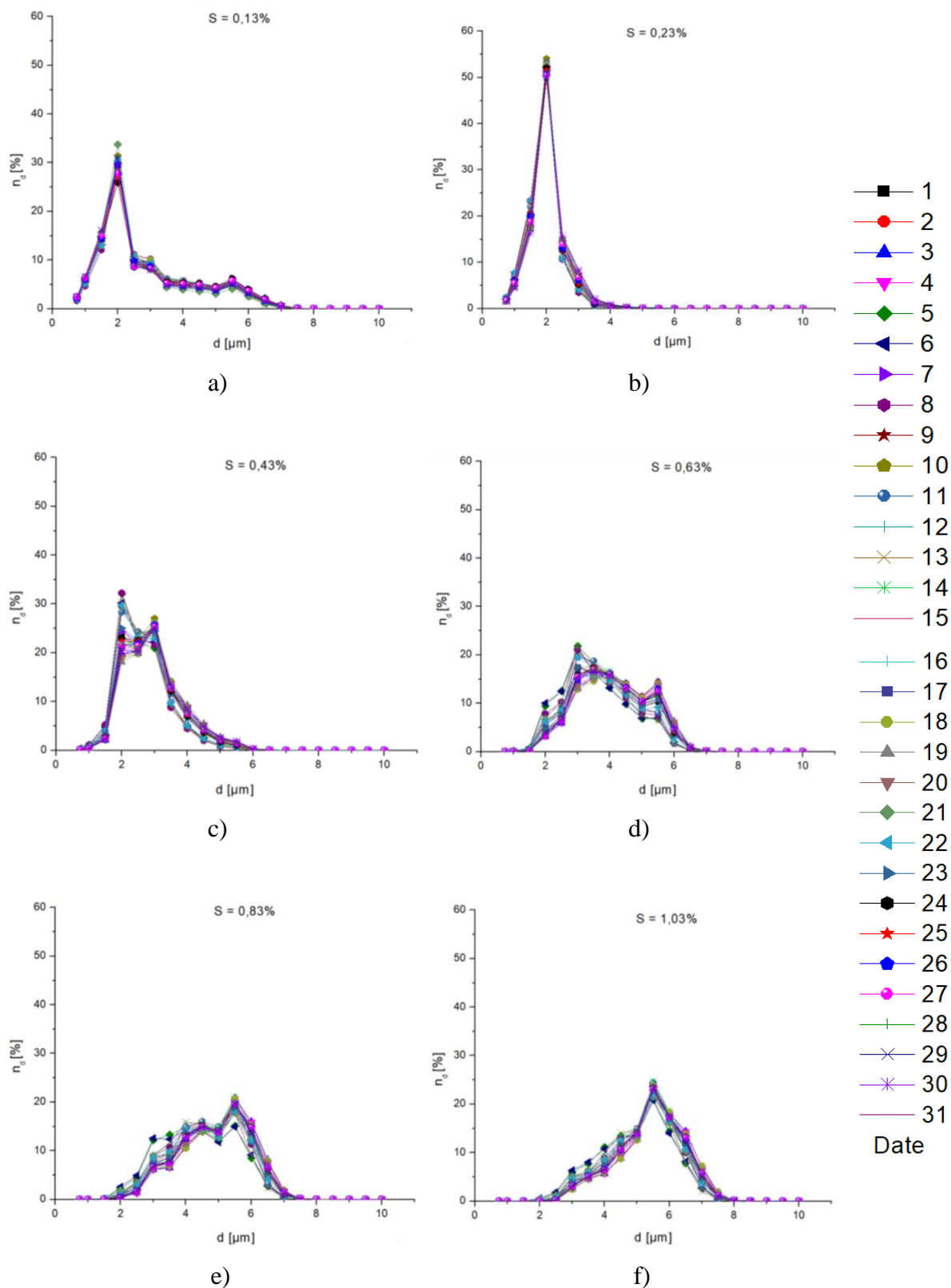
ОКЯ и обратни траектории на въздушните маси на връх Мусала

5.1. Характеристики на ОКЯ през юли и декември 2016

Използвайки процедурата за нормиране:

$$n_d = \frac{N_d}{N} 100\% \quad (5.1)$$

където N_d е броят на ОКЯ с размер d , а N е общият брой на ОКЯ в същия обем [45], се показва че тя изобразява нормираните разпределения в (почти) универсално такова. Разпределението на ОКЯ за всеки ден от юли месец е представено на *Фигура 5.1* при пресищания на водната пара: *a)* 0.13%; *b)* 0.23%; *c)* 0.43%; *d)* 0.63%; *e)* 0.83%; *f)* 1.03%. То представлява процентът на дадения размер от общия брой като функция на размера. Разпределението за декември е изследвано аналогично.

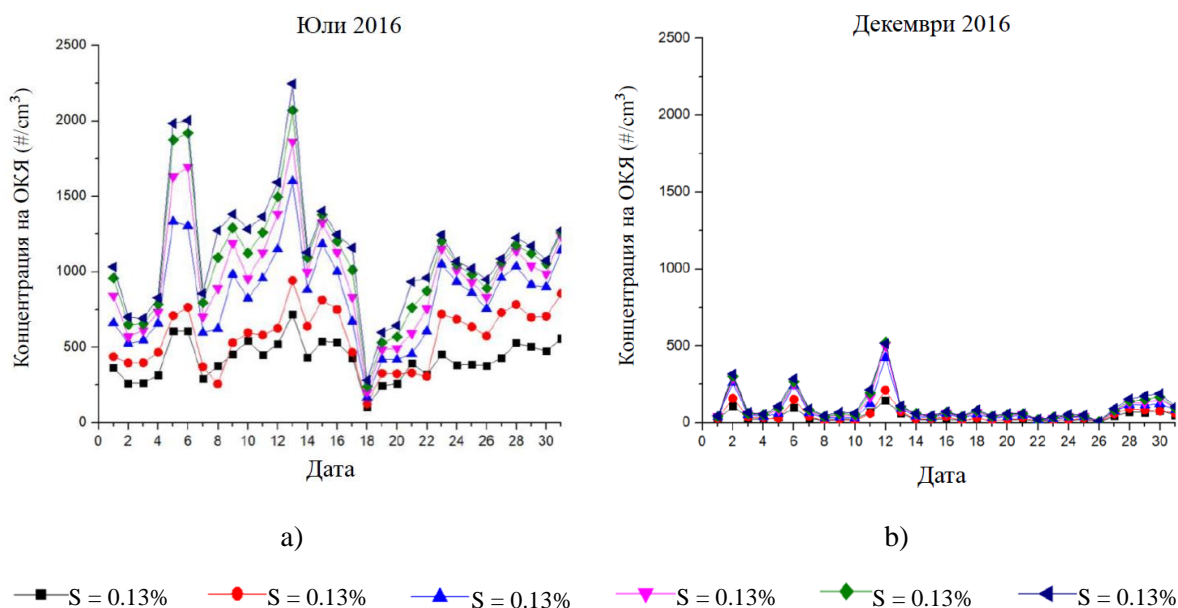


Фигура 5.1: Разпределение на ОКЯ при дадено пресищане: *a)* 0.13%; *b)* 0.23%; *c)* 0.43%; *d)* 0.63%; *e)* 0.83%; *f)* 1.03% през юли 2016 г. Всяка крива представя конкретен ден, отбелязан на легендата вдясно.

Трансформацията – разделянето на N в уравнение 5.1, довежда разпределенията до универсален вид, както е споменато в началото на настоящата глава.

При пресищане на водната пара $S = 0.13\%$ и $S = 0.23\%$, (Фигура 5.1, a) и b) най-често срещаният диаметър на ОКЯ е $2 \mu\text{m}$; при $S = 0.43\%$ (Фигура 5.1, c) този максимум остава, но се появява втори, по-малък, при $3 \mu\text{m}$. При другите три използвани пресищания 0.63% , 0.83% и 1.03% , съответно за юли Фигура 5.1, d), e), f) пикът от $2 \mu\text{m}$ не се открива, но се наблюдават пикове за размери $3 \mu\text{m}$ и $5,5 \mu\text{m}$.

Концентрациите на ОКЯ са представени поотделно за всяко от използваните пресищания, на база средноденонощни стойности за двата разглеждани месеца, юли и декември 2016 г., съответно на Фигура 5.2, a) и b). Оста Оу е избрана еднаква, така че фигурата показва, че концентрациите на ядра са значително по-високи през юли, отколкото през декември. Освен това и в двата месеца има дни с пикови концентрации. През юли това са 5-ти, 6-ти и 13-ти, а през декември: 2-ри, 6-ти и 12-ти. През юли има отчетлив минимум на концентрацията - на 18-ти. През летния месец концентрацията на ОКЯ е около 4-5 пъти по-висока за екстремумите, отколкото през зимата. Могат да се предположат някои причини относно разликите между юли и декември: (i) През юли се отчитат повече атмосферни аерозоли, включително полени и също в резултат на големи пожари в земеделски площи; (ii) Преносът на прах от Сахара е по-интензивен през юли; (iii) През юли различно затоплените планински склонове на върха създават условия за започване на местен планинско-долинен бриз, който издига някои местни аерозоли.



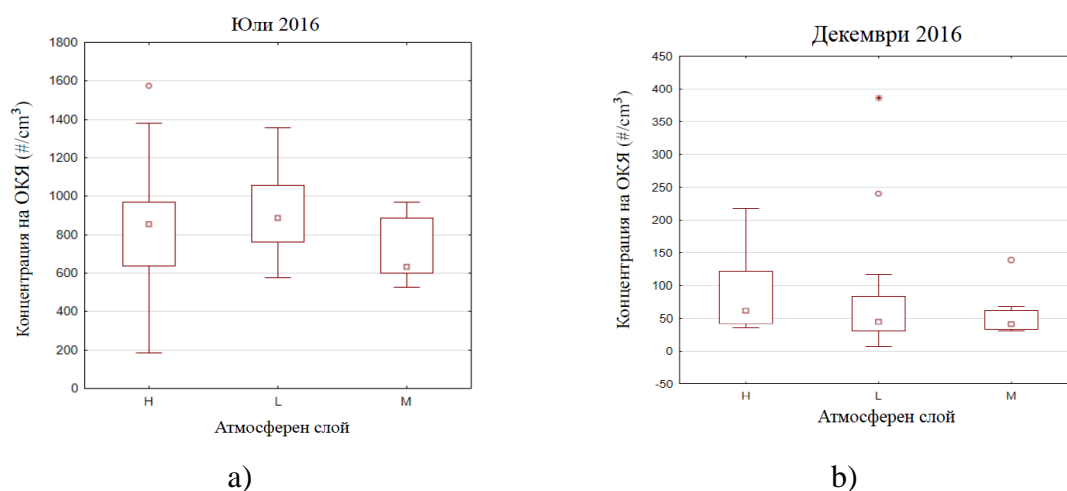
Фигура 5.2: Концентрация на ОКЯ през юли a) и b) декември, при различните използвани пресищания, показани с обща легенда под фигурите.

5.2. Въздушни маси, оказващи влияние на връх Мусала

Въздушните маси през юли и декември 2016 г., оказващи влияние на връх Мусала, анализирани въз основа на обратните траектории на модела HYSPLIT на NOAA са групирани по няколко признака. Първо, на *Фигура 5.3, a)* и *b)*, е направено групиране на концентрацията на ОКЯ спрямо дебелината на атмосферния слой, в който се движи въздушната маса през последните 72 часа, преди достигане на БЕО Мусала. Атмосферните слоеве са разделени на:

- висок (H) > 4500;
- среден (M) [1500-4499];
- нисък (L) [0 - 1499].

През юли 2016 г. (*Фигура 5.3, a)*) преобладава влиянието на въздушните маси, достигащи Мусала от по-високите слоеве на атмосферата (общо 17 дни), следвани от тези от най-ниските слоеве (9 дни), а най-малко са дните, през които връх Мусала е повлиян от въздушните маси, идващи от средните атмосферни слоеве (5 дни). През декември 2016 г. (*Фигура 5.3, b)*) преобладава влиянието на въздушните маси, които идват от най-ниските слоеве на атмосферата (13 дни), следвано от влиянието на горните слоеве (10 дни), а през останалите 8 дни БЕО Мусала е повлияна от въздушни маси, идващи от средни слоеве.

