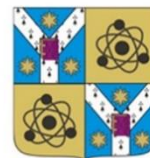


**UNIVERSITATEA
„ALEXANDRU IOAN CUZA”
din IAȘI**

**FACULTATEA de FIZICĂ
din IAȘI**



Teză de doctorat

Rezumat

**Contribuții la studiul dinamicii unor compuși
chimici din troposferă și a influenței lor
asupra fenomenelor atmosferice și climatice
de risc**

Coordonator:

Prof.univ.dr.habil. Liviu LEONTIE

Doctorand:

Ing. GALAI (cas. PRELIPCEANU) Otilia Sanda

Iași, 2019

CUPRINS

CUPRINS	3
Introducere.....	4
Capitolul I - Structura și compoziția atmosferei	7
Capitolul 2 - Compuși troposferici cu risc major asupra climei și sănătății umane	9
Capitolul 3 – Aerosolul troposferic.....	12
Capitolul 4 – Sisteme optice active și pasive de caracterizare a compușilor chimici.....	14
CAPITOLUL 5 – O abordare axată pe turbulență pentru a prelua diferiți parametri atmosferici folosind tehnici avansate de procesare a datelor din LIDAR	15
CAPITOLUL 6 – Studiul unor noi polimeri pentru aplicații ale senzorilor de monitorizare a dinamicii compușilor poluanți din atmosferă	18
CAPITOLUL 7 – Praful mineral și observații meteorologice în Nord-Estul României. Studii de caz.	21
CAPITOLUL 8 – Concluzii finale și contribuții personale.....	25
Contribuții științifice originale publicate sau prezentate.....	27
Articole științifice publicate în reviste indexate WOS, IEEE și BDI	29
Listă selectivă prezentări orale și postere susținute la conferințe internaționale și naționale	31
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....	32

Notă:

În cadrul rezumatului au fost păstrate numerotările figurilor, tabelelor, ecuațiilor și referințelor din teză.

Introducere

Lucrarea ”*Contribuții la studiul dinamicii unor compuși chimici din troposferă și a influenței lor asupra fenomenelor atmosferice și climatice de risc*” este structurată în două părți și conține opt capitole. Prima parte reprezintă partea teoretică și este o documentare detaliată din studii actuale relevante științific care delimitează tema cercetării de față, prezentând stadiul actual în domeniul fizicii și chimiei atmosferei, a compușilor poluanți care pot produce dezechilibre climatice. În cea de-a doua parte, autorul și-a propus să găsească răspuns la unele probleme din cadrul acestui domeniu de studiu, un domeniu interdisciplinar ce implică cunoașterea și stăpânirea unor noțiuni de fizica atmosferei, matematică, chimie organică și dispozitive electronice.

Capitolul 1 descrie detaliat formarea, structura și compoziția atmosferei terestre. Se știe că Pământul s-a format acum 4,5 miliarde de ani, iar prima atmosferă terestră conținea probabil H, He și câțiva compuși simpli ai hidrogenului, cum ar fi NH_3 sau CH_4 . Această atmosferă a fost îndepărtată însă de vânturile solare, deoarece planeta nu avea încă un câmp magnetic. O a doua atmosferă se presupune că s-a format datorită activității vulcanice puternice, atmosfera fiind alcătuită din gazele din interiorul fierbinte al planetei care au ajuns la suprafață. Compoziția acestei atmosfere a fluctuat îndelug de-a lungul milioanele de ani până să ajungă la forma actuală.

Primele studii științifice despre compoziția atmosferică au fost publicate în anii 1700. Compuși chimici din atmosferă au fost descoperiți unul după altul, confirmându-se astfel faptul că aerul este un amestec de gaze. După clarificarea compoziției fundamentale a atmosferei până la sfârșitul secolului al XIX-lea, atenția oamenilor de știință s-a concentrat asupra gazelor atmosferice aflate în concentrații foarte mici. În secolul XX au apărut noi direcții de cercetare, și anume analiza variației temporale a concentrațiilor gazelor și investigarea reacțiilor chimice din atmosferă.

Capitolul 2 prezintă compușii chimici existenți în troposferă. Astfel, sunt descriși principalii compuși ai carbonului (metanul – CH_4 , monoxidul de carbon – CO), ai azotului (oxizii de azot – NO_x , amoniacul – NH_3), ai sulfului (bioxidul de sulf – SO_2 , hidrogenul sulfurat – H_2S), dar și ozonul troposferic – O_3 . Pentru fiecare dintre aceste specii chimice au fost prezentate pe larg sursele naturale și antropogene, dar și modalitățile de eliminare sau reducere. De asemenea, în acest capitol este prezentată și chimia troposferică a fiecărui compus chimic descris, precum și efectele emisiilor crescute asupra sănătății umane și asupra mediului.

Capitolul 3 tratează într-un mod teoretic aspectele legate de aerosolul troposferic. Primele analize ale particulelor atmosferice au fost efectuate la sfârșitul anilor 1700, prin observații vizuale, iar la acea dată nu au fost emise definiții clare în privința aerosolilor. În 1880, cercetătorul britanic John Aitken a creat un instrument pentru a măsura ceea ce astăzi numim particule Aitken, el numindu-le la vremea respectivă *praf*. Tot Aitken a afirmat că particulele de aerosoli acționează ca nuclee pentru condensarea vaporilor de apă pentru formarea de ceață și nori. În a doua parte a secolului al XX-lea, s-a făcut legătura între prezența particulelor de aerosoli din atmosferă și creșterea numărului bolilor respiratorii și a ploilor acide, determinând necesitatea îmbunătățirii calității aerului prin reducerea emisiilor de aerosoli și a precursorilor acestora.

În această parte a tezei autorul a clasificat aerosolii, folosind diferite criterii, printre care tipul de particule, dimensiunea și originea acestora, compoziția chimică, localizarea geografică și în atmosferă, descriind pe scurt fiecare dintre clasele de aerosoli. Apoi sunt descrise sursele de aerosoli și de precursori de aerosoli, surse care pot fi naturale sau antropice, primare sau secundare. Principalele surse de aerosoli și precursori de aerosoli prezentate pe larg în acest capitol sunt sursele biogene, vulcanii, oceanele și apa dulce, deșertul și zonele polare, arderea biomasei și a combustibililor fosili. O sursă aparte o reprezintă sursa spațială, care cuprinde conversia gaz-particulă, norii ca sursă de aerosoli și nu în ultimul rând, sursa extraterestră.

Eliminarea aerosolilor din atmosferă este un alt aspect asupra căruia autorul lucrării a insistat, descriind principalele procese de îndepărtare a particulelor din atmosferă, fie prin depunere umedă

(precipitații), fie prin depunere uscată (difuzie turbulentă, sedimentare gravitațională, coliziune, interceptare, difuzie browniană).

În cadrul aceluiași capitol, autorul a prezentat principalele proprietăți fizice și chimice ale aerosolului, explicând pe larg noțiuni legate de concentrație, distribuția mărimii, compoziția chimică, solubilitatea în apă și durata de viață a aerosolilor.

La finalul capitolului III, autorul a prezentat efectele aerosolilor atmosferici, vorbind despre efectele directe și indirecte.

Capitolul 4 descrie sistemele optice active și pasive cu ajutorul cărora pot fi caracterizați compușii chimici. Astfel, dintre tehnicile active, care utilizează o sursă naturală de lumină, cel mai adesea razele solare, autorul a descris imagistica satelitară și fotometria solară, iar dintre tehnicile pasive, care utilizează o sursă de lumină artificială, proprie, precum sursa laser a fost prezentată tehnica de teledetecție LIDAR.

Capitolul 5 reprezintă contribuția autorului în care este prezentat și implementat un nou algoritm semiempiric care se bazează pe datele experimentale ale LIDAR-ului elastic și a tehnicilor complementare utilizate în fizica atmosferei pentru a calcula parametrii atmosferici relevanți în studiul turbulenței atmosferice și relația sa cu astronomia, meteorologia, sănătatea umană. Metoda propusă nu folosește tehnici directe de cercetare a atmosferei. Ea se bazează în primul rând pe implementarea modelului matematic realizat în limbajul de programare Python 3.6 care procesează multitudinea de date colectate de sistemul LIDAR, date care sunt necesare pentru a măsura profilurile RCS și pentru a calcula coeficientul de structură al indicelui de refracție atmosferică $C_N^2(z)$. Calculul acestor parametri deschide un nou orizont de calcul a altor mărimi fizice care pot să conducă la noi metode de obținere a parametrilor meteorologici. Noutatea metodei este dată de faptul că toți acești parametri noi obținuți sunt extrași doar cu ajutorul datelelor preluate de backscatter LIDAR (LIDAR-ul de retroîmprăștiere), implementați pe modelul matematic.

Capitolul 6 este contribuția autorului și prezintă etapele de sinteză chimică, de caracterizare și de testare a unor polimeri rezistenți la temperatură ridicată, cu proprietăți optice neliniare, în scopul utilizării acestora în componente electrooptice și în sisteme de procesare a semnalului optic de mare viteză. În acest capitol a fost investigată o serie nouă de poliimide aromatice funcționalizate cu cromofori legați covalent de catena principală, polimeri care sunt solubili în solvenți aprotici obișnuiți.

Caracterizarea prezentată include: măsurarea sensibilității neliniare de ordinul doi prin generarea de armonici secundare (SHG), spectroscopia UV-VIS și temperatura de tranziție vitrosă (T_g). De asemenea, au fost efectuate investigații de microscopie atomică (AFM) și măsurători profilometrice pentru straturile cipurilor obținute prin electrodepunere. Aplicarea noilor poliimide pentru dispozitivele electrooptice a fost testată și prin crearea de filme polimerice subțiri orientate, pe diferite substraturi și pregătirea unor ghiduri de undă plană.

Capitolul 7 reprezintă contribuția autorului la realizarea unui studiu referitor la impactul intruziunilor de praf saharian asupra proceselor atmosferice și în special asupra precipitațiilor. Studiul se întinde pe o perioadă de cinci ani, între 2013 și 2017, fiind realizat în zona de Nord-Est a României, presupunând monitorizarea perioadelor cu intruziune de praf saharian, precum și a condițiilor meteorologice din aceste perioade. Pentru prognozarea intruziunilor de praf saharian în zona de Nord-Est a țării, s-au folosit datele și modelul de praf BSC-DREAM8b furnizat de Barcelona Supercomputing Center (BSC). Acest centru furnizează date pentru Europa, Africa de Nord și Orientul Mijlociu. Modelul prognozează durata de viață atmosferică a prafului mineral cu ajutorul unor procese fizice care iau în considerare antrenarea prafului în atmosferă, advecția, precum și depunerea umedă și uscată. Deoarece modelul BSC-DREAM8b prezice încărcarea cu nori, autorul a ales să prezinte și prognoza referitoare la precipitații din perioada de studiu, utilizând sistemul meteorologic german, care oferă o colecție întreagă de hărți.

Scopul principal al acestui studiu a fost de a identifica modul în care praful saharian modifică prognoza precipitațiilor în regiunea de Nord-Est a României (Moldova). Studiarea proceselor de

transport și depunerea prafului din Sahara este importantă pentru a înțelege procesele actuale, pentru a putea prezice viitorul proceselor climatice și schimbările în echilibrul energetic al atmosferei.

Capitolul 8 prezintă concluziile finale, consemnări și discuții ale unor rezultate originale. Sunt marcate clar direcțiile viitoare de cercetare în domeniul fizicii atmosferei, în contextul înregistrării frecvente a unor fenomene meteorologice extreme. În acest capitol sunt prezentate rezultatele științifice ale autorului, validate de lumea internațională științifică, atât în perioada studiilor doctorale, cât și în perioada anterioară de cercetare.

Capitolul I - Structura și compoziția atmosferei

Atmosfera este numele generic dat învelișului gazos care înconjoară Pământul, înveliș relativ stabil, format dintr-un amestec de gaze simple (N, O), gaze rare (He, Ar, Xe), gaze sub formă moleculară (CO₂, CH₄, NH₃), dar și particule aflate în suspensie (aerosoli, fum, cenușă) sau particule hidrometeore (picături de ploaie, fulgi de zăpadă, cristale de gheață).

