



MINISTERUL MEDIULUI,
APELOR ȘI PĂDURILOR
ADMINISTRAȚIA NAȚIONALĂ DE METEOROLOGIE



Roxana Bojariu • Zenaida Chițu • Sorin Ionuț Dascălu • Mădălina Gothard •
Liliana Florentina Velea • Roxana Burcea • Alexandru Dumitrescu • Sorin Burcea
Liviu Apostol • Vlad Amihaesei • Lenuța Marin • Vasile Ștefan Crăciunescu
Anișoara Irimescu • Marius Mătreacă • Andrei Niță • Marius Victor Bîrsan

Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare

Ediție revăzută și adăugită

Editura
PRINTECH

Roxana Bojariu• Zenaida Chițu•Sorin Ionuț Dascălu
Mădălina Gothard•Liliana Florentina Velea• Roxana Burcea
Alexandru Dumitrescu•Sorin Burcea•Liviu Apostol
Vlad Amihaesei•Lenuța Marin•Vasile Ștefan Crăciunescu
Anișoara Irimescu• Marius Mătreață
Andrei Niță•Marius Victor Bîrsan

=====

Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare

Roxana Bojariu • Zenaida Chițu • Sorin Ionuț Dascălu
Mădălina Gothard • Liliana Florentina Velea • Roxana Burcea
Alexandru Dumitrescu • Sorin Burcea • Liviu Apostol
Vlad Amihaesei • Lenuța Marin • Vasile Ștefan Crăciunescu
Anișoara Irimescu • Marius Mătreață
Andrei Niță • Marius Victor Bîrsan

Schimbările climatice – de la bazele fizice la riscuri și adaptare

Ediție revăzută și adăugită

Administrația Națională de Meteorologie

**Editura PRINTECH
București 2021**

Editura PRINTECH

Tipar executat la:

S.C. ANDOR TIPO S.R.L. – Editura PRINTECH

Site: www.andortipo.ro; www.printech.ro

Adresa: Str. Tunari nr.11, Sector 2, București

Tel./Fax: 021.211.37.12; 021.212.49.51

E-mail: comenzi@andortipo.ro

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Schimbările climatice : de la bazele fizice la riscuri și adaptare / Roxana

Bojariu, Zenaida Chițu, Sorin Ionut Dascălu, ... -Ed. rev. și adăug. –

București : Printech,

2021

Conține bibliografie

ISBN 978-606-23-1275-6

I. Bojariu, Roxana

II. Chițu, Zenaida

III. Dascălu, Sorin Ionuț

551.583

Copyright © 2021

Toate drepturile prezentei ediții sunt rezervate autorilor. Nicio parte din această lucrare nu poate fi reprodusă, stocată sau transmisă indiferent prin ce formă, fără acordul prealabil scris al autorilor.

Autorii poartă întreaga răspundere morală, legală și materială față de editură și terțe persoane pentru conținutul lucrării.

Mulțumiri

Această lucrare include rezultate ale studiilor realizate în cadrul proiectelor: «Servicii climatice urbane – URCLIM» din cadrul ERA4CS (JPI Climate) și Horizon 2020, finanțat de Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor și Uniunea Europeană; «Expunerea la stresul termic și poluarea aerului în Europa - impacturi asupra bolilor cardiopulmonare și beneficii ale atenuării și adaptării - EXHAUSTION» din cadrul Horizon 2020, finanțat de Uniunea Europeană; «Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, a prognozei și atenuării efectelor pentru secetă și inundații pe baza indicatoriilor hidro-climatici în timp real - IMDROFLOOD» din cadrul Programului Works for Water 2014 (JPI Water), finanțat de UEFISCDI, Administrația Națională de Meteorologie și Uniunea Europeană; «Evaluarea unitară a riscurilor la hazardurile naturale și pregătirea pentru gestionarea situațiilor de urgență în macroregiunea Dunării - SEERISK» din cadrul Programului de colaborare transnațională din Sud-Estul Europei, finanțat de Uniunea Europeană, Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice și Administrația Națională de Meteorologie.

Suntem recunoscători membrilor grupurilor de lucru din cadrul Programului *World Climate Research and Regional Climate și Coupled Modelling*, coordonatoare ale Programului CORDEX, precum și celor din cadrul Programelor *CMIP 5 și CMIP 6* pentru oportunitatea de a folosi rezultatele experimentelor numerice cu modele climatice. Mulțumim grupurilor de modelare ale instituțiilor menționate în lucrare pentru rezultatele de model furnizate comunității științifice. Mulțumim și Earth System Grid Federation pentru infrastructura pusă la dispoziție comunității științifice prin coordonarea asigurată de US Department of Energy's Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison, European Network for Earth System Modelling și celorlalți parteneri din Global Organisation for Earth System Science Portals (GO-ESSP).

Suntem recunoscători echipei de la Inspectoratul pentru Situații de Urgență Vasile Goldiș al județului Arad pentru ajutorul competent ce a contribuit în mod esențial la elaborarea studiului de caz privind evaluarea

riscului asociat valurilor de căldură în municipiul Arad. Mulțumim Inspectoratului pentru Situații de Urgență Dealul Spirii București-Ilfov pentru datele privind intervențiile SMURD, necesare la evaluarea riscului asociat stresului termic de vară în municipiul București. Mulțumim Institutului Național de Sănătate Publică pentru datele zilnice privind mortalitatea din București, cauzată de bolile circulatorii, ce au contribuit la evaluarea riscului relativ pentru asocierea temperatură zilnică/mortalitate.