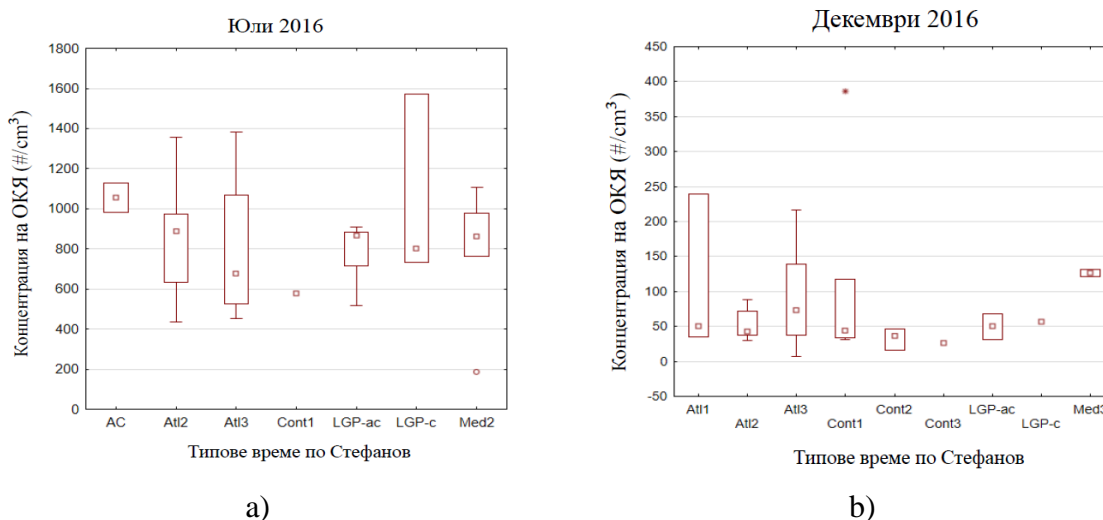


Фигура 5.3: Концентрация на ОКЯ групирана спрямо атмосферните слоеве, получени от обратните траектории през месец *a)* юли и *b)* декември 2016 г. Във всяка кутийка с мустачки разпределението е отчетено чрез: квадратче – медиана; правоъгълник – интерквартилен диапазон; двата края, отбелязани с чертички, заграждат диапазона, който не е извън границите на разпределението; кръгче – аутлайер.

Второто групиране на концентрациите на ОКЯ е според типовете време, които влияят на атмосферната циркулация над България [40]. Според тази класификация, адвективния (циклоналния) дял има 4 подтипа: Атлантически (Atlantic, (Atl)), Средиземноморски (Mediterranean, (Med)), континентален (Continental, ((Cont)) и антициклонален тип (Low gradient pressure (LGP)). Всеки от адвективните подтипове има подтипове, маркирани с цифри, като всички те са подробно описани от Стефанов и колектив [40]. Това са именно три вида атлантическа (океанска) адвекция: подтип Atl1 – океанска адвекция по циклон, подтип Atl2 – океанска адвекция по антициклон, подтип Atl3 – смесен тип на океанска адвекция при комбинирано влияние на циклон и антициклон. Континенталните адвекции са разделени на: подтип Cont1 – адвекция на континентална въздушна маса от северозападния и северния сектор, подтип Cont2 – адвекция на континентална въздушна маса от северния и североизточния сектор, подтип Cont3 – адвекция на континентални въздушни маси от североизточния сектор, Cont4 – адвекция на континентални въздушни маси от източния и югоизточния сектор. Средиземноморските адвекции са подробно описани от Stoev и Guerova [41]. Неадвективните (антициклоналните) дялове са разделени на антициклонален тип (anticyclonic type (AC)) – зимен и летен антициклон, както и безградиентно барично поле.

През юли 2016 г. (*Фигура 5.4, a*) най-често срещаният тип е Atl2 (11 дни) със средна концентрация на ОКЯ от 844 \#/cm^3 , а най-рядко отчетеният тип е Cont1 с концентрация от 578 \#/cm^3 . През декември 2016 г. (*Фигура 5.4, b*) най-често срещаният тип е Cont1 (7 дни) със средна концентрация на ОКЯ от 101 \#/cm^3 , а най-рядко (само 1 ден) е отчетен ефект от тип LGP-с с концентрация от 57 \#/cm^3 .

Третият вид групиране е спрямо продължителността от време, което въздушните маси прекарват над прилежащата повърхност, подробно описано в Глава 3, точка 2. И през двата месеца преобладават континенталните (С) въздушни маси – 30 дни през юли и 21 дни през декември. Въпреки това, през декември медианата на въздушните маси (С) е 47 \#/cm^3 , а тази на морските маси (S) е 57 \#/cm^3 . През юли, от друга страна, практически всички траектории са континентални, с изключение на един ден.

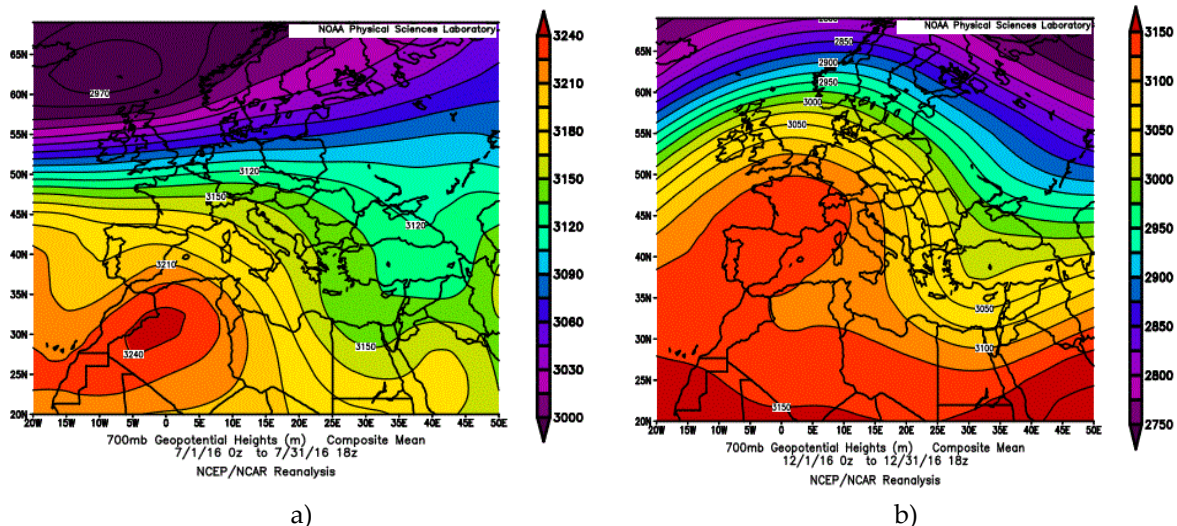


Фигура 5.4: Концентрация на ОКЯ групирана чрез класификацията на Стефанов [40], получена от обратните траектории през месец *a)* юли и *b)* декември 2016 г. Във всяка кутийка с мустачки разпределението е отчетено чрез: квадратче – медиана; правоъгълник – интерквартилен диапазон; двата края, отбелязани с чертички, заграждат диапазона, който не е извън границите на разпределението; кръгче – аутлайер.

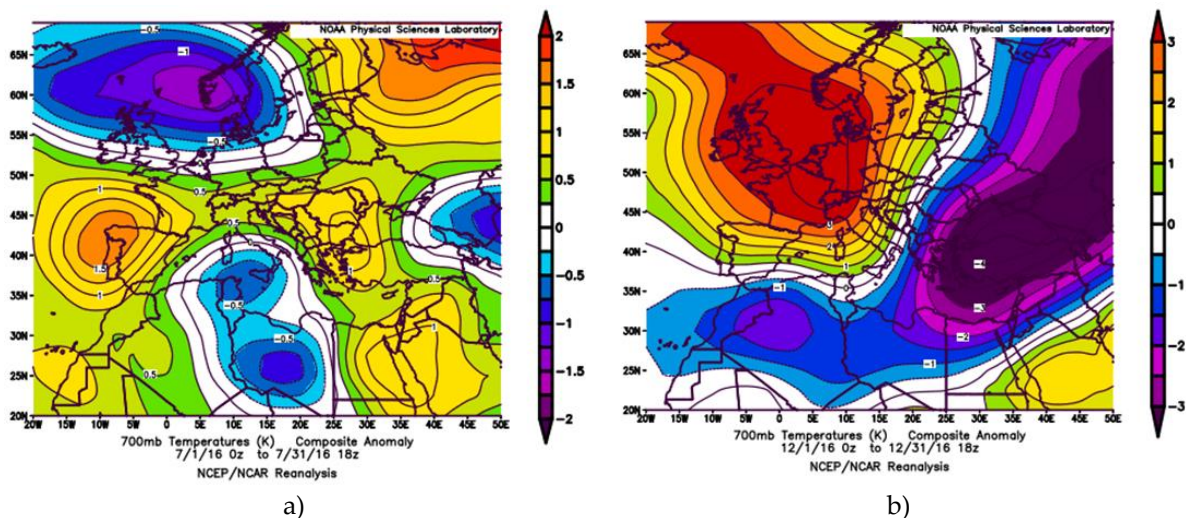
5.3. Метеорологични данни

NCEP/NCAR реанализите показват, че през юли средната стойност на геопотенциала над северните райони от Европа е циклонална с център на циклона между Исландия, Британските острови и Норвегия. В останалата част, по-голямата част от Европа, включително България, средното геопотенциално поле е антициклонално (*Фигура 5.5, a*). През декември на изобарна височина 700 hPa Източна Европа и Балканския полуостров са под влияние на барична долина. Средният геопотенциал над останалите региони на Европа е антициклонален (*Фигура 5.5, b*).

През юли над повечето райони от Европа, включително България, температурната аномалия на изобарна височина 700 hPa е положителна: между 0,3 К (Kelvin) и 1,5 К. Отрицателна температурна аномалия има над Шотландия, южните части на Скандинавския полуостров и централното Средиземно море (*Фигура 5.6, a*). През декември над Балканския полуостров, Мала Азия, Черно море и южните части на Европейска Русия температурната аномалия на 700 hPa е отрицателна: от 1 К до над 3 К. Над останалите региони в Европа температурната аномалия на 700 hPa е положителна (*Фигура 5.6, b*).



Фигура 5.5: Средни стойности на геопотенциалната височина на изобарна височина 700 mb (hPa), 1981-2010 NCEP/NCAR реанализи за *a)* юли и *b)* декември 2016 г., [42].



Фигура 5.6: Температурна аномалия на изобарна височина 700 mb (hPa), 1981-2010 NCEP/NCAR реанализи за *a)* юли и *b)* декември 2016 г., [42].

5.4. Екстремни концентрации на ОКЯ

Както е показано на *Фигура 5.2, a)*, през юли има четири екстремума в разпределението на концентрацията на ОКЯ. Това са 5-ти, 6-ти, разглеждани като една синоптична обстановка, и 13-ти (максимуми), и 18-ти (минимум). През декември има три ясни максимума на 2-ри, 6-ти и 12-ти *Фигура 5.2, b)*.

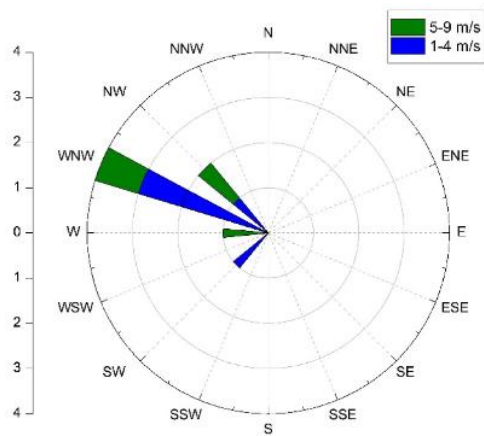
Реанализът на NCEP/NCAR през юли показва, че по време на максимум на концентрацията на ОКЯ (5-ти, 6-ти, 13-ти) средната стойност на геопотенциална на 700 hPa над България е с антициклонална кривина или е безградиентен, докато по време на

минимум на ОКЯ (18-ти) средния геопотенциал на 700 hPa е циклонален – България и целият Балкански полуостров са повлияни от барична долина. Реанализът на температурата през юли показва, че през 5-ти и 6-ти над България няма температурна аномалия, а на 13-ти тя е положителна, а през 18-ти е отрицателна.

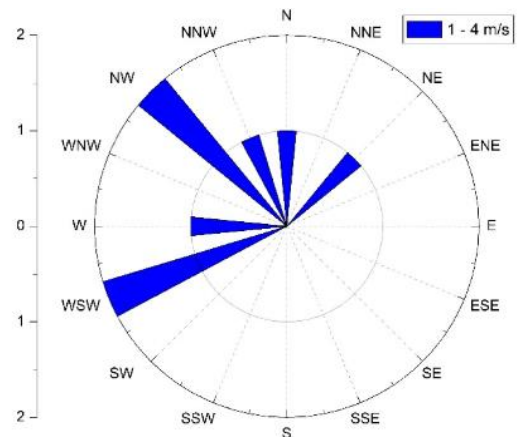
През декември през всички дни с максимална концентрация на ОКЯ Балканският полуостров е повлиян от барична долина на 700 hPa. Температурната аномалия е отрицателна в първите два случая. При последната температурната аномалия над Югозападна България, където се намира връх Мусала, е положителна, докато над Североизточна България температурите са около средните си стойности.

Изследвано е и поведението на вятъра и са начертани розите на вятъра за разглежданите дни (*Фигура 5.7*).