Pământul s-a format acum aproximativ 4,5 miliarde de ani. Prima atmosferă terestră conținea probabil H, He și câțiva compuși simpli ai hidrogenului, cum ar fi NH₃ sau CH₄. Această primă atmosferă terestră ar putea fi similară atmosferei de astăzi a lui Jupiter și Saturn. Pentru că planeta noastră nu avea încă un câmp magnetic care să-l protejeze, vântul solar puternic provenit de la Soare, a îndepărtat atmosfera, Pământul pierzându-și astfel atmosfera timpurie. Între timp, pe măsură ce Pământul s-a răcit, o crustă solidă cu mai mulți vulcani activi s-a format acum aproximativ 4,4 miliarde de ani. Datorită activității vulcanice puternice, gazele din interiorul fierbinte al planetei noastre au ajuns la suprafață. Aceste gaze – vapori de apă, CO₂ și NH₃, - au creat a doua atmosferă terestră. Atmosfera planetelor Marte și Venus de astăzi, care conține în principal CO₂, se presupune că ar fi similară cu cea de-a doua atmosferă terestră.

De-a lungul a sute de milioane de ani, atmosfera s-a răcit treptat, astfel încât mare parte din vaporii de apă au condensat, formând norii, și implicit precipitațiile. Acestea au dus la formarea oceanelor. Cea mai mare parte a CO₂ din atmosferă a fost absorbită de oceane, iar lumina solară a determinat ruperea moleculelor de NH₃, eliberând azotul în atmosferă.

Se presupune că oxigenul a fost produs în atmosferă prin disocierea fotochimică a vaporilor de apă, sub influența radiațiilor UV intense. Oricum, această cantitate a fost neglijabilă și O₂ liber a fost probabil produs prin fotosinteza unor mici organisme, cianobacteriile sau algele albastre-verzi, acum aproximativ 2,5 miliarde de ani. Fotosinteza folosește CO₂, apă și lumină și eliberează compuși organici (carbohidrați) și O₂.

În momentul în care oxigenul atmosferic a ajuns la 1 – 2% din nivelul oxigenului de astăzi, ozonul (O₃) a putut să se formeze, protejând astfel suprafața Pământului de radiațiile UV intense.

În acel moment au început să apară primele plante primitive care au facilitat procesul de fotosinteză și care, în decurs de câteva sute de milioane de ani (după unele studii aproximativ 700 milioane de ani) au reușit să scadă concentrația CO₂ de la circa 1 – 5% până la 0,04% și să crească procentul de O₂ din atmosferă.

Nivelul de O₂ a fluctuat în ultimele câteva milioane de ani, în diferite perioade de timp reglementate de climă, vulcanism și tectonica plăcilor. În cele din urmă, nivelul de O₂ atmosferic s-a stabilizat la aproximativ 21%

Filozoful grec Anaximenes (585 – 528 î.Hr.) a declarat că aerul este substanța principală și sursa tuturor celorlalte lucruri. Mai târziu, Empedocles (circa 490 – 430 î.Hr.) a descris aerul ca fiind unul dintre cele patru elemente, alături de apă, foc și pământ. Acest concept a fost acceptat până în secolul al XVIII-lea, când a apărut o întrebare: ***"Aerul este un compus sau un amestec de gaze individuale?"***

Primele studii științifice despre compoziția atmosferică au fost publicate în anii 1700. Compușii chimici din atmosferă au fost descoperiți unul după altul, confirmându-se astfel faptul că aerul este un amestec de gaze.

După clarificarea compoziției fundamentale a atmosferei până la sfârșitul secolului al XIX-lea, atenția oamenilor de știință s-a concentrat asupra gazelor atmosferice aflate în concentrații foarte mici.

În secolul XX au apărut noi direcții de cercetare, și anume analiza variației temporale a concentrațiilor gazelor și investigarea reacțiilor chimice din atmosferă.

Astăzi, provocările majore ale chimiei atmosferei sunt descrierea relațiilor și a proceselor de feedback dintre chimie și climă, precum și procesele de schimb dintre suprafață și atmosferă.

Atmosfera este un amestec de gaze, unele cu concentrații destul de constante, altele care sunt variabile în spațiu și timp. Azotul, oxigenul și argonul reprezintă aproximativ 99,96% dintre gazele permanente. Dintre constituenții variabili, se remarcă dioxidul de carbon, al cărui concentrație poate varia în anumite zone. Vaporii de apă reprezintă un alt constituent puternic variabil, cu concentrații pornind de la aproape 0% în regiunile cele mai reci și uscate ale atmosferei, până la circa 4% din volum în masele de aer fierbinte și cu umiditate ridicată.

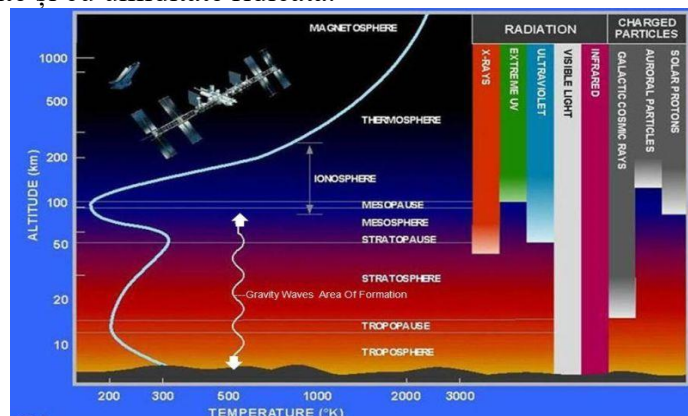


Figura nr. 1.1 – Stratificarea pe verticală a atmosferei, în funcție de temperatură

Straturile atmosferice sunt caracterizate prin variații ale temperaturii produse de variațiile în compoziția radiativă și chimică a atmosferei la altitudini diferite. Ținând cont de schimbările de temperatură cu înălțimea, atmosfera Pământului este împărțită în cinci straturi sferice concentrice, delimitate de zone înguste de tranziție. Fiecare strat este o regiune în care schimbarea temperaturii în raport cu înălțimea are o tendință constantă. Straturile sunt numite **sferă**, iar zonele de tranziție dintre straturile concentrice sunt numite **pauze**.

Capitolul 2 - Compuși troposferici cu risc major asupra climei și sănătății umane

Carbonul (C) este considerat un element esențial al biosferei, fiind deseori numit și ”temelia vieții”, deoarece organismele vii se bazează pe această substanță. Cele mai importante surse naturale de carbon sunt oceanul, biosfera și sursele geologice.

Concentrația sa în troposfera inferioară variază între 1,3 și 1,6 ppm, fiind ceva mai mare în emisfera nordică (1,41 ppm) decât în cea sudică (1,3 ppm), motivele fiind fie surse mai mari de emisie, fie o putere mai mică de consumare a metanului [6].

Sursele de metan troposferic se împart în două categorii:

- **surse antropogene**, care reprezintă aproximativ 80% din metanul atmosferic, adică $500 - 800 \times 10^6$ tone/an. În acest caz, metanul este de natură biologică provenind din fermentația enterică a animalelor (în special a bovinelor) [6, 7], din plantațiile de orez, forarea gazelor naturale, extracția cărbunelui, depozitele de deșeuri și arderea biomasei. Fermentația bacteriană a materiei organice este anaerobă. Sursele de metan ”mort” (industrial) au o contribuție minoră, de aproximativ $15 - 50 \times 10^6$ tone/an, astfel încât impactul asupra ciclului metanului poate fi neglijat.
- **surse naturale**, reprezentate de zonele umede, mlaștini, bălți, lacuri, oceane și chiar termite [8].

Reducerea metanului troposferic se poate realiza pe trei căi distincte:

- oxidarea cu radicalii OH în troposferă, care este responsabilă pentru aproximativ 90% din totalul de CH_4 transformat. Se estimează că 440 Tg/an de CH_4 este oxidat cu ajutorul radicalilor OH în timpul zilei și 5 Tg/an în timpul nopții. Cea mai mare parte a transformării metanului se produce în zonele tropicale, și doar o mică parte are loc la latitudini mai mari.
- oxidarea în stratosferă: se estimează că aproximativ 5% din CH_4 este distrus prin reacțiile cu OH, Cl și O atomic.
- absorbția la nivelul solului: CH_4 este oxidat de bacteriile metanotrofice prezente în solurile aerobe. Atât oxidarea la nivel stratosferic, cât și cea de la nivelul solului, contribuie fiecare cu îndepărtarea a aproximativ 30 Tg CH_4 anual [9].

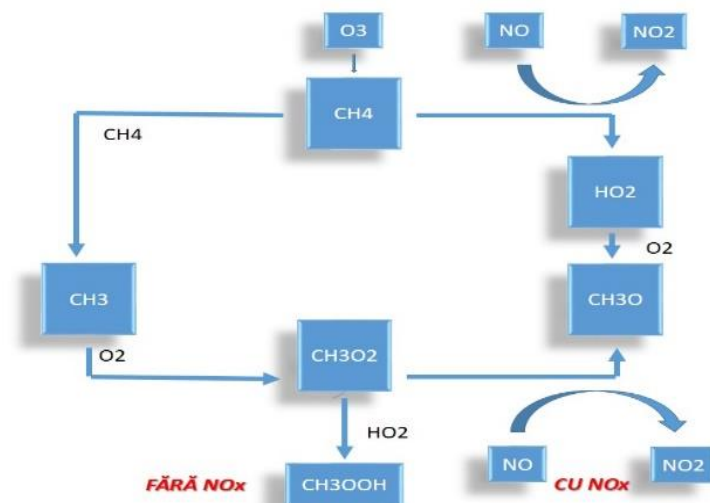


Figura nr. 2.2 - Ciclul oxidării CH_4 troposferic.

Din punct de vedere al protecției mediului, doi dintre oxizii de azot (monoxidul de azot – NO și bioxidul de azot – NO_2) au un rol foarte important în chimia troposferei, calitatea aerului și climă. Astfel, atât producția fotochimică de O_3 , cât și radicalii OH din troposferă depind în mare măsură de concentrația NO_x . Reacțiile dintre NO_x și hidrocarburi sunt surse importante de O_3 în troposferă.

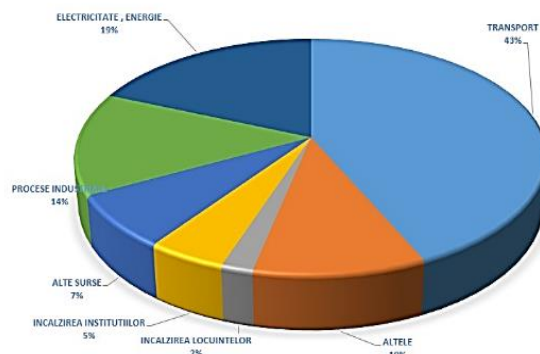


Figura nr. 2.5 – Surse de NO_x troposferic

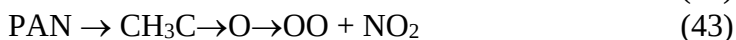
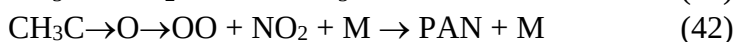
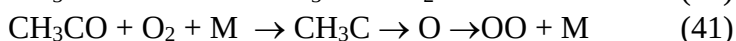
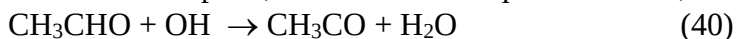
Ozonul troposferic acționează ca un gaz cu efect de seră și influențează timpul de viață al altor gaze cu efect de seră. Este binecunoscut faptul că reacția cu radicalii OH reprezintă principalul mod de îndepărtare a unor compuși chimici atmosferici precum CO și CH₄. Reacția dintre NO₂ și OH produce acid azotic (HNO₃), care este unul dintre principalii componenți ai ploii acide.