Cuprins

Cuvânt înainte	10
1. Sistemul climatic	13
1.1. Atmosfera	16
1.1.1. Circulația generală a atmosferei.....	21
1.2. Oceanul planetar.....	24
1.2.1. Circulația generală a oceanului planetar.....	25
1.3. Procesele de feedback și forțaj în sistemul climatic	28
1.4. Ciclul hidrologic.....	30
1.5. Ciclurile carbonului.....	33
1.6. Efectul de seră.....	35
1.7. Variabilitatea internă a geosistemului climatic	37
1.8. Cauze ale schimbărilor climatice din trecutul geologic al Terrei	41
1.8.1. Ciclul de viață al Soarelui și variabilitatea activității sale	41
1.8.2. Schimbări geologice.....	42
1.8.3. Parametrii orbitali ai mișcărilor Pământului.....	42
1.8.4. Activitatea vulcanică.....	43
1.9. Schimbarea climatică prezentă	44
1.9.1. Schimbarea climatică observată în România.....	46
1.10. Predictabilitatea climatică.....	56
2. Date și metode de analiză climatică	59
2.1. Date instrumentale și paleoclimatice	59
2.2. Tehnici statistice	60
2.3. Modelarea climatică și incertitudinile asociate	61
2.4. Modele climatice deterministe	62
2.5. Scenarii climatice	65
2.6. Incertitudini asociate scenariilor climatice	73
3. Simulări ale climei prezente și viitoare a României	75
3.1.1. Simulări ale regimului termic	80
3.1.2. Simulări ale regimului precipitațiilor	87
3.1.3. Simulări ale evapotranspirației potențiale	94
3.1.4. Simulări ale grosimii medii a stratului de zăpadă.....	96
3.1.5. Simulări ale unor extreme climatice.....	100

4. Hazarduri climatice	104
4.1. Fenomenele meteorologice extreme.....	105
4.1.1. Valurile de căldură și frig	106
4.1.2. Secetele	111
4.1.2.1. Indici de secetă	111
4.1.2.2. Tendințe ale indicilor de secetă	118
4.1.3. Inundațiile.....	120
4.1.4. Grindina	121
4.1.5. Tornadele.....	123
4.1.6. Ciclonii extratropicali.....	125
4.1.7. Ciclonii tropicali	126
4.2. Hazarduri și resurse legate de rezerva de apă din România	128
4.3. Hazarduri legate de sănătatea publică din România	130
4.4. Incertitudini în estimarea hazardurilor	132
5. Impactul schimbării climatice.....	133
5.1. Contextul socio-economic prezent și viitor	133
5.1.1. Scenarii regionale de dezvoltare socio-economică	133
5.1.2. Schimbări ale folosirii terenului.....	134
5.1.3. Schimbări demografice.....	137
5.1.4. Alte schimbări socio-economice.....	139
5.2. Impactul climatic asupra sănătății publice din România.....	139
5.3. Impactul climatic asupra rezervei de apă și agriculturii din România.....	145
5.4. Impactul climatic asupra turismului de iarnă	149
5.5. Incertitudini în estimarea impacturilor.....	151
6. Riscuri legate de schimbarea climei	152
6.1. Definirea riscului climatic	153
6.2. Metodologii de evaluare a riscurilor climatice	153
6.3. Cartografierea riscurilor asociate stresului termic.....	156
6.3.1. Studiu de caz pentru municipiul Arad	156
6.3.2. Studiu de caz pentru municipiul București.....	162
6.4. Riscuri climatice prezente și viitoare	167
7. Adaptarea la schimbarea climei	170
7.1. Ciclul adaptării la variabilitatea și schimbarea climei	170

7.2. Adaptarea climatică în Europa	173
7.3. Soluțiile inteligente climatic.....	176
7.4. Serviciile climatice pentru dezvoltare durabilă	177
8. Concluzii.....	181
Summary.....	187
Glosar de termeni	193
Referințe bibliografice	206
Anexă. Listă de proiecte și programe privind schimbarea climei	218

Cuvânt înainte

Societatea trăiește deja schimbarea climatică, o schimbare mult mai rapidă decât cele din istoria geologică a Terrei de dinainte de Antropocen. În acest context, cercetătorii din domeniile climei și ale evaluării impactului climatic asupra sistemelor naturale și umane au misiunea importantă de a genera și transfera, cât mai rapid și eficient, cunoașterea științifică, astfel încât societatea să-și poată planifica și asuma o dezvoltare socio-economică durabilă, în noile condiții. Participarea echipelor de cercetători din Administrația Națională de Meteorologie la eforturile europene și globale de analiză climatică s-a concretizat în contribuții științifice ce pot ajuta factorii responsabili în procesul de luare a deciziilor sociale, economice și politice, în contextul adaptării la schimbările climatice inevitabile și de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră, pentru a încetini ritmul schimbării.