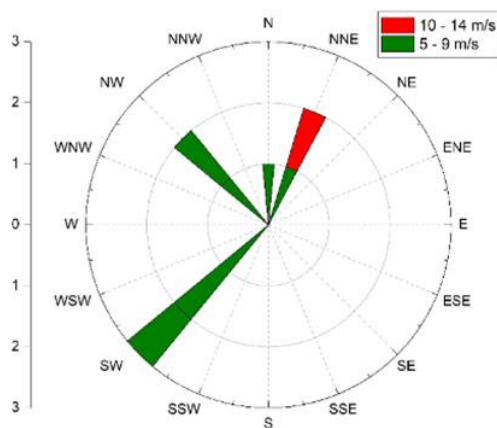
Данните за вятъра са от станцията на НИМХ на връх Мусала във всички синоптични срокове (основни и междинни) - 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC. Когато времето е тихо, тези часове не са отчетени на розите. През юли, в дните, когато се наблюдава максимална концентрация (*Фигура 5.7, a), b*), вятърът е предимно северозападен, до умерен, със скорост до 9 m/s. По време на наблюдавания минимум (*Фигура 5.7, c*) е отчетен силен север-североизточен вятър в един от сроковете, което вероятно е причината за ниската концентрация на ядра през този ден. През декември концентрацията на ОКЯ е значително по-ниска от тази през юли. При всички отчетени максимуми са регистрирани силни и бурни ветрове, в един от дните до 29 m/s (*Фигура 5.7, d), e), f*).



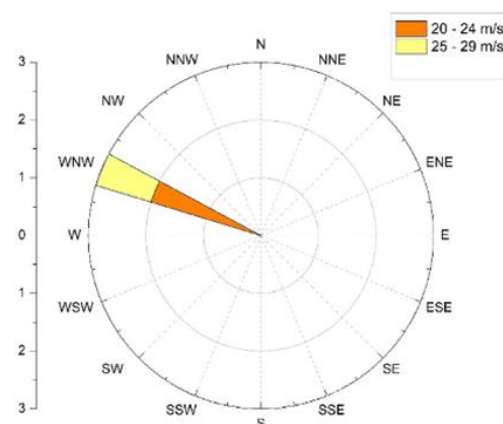
a)



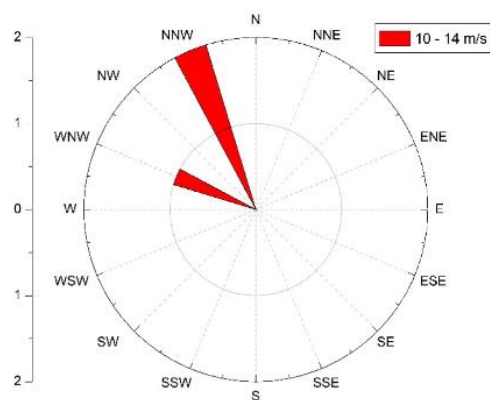
b)



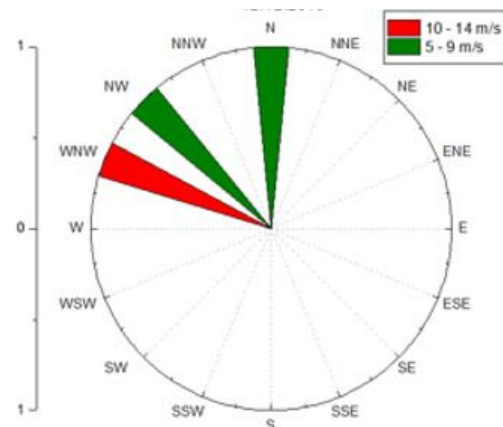
c)



d)



e)



f)

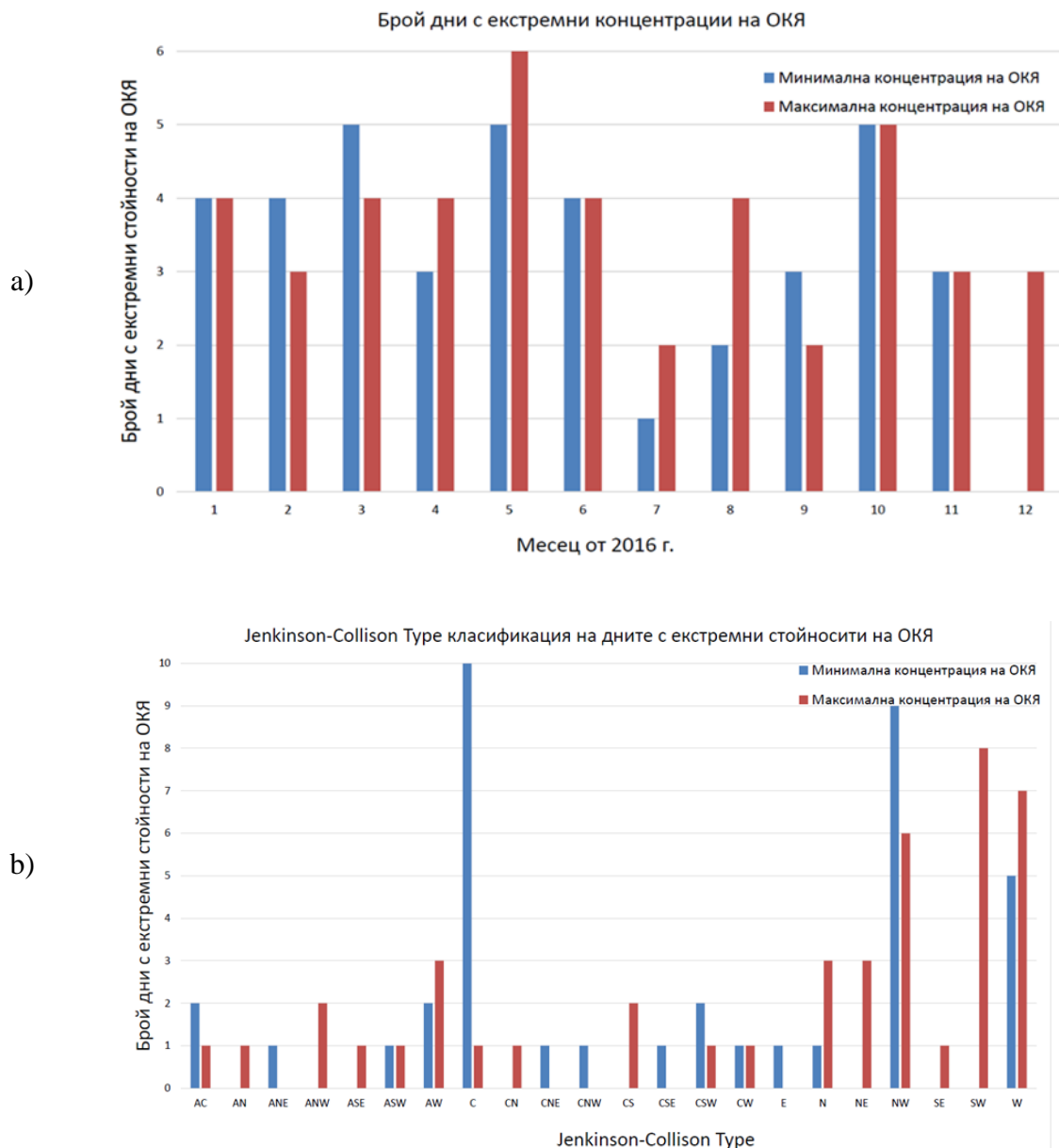
Фигура 5.7: Розии на вятъра през дните с екстремуми на ОКЯ. През юли: a) 5-6, b) 13, c) 18 и през декември: d) 2, e) 6, f) 12. Всеки кръг отчита броя повторения от съответната посока. В някои срокове липсват данни или е нямало вятър.

Глава 6

Екстремуми в концентрацията на ОКЯ и връзка с автоматична синоптична класификация на атмосферните процеси през 2016 г.

6.1. Концентрация на ОКЯ на средноденонощна база през 2016 г.

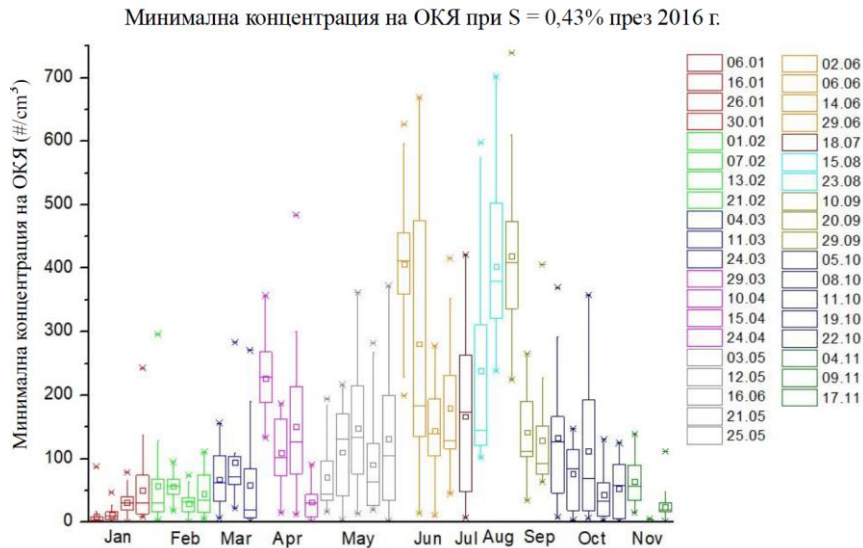
За нуждите на настоящото изследване концентрацията на ОКЯ е осреднена на средноденонощна база при пресищане 0.43% за всеки ден от 2016 г. и са отделени дните с екстремно високи и екстремно ниски концентрации. Техният брой е обобщен на *Фигура 6.1, а*). Най-малко брой дни в един месец с екстремно ниски стойности има през декември (нула дни), а с екстремно високи – през юли и септември (по два дни). Най-много случаи с екстремно ниски стойности има през март, май и октомври (по пет дни), а с екстремно високи стойности – през май (шест дни). Тези дни, с екстремно ниски и екстремно високи концентрации на ОКЯ са групирани спрямо типовете атмосферна циркулация на JCT, показано на *Фигура 6.1, б*). От фигурата се вижда, че екстремно ниски концентрации на ОКЯ се отчитат най-често при С, NW and W, съответно 10, 9 и 5 случая, а екстремно високи концентрации при SW, W and NW, съответно 8, 7 и 6 случая. Т.е. и двата типа екстремуми се наблюдават при W и NW JCT типове, но се различават по третия най-често отчетен тип атмосферна циркулация на JCT. Този трети тип е абсолютният максимум за съответния вид екстремум, С за максимално ниските стойности на концентрацията на ОКЯ и SW – за максимално високите. Освен това, в случаите с екстремно високи стойности на концентрацията на ОКЯ е отчетен само един случай на С тип (максимален при екстремно ниските стойности), а при екстремно ниските стойности на концентрацията на ОКЯ не е отчетен нито един случай от циркулация тип SW (максимално много пъти отчетен при екстремно високите стойности). При максимално високите концентрации, освен трите основни типа атмосферна циркулация, мога да се определят и три второстепенни типа – AW, N and NE, всеки с по три отчетени случая.



Фигура 6.1: Месечно разпределение на броя дни през 2016 г. с а) екстремно ниски (сини стълбчета) и високи (червени стълбчета) стойности на концентрацията на ОКЯ и б) типовете циркулация на JCT.

6.2. Концентрация на ОКЯ на средночасова база през 2016 г.

В това изследване концентрацията на ОКЯ при $S=0.43\%$ е осреднена на всеки час за всеки отчетен минимум и максимум. Дните с минимума са представени чрез box plot на *Фигура 6.2*, отбелязани на легендата вдясно. Дните с максимуми също са изследвани в рамките на дисертацията. През декември няма екстремно минимални стойности на концентрацията на ОКЯ.



Фигура 6.2: Концентрация на ОКЯ на средночасова база за всички дни с отчетени минимуми. Легендата вдясно указва конкретния ден. Различните цветове съответстват на различен месец, представен по х.

На *Фигура 6.2* във всяка кутийка разпределението е отчетено чрез: централна линия – медиана, квадратче – средна стойност, правоъгълник – интерквартилен диапазон. 5-тия and 95-тия процентил са отбелязани с чертичка, а минималната и максималната стойност на разпределението – с хикс.

През разглеждания период, 2016 година, са отчетени 38 случая с екстремно ниски концентрации на ОКЯ и 44 случая с екстремно високи концентрации. Като цяло, концентрацията на ОКЯ е по-висока през лятото, отколкото през зимата.

6.3. Разпределение на дните с екстремуми с помощта на HYSPLIT

За всеки ден с отчетен минимум или максимум на концентрацията на ОКЯ е изчертана обратна траектория с модела HYSPLIT. Избраната продължителност на траекторията е 72 часа назад, тъй като този период от време описва добре пътя на въздушните маси над континента Европа и развитието на атмосферните процеси, оказващи влияние върху Балканския полуостров. Обратните траектори са пресметнати за географското положение на вр. Мусала, за всеки ден за 12 UTC. Моделът дава информация за местоположението, географски координати и надморска височина, на въздушната маса във всеки един час от изминалите 72 часа. Направени са два типа групиране. От една страна спрямо подложната повърхност, морска (S) или

континентална (С), на въздушните маси. За целта, субективно, е преброено във всеки един час над какъв вид подложна повърхност се намира съответната въздушна маса. Определени са три подгрупи:

- а) Когато въздушната маса е през повече от половината и по-малко от 75% от времето, $\geq 36 < 54$ часа, над континента или над океана се отбелязва с “а”.
- б) Когато въздушната маса е през 75% или повече часове от времето, ≥ 54 часа, над континента или над океана се отбелязва с “b”.
- в) Когато въздушната маса е през цялото време, 72 часа, над континента или над океана се отбелязва с “с”.