NO_x este produs atât din surse naturale, cât și antropogene, în special în troposfera joasă. Mare parte din cantitatea de oxizi de azot prezentă în atmosferă, 21 – 89 x 10⁶ t/an, o reprezintă NO_x produși pe cale naturală, biologică. Oxizii rezultă din acțiunea denitrificantă a bacteriilor asupra solurilor acide, în zonele non-urbane. Alte surse naturale pentru NO_x sunt fulgerele (care pot produce importante cantități de NO_x), erupțiile vulcanice (care emit cantități foarte mici de oxizi), incendiile spontane de vegetație și oxidarea amoniacului atmosferic.

O altă sursă importantă de NO_x este cea provenită din activitățile omului. Sursele antropogene de NO_x includ arderea combustibililor fosili și a biocombustibililor, provenite în principal de la centrale electrice, din transport și din industrie.

Principalul mod de îndepărtare a NO_x din atmosferă este oxidarea la acid azotic, HNO₃.

Cercetările au arătat că un mecanism eficient pentru transportul pe distanțe lungi a NO_x este formarea peroxi-acetil-nitraților (PAN). PAN este produs în troposferă prin oxidarea fotochimică a compușilor carbonil (aldehide și cetone) în prezență de NO_x. Compușii carbonil sunt produși prin oxidarea fotochimică a hidrocarburilor emiși de o mare varietate de surse antropice și biogene. Cu toate acestea, în troposfera de mijloc și cea superioară, PAN poate fi transportat pe distanțe lungi, după care se descompune, eliberând NO_x departe de sursă,



Ozonul este produs în mod natural în stratosferă, având o concentrație maximă la o altitudine de aproximativ 25 km. De asemenea, este distrus în mod natural prin absorbția radiației ultraviolete (UV) (0,2 – 0,3 μm) și prin reacții chimice cu alți compuși atmosferici. Echilibrul natural între producție și distrugere duce la menținerea stratului de ozon stratosferic, care, în prezent este supus unor efecte antropice substanțiale. O cantitate mult mai mică de O₃ este generată la suprafața Pământului și rămâne la nivel troposferic [37].

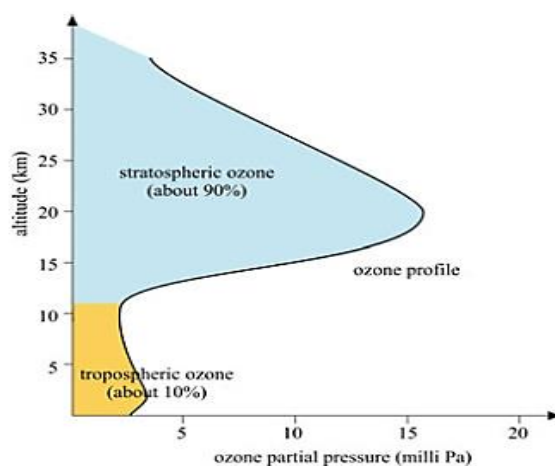


Figura nr. 2.10 – Ozonul în atmosferă

Deși este subțire, ozonul stratosferic joacă un rol important în reglarea balanței termice și de radiații a stratosferei, deoarece el absoarbe radiația solară ultravioletă cu lungimi de undă între 210 – 320 nm. O consecință importantă a acestei absorbții este faptul că radiația UV letală pentru speciile vii nu atinge straturile inferioare ale atmosferei. De asemenea, ozonul joacă un rol major în fotochimie, fiind implicat în ciclurile chimice ale azotului, carbonului, hidrogenului, oxigenului și halogenilor.

Ozonul este produs și eliminat constant din atmosferă într-un ciclu natural.

Sursele majore ale O_3 troposferic sunt totuși reacțiile chimice care au loc atunci când monoxidul de carbon CO , oxizii de azot NO_x și compușii organici volatili COV, precum xilenul, reacționează în atmosferă în prezența razelor solare. CO , NO_x și COV se numesc precursori ai ozonului.

O_3 se poate forma prin combinarea unui atom cu o moleculă de oxigen. Cu toate acestea, atomul de O nu se poate forma în troposferă prin fotodisocierea O_2 (ecuația 61), deoarece această reacție necesită lungime de undă scurtă, $\lambda < 242$ nm, lungime care nu este întâlnită în troposferă, datorită absorbției de către O_3 stratosferic. În troposferă NO_2 este singurul compus cunoscut care poate produce atomi de O în timpul fotodisocierii la o lungime de undă $\lambda < 420$ nm.

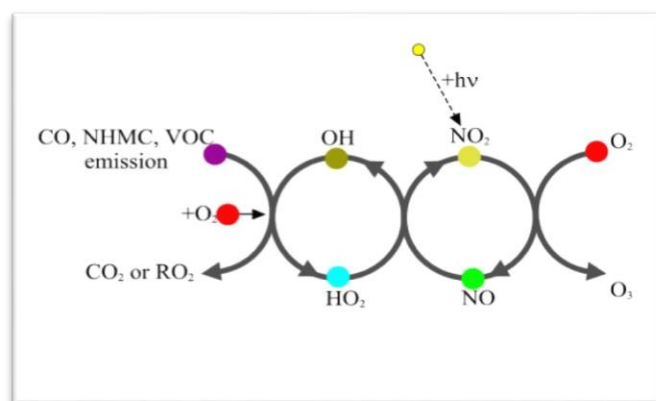


Figura nr. 2.12 – Producerea fotochimică a O_3 în troposferă

În locul CH_4 , în acest lanț de reacții pot participa și alți compuși organici (compuși nemetanici, VOC), pe lângă O_3 formându-se și cetone sau alți compuși carbonil.

Capitolul 3 – Aerosolul troposferic

Dimensiunile aerosolilor atmosferici variază de la câțiva nanometri până la zeci sau uneori sute de micrometri în diametru ($10^{-9} - 10^{-4}$ m). Odată emiși, aerosolii își pot schimba dimensiunea și compoziția prin condensare sau prin evaporare, prin coagulare cu alte particule, prin reacții chimice sau prin activare în prezența apei suprasaturate, formând astfel ceața sau picăturile de nor.

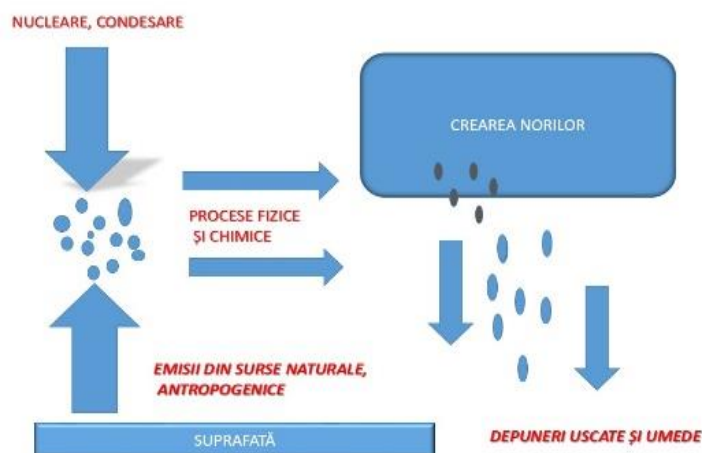


Figura nr. 3.2 – Ciclul atmosferic al particulelor de aerosoli [1]

Odată ajunse în atmosferă, particulele de aerosoli evoluează în timp și spațiu. Astfel, aerosolii:

- pot fi transportați în atmosferă;
- pot fi eliminați din atmosferă prin depunere uscată și umedă
- pot suferi diverse procese fizice, în timpul cărora au loc modificări ale dimensiunii și compoziției. Aceste procese fizice sunt: nuclearea, coagularea, condensarea/evaporarea.
- pot suferi procese chimice, cu modificări de structură.

Aerosolii influențează climatul atât în mod direct, cât și indirect, în funcție de proprietățile lor optice. Aerosolii, care includ praful, sarea de mare, emisiile vulcanice, fumul din incendiile forestiere și unele tipuri de poluare, afectează **în mod direct** cantitatea de radiații solare care ajunge pe pământ, prin împrăștierea și absorbția radiațiilor de intrare. Cu alte cuvinte, forțarea radiativă directă afectează în mod direct balanța radiativă a Pământului.

Împrăștierea radiațiilor prin particule de culoare deschisă tinde să răcească suprafața Pământului, iar absorbția radiațiilor prin particulele de culoare închisă tinde să încălzească atmosfera. Astfel, aerosolii pot simultan să răcească suprafața Pământului și să încălzească atmosfera.

Pe lângă interacțiunea lor directă cu razele solare, aerosolii influențează **climatul indirect**, prin interacțiunea cu norii. Când apa se evaporă de pe suprafața Pământului, se dispersează în atmosferă. Fără aerosoli, vaporii de apă ar continua să se disperseze până când s-ar distribui uniform în atmosferă, dar astfel nu ar exista nici nori și nici ploi. Acest lucru se datorează faptului că vaporii de apă au nevoie de o suprafață pe care să condenseze sau să formeze picături de lichid. Aerosolii asigură această suprafață, servind astfel ca nuclee de condensare [1, 32].

Creșterea concentrației de aerosoli poate determina creșterea procesului de condensare datorită furnizării unui număr mai mare de suprafețe pe care se pot forma picăturile de ploaie. S-a demonstrat științific faptul că norii în care aerosolii antropici au servit drept nuclee de condensare sunt diferiți de norii în care aerosolii au fost de origine naturală. Deoarece aerosolii antropici sunt de obicei mai mici și mai numeroși decât cei naturali, norii care conțin o cantitate mare de astfel de aerosoli vor fi alcătuiți din mai multe picături de apă de dimensiuni mai mici. Norii care conțin mai multe picături mici sunt mai luminoși decât cei cu picături mai mari, ceea ce înseamnă că vor reflecta mai multă radiație solară

înapoi în spațiu. Acest fenomen este întâlnit în literatură sub numele de *efect albedo* sau *efect Twomey* [42]. Particulele mici scad eficiența precipitațiilor, prelungind astfel durata de viață a norului. Această luminozitate crescută are un efect de răcire, care ar putea fi de așteptat să contracareze tendința de încălzire indusă de bioxidul de carbon, CO₂. Cu toate acestea, picăturile mici se evaporă adesea înainte să atingă suprafața terestră ca și precipitații.

Astfel, un posibil rezultat al poluării cu aerosoli ar putea fi mai mulți nori, dar mai puține precipitații [72].

Capitolul 4 – Sisteme optice active și pasive de caracterizare a compușilor chimici

Compușii chimici și implicit aerosolii prezenți în atmosferă pot fi analizați și caracterizați utilizând o serie de tehnici optice. Aceste tehnici, în funcție de sursa folosită, pot fi:

- **tehnici active**, care utilizează o sursă naturală de lumină, cel mai adesea razele solare. Din această categorie fac parte:
 - imagistica satelitară
 - fotometria solară
- **tehnici pasive**, care utilizează o sursă de lumină artificială, proprie, precum sursa laser. În categoria tehnicilor pasive intră:
 - tehnici de teledetecție LIDAR

CAPITOLUL 5 – O abordare axată pe turbulență pentru a prelua diferiți parametri atmosferici folosind tehnici avansate de procesare a datelor din LIDAR

În cadrul studiului publicat, am prezentat un nou algoritm semiempiric care se bazează pe datele experimentale ale LIDAR-ului elastic și a tehnicilor complementare utilizate în fizica atmosferei pentru a calcula parametri atmosferici relevanți în studiul turbulenței atmosferice. Metoda propusă nu folosește tehnici directe de cercetare a atmosferei. Ea se bazează în primul rând pe implementarea modelului matematic realizat în limbajul de programare Python 3.6 care procesează multitudinea de date colectate de sistemul LIDAR, date care sunt necesare pentru a măsura profilurile RCS (Range Corrected Signal, semnalul corectat cu distanța) și pentru a calcula coeficientul de structură al indicelui de refracție atmosferică $C_N^2(z)$. Calculul acestor parametri deschide un nou orizont de calcul a altor mărimi fizice care pot să ne conducă la noi metode de obținere a parametrilor meteorologici. Noutatea metodei este dată de faptul că toți acești parametri noi obținuți sunt extrași doar cu ajutorul datelor preluate de backscatter LIDAR (LIDAR-ul de retroîmprăștiere), implementați pe modelul matematic.