În cadrul proiectului „Imdroflood” („Îmbunătățirea avertizărilor timpurii, a prognozei și atenuării efectelor pentru secetă și inundații pe baza indicatorilor hidro-climatici în timp real”), cercetătorii din echipa Administrației Naționale de Meteorologie au derulat activități pentru a îmbunătăți monitorizarea și avertizarea timpurie a secetei și a inundațiilor la nivelul bazinelor hidrografice, în general și a bazinului Prut, în special. Proiectul IMDROFLOOD a fost finanțat în cadrul programului PN III-Cooperarea Europeană și Internațională – Subprogram 3.2 - Orizont 2020.

Proiectul “URCLIM” (“Servicii climatice urbane”), finanțat de Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor și Comisia Europeană prin proiectul ERA4CS sprijinit de JPI Climate, a vizat studiul insulelor de căldură generate de aglomerările urbane, din perspectiva dezvoltării de servicii climatice. Schimbarea climei în mediul urban are un impact mult mai puternic din cauza factorilor locali precum gradul de izolare a solului de atmosferă, caracteristicile termice și radiative ale materialelor de construcție, înălțimea clădirilor, traficul. De aceea, proiectarea de servicii climatice este esențială

în procesul de adaptare al populației urbane la schimbarea climatică. Echipa de cercetători din Administrația Națională de Meteorologie a pus bazele unui serviciu climatic care să estimeze impactul valurilor de căldură asupra sănătății publice din București, întocmind, pe baza metodologiei dezvoltate în proiectul “SEERISK” (“Evaluarea riscurilor și pregătirea comună pentru gestionarea dezastrelor în macroregiunea Dunării”), primele hărți de risc la stresul termic din anotimpul cald pentru capitala României.

Proiectul “EXHAUSTION” (“Expunerea la căldură și poluarea aerului în Europa - impacturi cardiopulmonare și beneficii ale atenuării și adaptării”), finanțat de Comisia Europeană în cadrul programului cadru Horizon 2020, are ca obiectiv să îmbunătățească substanțial cunoștințele și să estimeze impacturile corelate dintre schimbările climatice, valurile de căldură, poluarea aerului și sănătatea publică în Europa. Cercetătorii din Administrația Națională de Meteorologie contribuie la realizarea proiecțiilor climatice la scările spațiale caracteristice aglomerărilor urbane (de ordinul kilometrului) ale rezultatelor modelelor climatice regionale. De asemenea, cercetătorii români contribuie la evaluarea impactului insulei de căldură și a calității aerului asupra sănătății publice, în aglomerările urbane.

Aceast volum actualizează și completează volumul publicat anterior, în cadrul proiectului “SEERISK” (Bojariu și colab., 2015), cu elemente identificate, analizate și dezvoltate în cadrul proiectelor “IMDROFLOOD”, “URCLIM” și “EXHAUSTION”.

Roxana Bojariu

București, 15 iunie 2021

1. Sistemul climatic

Privind din perspectiva istorică, studierea atmosferei și a oceanelor a fost printre primele preocupări științifice ale omului. Dovezi privind interesul față de procesele meteorologice sunt prezente în Vedele indiene și în tăblițele cuneiforme descoperite în regiunea dintre Tigru și Eufrat. Filosofii greci au încercat la rândul lor să explice cauzele unor procese legate de vreme sau climă. Opera lui Hippocrate, *Aer, ape și locuri*, apărută în jurul anului 400 înainte de Hristos, este probabil prima climatografie, iar cartea lui Aristotel, *Meteorologica*, scrisă în jurul anului 350 înainte de Hristos, este considerată unul din primele tratate de meteorologie. Termenul de climatologie își are originea în limba greacă. Pentru primii filosofi greci noțiunea de climă (κλίμα) însemna pantă (înclinație) și se referea la curbura suprafeței Pământului. Ei credeau că diferențele regionale semnificative ale caracteristicilor vremii apar numai pe direcția nord-sud, datorită curburii suprafeței terestre (ridicată la sud și coborâtă la nord) care determină existența zonelor toride, temperate și reci. Recunoașterea faptului că structurile climatice nu sunt simple benzi latitudinale, ci sunt caracterizate de configurații spațiale complicate, determinate de influența atât a circulației generale a atmosferei cât și a proceselor continentale și oceanice, a început odată cu epoca marilor descoperiri geografice, iar studierea acestora rămâne și azi una din temele importante ale cunoașterii umane.

Clima integrează evoluțiile fluctuațiilor meteorologice, pe o perioadă mare de timp. Organizația Meteorologică Mondială (OMM) definește clima, în Ghidul practicilor climatologice, ca reprezentând: «sinteza condițiilor de vreme dintr-o anumită zonă, pe baza șirurilor lungi de observație (minimum 30 de ani de referință) ale variabilelor atmosferice» (WMO 1984).

Clima poate fi definită și pornind de la geosistemul format din atmosferă, ocean, criosferă (stratul de zăpadă, ghețarii continentali, permafrostul și gheața marină), litosferă și biosferă ca starea fizică medie a lui (Trenberth 1992). Clima, ca starea fizică a sistemului climatic, este

caracterizată de un set de mărimi mediate la care se adaugă parametrii statistici corespunzători variabilității și fluctuațiilor (varianța, covarianța etc.), care caracterizează structura și evoluția sistemului climatic, pe o perioadă de timp dată (Bojariu și colab., 2015).