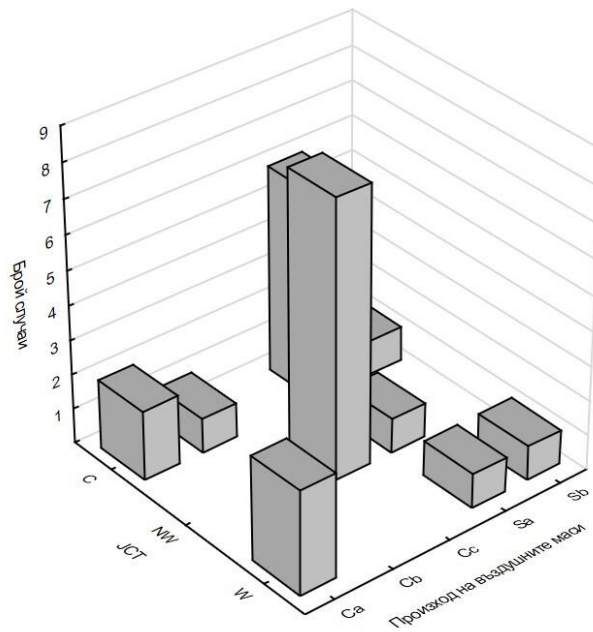
С помощта на това разделяне са съпоставени най-често срещаните типизации на атмосферната циркулация по ЈСТ, описани в точка 3.4. При екстремно ниските стойности на концентрацията на ОКЯ това са С, NW and W, а при екстремно високите - С, NW and W. От *Фигура 6.3* се вижда, че при екстремно ниските стойности на концентрацията на ОКЯ при атмосферни циркулации от тип С и NW може да се определи преобладаващ тип на произхода на въздушната маса, съответно Sa (морска въздушна маса, която прекарва между 36 и 54 часа над океана, а останалите над континента) и Сс (континентална въздушна маса, която е през цялото време, 72 часа, над континента). При атмосферната циркулация от тип W няма преобладаващ произход на въздушната маса. Същото се отнася и за екстремно високите стойности на концентрацията на ОКЯ.

Друг вид групиране на въздушните маси, който се получава отново от анализ на обратните траектории, изчислени чрез модела HYSPLIT, е въз основа на надморската височината, като тя е съобразена с основните атмосферни слоеве, използвани в синоптиката. Определени са три групи въздушни маси, спрямо максималната надморска височина през която преминават:

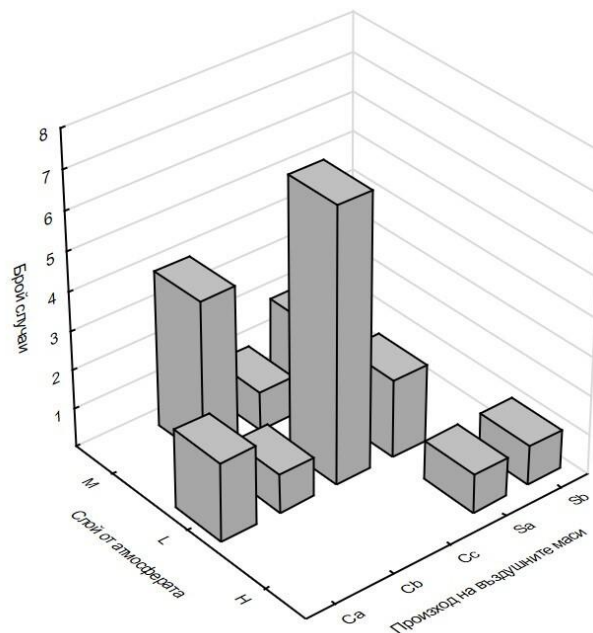
- а) ниска (L) – до 3000 метра (=700 hectorascals, hPa) – височина, която е много близка до тази на връх Мусала (2925 метра);
- б) средна (M) – до 5500 метра (=500 hPa, mid-tropospheric layer);
- в) висока (H) – над 5500 метра.

При съпоставяне на надморската височина на въздушните маси с техния произход, определен по-горе се вижда, че екстремно ниските концентрации на ОКЯ не могат да се свържат с конкретна зависимост между надморската височина и произхода им. При този тип групиране през дните с минимални концентрации на ОКЯ не може да

се определи преобладаващо съотношение слой на атмосферата – произход на въздушните маси.



Фигура 6.3: Двумерни хистограми в дните с минимална концентрация на ОКЯ на произхода на въздушните маси срещу JST класификация.



Фигура 6.4: Двумерни хистограми в дните с максимална концентрация на ОКЯ на произхода на въздушните маси срещу JST класификация и слоевете от атмосферата срещу произхода на въздушните маси.

При екстремно високите концентрации на ОКЯ е точно обратното. При тях няма ясно изразено съотношение между класификациите на ЈСТ и произхода на въздушните маси, но най-често срещаните въздушни маси са два типа Фигура 6.4: (1) тази, която идва от ниските слоеве (L) и е чисто континентална (Cс) и (2) тази, която идва от средните слоеве на атмосферата (M) и повече от 75% от разглежданото време е прекарала над континента (Cб).

ГЛАВА 7

Приложение на закона на Twomey

Законът на Twomey [16], $N_{CCN} = CS^k$ (уравнение 2.3), и неговото използване в световен мащаб са подробно описани в Глава 2, секция 2.4.2. Тук N_{CCN} е броя на ОКЯ на кубичен сантиметър, S е пресищането, а C и k са параметри. Параметърът C е равен на броя на активираните ОКЯ при $S=1\%$ ($\#/cm^3$), а параметърът k е безразмерен и представлява скоростта на промяна на ОКЯ с промяната на пресищането.

7.1 Апроксимация на концентрациите на ОКЯ

Данните за разпределението на ОКЯ са са апроксимирани чрез закона на Twomey, при шестте използвани от БОКЯ пресищания: 0.13%; 0.23%; 0.43%; 0.63%, 0.83 и 1.03%. Избрани са 4 месеца през 2016 г., февруари, май, август и ноември, представляващи съответно пролет, лято, есен и зима. През февруари месец БОКЯ е бил настроен от производителите [46] да мери само при 5 пресищания, като 0.13% липсва. Апроксимацията е получено за всеки ден от разглеждания период за минималните, максималните и средноденонощните стойности на концентрацията на ОКЯ в БЕО Мусала. Липсват апроксимации за отделни дни, в които поради технически причини, свързани с БОКЯ, не е отчетена концентрацията на ОКЯ.

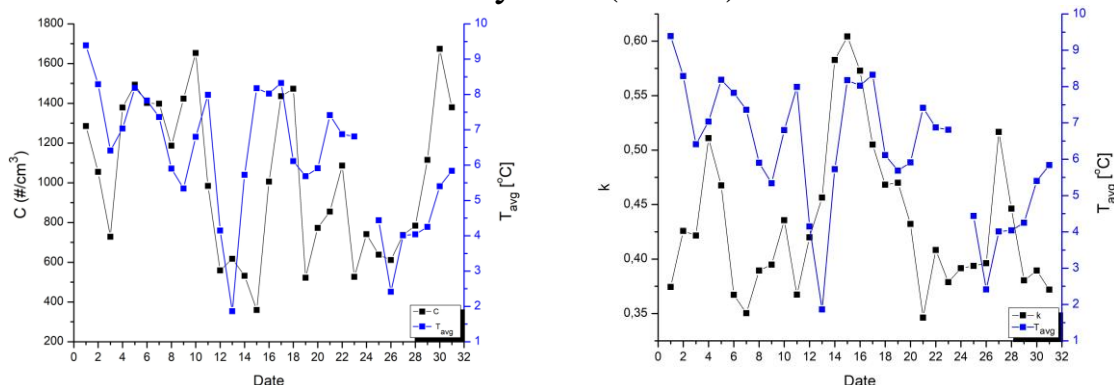
В резултат на апроксимация на средноденонощните, минималните и максималните концентрации на ОКЯ, полученият коефициент на детерминация R^2 (Adjusted R Square) е относително висок при всяка една апроксимация.

7.2. Зависимост на параметрите C и k от температурата

В опит за намиране на зависимост на параметрите C и k , получени след апроксимация със закона на Twomey (уравнение 2.3), с метеорологичен елемент са използвани основни метеорологични характеристики, като температура, посока и скорост на вятъра, относителна влажност на въздуха, атмосферно налягане. В резултат, най-подходяща зависимост е получена спрямо температурата – минимална, максимална и средноденонощна. Данните за температурата са от синоптична станция Мусала (номер по номенклатура 15615, надморска височина 2925 m) и климатична станция Боровец (номер по номенклатура 64225, надморска височина 1350 m) и са във всички синоптични срокове – 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 UTC. Климатична станция Боровец е избрана за сравнение, поради разположението си в подножието на връх Мусала. Боровец е на отстояние 10,3 км северно по права линия от връх Мусала. През месец ноември 2016 г., след трагичен инцидент, синоптична станция Мусала е временно консервирана и данни не са налични.

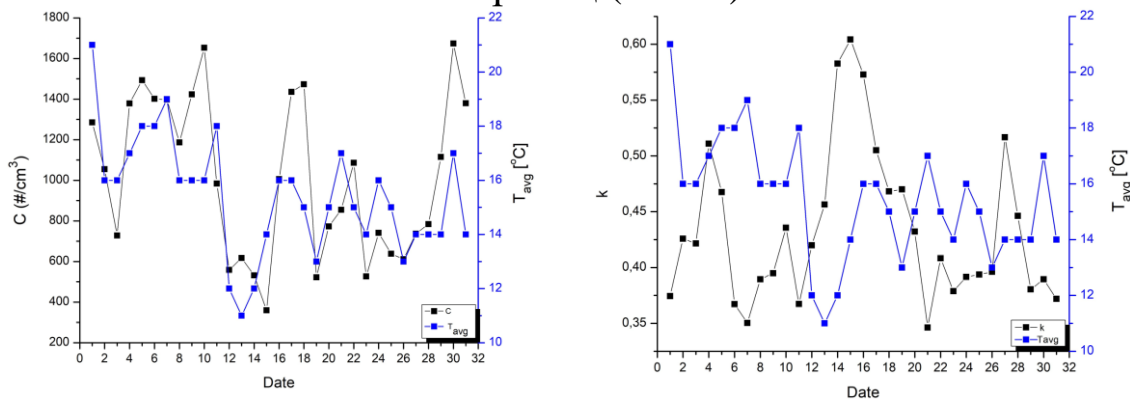
На *Фигура 7.1* са представени параметрите C и k , получени от апроксимацията на средноденонощните концентрации на ОКЯ, съпоставени съответно със средноденонощната (T_{avg}) температура за месец август от а) синоптична станция Мусала и б) климатична станция Боровец на всяка една от фигурите. Наблюдават се право- и обратнопропорционални зависимости, както и отместване между двете характеристики.

Мусала (15615)



a)

Боровец (64225)

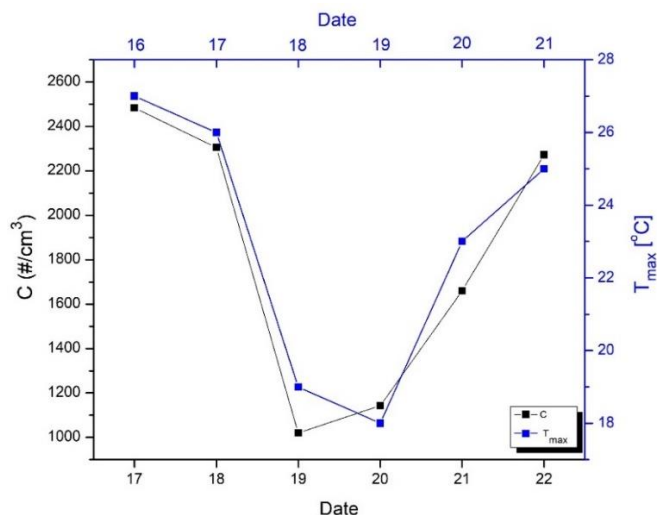


b)

Фигура 7.1: Параметрите C ($\#/cm^3$) и k (безразмерен), получени от апроксимациите на средноденонощните концентрации на ОКЯ със закона на Twomey и средноденонощните температури от а) синоптична станция Мусала и б) климатична станция Боровец.