În timpul experimentelor noastre au fost obținute mai multe pachete de date care au putut fi implementate pe modelul matematic stabilit pentru a obține profiluri atmosferice ce pot furniza date utile. Următoarele profiluri au fost realizate analizând datele LIDAR RCS obținute și compilate la data de 28 mai 2017 (fig 5.1 a, b, c) în laboratorul LOASL (Optical Atmosphere Spectroscopy and Lasers Laboratory), care aparține Facultății de Fizică din cadrul Universității "Alexandru Ioan Cuza" din Iași, cu coordonatele 47.19306° Nord și 27.55556° Est. Măsurătorile au fost realizate pe parcursul a aproximativ 5 ore, de la 20:01 până la 00:56.

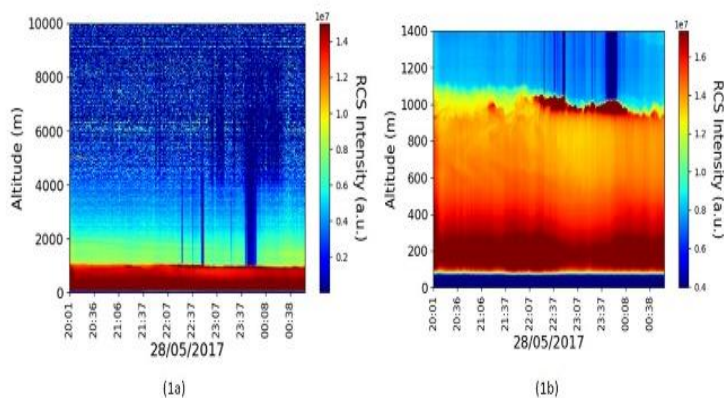


Figura nr. 5.1 – Serii de timp RCS înregistrate la data de 28 mai 2017,

Rezultatele măsurătorilor LIDAR RCS prezentate în figura 5.1 (a – d) au fost obținute folosind o rezoluție temporală de 1 minut și o rezoluție spațială de 3,75 m. Figura 5.1(a) prezintă întreaga perioadă de timp RCS, de la ora 20:01 la 00:56 și până la o altitudine de 10 km. Intervalul de timp RCS prezentat în fig. 5.1(b) cuprinde aceeași perioadă orară, însă altitudinea este până la 1.400 m, iar în fig. 5.1(c), intervalul de timp RCS este detaliat între 1.200 și 2.400 m altitudine.

Pentru realizarea profilurilor RCS (figura 5.2 a - d), rezoluția temporală a fost de 1 minut, iar rezoluția spațială a fost de 3,75 metri. Fiecare din cele patru grafice reprezintă un profil RCS înregistrat la orele 20:01, 21:01, 22:01 și 23:01. În figură, linia neagră reprezintă profilul RCS, iar linia albastră – prelucrarea Savitzky – Golay a profilului RCS respectiv. Prelucrarea Savitzky – Golay se referă la aplicarea unui filtru digital pe un set de puncte de date digitale în scopul netezirii datelor, adică pentru a crește precizia datelor fără a denatura tendința semnalului.

Seria temporală a profilurilor RCS ajută la stabilirea unei evaluări rapide a atmosferei, acționând ca ghid principal pentru selectarea anumitor secvențe de date pentru o analiză ulterioară (figura 5.1).

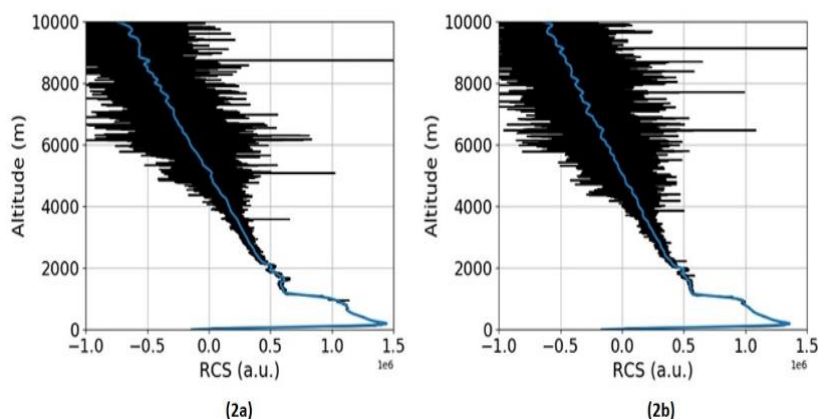


Figura nr. 5.2 – Profiluri RCS

Cele patru profiluri de retroîmprăștiere prezentate în figura 5.6 (a – d) au fost realizate la o rezoluție temporală de 1 minut și o rezoluție spațială de 3,75 metri. În cele patru grafice, linia neagră reprezintă profilul $\beta(z)$, linia albastră este profilul $\beta_a(z)$, iar linia roșie – profilul $\beta_m(z)$. Profilurile au fost realizate cu date înregistrate din oră în oră, începând cu 20:01, timp de patru ore. Profilul de backscatter (retroîmprăștiere) al aerosolului prezintă valori care sunt cel puțin de două ori mai mari decât cele înregistrate de backscatterul molecular în regiunea PBL, dar acest lucru este de așteptat în contextul condițiilor climatice ale unui oraș mare precum Iașiul și al aerosolilor (figura 5.6).

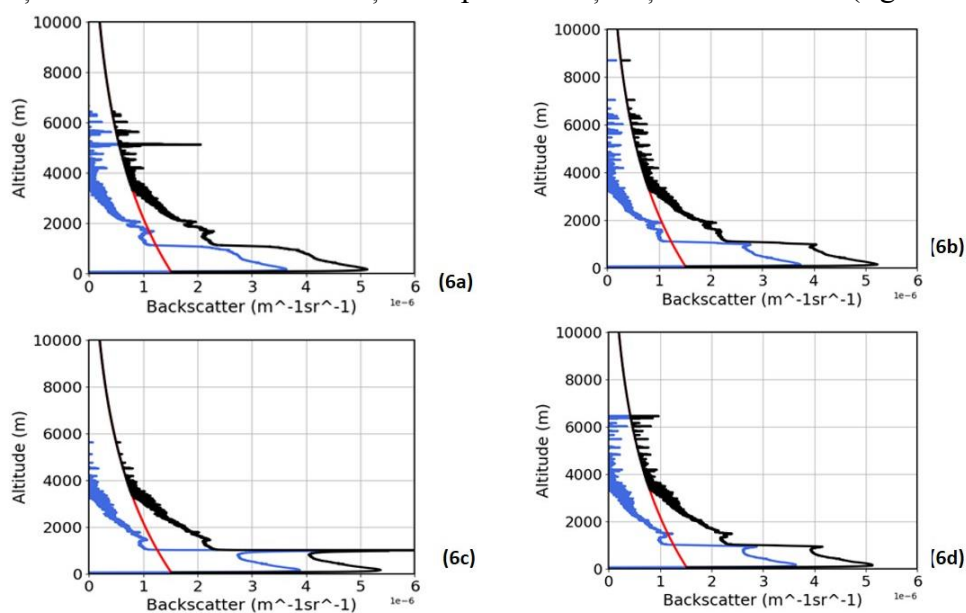


Figura nr. 5.6 – Profiluri de retroîmprăștiere

Pentru realizarea profilurilor atmosferice de vânt din figura 5.7 (a – d) s-a folosit o rezoluție temporală de 1 minut și o rezoluție spațială de 3,75 metri; iar scintilația a fost calculată cu 3 profiluri RCS. Cele patru grafice din figura 60 prezintă: (a) – profil $U(z)$ înregistrat la 20:01; (b) - profil $U(z)$ înregistrat la 21:01; (c) - profil $U(z)$ înregistrat la 22:01; (d) - profil $U(z)$ înregistrat la 23:01.

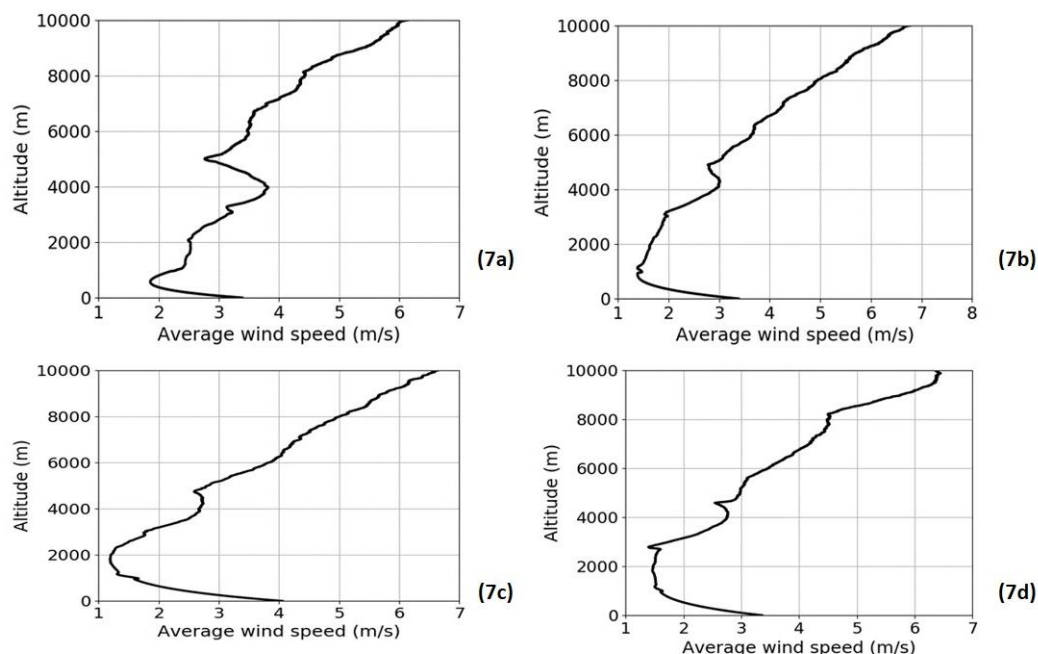


Figura nr. 5.7 – Profiluri de vânt $U(z)$

Multe dintre profilurile și parametrii obținuți au aplicații imediate pentru o varietate de cazuri referitoare la sănătatea și siguranța publică. Prima dintre aceste aplicații poate fi găsită în relația dintre fenomenele de poluare urbană extremă și variațiile în stratul limită planetar, înălțimea cărora poate fi calculată numeric și estimată calitativ din datele RCS.

Viteza medie a vântului obținută teoretic poate fi extrasă din derivatul său $\beta_U(z)$. Această valoare ajută la prognoza evenimentele meteorologice extreme care apar în raport cu modificările bruște și intense din stratul limită planetar. Unul dintre aceste fenomene meteorologice este microrafala (microburst), o rafală descendentă intensă la scară mică ce precede sau este produsă de furtuni sau ploi torențiale.

Microrafala este de două tipuri: "uscată" și "umedă". Microrafala "uscată" este cauzată în principal de evaporarea ploii medii sub baza norului, în timp ce evenimentul "umed" este influențat de fenomenul anterior și de evaporarea precipitațiilor [133]. Acestui fenomen meteorologic i-au fost atribuite numeroase accidente aviatice fatale, precum și incidente grave în care a fost afectată infrastructura. Un exemplu este cel din data de 21 decembrie 1992, când un avion de tip McDonnell Douglas DC-10-30 s-a prăbușit pe aeroportul din Faro în Portugalia, în timp ce ateriza, ducând la decesul a 56 persoane și 106 răniți [134]. Un alt exemplu a fost înregistrat pe 20 aprilie 2012, când un Boeing 737 s-a prăbușit pe aeroportul din Islamabad, Pakistan, toți cei 127 de pasageri pierzându-și viața [135]. Cele două accidente, dar și altele, s-au datorat unor fenomene de tip microburst. Alte exemple de daune provocate de astfel de fenomene includ distrugerea a mai mult de jumătate din campusul Universității din Kansas și daunele aduse mai multor case din Sioux Falls, Dakota de Sud, costul reparațiilor fiind estimat la aproximativ 6 milioane USD și, respectiv, 500 000 USD [136].