Funcționarea sistemului climatic este asigurată de radiația solară, distribuită neuniform la suprafața Pământului. Modificările poziției relative a Pământului față de Soare determină schimbări în intensitatea și distribuția radiației solare la suprafața terestră. Albedoul planetar definește cât din energia solară primită este reflectată în spațiu. Cea mai mare parte din albedoul planetar este datorată norilor, la care se adaugă albedoul suprafeței terestre și fenomenele de reflexie determinate de particulele solide și lichide, în suspensie în atmosferă (Bojariu și colab., 2015). În plus, variații ale concentrației unora din constituenții gazoși și ale aerosolilor din atmosferă modifică cantitatea de energie reținută în geosistem.

Energia radiantă nereflectată, de la Soare, determină circulația atmosferică terestră, circulație influențată și de mișcarea de rotație a Pământului în jurul axei sale, prin efectul Coriolis. Vântul și căldura transferate oceanului planetar determină circulația oceanică, în condițiile mișcării diurne de rotație a planetei noastre, iar temperatura oceanelor influențează puternic umiditatea și căldura schimbate în procesele de interacțiune cu atmosfera. Atmosfera și oceanele sunt influențate la rândul lor de grosimea și suprafața stratului de gheață marină și continentală și de forma, relieful și acoperirea suprafețelor continentale. Întregul sistem climatic evoluează continuu, condiționat de numeroase procese care amplifică sau diminuează perturbațiile exterioare sau cele generate de interacțiunile subsistemelor componente (§ 1.2) (Bojariu și colab., 2015).

Componentele cele mai active sunt atmosfera și oceanul planetar, ele asigurând practic transportul energiei în sistemul climatic. Eliberarea de căldură latentă în zonele de interconvergență tropicală (ITCZ) determină o mișcare ascendentă a aerului la ecuator și o mișcare descendentă a

aerului, care inhibă formarea norilor determinând menținerea deșerturilor, în regiunile subtropicale (figura 3).

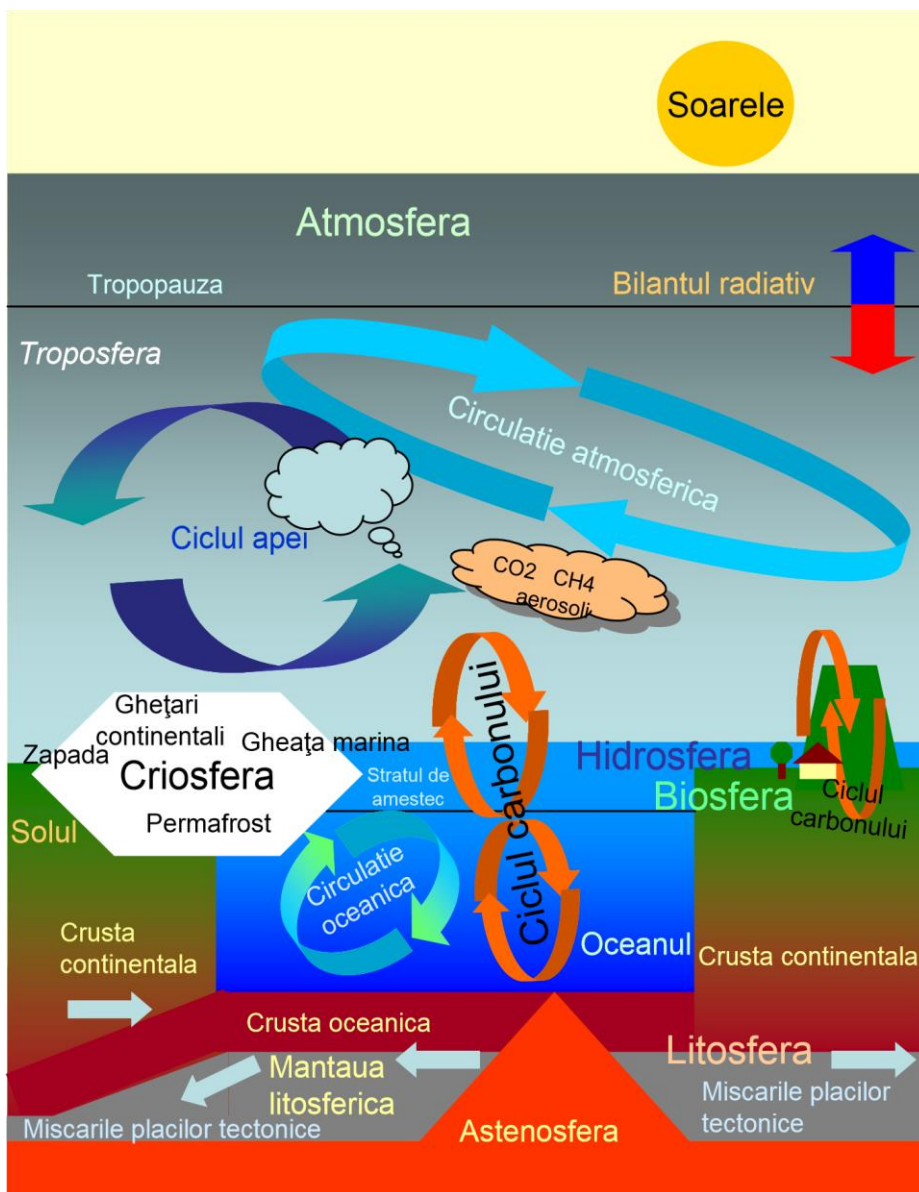


Figura 1. Reprezentare schematică a componentelor geosistemului climatic și a interacțiunilor dintre ele. După Bojariu și colab., (2015).