Пример за това е показан на *Фигура 7.2*, където разпределението на параметъра C е отместено с 24 часа напред (17-22.08.2016 г.) спрямо разпределението на максималната температура (16-21.08.2016 г.) в Боровец. Фигурата показва аналогичен ход на двете характеристики. За представяне на идентичния ход на параметрите от уравнението на Twomey и температурата са изчертани фигури, подобни на представената на *Фигура 7.2*, където с отместване от 24 часа е представен реалният ход на параметъра C ($\#/cm^3$) за периода 17-22.08.2016 г. и на максималната температура в климатична станция Боровец за периода 16-21.08.2016 г., за да се демонстрира тяхното идентично поведение. Подобни резултати са получени през различни периоди от време за разглежданите четири месеца,

както на връх Мусала, така и в курорта Боровец. Това води до необходимостта от намиране на физично обяснение за поведението на параметрите, получени от закона на Twomey и последващо разделяне на характерни периоди от време. Изследването генерира нови научно-изследователски въпроси, които могат да бъдат обект на бъдещи допълнителни изследвания.



Фигура 7.2: Зависимост на параметъра C ($\#/cm^3$) за периода 17-22.08.2016 г., получен от апроксимация на максималните концентрации на ОКЯ спрямо максималната температура в Боровец за периода 16-21.08.2016 г.

7.3. Корелационен коефициент между параметрите C и k и температурата

След установяване на еднотипно поведение на параметрите от закона на Twomey и на температурата е използвана класификационната схема на JST, описана в точка 3.5 [43] и приложена вече в Глава 6.

За всеки ден от четирите разглеждани месеца (февруари, май, август и ноември 2016 г.), съответно зима, пролет, лято и есен, е намерен корелационният коефициент на Pearson [47]. Спрямо него възможните корелации в проценти [%] са [48]:

- 0.90 до 1.00 (–0.90 до –1.00): Много висока положителна (отрицателна) корелация;
- 0.70 до 0.90 (–0.70 до –0.90): Висока положителна (отрицателна) корелация;
- 0.50 до 0.70 (–0.50 до –0.70): Средна положителна (отрицателна) корелация;
- 0.30 до 0.50 (–0.30 до –0.50): Ниска положителна (отрицателна) корелация;
- 0.00 до 0.30 (0.00 до –0.30): незадоволителна корелация.

През изследвания период са отчетени 12 типа циркулации, всяка една от тях се среща в минимум 4 дни. Циркулации, отчетени до три пъти, включително в изследвания

период са пренебрегнати, поради невъзможността за правилно смятане на корелационния коефициент.

Като цяло корелационният коефициент между температурата и параметъра C е по-висок, отколкото корелационния коефициент между температурата и параметъра k . Корелационният коефициент за Мусала между температурата и параметъра C е с много висока положителна корелация при 8 случая и с висока корелация в 11 случая от всички възможни 36. Корелационният коефициент за Боровец между температурата и параметъра C е с висока положителна корелация в 17 случая и с много висока корелация в 9 случая от всички възможни 36.

Разликата в броя на отчетените циркулации в Таблица 7.1 се дължи на временното консервиране на синоптична станция Мусала през ноември месец, поради трагичен инцидент.

Таблица 7.1: Корелационен коефициент между параметрите от уравнението на T_{womey} , получени от максималните концентрации на ОКЯ и максималните температури на връх Мусала и в Боровец за целия разглеждан период (май, февруари, август, ноември 2016 г.).						
JCT	Брой повторения	Мусала корел. коефициент		Брой повторения	Боровец корел. коефициент	
		Tmax_c	Tmax_k		Tmax_c	Tmax_k
AC	10	0,762	-0,178	18	0,840	-0,279
ASW	4	0,916	-0,168	5	0,947	-0,073
C	4	0,923	-0,603	9	0,717	-0,281
CW	4	0,995	-0,747	7	0,972	-0,714
N	4	0,577	-0,572	5	0,772	-0,616
NW	4	0,634	0,760	6	0,564	-0,381
S	4	-0,879	-0,657	4	-0,952	-0,634
SW	4	-0,566	-0,961	9	-0,134	-0,797
W	11	0,885	-0,139	18	0,819	-0,638
NE	5	-0,310	-0,635	8	0,859	-0,598
ANE	4	-0,922	0,107	4	-0,965	0,100
E	5	0,253	-0,638	5	0,893	0,336

Най-често срещаните типове време през изследвания период са антициклонален (AC) и западен (W) тип циркулация по JCT. Корелационният коефициент е изчислен от 10 дни за връх Мусала и 18 за Боровец при AC тип циркулация. При W тип циркулация корелационният коефициент е изчислен от 13 дни за връх Мусала и 18 за Боровец.

Най-висок корелационен коефициент (0.995) е получен между максималната температура на връх Мусала и параметъра C при циркуляционен тип CW, който се среща

4 пъти през изследвания период. При същите условия, корелационният коефициент за Боровец е 0,972.

При циркулация тип АС корелационният коефициент между температурата и параметъра C е с висока положителна корелация, между 0,7 и 0,9, в 5 от 6-те възможни случая за Боровец и Мусала при минималните, максималните и средноденонощните стойности на температурата и ОКЯ. Само при минималните стойности на температурата и параметъра C , получен от минималната концентрация на ОКЯ на връх Мусала корелационният коефициент е по-нисък, 0,64, което съответства на средна положителна корелация. Корелационният коефициент между параметъра k и температурата (минимална, максимална, средноденонощна) е с ниска корелация и при шестте случая за Мусала и Боровец.

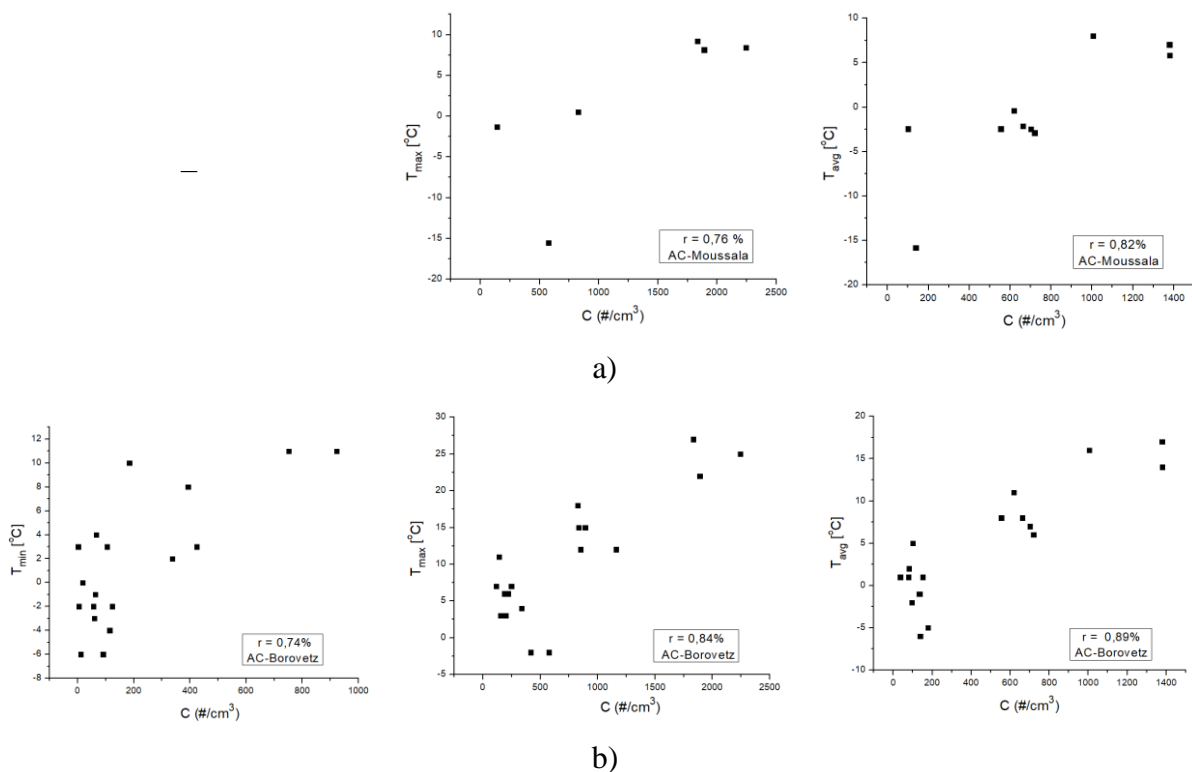
При циркуляционен тип W корелационният коефициент между температурата и параметъра C е с висока положителна корелация отново в пет от шестте случая за Мусала и Боровец. Това са отново при максималните и средноденонощните стойности на коефициента C и максималните и средноденонощните температури на връх Мусала, съответно 0,885 и 0,747. За Боровец това са при стойностите на коефициента C , получен от минималните, максималните, средноденонощните стойности на концентрацията на ОКЯ и минималната, максималната и средноденонощната температура в Боровец, съответно 0,768, 0,819, 0,827.

Спрямо корелационният коефициент на Pearson [47] много висока положителна (отрицателна) корелация има при стойности от 0.90 до 1.00 (-0.90 до -1.00). Такива случаи за корелационния коефициент между параметъра C и температурата на Мусала и в Боровец има общо 14 на брой за изследвания период. Корелационният коефициент между параметъра k и температурата на Мусала и в Боровец е с много висока отрицателна корелация само в един от случаите за изследвания период: при максималните температури на връх Мусала, -0,961 при SW.

7.4. Зависимост между параметъра C и температурата при АС и W тип циркулация по JCT

Най-често срещаните типове време през изследвания период са антициклонален (АС) и западен (W) тип циркулация по JCT (Таблица 7.1). Всеки от тях се среща по 18 пъти. Зависимостта между параметъра C от уравнението на Twomey, получен от максималната и средноденонощната концентрация на ОКЯ и съответно максималната и

средноденонощната температурата в случаите на АС тип за връх Мусала е представена на *Фигура 7.3, а*). Зависимостта между параметъра C от уравнението на Twomey, получен от минималната концентрация на ОКЯ и минималната температурата в случаите на АС тип за връх Мусала, липсва на *Фигура 7.3*, защото коефициентът на корелация е нисък в сравнение с останалите. Зависимостта между параметъра C от уравнението на Twomey, получена от минималната, максималната и средноденонощната концентрация на ОКЯ и съответно минималната, максималната и средноденонощната температура в случаите на АС тип за Боровец е представена на *Фигура 7.3, б*).



Фигура 7.3: Зависимост между параметъра C от уравнението на Twomey, получена от минималната, максималната и средноденонощната концентрация на ОКЯ и съответната температура в случаите на АС тип по ЈСТ за *а)* Мусала и *б)* Боровец.

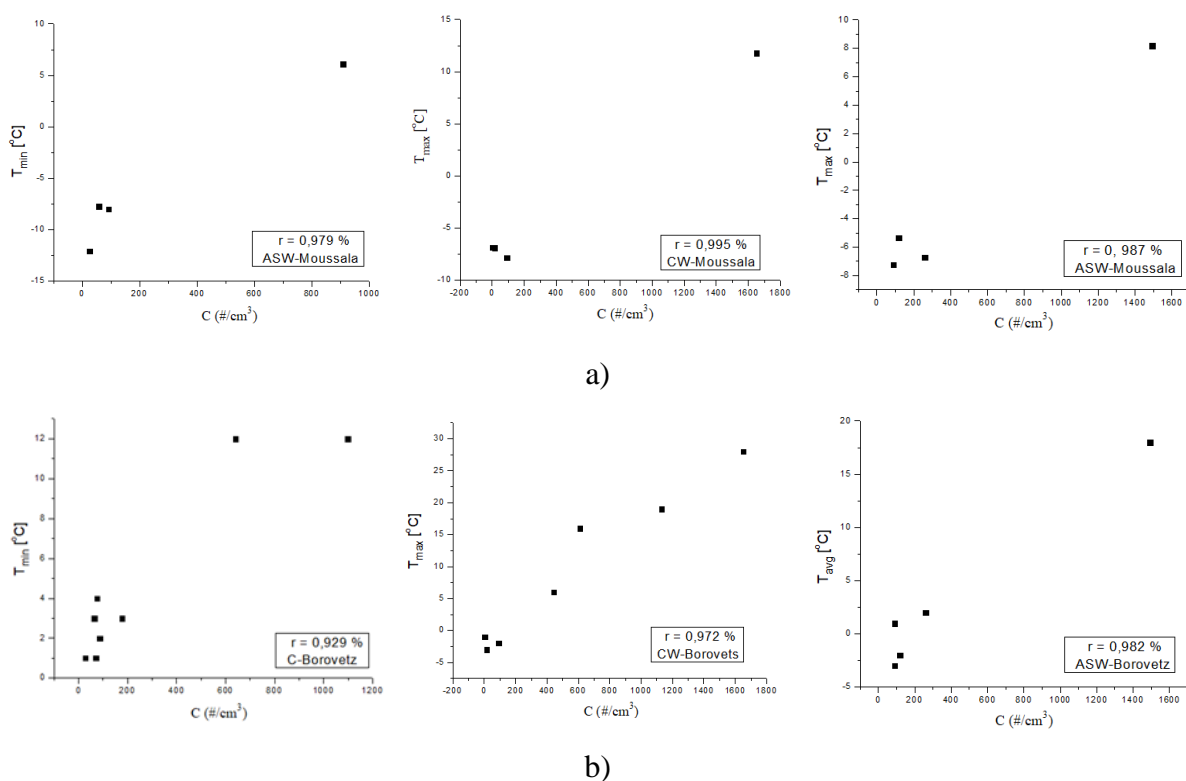
На нея се вижда, че се оформят три клъстера от точки, както на връх Мусала, така и в Боровец, като най-силно са изразени при максималните и средноденонощните температури в Боровец, *Фигура 7.3, б*), втори и трети панел.