CAPITOLUL 6 – Studiul unor noi polimeri pentru aplicații ale senzorilor de monitorizare a dinamicii compușilor poluanți din atmosferă

Compușii poluanți din aerul atmosferic sunt influențați de variabilitatea parametrilor meteorologici (în special de radiație și temperatură) și astfel, reacțiile fizico-chimice din atmosferă depind și de dinamica parametrilor meteorologici. Monitorizarea unei clase de poluanți alese trebuie să fie în strictă corelație cu această dinamică. Un răspuns eficient al senzorilor de monitorizare atât a calității aerului cât și a parametrilor meteorologici prezintă o provocare continuă de a îmbunătăți și dezvolta noi materiale ce stau la baza realizării senzorilor moderni de monitorizare în condiții extreme așa cum sunt temperaturile ridicate.

În acest capitol am prezentat etapele de sinteză chimică, de caracterizare și de testare a unor polimeri rezistenți la temperatură ridicată, cu proprietăți optice neliniare, în scopul utilizării acestora în componente electrooptice și în sisteme de procesare a semnalului optic de mare viteză. Aplicarea noilor poliimide pentru dispozitivele electrooptice a fost testată și prin crearea de filme polimerice subțiri orientate, pe diferite substraturi și pregătirea unor ghiduri de undă plană.

În acest studiu sunt investigate o serie nouă de poliimide aromatice și cicloalifatică funcționalizate cu cromofori legați covalent de catena principală, polimeri care sunt solubili în solvenți aprotici obișnuiți. Solvenții aprotici sunt solvenții în a căror structură nu există legături O – H sau N – H, ca de exemplu acetonă, acetonitrilul, dimetil formamida – DMF.

Polimerul folosit în acest studiu este eterul polifenilchinoxalina (PPQ-eth), al cărui structură chimică este prezentată în figura 6.1. Catena principală include fragmentul de difenilchinoxalină legat de punțile eterice. Atât fenilul cât și gruparea eterică contribuie la o bună solubilitate și la proprietățile excelente de formare a unor filme ale acestui polimer [146]. Primele publicații referitoare la polifenilchinoxalină au fost elaborate de Stille și colab., și de Wrasidlo și colab. [147-150].

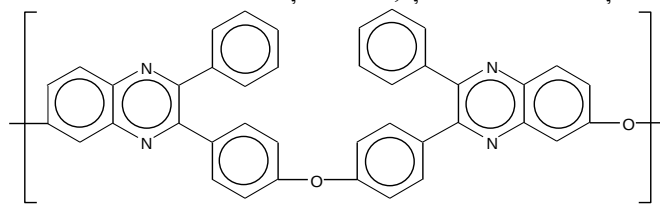
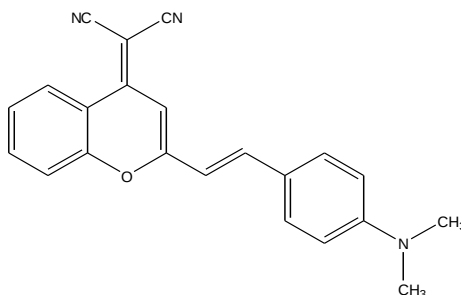


Figura nr. 6.1 - Structura chimică a polimerului principal PPQ-eth, care conține resturi eterice flexibile în lanțul principal

Figurile 6.2 – 6.4 prezintă structura chimică a trei cromofori noi investigați în sistemele PPQ ”guest – host”.



**Figura nr. 6.2 – Structura chimică a cromoforului CH01:
2- {2- [2- (4-dimetilamino-fenil)- vinil]-chromen-4-iliden}-malonitril**

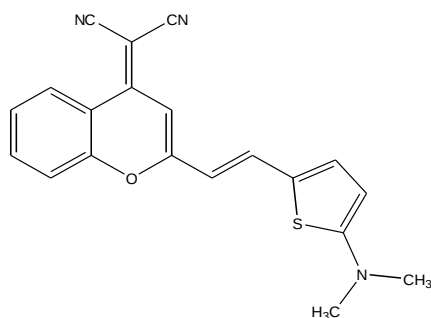


Figura nr. 6.3 – Structura chimică a cromoforului CH02:
2- {2- [2- (5-dimetilamino-tiofen-2-il) -vinil] -chromen-4-iliden} -malonitril

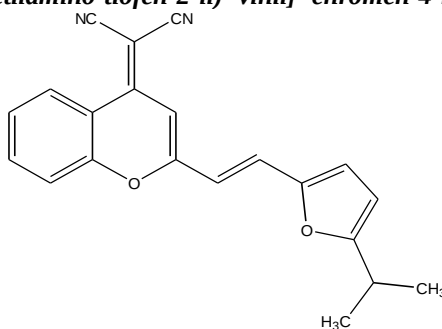


Figura nr. 6.4 – Structura chimică a cromoforului CH03:
2- {2- [2- (5-dimetilamino-furan-2-il) -vinil] -chromen-4-iliden} -malonitril

Proprietățile termice ale materialului matricei PPQ-eth, ale cromoforului CH01 și ale sistemului ”guest – host” au fost investigate prin termogravimetrie (TGA), calorimetrie de scanare diferențială (DSC) (figurile 6.5 și 6.6) și prin măsurarea curenților de depolarizare stimulați termic (TSDC) (figura 6.7).

TGA scoate în evidență temperatura debutului descompunerii termice (T_d) și temperatura la care se produce 5% din pierderea în greutate (T_{d5}), ambele măsurate cu o viteză constantă de încălzire de 20 °C/min. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 6.1. Tehnica DSC a fost utilizată pentru a determina temperatura de tranziție vitroasă (T_g) a polimerului, măsurată cu o rată de încălzire constantă de 5 °C/min. T_g este o temperatură diferită pentru fiecare polimer: când polimerul este răcit sub această temperatură, acesta devine dur și fragil, precum sticla, iar când este încălzit (nu topit) peste această temperatură, devine moale, maleabil. T_g este diferită datorită celor trei cromofori diferiți. Valorile obținute ale T_g sunt destul de scăzute datorită grupării eterice din structura polimerului PPQ, grupare care determină o flexibilitate crescută. Cu cât lanțul polimeric este mai flexibil, cu atât T_g are o valoare mai mică [152].

PPQ-ul este solubil în cloroform, 1,1,2,2-tetraclorețan și N-metil-pirolidonă și același lucru este valabil și pentru cei trei cromofori. Sistemele PPQ-eth și PPQ cu cromofor pot forma filme omogene și netede, depuse prin spin coating din soluții în care s-a folosit 1,1,2,2-tetraclorețanul drept solvent [150, 158]. În tabelul 6.2 se prezintă grosimea per monostrat pentru multistraturile de PPQ-eth/CH01 depuse pe diferite tipuri de substraturi, determinate prin metode elipsometrice. Monostratul a fost format prin centrifugarea a 50 – 150 μ L de soluție.

Morfologia suprafeței filmelor a fost obținută utilizând un microscop de forță atomică (AFM) (Autoprobe VP 2 Park Scientific Instruments), care funcționează în mod noncontact, în aer, la temperatura camerei.

Grosimea filmelor subțiri investigate a fost măsurată utilizând un dispozitiv Dektak Profilometer (DEKTAK 3 de la Veeco Instruments), care are capacitatea de a măsura înălțimea pasului până la câțiva nm. A fost aleasă o zonă de scanare de 3 μ m, iar rugozitatea medie (R_{ms}) a fost măsurată pe toate probele la o forță constantă a vârfului, așa cum se poate vedea în imaginile AFM (figurile 6.8 și 6.9). Rugozitatea R_{ms} măsurată a fost de 2 nm [158]. Valoarea scăzută a rugozității R_{ms} este

promițătoare. Acest lucru indică faptul că din aceste materiale ar putea fi proiectate ghidurile de undă optice de înaltă calitate.

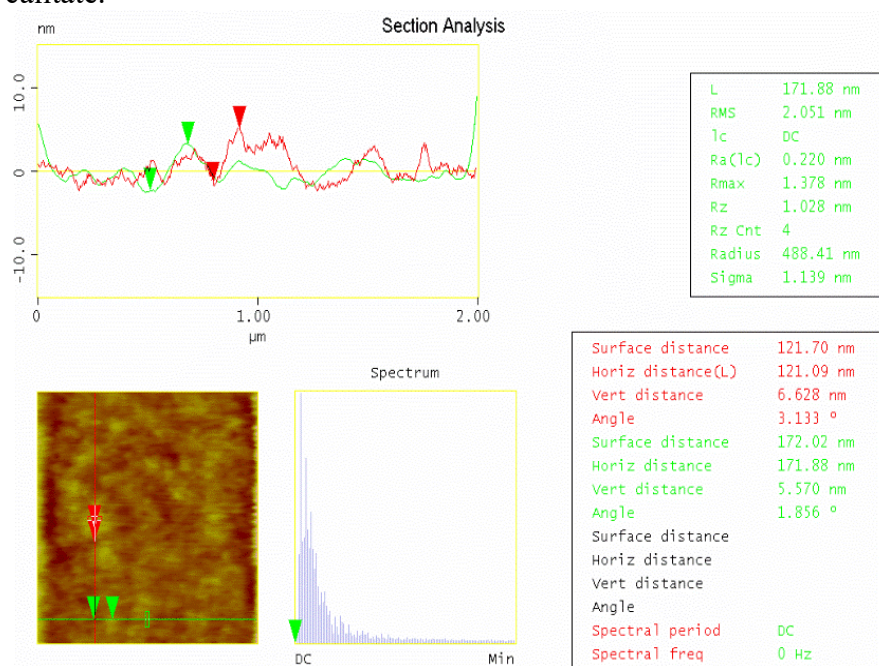


Figura nr. 6.8 – Analiza profilometrică a imaginilor topografice AFM ale filmelor "guest – host" (PPQ-eth-CH01) depuse prin spin coating pe substrat de cuarț la o viteză constantă de 2.000 rpm

Pentru a îmbunătăți performanțele dispozitivelor fotonice integrate, am construit și evaluat un prim ghid de undă cu sloturi pe substrat de siliciu acoperit cu PPQ-eth/CH01. Ghidul de undă este încorporat într-un material optic organic nelinear pentru a realiza produse cu consum mic de energie. În domeniul senzorilor optici, ghidurile de undă planare permit detectarea indicelui de refracție pt diferite suprafețe.

Pentru a transfera moleculele inițiatoare pe suprafețe, s-a pregătit o amprentă CH01/PPQ-eth. Amprenta CH01/PPQ a fost preparată prin gravarea unui model pe siliciu, folosind fotolitografia și gravarea cu ioni reactivi, turnarea prepolimerului pe siliciul gravat, optimizarea polimerului și desprinderea polimerului din matriță [148 – 150]. Schema este ilustrată în figura 6.13. Aceasta a arătat că în timpul reacției Heck, monomerii au reacționat cu moleculele inițiatoare adsorbite în zonele modelate pe suprafață și nu au fost adsorbite în zonele nemodelate (figura 6.14).



Figura nr. 6.13 – Modelul amprentei de pe suprafață

CAPITOLUL 7 – Praful mineral și observații meteorologice în Nord-Estul României. Studii de caz.

Pe lângă datele publicate în studiile efectuate pe durata perioadei doctorale, în prezent sunt în stadiu avansat de procesare a unor date meteo pentru o perioadă de 5 ani. Datele au fost preluate de la Centrul de Supercomputing din Barcelona (BSC) și au o valoare importantă întrucât, cu ajutorul lor poate fi descrisă evoluția unor fenomene meteorologice severe care au avut loc pe teritoriul Europei, dar, ce este mai important, ele pot contribui la explicarea și prognozarea unor fenomene viitoare periculoase.

Corelarea datelor preluate cu prognozele meteo ale Agenției Naționale de Meteorologie poate duce la explicarea modului în care praful saharian influențează procesele atmosferice, dar și precipitațiile: fie determină apariția precipitațiilor, uneori în cantități foarte mari, fie le suprimă.