În plus, distribuția neuniformă a oceanelor și a regiunilor continentale introduce anomalii zonale în procesul de încălzire care determină circulații pe direcția vest-est – celule de tip Walker (figura 11) (Bojariu și colab., 2015). Există și alte mecanisme care introduc asimetrii în circulația generală a atmosferei. Astfel, caracteristicile orografice pot determina, la rândul lor, perturbații ale curgerii atmosferice zonale, în troposferă. Masivele muntoase ca Himalaya, Alpii și Munții Stâncoși își fac simțite prezența în configurațiile undelor planetare cvasistaționare prin trăsături caracteristice, vizibile chiar în câmpurile mediate (Bojariu și colab., 2015).

1.1. Atmosfera

Atmosfera Pământului, învelișul subțire de aer care înconjoară planeta noastră, este un amestec de gaze, legat de Pământ, în principal, prin forța gravitațională a acestuia și parțial prin câmpul magnetic de la mare altitudine. Atmosfera cuprinde, în cea mai mare parte, azot molecular (78%), oxigen molecular (21%) și alte urme de gaze precum dioxidul de carbon, ozonul și vaporii de apă (1%). În ciuda cantității mici, dioxidul de carbon, ozonul și vaporii de apă sunt foarte importanți pentru clima Pământului și pot avea un impact mare asupra proceselor atmosferice. Structura atmosferei poate fi descrisă în diferite moduri, luând în considerare diferite criterii, precum compoziția, temperatura, proprietățile electromagnetice.

Pe baza temperaturii, atmosfera este împărțită în patru straturi: troposfera, stratosfera, mezosfera și termosfera (Figura 2). Pe baza compoziției și amestecului, atmosfera poate fi împărțită în două straturi majore, homosfera și heterosfera. Homosfera, pornind de la suprafață, include troposfera, stratosfera, mezosfera și partea inferioară a termosferei. Mai departe se află heterosfera în care compoziția chimică variază cu altitudinea și gazele sunt stratificate datorită greutății lor moleculare.

Termenul troposferă este un termen derivat din greacă (tropein - a schimba, a circula sau a amesteca), indicând natura turbulentă a acestui strat în care sistemele meteorologice determină circulația maselor de aer și transportul a aproape întregului conținut atmosferic de vapori de apă.

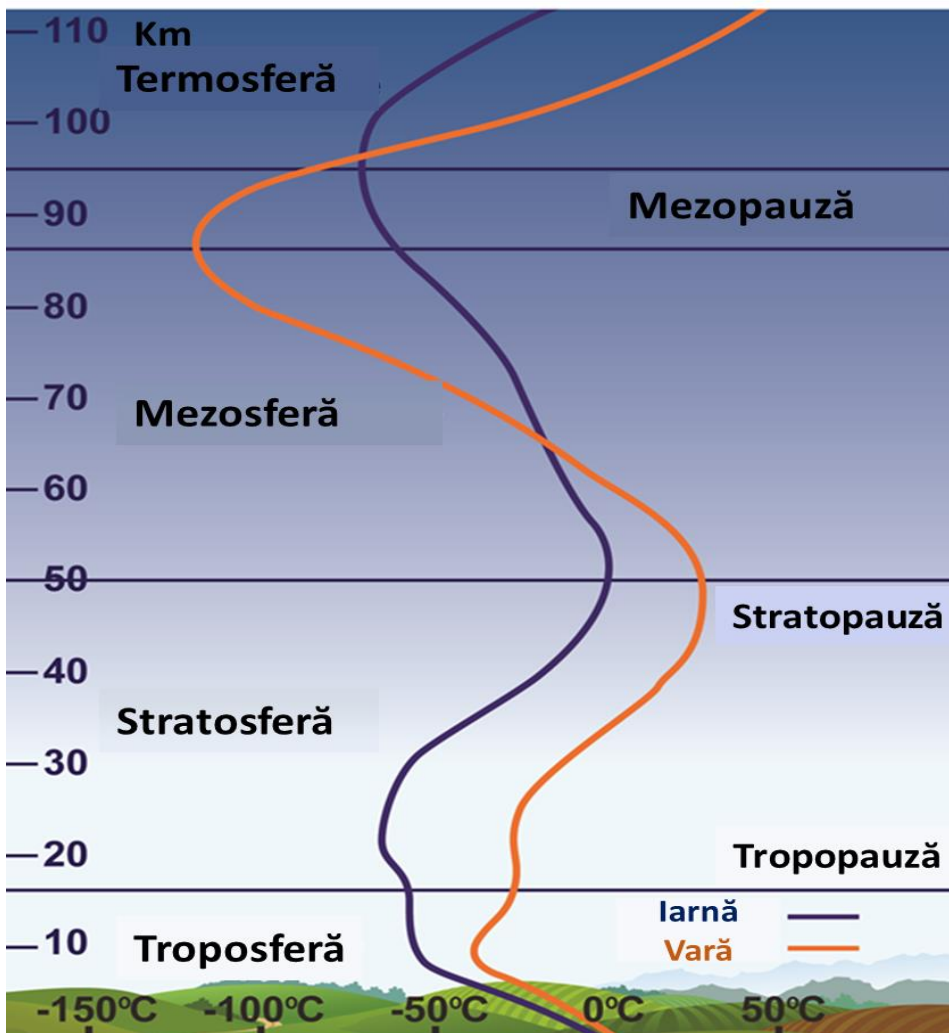


Figura 2. Structura atmosferei pe verticală. Adaptare după <http://www.athena-spu.gr/>.