7.5. Зависимост между параметъра C и температурата при най-високите корелационни коефициенти

От *Таблица 7.1* се вижда, че параметърът C корелира по-силно (отколкото параметъра k) с температурата, както в синоптична станция Мусала, така и в климатична

станция Боровец. На *Фигура 7.4* са представени зависимостите на параметъра C и температурата T в случаите на най-силно отчетените корелационни коефициента, на първия ред за Мусала, а на втория – за Боровец.

От *Фигура 7.4*, а) и б) се вижда, че при най-високо получените корелационни коефициенти, данните на връх Мусала са значително по-малко на брой, отколкото в Боровец. Докато в синоптична станция Мусала се отделят два клъстера от точки, подобно на *Фигура 7.3*, където се отделят три клъстеа от точки, данните от климатична станция Боровец лягат върху крива, която е възможно да се опише с полином от трета степен.



Фигура 7.4: Зависимост между параметъра C от уравнението на Twomey, получен от минималната, максималната и средноденонощната концентрация на ОКЯ и съответната температурата в случаите на най-висок корелационен коефициент, получен за а) Мусала и б) Боровец.

ГЛАВА 8

Анализ на данни от хетерогенно зародишообразуване

Тази глава е посветена на (повторен) анализ на данни от прецизни експерименти върху хетерогенно зародишообразуване в електрохимични условия - електроотлагане на

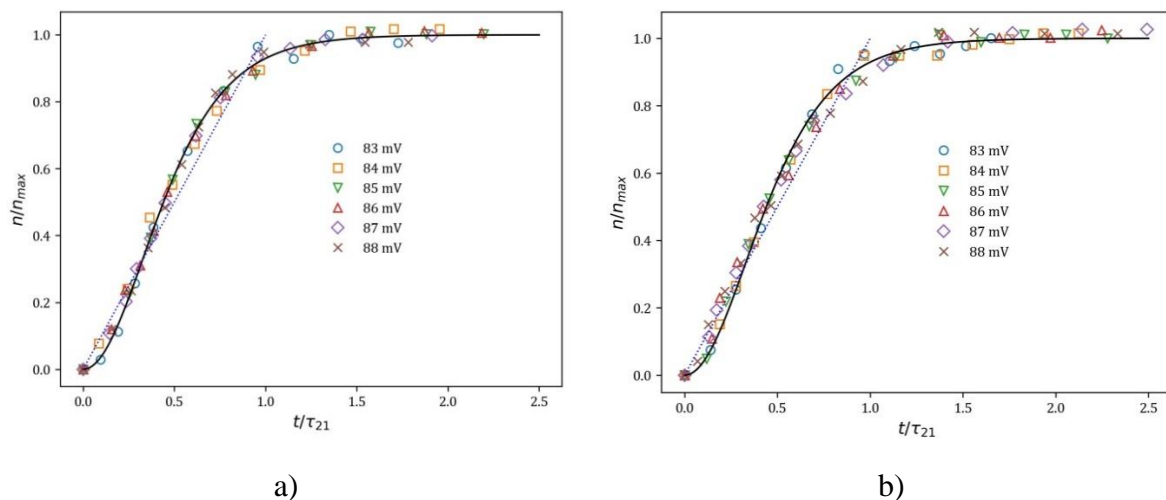
живак (Hg) върху два различни типа Pt-католи [36]. Авторите специално указват аналогията с отлагането на пари върху твърди повърхности (заради предположението, че и в двата случая се касае за зародишообразуване, опосредствано от т.нар. „активни места“), веднъж концептуално и веднъж, когато дефинират пресищането в тяхната система и аналогията с преситените пари. изследването в тази глава е част от статия, която е в процес на рецензиране

8.1. Модел α_{21}

Така нареченият в контекста на двумерната кристализация с изчерпване на началното пресищане модел α_{21} [49]:

$$n(t) = n_{max} \tanh^2\left(\frac{2t}{\tau_{21}}\right) \quad (8.1)$$

След апроксимация на данните от фигури 5 и 6 от Марков и Стойчева [36] операцията по прескалиране може да бъде разглеждана и като формулиране на „степен на превръщане“ $\alpha \equiv n/n_{max}$, което е показано на *Фигура 8.1*.



Фигура 8.1: Прескалиране на данните от а) фигура 5 и б) фигура 6 от Марков и Стойчева [36] с параметрите, получени от апроксимация с α_{21} , уравнение (8.1).

Линията от точки е $n/n_{max} = t/\tau_{21}$, а непрекъснатата крива е универсалната крива

$$n/n_{max} = \tanh^2(2t/\tau_{21}).$$

В идеалния случай, всички прескалирани данни трябва да "легнат" върху една и съща универсална крива, върху една и съща универсална крива, а когато това не се случва, следва да се счита като неуспех на модела да опише адекватно тази конкретна

реализация на експеримента. Важен аспект в полза на α_{21} е, че при него няма "настройващ" показател, както при другите два от йерархията по-долу. Вследствие на това, само α_{21} има универсална крива $n/n_{max} = \tanh^2(2t/\tau_{21})$, докато за другите два модела „универсалните“ криви са толкова, колкото са получените стойности на d и q , като в модела на Ричардс се появява и още един дори – безразмерната константа K .

8.2 Модел на Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov

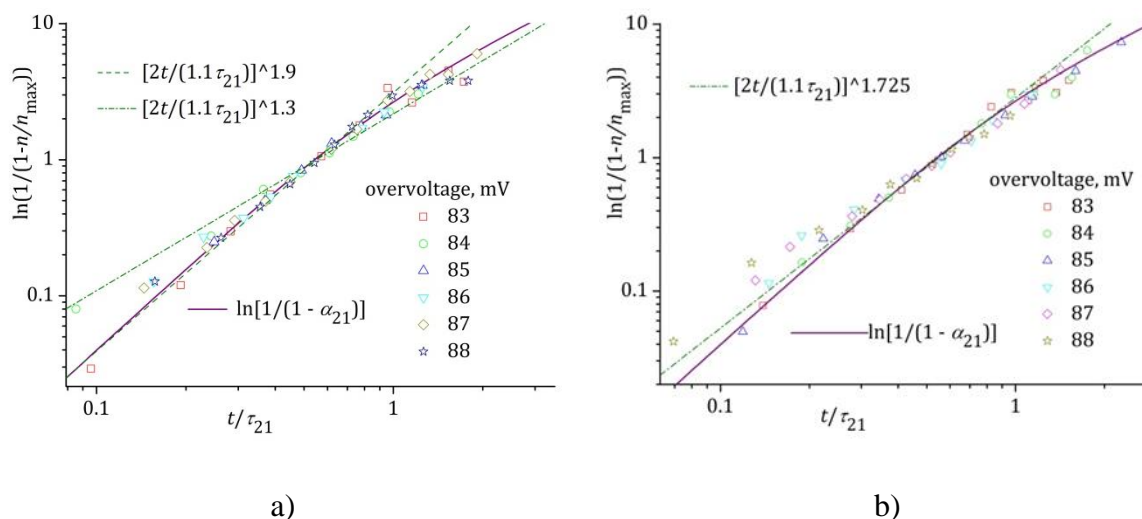
Това е най-използваният модел в изследванията в областта на кристализацията и зародишообразуването, въведен още през 30-те години от Kolmogorov [50], Johnson и Mehl [51], and Avrami [52].

$$n = n_{max} \left\{ 1 - \exp \left[- \left(2t / \tau_{JMAK} \right)^d \right] \right\} \quad (8.2)$$

В $JMAKd$ се появява и допълнителен параметър – степента d , като в оригиналната версия на модела от 30-те години на ХХ-ти век това е размерността на пространството, в което се случва прекристализацията на сплави с фиксиран брой зародиши, или същата плюс едно, когато се случва в условията на продължаващо зародишообразуване, т.е d оригинално е цяло число равно на 1, 2, 3 или 4. С годините и с отдалечаването от контекста, в който е предложен моделът, на d започва да се гледа като на допълнителен параметър за подобряване точността на описанието, и когато той не се оказва цяло число – развиват се допълнителни съображения защо не е, после, с времето и с появата на нови данни за нецели степени. Данните от фигури 5 и 6 от Марков и Стойчева [36] са прескалирани в рамките на дисертацията и с $JMAKd$ на фигура 8.3.

Връзката на модела с предишния - α_{21} [49], изразена чрез отношението на двата мащаба за времето - τ_{21} и τ_{JMAK} е така наречения конверсионен фактор $c_f = \tau_{JMAK}/\tau_{21}$. В [49] е показано, че $\tau_{JMAK} \approx 1.1\tau_{21}$, когато се апроксимират данни, при които степента на превръщане клони към 1.

Коефициентът 2 пред времето t в двата модела дотук, уравнения (8.1) и (8.2), се използва за удобство – тогава инфлексните точки на прескалирания модел са “близо” до правата $n/n_{max} = t/\tau$. Прилагането на модела на $JMAKd$ е представено на *Фигура 8.2*, чрез Аврами-плот от *Фигура 8.1 a) и b)*, заедно с три конкретни стойности на d .



Фигура 8.2: Аврами-плот на прескалираните данни от Фигура 8.3 а) и б), заедно с а) две и б) една конкретни стойности на d .

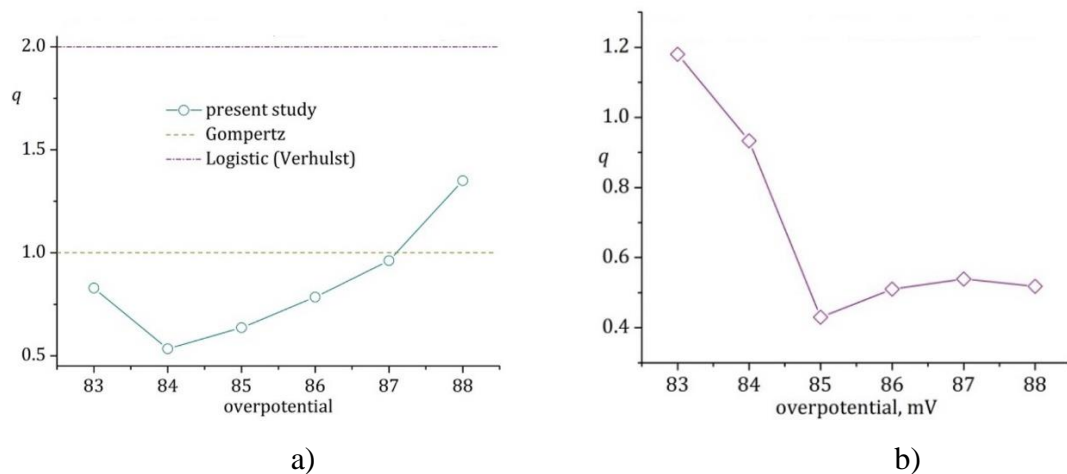
8.3. Модел на Ричардс

Моделът на Richards е още един общ модел за изучаване на растеж [53], водещ до сигмоидна зависимост, вследствие на съчетаното действие на два механизма за обратна връзка - положителен и отрицателен (формата на диференциалните версии на двата модели, описани по-горе, също е обсъдена и изучена в [54]). Моделът се изразява чрез:

$$n(t) = \frac{n_{\max}}{\left(1 + (q-1) \exp\left(-\frac{(t-t_i)}{t_k}\right)\right)^{1/(q-1)}} \quad (8.3)$$

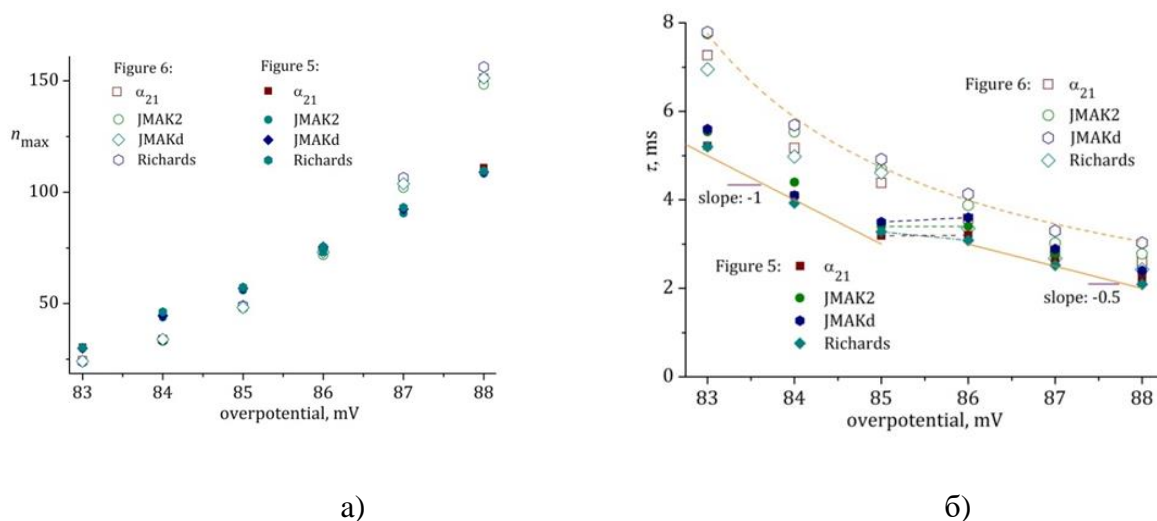
Този модел е вече с 4 параметъра – n_{\max} , t_i – времето за достигане на инфлексната точка на сигмоидната зависимост, там където свръхлинейният режим се заменя от сублинеен, тоест отрицателната обратна връзка „надделява“, t_k – свързан с кинетиката на процеса и обобщаващата степен q . Прескалирането на данните фигури 5 и 6 от Марков и Стойчева [36] е аналогични и с този модел.