Impactul prafului mineral asupra picăturilor de nor și asupra cantității de precipitații a fost extensiv studiată de mai mulți autori. Unii dintre ei au folosit modele teoretice, care au prognozat o creștere a cantității de precipitații. Alții au prezentat observații care au arătat contrariul, ceea ce înseamnă că praful mineral ar împiedica precipitarea. Aceste rezultate contradictorii arată că impactul prafului mineral atât la nivelul norilor, cât și la nivelul precipitațiilor, depinde de condițiile atmosferice.

Atunci când am început acest studiu, scopul principal a fost de a identifica modul în care praful saharian modifică prognoza precipitațiilor în regiunea de Nord-Est a României (Moldova). Studiarea proceselor de transport și depunerea prafului din Sahara este importantă pentru a înțelege procesele actuale, pentru a putea prezice viitorul proceselor climatice și schimbările în echilibrul energetic al atmosferei. Studiul efectuat se întinde pe o perioadă de 5 ani, din 2013 în 2017 și presupune monitorizarea perioadelor cu intruziune de praf saharian, precum și a condițiilor meteorologice din aceste perioade.

Cu ajutorul modelului BSC-DREAM8b, pe parcursul celor 5 ani de studiu, în Nord-Estul României au fost prognozate 66 de evenimente de praf saharian, ceea ce înseamnă un total de aproximativ 246 de zile. Conform datelor prelucrate din toți cei cinci ani de studiu, luna decembrie este singura luna din întreaga perioadă în care nu a fost prognozată niciun eveniment de intruziune de praf saharian. Distribuția lunară relativă a numărului de evenimente cu praf saharian prognozate este prezentată în figura 7.1. Se observă că există două maxime relative în lunile aprilie și mai, fiecare cu câte nouă evenimente prognozate, în timp ce, la polul opus sunt lunile noiembrie, cu două evenimente și decembrie, fără niciun eveniment.

<i>Anul</i>	<i>Numărul de evenimente</i>	<i>Numărul de zile</i>
2013	13	49
2014	12	41
2015	14	54
2016	14	61
2017	13	41
TOTAL	66	246

Figura 7.2 prezintă numărul de zile, pentru fiecare lună, în care a fost prognozat praf saharian. Numărul maxim a fost de 43 de zile, pentru luna mai, urmat de luna aprilie, cu 39 de zile, iar numărul minim a fost de doar 4 zile prognozate, în luna noiembrie, pe parcursul celor cinci ani.

Din datele prezentate în tabelele 7.2 și 7.3 se poate observa că numărul perioadelor prognozate cu praf saharian variază în funcție de anotimp. Astfel, primăvara (lunile martie, aprilie și mai) au fost prognozate 25 evenimente, 106 zile; vara (iunie, iulie și august) – 17 evenimente, 63 zile; toamna (septembrie, octombrie, noiembrie) – 13 evenimente, 42 de zile, iar iarna (decembrie, ianuarie, februarie) – 11 evenimente, 35 de zile.

Numărul scăzut de intruziuni din perioada rece a anului (lunile de toamnă și iarnă) ar putea fi datorat:

- emisiei scăzute de praf în regiunea sahariană, emisie tipică acestei perioade;
- posibilei depuneri umede a aerosolului în timpul transportului peste Europa, până în zona țării noastre;
- comportamentul sezonier al transportului de praf din regiunea mediteraneană, din cauza mișcărilor curenților de aer în timpul perioadei reci a anului [161].

Pentru acest prim studiu de caz, am ales evenimentul de transport de praf care a durat 8 zile, în perioada 17 – 24 Mai 2013. Deși la nivelul întregii țări perioada cu praf a fost de 8 zile, pentru partea de NE au existat fluctuații ale încărcării atmosferice cu praf.

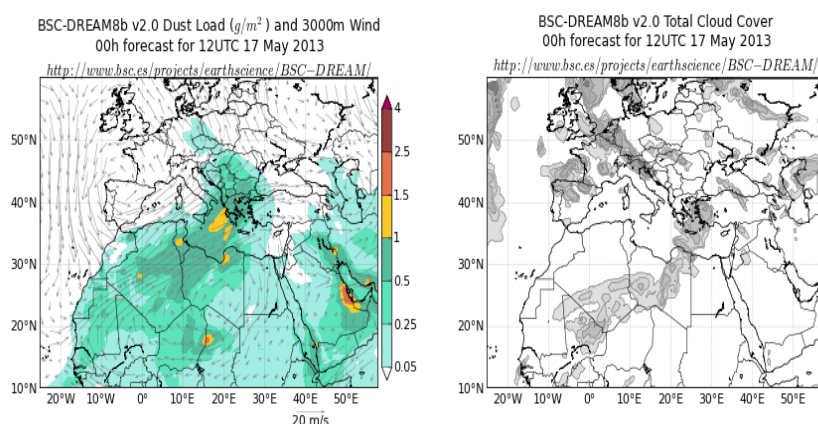


Figura nr. 7.5 – Prognozele BSC-DREAM8b arată încărcarea cu praf din perioada cu intruziune 17 – 24 Mai 2013

Imaginile prezintă încărcarea atmosferică prognozată, exprimată în g/m^2 , precum și direcția curenților de aer la o altitudine de 3.000 metri.

Pentru a face o corelație între prognoza modelului BSC-DREAM8b și evenimentele care au avut loc în realitate, am folosit și imaginile preluate de satelitul MODIS, care aparține agenției NASA, din zilele cu praf saharian. Imaginile satelitare sunt actualizate o dată la 3 ore, reușind să prezinte întregul glob pământesc, așa cum arată el ”chiar acum”.

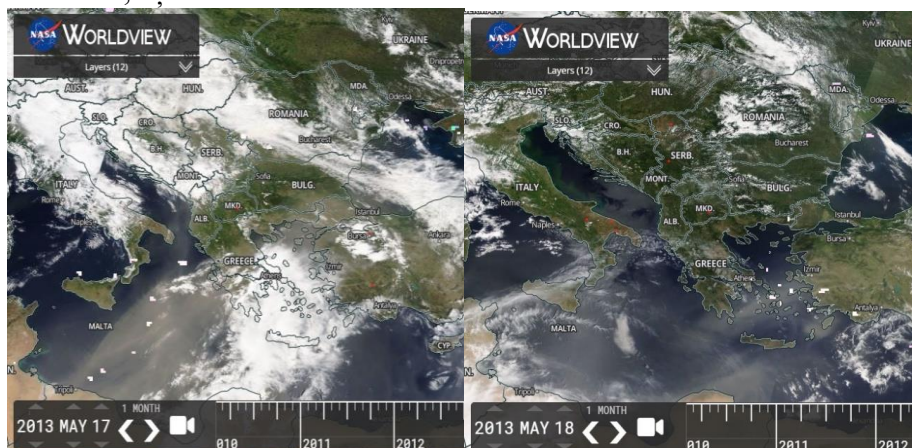


Figura nr. 7.7 – Imagini satelitare, intruziune praf saharian 17 – 24 Mai 2013

Deoarece mare parte din perioada cu intruziune de praf cerul a fost acoperit (conform modelului BSC-DREAM8b), existând și momente cu precipitații (conform modelului de precipitații), am suplimentat aceste date, pentru a vedea dacă în zilele analizate au fost precipitații în zona de NE a

României. Datele preluate reprezintă cantitatea de precipitații înregistrată în 24 de ore, măsurătorile efectuându-se zilnic, la ora 8. Precipitațiile înregistrate sunt exprimate în milimetri (mm).

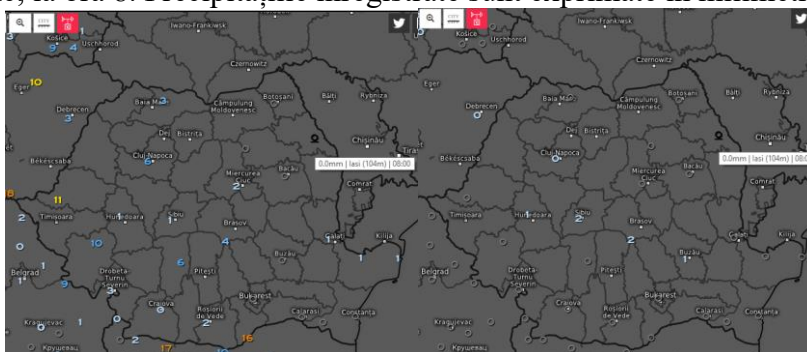


Figura nr. 7.8 – Cantitatea de precipitații din intervalul 17 – 26 Mai 2013

Pentru a verifica informațiile prognozate referitoare la evenimentul de intruziune de praf saharian, am folosit datele AERONET, rețea care este utilizată pentru teledetecția de la nivelul solului a particulelor atmosferice și implicit a aerosolilor. Pentru acest studiu de caz am utilizat nivelul 1.5, nivel care cuprinde informații referitoare la unii parametri optici direcți, precum AOD (adâncimea sau grosimea optică a aerosolului), apa din precipitații, coeficientul Ångström, dar și o serie de informații referitoare la unii parametri de inversie sau produse de inversie precum distribuția dimensională a volumului aerosolilor, indicele de refracție al aerosolilor, factorul de asimetrie și absorbția optică. Toate aceste produse reprezintă media coloanei totale de aerosoli prezenți în atmosferă.

Figura 7.9 reprezintă adâncimea sau grosimea optică a aerosolului (AOD sau AOT) la diferite lungimi de undă, cuprinse între 340 și 1640 nm. Acest parametru reprezintă un indicativ al concentrației aerosolului pe coloană. O valoare mai mare de 0,2 pentru AOD indică prezența prafului saharian în atmosferă.

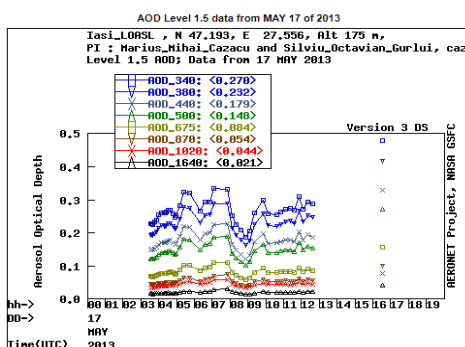


Figura nr. 7.9 – Adâncimea optică a aerosolului (AOD)

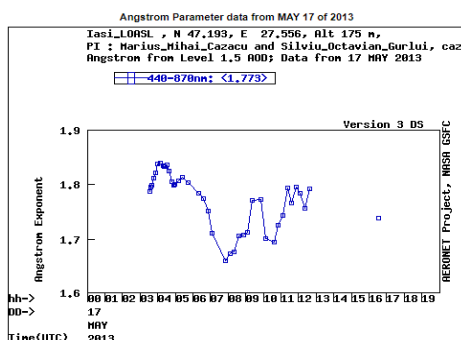


Figura nr. 7.11 – Coeficientul Ångström

Luând în considerare datele meteorologice din luna Mai 2013 și Iulie 2017, privind cantitatea de precipitații raportate în baza de date meteomanz.com, date transmise de Administrația Națională de Meteorologie, prin corelarea cu zilele în care s-a dovedit prezența prafului saharian și valorile medii ale temperaturii zilnice, se observă ușor că temperatura are o tendință de scădere imediat după

evenimentele de intruziune a prafului saharian. Acest lucru corespunde și cu deplasarea maselor de aer cald ca urmare a circulațiilor sudice din timpul evenimentelor de intruziune. La scurt timp după aceste evenimente de praf, dat fiind revenirea la circulații ale maselor de aer nordice, estice sau vestice, temperatura aerului scade ușor, în acest fel fiind favorizate aparițiile de precipitații. Astfel, chiar dacă au fost prognozate cantități de precipitații, acestea în realitate au fost reduse sau chiar inhibitate total de prezența prafului saharian.

Aceste concluzii au caracter calitativ. Pentru realizarea unor corelații concrete, o concentrație pe coloană a prafului saharian trebuie luată în considerare. Referindu-ne la parametrul optic AOD (440 nm), când acesta tinde spre valori mari, se consideră o creștere a concentrației de particule pe întreaga coloană atmosferică. Pentru cea mai mare valoare cumulativă de aproximativ 1,9 a AOD-ului, ce a fost observată pentru evenimentul de intruziune din perioada 1 – 6 Mai 2013, praful saharian a avut rol de inhibitor. Pentru această perioadă au fost prognozate precipitații, datele de diagnoză arătând lipsa lor.