Concentrația de vapori de apă variază de la cantități infime în regiunile polare până la aproape 4% în zonele tropicale. Majoritatea norilor

se dezvoltă în acest strat atmosferic. Troposfera conține în jur de 75-80% din masa totală a atmosferei Pământului și se extinde de la suprafață până la aproximativ 16-20 km deasupra ecuatorului și până la aproximativ 7-8 km deasupra polilor. Grosimea troposferei depinde de latitudine, anotimp și ciclul diurn. Ea este cea mai mare vara și cea mai scăzut iarna. Acest efect sezonier este cel mai puternic la latitudini medii (Tourpali și colab., 2015).

Temperatura, presiunea, densitatea aerului și conținutul de vapori de apă în troposferă scad odată cu înălțimea. Temperatura aerului scade odată cu înălțimea la o rată medie de scădere de aproximativ $-6,5 \text{ }^\circ \text{K / km}$, până la tropopauză (limita dintre troposferă și stratosferă). Cu toate acestea, uneori temperatura poate crește odată cu înălțimea în straturi troposferice limitate, ducând la inversiuni de temperatură care împiedică amestecarea pe direcție verticală a aerului. O astfel de stabilitate atmosferică poate favoriza episoade de poluare a aerului la nivelul solului. În troposferă, viteza vântului crește odată cu înălțimea, ceea ce conduce la dezvoltarea de curenți-jet cu viteze de ordinul a 100 km / h , chiar sub tropopauză (Tourpali și colab., 2015).

Stratosfera este stratul atmosferic în care temperatura aerului crește treptat până la stratopauză (până la o înălțime medie de 50 km) ce marchează granița cu mezosfera (Figura 2). Datorită creșterii temperaturii cu înălțimea, aerul mai cald se află deasupra celui mai rece și aici convecția nu este favorizată. Condițiile atmosferice sunt stabile și amestecul vertical este suprimat. Doar cantități mici de vapori de apă pătrund în stratosferă (prin tropopauză), deci stratosfera este o regiune foarte uscată (Tourpali și colab., 2015).

Ozonul joacă rolul major în reglarea regimului termic al stratosferei. Regiunea stratosferică cu cea mai mare concentrație de ozon este cunoscută sub numele de „strat de ozon”. Acesta este situată, în general, la înălțimi cuprinse între aproximativ 15 și 35 km. Concentrația maximă de ozon este la înălțimi de la 26 la 28 km (sau ușor mai mari) la tropice și de la aproximativ 12 la 20 km spre poli. Temperatura crește odată cu concentrația de ozon, deoarece energia solară este convertită în energie

cinetică atunci când moleculele de ozon absorb radiațiile ultraviolete, ducând la încălzirea stratosferei. Temperatura crește și datorită energiei termice eliberate în timpul ciclului de formare a ozonului (reacția oxigenului (O) și a moleculelor de oxigen (O₂) care produce ozon este exotermă; căldura este eliberată și stratosfera se încălzește). Deoarece ozonul este principalul gaz implicat în încălzirea radiativă a stratosferei, variațiile sale induse de ciclul solar de activitate și variațiile acestuia pot afecta direct echilibrul radiativ al stratosferei cu efecte indirecte asupra circulației atmosferice (Tourpali și colab., 2015).

Localizarea medie a mezosferei este de la aproximativ 50 la 90 de Km deasupra suprafeței Pământului. Mezosfera se caracterizează prin scăderea temperaturii odată cu înălțimea. Limita superioară a mezosferei, mezopauza, se află la altitudinea la care temperatura atinge un nivel minim. Mezopauza, este situată la altitudini cuprinse între 85-100 km, în funcție de latitudine și anotimp. Temperatura medie a mezopauzei este de aproximativ -90° C, dar cele mai scăzute temperaturi apar deasupra polilor în timpul sezonului estival, unde temperatura poate scădea adesea sub -100 °C (în același timp celălalt pol (de iarnă) poate avea temperaturi mai ridicate cu câteva grade C), deci mezopauza polară de vară este cea mai rece zonă din întreaga atmosferă (Tourpali și colab., 2015).

Procentul de oxigen, azot și dioxid de carbon din aer în mezosferă este aproape același cu cel de la nivelurile atmosferice inferioare, dar densitatea aerului este mult mai mică. Conținutul de vapori de apă este foarte mic. Mezosfera este cea mai rece dintre straturile atmosferice, astfel încât cantitățile mici de apă care sunt prezente acolo sunt sub formă de cristale de gheață în norii ce sunt cei mai înalți din atmosfera Pământului. Ei sunt numiți nori noctilucenti și pot fi observați după apusul soarelui, la latitudini mari, în timpul verii (Tourpali și colab., 2015).