Моделът на Ричардс има два често използвани частни случаи - логистичният модел на Verhulst [55] - с $q = 2$, използван в контекста на зародишообразуването от Nanev и колектив [54], и моделът на Gompertz [56] - с $q = 1$, които са приложени на Фигура 8.3.



Фигура 8.3: Стойности на настройващия параметър q от модела на Ричардс при приложението му към *a)* фигура 5 и *б)* фигура 6 от Марков и Стойчева [36].

Представено е описание на процедурите за апроксимиране на данни и, основно, резултатите от него за α_{21} , а другите два модела служат по-скоро за потвърждаване на резултатите от най-простия. Най-важният резултат е представен на *Фигура 8.4* – поведението на двете скали, по броя зародиши и по времето, като функция от свръхнапрежението (пресищането).



Фигура 8.4: Зависимост на получените от моделирането в тази глава данни от Марков и Стойчева [36] мащаби скали за време и брой зародиши от свръхнапрежението (пресищането) за *a)* n_{\max} и *б)* за τ .

ГЛАВА 9

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Настоящият дисертационен труд е насочен към изграждане на комплексен подход към изследването на атмосферни аерозоли, в частност Облачни Кондензационни Ядра

(ОКЯ), като поставя количествените данни върху ОКЯ, получени от БЕО Мусала (от 2016 г.) в един по-широк метеорологичен контекст и търси зависимости с измерими параметри от него.

За постигане на целта е разгледано поведението на ОКЯ в отделни синоптични обстановки, на средноденоношна и месечна база. За да се постигне добро описание на ОКЯ е направен подробен литературен обзор, описан в ГЛАВА 2. Използвани са и допълнителни данни – синоптични класификации (Стефанов и колектив [40], Jenkinson-Collison-Types, описани в изследване за България в [43]), данни от модела NYSPLIT [39], картите от Глобалната прогностична система GFS [44,57], NCEP/NCAR реанализи [42], метеорологични данни от синоптична станция Мусала на НИМХ (посока и скорост на вятъра, температура), закон на Twomey [16].

От разглежданията на конкретни синоптични обстановки става ясно, че екстремум на ОКЯ има, когато към страната приближава или е под влияние на барична долина, асоциирана към циклонална област, чиито 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.

При разглеждане на месечна база резултатите показват, че концентрацията на ОКЯ през лятото е много по-висока от тази през зимата (дори до 4-5 пъти). Разпределенията на ОКЯ, измерени за шест различни пресищания (S) (0.13%, 0.23%, 0.43%, 0.63%, 0.83%, 1.03%), са приведени до техните универсални форми: чрез мащабиране на броя за всеки интервал от размери от общия брой във всички интервали. Така са отделени три основни размера на ОКЯ от всички двадесет: при 2 μm , 3 μm и 5,5 μm . Това позволява да се идентифицира коефициентът на мащабиране, като представителен за конкретните разпределения и след това да се изследва поведението му (когато се трансформира като концентрация) вместо да се разглеждат всичките

разпределения (едно число вместо двадесет). През месец юли се отличават следните ясни екстремуми: на 5-ти и 6-ти, взети като една синоптична обстановка, и 13-ти (максимуми), и 18-ти (минимум), докато през декември има три ясни максимума на 2-ри, 6-ти и 12-ти. Тези дни са изследвани подробно чрез търсене на влиянието на геопотенциала, температурата и вятъра на 700 hPa, височина която съответства приблизително на височината на връх Мусала, върху разпределението на размера на ОКЯ. Установено е, че максимумите на концентрацията на ОКЯ през юли съответстват на безградиентно барично поле на геопотенциала на 700 hPa, докато през декември Балканският полуостров е повлиян от барична долина.

В допълнение са изследвани обратните траектории на въздушните маси, оказващи влияние на връх Мусала. Те са изчислени за 72 часа преди да достигнат върха, с помощта на модела HYSPLIT, разработен от NOAA (HYSPLIT). Спрямо времето, прекарано от въздушните маси над съответната подложна повърхност, се идентифицират два основни типа обратни траектории, морски и континентални, като континенталните въздушни маси преобладават и през двата месеца, съответно 30 дни през юли и 21 дни през декември.

В следващата група разделяне на подтипове е използвана схема за синоптична класификация на атмосферните процеси в региона на Балканите. Тази схема включва четири типа: атлантически, континентален, средиземноморски и безградиентно барично поле. Използвано е и разделяне спрямо дебелината на атмосферния слой, през който преминават въздушните маси – нисък, среден и висок слой.

Отчетени са и всички дни с екстремни стойности на концентрацията ОКЯ. В тези дни преобладаващите атмосферната циркулации по JCT с 26 типа при минимумите на ОКЯ са С, NW и W, а при максимумите това са SW, W и NW, като най-преобладаващия тип и при двата случая е първият. При екстремно високите стойности има и три второстепенни типа – AW, N и NE. При екстремно ниските стойности на концентрацията на ОКЯ при атмосферни циркулации от тип С и NW преобладаващия тип на произхода на въздушната маса е Sa и Cc съответно. При екстремно високите концентрации на ОКЯ най-често срещаните въздушни маси са два типа: (1) тази, която идва от ниските слоеве (L) и е чисто континентална (Cc) и (2) тази, която идва от средните слоеве на атмосферата (M) и повече от 75% от разглежданото време е прекарала над континента (Cb).

Приложен е законът на Twomey [16], $N_{CCN} = CS^k$ (уравнение 2.3), който съдържа концентрацията на ОКЯ N_{CCN} при дадено пресищане S и два параметъра, C и k .

Параметърът C е равен на броя на активираните ОКЯ при $S=1\%$ ($\#/cm^3$), а параметърът k е безразмерен и представлява скоростта на промяна на ОКЯ с промяната на пресищането. За определяне на параметрите от закона е направена апроксимация на данните за минималните, максималните и средноденонощните стойности на концентрацията на ОКЯ в БЕО Мусала.

Установени са високи корелационни коефициенти между параметъра C , получен от минималната, максималната и средноденонощната концентрация на ОКЯ и минималната, максималната и средноденонощната температура в синоптична станция Мусала и климатична станция Боровец. Боровец е избран за за сравнение, поради разположението си в подножието на връх Мусала. Боровец е с надморска височина 1350 m и е на отстояние 10,3 км северно по права линия от връх Мусала. Корелационният коефициент за Мусала между температурата и параметъра C е с много висока положителна корелация при 8 случая и с много висока корелация в 11 случая от всички възможни 36. Корелационният коефициент за Боровец между температурата и параметъра C е с висока положителна корелация в 17 случая и с много висока корелация в 9 случая от всички възможни 36.

ГЛАВА 10

Научни приноси, публикации и представяне на резултатите по дисертацията

10.1. Приноси на дисертационния труд

- Установена е връзка между максимумите в концентрацията на ОКЯ, обратните траектории на въздушните маси и синоптичните обстановки през 2016;
- Намерени са зависимостите между екстремумите на концентрацията на ОКЯ и типовете циркулация на Jenkinson-Collison-Types;
- Намерени са високи корелационни коефициенти между параметър от уравнението на Twomey и температурите на Мусала и в Боровец;
- Получен е скок във времевата скала от един режим на зародишообразуване в друг при анализ на публикувани данни от хетерогенно зародишообразуване.

10.2. Публикации по дисертацията

10.2.1. Публикации в списание с ISI импакт-фактор

1) V. Kleshtanova, V. V. Ivanov, F. Hodzhaoglu, J.E. Prieto, V. Tonchev, Model hierarchy to reanalyze results from an archetypical experiment on the kinetics of heterogeneous nucleation - the electrodeposition of Hg on Pt, by I. Markov and E. Stoycheva. Crystals (MDPI) Preprint.

2) Kleshtanova, V., Tonchev, V., Angelov, Ch.: Extremes in the concentrations of CCN at Mt. Moussala and synoptic classifications, Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences, 2023, accepted for publication.

3) Kleshtanova, V., Stoycheva, A., Tonchev, V., Angelov, Ch.: Cloud condensation nuclei and backward trajectories of air masses at Mt. Moussala in two months of 2016, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2023.106004>

4) Kleshtanova, V., Angelov, Ch., Kalapov, I., Arsov, T., Guerova, G., Tonchev, V. What one can learn from the cloud condensation nuclei (CCN) size distributions as monitored by the BEO Moussala?, AIP Conference Proceedings. 2019. <https://doi.org/10.1063/1.5091311>

10.2.2. Публикации в списание без ISI импакт-фактор

1) Kleshtanova, V., Stoycheva, A., Tonchev, V.: Distributions of cloud condensation nuclei related to two synoptic situations in 2016. Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology 23, 17–30., 2019. http://meteorology.meteo.bg/global-change/files/2019/BJMH_2019_V23_N1/BJMH_V_Kleshtanova.pdf

10.2.3. Публикации извън темата на дисертацията

1) Kleshtanova, V., Markova, B., Kirilova, A.: Heavy rainfall in Karlovo valley in September 2022, Bul. J. Meteo & Hydro. http://meteorology.meteo.bg/global-change/files/2022/BJMH_2022_V26_N1/BJMH_26_1_3.pdf

10.3. Участия в проекти

10.3.1. Ръководител на научен проект, финансиран от български източници

1) Анализирани на екстремно високи концентрации на облачните кондензационни ядра на връх Мусала през 2017 г. Първи етап на национална програма „млади учени и постдокторанти – 2, текущ.

2) Влияние на въздушните маси върху облачните кондензационни ядра. Трети етап на Национална програма „Млади учени и постдокторанти”, 2021, приключен.

3) Разпределения на облачни кондензационни ядра и връзка с две синоптичните обстановки през 2016 г. Първи етап на Национална програма „Млади учени и постдокторанти”, 2019, приключен.

10.3.2. Участник в научен проект, финансиран от български източници

1) Как се разработват синоптични карти?. H2020-MSCA-NIGHT-2020bis-101036078, K-TRIO 5, 2021.

2) Облачни кондензационни ядра. Изследователски проект в подкрепа на докторанти с ръководител доц. д-р Веселин Тончев. 80-10-192/27.04.2020 с ФНИ – СУ.

10.3.3. Участник в научен проект, финансиран от чуждестранни източници

1) COST inDUST “International Network to Encourage the Use of Monitoring and Forecasting Dust Products” – Международна мрежа за насърчаване използването на продукти за мониторинг и прогноза на прах в атмосферата. COST, CA16202 (2017-2021).

10.4. Представяне на резултатите от дисертацията

10.4.1. Представяне на резултатите на научни форуми

1) Клещанова, В: Въздушни маси и облачни кондензационни ядра на връх Мусала. 4-ти научен семинар "Физика и химия на Земята, атмосферата и океана", с. Баня, общ. Разлог, 9-11.10.2022 г. Доклад.

2) Клещанова, В: Облачни кондензационни ядра от морски и континентални въздушни маси. 3-ти научен семинар "Физика и химия на Земята, атмосферата и океана", с. Баня, общ. Разлог, 3-5.10.2021 г. Доклад.

3) Виктория Клещанова, Saharan dust transport at BEO Moussala in 2016, Training School on dust products, НИМХ, 27.01-29.01 2020. Доклад.

4) Клещанова, В., Стойчева, А., Тончев, В.: Разпределения на облачни кондензационни ядра и връзка с две синоптични обстановки през 2016 г. 2ри научен семинар "Физика и химия на Земята, атмосферата и океана", Пчелин, Костенец, 13-15.10.2020. Доклад.

5) Клещанова, В., Ангелов, Хр., Калъпов, И., Арсов, Т., Герова, Г., Тончев, В. Изследване на облачни кондензационни ядра по данни от БЕО Мусала и проследяване на пътя им по обратни траектории, VIII Национална студентска научна конференция по физика и инженерни технологии, Парк-хотел "Санкт Петербург", Пловдив, 31.10 - 1.11.2019 г. Постер.

6) Клещанова, В.: Сезонен ход на облачните кондензационни ядра в БЕО Мусала. Обучителен семинар физика и химия на земята, атмосферата и океана, Вършец, 31.05 – 2.06.2019., доклад.

10.4.2. Представяния извън темата на дисертацията

1) Kleshtanova, V.: Basic Environmental Observatory „Moussala”, First ACTRIS cloud in situ (CIS) community meeting, 01.12.2020, virtual, oral.