După cum se poate observa, fiecare eveniment are o unicitate a sa și o corelare concretă este dificilă. Perspectiva acestui studiu este de a normaliza diverși parametri optici, cu prezența prafului saharian pentru fiecare eveniment confirmat și cu cantitățile de precipitații măsurate. Realizarea unei ponderi va sta la baza unei statistici pentru a cuantifica tipul de impact pe care îl poate avea praful saharian asupra precipitațiilor, în urma analizei fiecărui eveniment.

CAPITOLUL 8 – Concluzii finale și contribuții personale

Lucrarea de față se dorește a fi un reper bogat în informații valabile și valoroase științific pentru dezvoltarea cercetărilor viitoare în domeniul imens al fizicii atmosferei dar și o continuare a anilor de cercetare desfășurați în cadrul laboratoarelor din Universitatea Potsdam și Universitatea de Științe Aplicate Wildau, Germania, unde sub coordonarea profesorului Sigurd Schrader am căpătat primele deprinderi și primele experiențe în domeniul cercetării.

În prima parte a lucrării, care reprezintă partea teoretică, am realizat o documentare detaliată din studii actuale relevante științific ce delimitează tema cercetării de față, prezentând stadiul actual în domeniul fizicii și chimiei atmosferei, a compușilor poluanți care pot produce dezechilibre climatice. În cea de-a doua parte a lucrării, cea a contribuțiilor personale, am căutat să găsesc un răspuns la o serie de probleme din cadrul acestui domeniu de studiu, un domeniu interdisciplinar ce implică cunoașterea și stăpânirea unor noțiuni de fizica atmosferei, matematică, chimie organică și dispozitive electronice.

Pentru început am realizat o documentare solidă care să constituie un reper pentru generațiile viitoare de cercetători în domeniu. Am prezentat în detaliu formarea, structura și compoziția atmosferei, descriind compușii chimici existenți în troposferă, vorbind pe larg despre principalii compuși ai carbonului (metanul – CH_4 , monoxidul de carbon – CO), ai azotului (oxizii de azot – NO_x , amoniacul – NH_3), ai sulfului (dioxidul de sulf – SO_2 , hidrogenul sulfurat – H_2S), dar și ozonul troposferic – O_3 .

Pentru fiecare dintre aceste specii chimice am prezentat sursele naturale și antropogene, modalitățile de eliminare sau reducere, dar și chimia troposferică a fiecărui compus chimic descris, precum și efectele emisiilor crescute asupra sănătății umane și asupra mediului.

Apoi am tratat într-un mod pur teoretic aerosolul troposferic, prezentând clasificarea acestuia în funcție de diferite criterii, printre care tipul de particule, dimensiunea și originea acestora, compoziția chimică, localizarea geografică și în atmosferă, descriind pe scurt fiecare dintre clasele de aerosoli.

Modalitățile de eliminare a aerosolilor din atmosferă sunt un alt aspect asupra căruia am insistat în partea teoretică a acestei lucrări de doctorat, descriind principalele procese de îndepărtare a particulelor din atmosferă, prezentând în același timp și principalele proprietăți fizice și chimice ale aerosolului.

Am explicat în detaliu noțiuni legate de concentrație, distribuția mărimii, compoziția chimică, solubilitatea în apă și timpul de rezidență al aerosolilor.

În partea a doua a lucrării de doctorat, parte care conține contribuțiile personale, am implementat pentru prima dată un model matematic realizat în limbajul de programare Python 3.6 care procesează o multitudine de date preluate cu ajutorul unei platforme LIDAR standard elastic biaxială, date care sunt necesare pentru a măsura profilurile RCS și pentru a calcula coeficientul de structură al indicelui de refracție atmosferică $C_N^2(z)$, scările de lungime ale turbulenței și retroîmprăștierea atmosferică. Calculul profilurilor parametrilor turbidității atmosferice și ai retroîmprăștierei atmosferice poate ajuta la construirea și/sau corectarea prognozelor meteorologice și măsurătorilor concentrației de aerosoli, în măsurarea viabilității observaționale a unui site astronomic, precum și în prezicerea fenomenelor de inversiune, care pot cauza o poluare amplificată a mediului și evenimentele meteorologice extreme care au capacitatea de a provoca daune masive și pierderi de vieți omenești.

Toate aceste observații s-au concretizat într-un articol științific care a fost publicat într-o revistă de prestigiu indexată WOS (Atmosphere, 2,046 IF).

Am stabilit relații și legături între compușii poluanți din aerul atmosferic care sunt influențați de variabilitatea parametrilor meteorologici (în special de radiație și temperatură) și astfel, reacțiile fizico-chimice din atmosferă depind și de dinamica parametrilor meteorologici. Monitorizarea unei clase de poluanți alese trebuie să fie în strictă corelație cu această dinamică. Aici, direcția mea actuală

de cercetare a ajuns într-un punct interdisciplinar corelat cu unele din fostele domenii de interes științific. Mai exact am fost nevoită să continui să produc prin sinteză și să cercetez noi materiale, de tipul polimerilor organici semiconductori ce pot fi folosiți în realizarea și dezvoltarea senzorilor de monitorizare a dinamicii compuşilor atmosferici poluanți, în condiții extreme.

Am prezentat etapele de sinteză chimică, de caracterizare și de testare a unor polimeri (polifenilchinoxalină) rezistenți la temperatură ridicată, cu proprietăți optice neliniare, în scopul utilizării acestora în componente electrooptice și în sisteme de procesare a semnalului optic de mare viteză. Am depus filme subțiri organice de polifenilchinoxalină preparate într-un mod controlat, treptat, pe diferite substraturi, filme pe care apoi le-am analizat folosind mai multe metode: măsurarea sensibilității neliniare de ordinul doi SHG (Second Harmonic Generation / generarea armonicii a doua), spectroscopie UV – VIS, măsurarea temperaturii de tranziție vitroasă, T_g , investigații AFM (Atomic Force Microscopy / microscopie de forță atomică), investigații SEM (Scanning Electron Microscopy / microscopie electronică de baleiaj), măsurători profilometrice pentru straturile ghidurilor de undă realizate prin imprimare.

Aceste experimente s-au concretizat într-un complet articol științific care a fost publicat într-o revistă indexată WOS, revistă care se află în topul primelor 50 din domeniul multidisciplinar (Symmetry – Basel este cotate Q2 cu 2,143 IF).

La finalul lucrării de cercetare, am realizat unui studiu referitor la impactul intruziunilor de praf saharian asupra proceselor atmosferice și în special asupra precipitațiilor. Studiul se întinde pe o perioadă ***de cinci ani, între 2013 și 2017***, fiind realizat în zona de Nord-Est a României, presupunând monitorizarea perioadelor cu intruziune de praf saharian, precum și a condițiilor meteorologice din aceste perioade. Scopul principal al acestui studiu a fost de a identifica modul în care praful saharian modifică prognoza precipitațiilor în regiunea de Nord-Est a României (Moldova). Studiarea proceselor de transport și depunere a prafului din Sahara este importantă pentru a înțelege procesele actuale, pentru a putea prezice viitorul proceselor climatice și schimbările în echilibrul energetic al atmosferei.

Sintetizând în câteva idei, pot spune că în această teză de doctorat am efectuat:

- studiul unor profiluri de turbulență și a unor parametri astronomici, cum ar fi coeficienții de extincție și de retroîmprăștiere;
- studiul unor noi materiale polimerice organice semiconductoare;
- studiul unor metode de depunere și de investigare a filmelor obținute cu noile materiale polimerice;
- studiul unor evenimente de praf saharian din Nord-Estul României;
- studiul, analiza și interpretarea unor prognoze și diagnoze meteorologice.

Contribuții științifice originale publicate sau prezentate

Articole indexate WOS publicate: 5

Atmosphere MDPI Basel – 1

Symmetry MDPI Basel, Q2 - 1

Physics Letter A, Elsevier, Q1 – 1

Materials Science in Semiconductor Processing, Elsevier, Q2 – 2

H-index - 3

Prim autor în articole publicate WOS – 1

Numărul citațiilor articolelor WOS: 41

Articole indexate IEEE: 2

Articole publicate și indexate BDI: 2

Prim autor în articole indexate BDI: 2

Postere prezentate la conferințe naționale și internaționale: peste 10

Prezentări orale la conferințe naționale și internaționale: peste 10

Scorul Absolut de Influență (AIS) calculat după criteriile UEFISCDI – iunie 2019, pentru toată activitatea științifică este 1,67, iar factorul de impact WOS este 11,72 repartizat în două perioade de cercetare.

I. Perioada 2016 – 2019 – Doctorand al Școlii Doctorale de Fizică din cadrul UAIC, coordonator prof. univ. habil. dr. Liviu LEONTIE.

ARTICOLE publicate și indexate WOS:

- Investigations of Novel High-Temperature Resistant Polymers for Electro-Optical Applications in Signal Processing Systems, January 2019, **Symmetry** 11(60), DOI: 10.3390/sym11010060, ISSN 2073-8994;
Impact factor 2,143 Web of Science, AIS factor 0.301, Symmetry-Basel.
- A Turbulence-Oriented Approach to Retrieve Various Atmospheric Parameters Using Advanced Lidar Data Processing Techniques, January 2019, **Atmosphere** 10(1), DOI: 10.3390/atmos10010038, ISSN 2073-4433;
Impact factor 2,046 Web of Science, AIS factor 0.496, Atmosphere – Basel.

Total factor AIS pentru perioada doctorală este de 0,797 iar factorul de impact WOS este de 4,189.

II. Perioada 2015 – 2005 – Cercetător la Universitatea Potsdam și Universitatea de Științe Aplicate Wildau, Germania, coordonator prof. dr. Sigurd SCHRADER.

ARTICOLE publicate și indexate WOS:

- Photoelectron spectroscopy investigations of pyrrolophenanthroline derivatives, August 2007, **Physics Letters A** 368(3-4):331-335, DOI: 10.1016/j.physleta.2007.04.013
PHYSICS LETTERS A, Elsevier, 0375-9601 - IF WOS 2,087, AIS 0,489
- Study of thermal conversion and patterning of a new soluble poly (p-phenylenevinylene) (PPV) precursor, April 2007, **Materials Science in Semiconductor Processing** 10(2-3):77-89, DOI: 10.1016/j.mssp.2007.05.004

MATERIALS SCIENCE IN SEMICONDUCTOR PROCESSING 1369-8001 – IF WOS 2,722, AIS 0.384

- Study of oriented growth of oligofluorene–thiophene films onto aligned vacuum-deposited polytetrafluoroethylene layers, February 2007, **Materials Science in Semiconductor Processing** 10(1):24-35, DOI: 10.1016/j.mssp.2006.11.001
MATERIALS SCIENCE IN SEMICONDUCTOR PROCESSING 1369-8001 - IF WOS 2,722, AIS 0.384

Total factor AIS pentru perioada 2015 – 2005 este de 0,873 iar factorul de impact WOS este 7,531.

Articole științifice publicate în reviste indexate WOS, IEEE și BDI

Perioada 2016 – 2019

[1]. Investigations of Novel High-Temperature Resistant Polymers for Electro-Optical Applications in Signal Processing Systems, **O.S. Prelipceanu**, M Prelipceanu, N Paraschiv, A Popa, O Geman, <https://doi.org/10.3390/sym11010060>, **Symmetry** 11 (1), 60, 2019 ISSN 2073-8994; CODEN: SYMMAM;

Impact factor 2,143 Web of Science, AIS factor 0.301, Symmetry-Basel.

[2]. A Turbulence-Oriented Approach to Retrieve Various Atmospheric Parameters Using Advanced Lidar Data Processing Techniques, Iulian-Alin Rosu, Marius-Mihai Cazacu, **Otilia Sanda Prelipceanu**, Maricel Agop, January 2019, **Atmosphere** 10(1), <https://doi.org/10.3390/atmos10010038>; ISSN 2073-4433; CODEN: ATMOCZ;

Impact factor 2,046 Web of Science, AIS factor 0.496, Atmosphere – Basel.