Mezosfera împreună cu termosfera inferioară (uneori denumită mezosferă-termosferă inferioară sau MLT) este regiunea în care amestecul turbulent vertical este înlocuit treptat de difuzia moleculară, pe măsură ce altitudinea crește. Cantitatea de radiație solară disponibilă pentru fotoliza

moleculelor atmosferice crește rapid; moleculele domină compoziția atmosferică la niveluri inferioare și speciile atomice, care sunt mai ușoare, sunt abundente în straturile superioare. Mezosfera este, de asemenea, stratul în care mulți meteori ard atunci când intră în atmosfera Pământului (Tourpali și colab., 2015).

La aproximativ 80 de kilometri înălțime față de suprafața terestră, azotul molecular este predominant, urmat de oxigenul molecular. Peste aproximativ 250 de kilometri predomină oxigenul atomic. Cu toate acestea, la aproximativ 1.000 de kilometri înălțime, hidrogenul devine cel mai abundent element: deoarece nu mai există un amestec de convecție, elementele cele mai grele rămân în straturile inferioare, iar elementele mai ușoare „plutesc” deasupra lor. În această zonă de atmosferă înaltă, emisiile de radiații ultraviolete extreme (EUV), puternic corelate cu activitatea solară, sunt absorbite în procese de ionizare, excitație, disociere, încălzire. Prin urmare, această regiune a atmosferei este un mediu format dintr-un amestec de gaz neutru, ioni care sunt mai mult sau mai puțin energizați și electroni. Gazului neutru i s-a dat numele de termosferă. Combinația de gaz ionizat, ioni și electroni este ionosfera. Amestecul ionosferei și al termosferei este o plasmă numită „atmosferă superioară”. Proprietățile sale sunt destul de diferite de cele ale unui gaz clasic format din particule neutre, deoarece mișcarea particulelor încărcate este sensibilă la câmpurile electrice și magnetice. Cu toate acestea, proporția particulelor încărcate rămâne scăzută în comparație cu cea a particulelor neutre: aproximativ o miliardime la o altitudine de 100 de kilometri și o zecime la aproximativ 1.000 de kilometri (Tourpali și colab., 2015).

Încălzirea atmosferei superioare este indirectă: temperatura atmosferei este crescută prin fricțiunea particulelor energizate împotriva celor care nu au fost energizate și prin reacții chimice, nu prin interacțiunea directă dintre atmosferă și radiația solară. Temperatura crește considerabil deasupra mezosferei, aproximativ 8-10 grade pe kilometru între 100 și 150 de kilometri. Convecția este inhibată și numai prin conductivitate termică se poate transfera energia de la un strat la altul. Acest proces de conducție

termică este eficient până la 200-300 de kilometri în sus; deasupra acestei altitudini atmosfera este prea subțire pentru a mai conduce căldura. Mai sus, temperatura devine constantă și se numește temperatura exosferică T_{∞} . Valoarea sa tipică este între 1.000 și 1.200 grade Kelvin într-o perioadă liniștită, dar poate depăși 2.000 Kelvin în perioadele cu activitate solară ridicată (Tourpali și colab., 2015).

Când Soarele este într-o perioadă de activitate redusă, temperatura este de aproximativ 1.000 grade Kelvin pentru ioni și 1.500 grade Kelvin pentru electroni, la 400 de kilometri. Acestea sunt valori scăzute în comparație cu cele care apar atunci când Soarele este deosebit de activ: temperatura ionilor poate ajunge până la 2.000 grade Kelvin și cea a electronilor, până la 3.000 grade Kelvin, la aceeași altitudine. Cele patru efecte ale radiației solare asupra atmosferei înalte - ionizare, disociere, excitație, încălzire - depind de intensitatea radiației și, prin urmare, de activitatea solară (Tourpali și colab., 2015).

Peste o altitudine de aproximativ 600 de kilometri, concentrația particulelor devine atât de scăzută încât comportamentul lor nu mai este determinat în funcție de coliziuni, ci este o consecință a configurației câmpului magnetic. Zona aceasta a fost numită magnetosferă. Magnetosfera nu este, strict vorbind, o parte a atmosferei, ci mai degrabă parte a mediului spațial al Pământului (Tourpali și colab., 2015).

1.1.1. Circulația generală a atmosferei

Procesele radiative, chimice și dinamice care au loc în atmosferă contribuie împreună la configurarea caracteristicilor climatice terestre. Încălzirea datorată fluxului de energie radiantă este neuniformă pe suprafața terestră. Fluxul net de energie absorbit este pozitiv la latitudinile joase și negativ la latitudinile înalte.

Pentru păstrarea echilibrului termic, trebuie să existe un transfer de energie de la tropice la poli. Aproximativ 60 % din acest transfer energetic este asigurat de mecanismele circulației generale ale atmosferei (Peixoto & Oort 1992). Circulația generală a atmosferei este menținută, în prezența

proceselor disipative, de conversia energiei potențiale, asociată distribuției de masă, în energie cinetică, asociată mișcărilor aerului. Încălzirea datorată fluxului de energie radiantă determină o structură termică medie caracterizată de izoterme și izobare aproximativ paralele cu cercurile latitudinale.