2) Kleshtanova, V.: Saharan dust transport at BEO Moussala in 2016, 6. Staubtag, Karlsruhe, Germany. 2019., oral.

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D. et al. (2021) The Earth’s energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Pp 923–1054., <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>.

[2] Boucher, O., Randall, D., Artaxo, P., Bretherton, C., Feingold, G., Forster, P. et al. (2013) Chapter 7: Clouds and Aerosols. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*,. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.016>

[3] Boucher, O. and Boucher, O. (2015) *Atmospheric aerosols*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9649-1_2

- [4] Tomasi, C. and Lupi, A. (2017) Primary and secondary sources of atmospheric aerosol. *Atmospheric Aerosols: Life Cycles and Effects on Air Quality and Climate*, Wiley Online Library. 1–86. <https://doi.org/10.1002/9783527336449.ch1>
- [5] Pöschl, U. (2005) *Atmospheric aerosols: Composition, transformation, climate and health effects*. *Angewandte Chemie - International Edition*, 44. <https://doi.org/10.1002/anie.200501122>
- [6] Mallet, M., Solmon, F., Nabat, P., Elguindi, N., Waquet, F., Bouniol, D. et al. (2020) Direct and semi-direct radiative forcing of biomass-burning aerosols over the southeast Atlantic (SEA) and its sensitivity to absorbing properties: a regional climate modeling study. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Copernicus GmbH. 20, 13191–216. <https://doi.org/10.5194/acp-20-13191-2020>
- [7] Lohmann, U. and Feichter, J. (2005) Global indirect aerosol effects: a review. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Copernicus GmbH. 5, 715–37. <https://doi.org/10.5194/acp-5-715-2005>
- [8] Paramonov, M. (2015) Life cycle of a cloud condensation nucleus, CCN. *Helsingin yliopisto*.
- [9] McFiggans, G., Artaxo, P., Baltensperger, U., Coe, H., Facchini, M.C., Feingold, G. et al. (2006) The effect of physical and chemical aerosol properties on warm cloud droplet activation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6. <https://doi.org/10.5194/acp-6-2593-2006>
- [10] Andreae, M. and Rosenfeld, D. (2008) Aerosol–cloud–precipitation interactions. Part 1. The nature and sources of cloud-active aerosols. *Earth-Science Reviews*, Elsevier. 89, 13–41. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.03.001>
- [11] Hoppel, W., Frick, G. and Fitzgerald, J. (1996) Deducing droplet concentration and supersaturation in marine boundary layer clouds from surface aerosol measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Wiley Online Library. 101, 26553–65. <https://doi.org/10.1029/96JD02243>
- [12] Gautam, A.S., Tripathi, S., Joshi, A., Mandariya, A.K., Singh, K., Mishra, G. et al. (2021) First surface measurement of variation of Cloud Condensation Nuclei (CCN) concentration over the Pristine Himalayan region of Garhwal, Uttarakhand, India. *Atmospheric Environment*, Elsevier. 246, 118123. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118123>
- [13] Rose, D., Nowak, A., Achtert, P., Wiedensohler, A., Hu, M., Shao, M. et al. (2010) Cloud condensation nuclei in polluted air and biomass burning smoke near the mega-city Guangzhou, China—Part 1: Size-resolved measurements and implications for the modeling of aerosol particle hygroscopicity and CCN activity. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Copernicus GmbH. 10, 3365–83. <https://doi.org/10.5194/acp-10-3365-2010>
- [14] Hoesly, R.M., Smith, S.J., Feng, L., Klimont, Z., Janssens-Maenhout, G., Pitkanen, T. et al. (2018) Historical (1750–2014) anthropogenic emissions of reactive gases and aerosols from the Community Emissions Data System (CEDS). *Geoscientific Model Development*, Copernicus GmbH. 11, 369–408. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-369-2018>

- [15] Köhler, H. (1936) The nucleus in and the growth of hygroscopic droplets. *Transactions of the Faraday Society, Royal Society of Chemistry.* 32, 1152–61. <https://doi.org/10.1039/TF9363201152>
- [16] Twomey, S. (1959) The nuclei of natural cloud formation part II: The supersaturation in natural clouds and the variation of cloud droplet concentration. *Geofisica Pura e Applicata, Springer.* 43, 243–9. <https://doi.org/10.1007/BF01993560>
- [17] Seinfeld, J. H. and Pandis, S. N. (1998): *From air pollution to climate change. Atmospheric chemistry and physics*, 1326.
- [18] Detwiler, A., Langerud, D. and Depue, T. (2010) Investigation of the variability of cloud condensation nuclei concentrations at the surface in Western North Dakota. *Journal of Applied Meteorology and Climatology, American Meteorological Society.* 49, 136–45. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2150.1>
- [19] Fang, S., Han, Y., Chen, K., Lu, C., Yin, Y., Tan, H. et al. (2016) Parameterization and comparative evaluation of the CCN number concentration on Mt. Huang, China. *Atmospheric Research, Elsevier.* 181, 300–11. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.004>
- [20] Hudson, J.G. (1980) Relationship between fog condensation nuclei and fog microstructure. *Journal of Atmospheric Sciences*, 37, 1854–67. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1980\)037<1854:RBFCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1980)037<1854:RBFCA>2.0.CO;2)
- [21] Martins, J.A., Gonçalves, F.L.T., Morales, C.A., Fisch, G.F., Pinheiro, F.G.M., Leal Júnior, J.B.V. et al. (2009) Cloud condensation nuclei from biomass burning during the Amazonian dry-to-wet transition season. *Meteorology and Atmospheric Physics, Springer.* 104, 83–93. <https://doi.org/10.1007/s00703-009-0019-6>
- [22] Yang, S., Ma, J., Hu, Z., Yan, P., Chen, Y. and Wang, W. (2010) Influence of multi-chemical-component aerosols on the microphysics of warm clouds in North China. *Science China Earth Sciences*, 54. <https://doi.org/10.1007/s11430-010-4075-z>
- [23] Raga, G. and Jonas, P. (1995) Vertical distribution of aerosol particles and CCN in clear air around the British Isles. *Atmospheric Environment, Elsevier.* 29, 673–84. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00314-B](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00314-B)
- [24] Nilsson, E., Paatero, J. and Boy, M. (2001) Effects of air masses and synoptic weather on aerosol formation in the continental boundary layer. *Tellus B, Wiley Online Library.* 53, 462–78. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.2001.530410.x>
- [25] Liu, A., Wang, H., Li, Y., Yin, Y., Li, B., Chen, K. et al. (2020) Distribution characteristics of aerosol size and CCN during the summer on Mt. Tian and their influencing factors. *Atmosphere, MDPI.* 11, 912. <https://doi.org/10.3390/atmos11090912>
- [26] Herenz, P., Wex, H., Mangold, A., Laffineur, Q., Gorodetskaya, I.V., Fleming, Z.L. et al. (2019) CCN measurements at the Princess Elisabeth Antarctica research station during three austral summers. *Atmospheric Chemistry and Physics, Copernicus GmbH.* 19, 275–94. <https://doi.org/10.5194/acp-19-275-2019>

- [27] Hondula, D.M., Sitka, L., Davis, R.E., Knight, D.B., Gawtry, S.D., Deaton, M.L. et al. (2010) A back-trajectory and air mass climatology for the Northern Shenandoah Valley, USA. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, Wiley Online Library. 30, 569–81. <https://doi.org/10.1002/joc.1896>
- [28] Sogacheva, L., Hamed, A., Facchini, M., Kulmala, M. and Laaksonen, A. (2007) Relation of air mass history to nucleation events in Po Valley, Italy, using back trajectories analysis. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Copernicus GmbH. 7, 839–53. <https://doi.org/10.5194/acp-7-839-2007>
- [29] Soltani, M., Babu, C. and Mofidi, A. (2014) Meteorological aspects of an abnormal cooling event over Iran in April 2009. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer. 124, 47–65. <https://doi.org/10.1007/s00703-014-0309-5>
- [30] Tošić, I. and Unkašević, M. (2013) Extreme daily precipitation in Belgrade and their links with the prevailing directions of the air trajectories. *Theoretical and Applied Climatology*, Springer. 111, 97–107. <https://doi.org/s00704-012-0647-5>
- [31] Yang, J., Lei, H. and Lü, Y. (2017) Airborne observations of cloud condensation nuclei spectra and aerosols over East Inner Mongolia. *Advances in Atmospheric Sciences*, Springer. 34, 1003–16. <https://doi.org/10.1007/s00376-017-6219-y>
- [32] Yum, S.S., Hudson, J.G., Song, K.Y. and Choi, B. (2005) Springtime cloud condensation nuclei concentrations on the west coast of Korea. *Geophysical Research Letters*, Wiley Online Library. 32. <https://doi.org/10.1029/2005GL022641>
- [33] Pérez, I.A., Artuso, F., Mahmud, M., Kulshrestha, U., Sánchez, M.L. and García, M.Á. (2015) Applications of air mass trajectories. *Advances in Meteorology*, Hindawi Limited. 2015, 1–20. <https://doi.org/10.1155/2015/284213>
- [34] Scopus - Document search | Signed in [Internet].
- [35] Kleshtanova, V., Angelov, C., Kalapov, I., Arsov, T., Guerova, G. and Tonchev, V. (2019) What one can learn from the cloud condensation nuclei (CCN) size distributions as monitored by the BEO Moussala? *AIP Publishing LLC*. p. 130026. <https://doi.org/10.1063/1.5091311>
- [36] Markov, I. and Stoycheva, E. (1976) Saturation nucleus density in the electrodeposition of metals onto inert electrodes II. Experimental. *Thin Solid Films*, Elsevier. 35, 21–35. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(76\)90237-6](https://doi.org/10.1016/0040-6090(76)90237-6)
- [37] Milchev, A. and Montenegro, M.I. (1992) A galvanostatic study of electrochemical nucleation. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Elsevier. 333, 93–102. [https://doi.org/10.1016/0022-0728\(92\)80383-F](https://doi.org/10.1016/0022-0728(92)80383-F)
- [38] Basic Environmental Observatory - Moussala [Internet].
- [39] Draxler, Roland & Hess, G.. (1997). Description of the HYSPLIT_4 modelling system. NOAA Tech. Mem. ERL ARL-224.

- [40] Стефанов, С., Матеев, С., Лаловски, Х., Писарски, И., Кунчев, И. and Дончев, В. (1960) Proceedings of the Institute of Meteorology and Hydrology. Governmental publishing “Science and Art” 1–146.
- [41] Stoev, K. and Gueroва, G. (2020) Foehn classification and climatology in Sofia for 1975–2014. IDŐJÁRÁS/QUARTERLY JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE, Országos Meteorológiai Szolgálat. 124, 483–97. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2020.4.4>
- [42] 6-hourly NCEP/NCAR Reanalysis Composites: NOAA Physical Sciences Laboratory [Internet].
- [43] Stoev, K., Post, P. and Gueroва, G. (2022) Synoptic circulation patterns associated with foehn days in Sofia in the period 1979–2014. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service, 126, 545–66. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2022.4.5>
- [44] www.wetter3.de [Internet].
- [45] Кръстанов, Л., Панчев, С. and Андреев, В. (1978) Обща метеорология. Наука и изкуство.
- [46] Operator Manual: Cloud Condensation Nuclei (CCN-100) Counter – Single Column – Droplet Measurement Technologies [Internet].
- [47] Swinscow, T.D.V. and Campbell, M.J. (2002) Statistics at square one. Bmj London.
- [48] Hinkle, D.E., Wiersma, W. and Jurs, S.G. (2003) Applied statistics for the behavioral sciences. Houghton Mifflin college division. <https://doi.org/10.2307/1164825>
- [49] Tielemann, C., Ivanov, V.I., Avramova, K., Reinsch, S. and Tonchev, V. (2023) Modelling crystallization: When transformation rate depends on the supersaturation.
- [50] Kolmogorov, A.N. (1937) On the statistical theory of the crystallization of metals. Bull Acad Sci USSR, Math Ser, 1, 355–9.
- [51] Johnson, W. and Mehl, R. (1939) Trans. AIME, p. 416.
- [52] Avrami, M. (1939) Non-isothermal crystallization kinetics of poly (ethylene terephthalate) from the point of view of isokinetic models. J Chem Phys, 7, 1103–12.
- [53] Tjørve, E. and Tjørve, K.M. (2010) A unified approach to the Richards-model family for use in growth analyses: why we need only two model forms. Journal of Theoretical Biology, Elsevier. 267, 417–25. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2010.09.008>
- [54] Nanev, C.N. and Tonchev, V.D. (2015) Sigmoid kinetics of protein crystal nucleation. Journal of Crystal Growth, Elsevier. 427, 48–53. <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2015.07.007>
- [55] Verhulst, P.-F. (1838) Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Corresp Math Phys, 10, 113–26.

[56] Gompertz, B. (1825) XXIV. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. In a letter to Francis Baily, Esq. FRS &c. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, The Royal Society London. 513–83.

[57] www.wetterzentrale.de - Google Search [Internet].