[3]. Innovative Internet of Things Healthcare Applications based on Green Power Energy”, Aurel Chirap, Marius Prelipceanu, **Otilia Sanda Prelipceanu**, Liviu Leontie, Mihai Cazacu, 2-nd edition of the International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era, **IEEE Instrumentation and Measurement Society**, Lisbon, Portugal, ISSI 2019 IN PRESS;

Revistă indexată IEEE Instrumentation and Measurement Society, în curs de indexare Web of Science;

[4]. Porous spinel-type oxide semiconductors for high-performance acetone sensors, C Doroftei, **O.S. Prelipceanu**, A Carlescu, L Leontie, M Prelipceanu, doi:10.1109/DAAS.2018.8396081, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8396081>, **IEEE 2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS 2018);**

Revistă indexată IEEE Explore și indexată ISI Web of Science;

[5]. WIRELESS SYSTEM FOR MONITORING AND CONTROL OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS, **Otilia-Sanda Prelipceanu**, Marius Mihai Cazacu, Iulian Alin Roșu, Marius Prelipceanu, **BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI**, Volumul 64 (68), Numărul 4, anul 2018, Secția MATEMATICĂ. MECANICĂ TEORETICĂ. FIZICĂ; ISSN 1223-8139, ISSN-L 1224-7863, (ONLINE) ISSN 2537-4990;

Revistă indexată BDI, B+, Copernicus, CNKI Scholar și Ulrichs.

[6]. NEW EXPERIMENTAL APPROACH OF ATMOSPHERIC POLLUTANT COMPOUNDS DETECTION, **Otilia-Sanda Prelipceanu**, Ștefan Havriliuc, Ionuț Dănuț Roșu, Marius Mihai Cazacu, Iulian Alin Roșu, Marius Prelipceanu, **BULETINUL INSTITUTULUI POLITEHNIC DIN IAȘI**, Volumul 65 (69), Numărul 1, anul 2019, Secția MATEMATICĂ. MECANICĂ TEORETICĂ. FIZICĂ; ISSN-L 1224-7863, (ONLINE)ISSN 2537-4990;

Revistă indexată BDI, B+, Copernicus, CNKI Scholar și Ulrichs.

Perioada 2015 – 2005

[1]. Photoelectron spectroscopy investigations of pirolo[1,2-a][1,10]phenantroline derivatives - M. Prelipceanu, **O.S. Prelipceanu**, L. Leontie, R. Danac, **Physics Letters A**, Volume 368, Issues 3-4, 2007, pp. 331-335, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2007.04.013>, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375960107005397; ISSN 0375-9601;

Impact factor 2.087 Web of Science, factor AIS 0,489.

[2]. Study of oriented growth of oligofluorene–thiophene films onto aligned vacuum-deposited polytetrafluoroethylene layers - Marius Prelipceanu, Ovidiu-Gelu Tudose, **Otilia-Sanda Prelipceanu**, Sigurd Schrader, Konstantin Grytsenko, **Materials Science in Semiconductor Processing**, Volume 10, Issue 1, February 2007, pp. 24–35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2006.11.001>, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369800106002836, ISSN 1369-8001,

Impact factor 2.722 Web of Science, factor AIS 0.384;

[3]. Study of thermal conversion and patterning of a new soluble poly (p-phenylenevinylene) (PPV) precursor - Marius Prelipceanu, **Otilia-Sanda Prelipceanu**, Ovidiu-Gelu Tudose, Liviu Leontie, Bernd Grimm, Sigurd Schrader, **Materials Science in Semiconductor Processing**, Volume 10, Issues 2–3, April 2007, pp. 77–89, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mssp.2007.05.004>, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369800107000236, ISSN 1369-8001,

Impact factor 2.722 Web of Science, factor AIS 0.384;

[4]. New Organic thermally stable materials for optoelectronics devices - A linear spectroscopy study - **O.S. Prelipceanu**, M. Prelipceanu, O.G. Tudose, B. Grimm, S. Schrader, IOP Publishing Limited Cornell University Library, Condensed Matter - Materials Science, Condensed Matter - Soft Condensed Matter, <http://arxiv.org/find/all/1/all:+prelipceanu/0/1/0/all/0/1>, arXiv 0704.0572, IOP Databse;

Indexată arXiv 0704.0572, IOP Databse;

[5]. Thermally Stimulated Luminescence and Current in new heterocyclic materials for Organic field transistors and organic light emitting diodes - M. Prelipceanu, **O.S. Prelipceanu**, O.G. Tudose, S. Schrader, IOP Publishing Limited Cornell University Library, Condensed Matter - Materials Science, Condensed Matter - Soft Condensed Matter, <http://arxiv.org/find/all/1/all:+prelipceanu/0/1/0/all/0/1>, arXiv 0704.0568, IOP, Databse;

Indexată arXiv 0704.0568, IOP, Databse;

[6]. Oriented growth of pentacene films on vacuum-deposited polytetrafluoroethylene layers aligned by rubbing technique - M. Prelipceanu, **O.S. Prelipceanu**, O.G. Tudose, K. Grytsenko, S. Schrader IOP Publishing Limited Cornell University Library, Condensed Matter - Materials Science, Condensed Matter - Soft Condensed Matter, <http://arxiv.org/find/all/1/all:+prelipceanu/0/1/0/all/0/1>, arXiv 0704.0538, IOP Databse;

Indexată arXiv 0704.0538, IOP Databse;

Listă selectivă prezentări orale și postere susținute la conferințe internaționale și naționale

- [1].TIM 18 Physics Conference, Conference of PhD Students, Timișoara, **Mineral dust and meteorological observations: 5 years long systematic comparison in Northeast Romania, Otilia Sanda Prelipceanu**, https://timconference.uvt.ro/objectives_topics.php, 24 – 25 Mai, 2018;
- [2] ELSEDIMA International Conference, Cluj-Napoca, Romania, **Mineral dust impact on the amount of rainfall, in the North-Eastern part of Romania, Otilia Sanda Prelipceanu**, Marius Mihai Cazacu, Adrian Timofte, Gina Tiron, Liviu Leontie, Silviu Gurlui, 17 – 19 Mai, http://www.elsedima.ro/admin/media/Agenda_ELSEDIMA-2018-International-Conference.pdf, 2018;
- [3]. **Workshop on Sensors and High Energy Physics (SHEP 2016), Suceava, (Romania) O.S. Prelipceanu**, M. Prelipceanu – Detection and investigation of localized states in new electron transporting heterocyclic polymers and oligomers suitable for optoelectronic devices;
- [4]. **ICPAM7 - 7th International Conference on Physics of Advanced Materials, Iași, România**, M. Prelipceanu, O.G. Tudose, **O. S. Prelipceanu**, S. Schrader- Thermally Stimulated Luminescence and Current in New Heterocyclic Materials for Organic Field Effect Transistors and Organic Light Emitting Diodes;
- [5]. **ICPAM7 - 7th International Conference on Physics of Advanced Materials, Iasi, Romania, O. S. Prelipceanu**, M. Prelipceanu, O.G. Tudose, B. Grimm, S. Schrader – New Thermally Stable Polymers for Optoelectronics Devices – A Linear Optical Spectroscopy Study;
- [6]. **ICPAM7 - 7th International Conference on Physics of Advanced Materials, Iași, (Romania)**, O.G. Tudose, M. Prelipceanu, **O. S. Prelipceanu**, S. Schrader - Scanning probe investigations of morphology of new p - channel materials for organic field effect transistors;
- [7]. **Organic Electronic Summer School 2005 - Transport in carbon based conjugated material**, Portoconte, (Italy), M. Prelipceanu, **O. S. Prelipceanu**, R. Velagapudi, B. Grimm, S. Schrader M. Jandke and P. Strohhriegl - Investigations of localized states in new electron transporting heterocyclic polymers and oligomers suitable for optoelectronic devices;
- [8]. **Organic Electronic Summer School 2005 – Transport in carbon based conjugated material**, Portoconte, (Italy), **Otilia Sanda Prelipceanu**, Marius Prelipceanu, Bernd Grimm Sigurd Schrader - Optimization of new organic thermally stable materials a linear optical spectroscopic study;
- [9]. **Romanian Conference on Advanced Materials, ROCAM06 Bucharest – Magurele, (Romania)**. M. Prelipceanu, L. Leontie, R. Danac, **O. S. Prelipceanu** - “Organic light-emitting devices based on new Pirolo[1,2-a][1,10]phenantroline derivatives and poly(p-Phenylenevinylene)”;
- [10]. **Bilateral Symposium „Functional Polymers“** - Institute for Thin Film and Microsensoric Technology, Teltow, (Germany), Marius Prelipceanu, **Otilia Sanda Prelipceanu**, Sigurd Schrader, Konstantin Grytsenko - Oriented growth of pentacene films on vacuum-deposited polytetrafluoroethylene layers aligned by rubbing technique;
- [11]. **Tag Der Chemie**, Potsdam (Germany), 2004. **O. S. Prelipceanu**, M. Prelipceanu, O. Tudose, B. Grimm, and S. Schrader, Linear optical investigations for new thermally stable polymers used for optoelectronic devices;

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

1. Lagzi Istvan, Meszaros Robert, Gelybo Gyorgyi, Leelossy Adam – "Atmospheric Chemistry", Eötvös Lorand University, 2013.
2. <http://climate.ncsu.edu/edu/k12/.AtmStructure>
3. Mohanakumar K. – „Stratosphere Troposphere Interactions. An introduction”, Springer Netherlands, 2008.
4. Jacob Daniel J. – "Introduction to Atmospheric Chemistry", Princeton University Press, Princeton, 2004.
5. WMO Greenhouse gas bulletin – "The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2017", no. 14, 22 November 2018.
6. Ehhalt, D.H. – "The atmospheric cycle of methane", Tellus XXVI, 1974, 1 – 2.
7. Moss, R.; Jouany, Jean-Pierre; Newbold, John – "Methane production by ruminants: its contribution to global warming", Ann. Zootech., 49, 2000, pp. 231 – 253.
8. Khalil, M.A.K. and Shearer, M.J. – "Sources of Methane: An Overview", Atmospheric Methane: Sources, Sinks and Role in Global Change, edited by M.A.K. Khalil, Springer – Verlag, 1993.
9. Wuebbles, D.J., Tamareis, J.S. – "The Role of Methane in the Global Environment", Atmospheric Methane: Sources, Sinks and Role in Global Change. Edited by Khalil, M.A.K. (Ed.). Springer – Verlag, pp. 469–513, 1993.
10. Dutta, M.K. et al – "Atmospheric fluxes and photo-oxidation of methane in the mangrove environment of the Sundarbans, NE coast of India. A case study from Lothian Island", Agricultural and Forest Meteorology, 213, 2015, pp. 33 – 41. Warneck P., - "Chapter 4: Chemistry of the Troposphere: the Methane Oxidation Cycle", Chemistry of the Natural Atmosphere, San Diego Academic Press, pp. 131 – 175, 1988.
11. Zimmerman, P.R. și colab. – "Estimates of the Production of CO and H₂ from the Oxidation of Hydrocarbon Emissions from Vegetation", Geophys. Res. Lett, 5, 679 – 682, 1978.
12. Fuglestedt, J.S; Isaksen, I.S.A and Wang, W.C. – "Estimates of indirect global warming potentials for CH₄, CO and NO_x", Climatic Change 34, pp. 405 – 437, 1996.
13. https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOP_CO_M
14. Khalil, M.A.K. and Rasmussen, R.A. – "Carbon monoxide in the Earth's atmosphere: indications of a global increase", Nature, 332, pp. 242 – 245, 1988.
15. Logan, Jennifer A; Prather, Michael J; Wofsy, Steven C; McElroy, Michael B. – "Tropospheric chemistry: A global perspective", Journal of Geophysical Research, vol. 86, pp. 7.210 – 7.254, 1981.