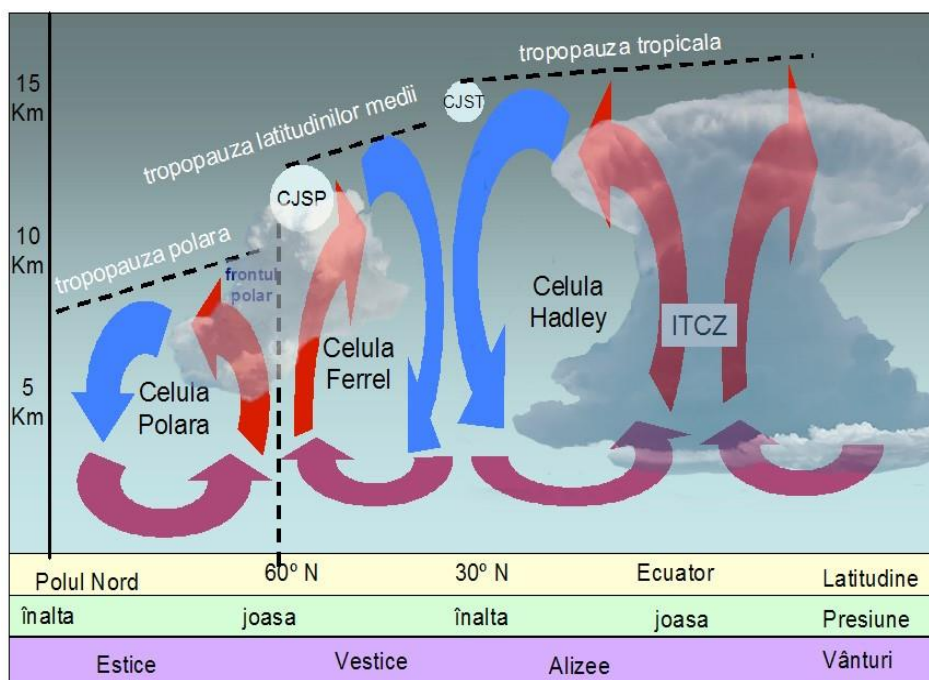


Figura 3. Secțiune meridională reprezentând circulația generală în troposferă în Emisfera Nordică. Cu ITCZ s-a notat poziția latitudinală medie a zonei intertropicale de convergență. CJSP reprezintă curentul jet subpolar iar CJST este curentul jet subtropical. După Bojariu și colab. (2015).

La latitudinile medii și înalte circulația medie este aproape circumpolară, cu o componentă meridională (pe direcția nord-sud) redusă (Bojariu și colab. 2015). Perturbațiile asimetrice zonale (unde barocline) care se dezvoltă din instabilitățile curgerii atmosferice zonale sub forma sistemelor sinoptice tranziente sunt cele care asigură transferul eficient al energiei de la latitudinile joase la cele înalte. Numai o parte din energia potențială este transformabilă în energie cinetică. Energia potențială

disponibilă este determinată de stratificarea atmosferei. La latitudinile joase energia cinetică este asociată circulațiilor termice directe (celula Hadley) (figura 3).

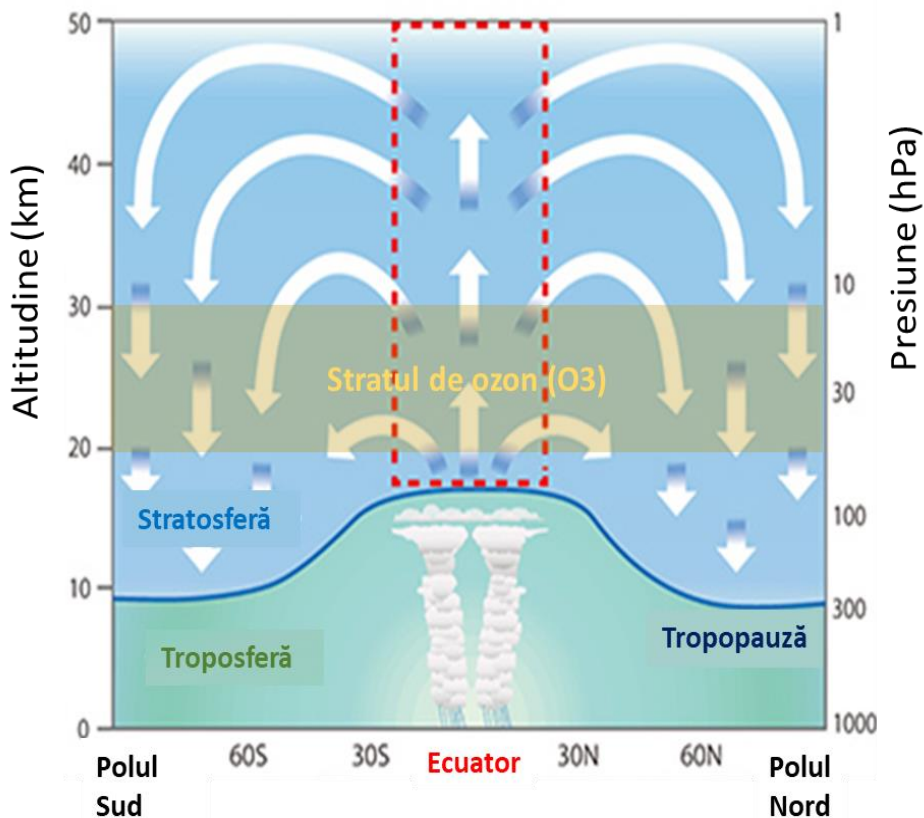


Figura 4. Circulația atmosferică în stratosferă (circulația Brewer - Dobson). Regiunea verde este troposfera și zona albastră este stratosfera. Convecția are loc la Ecuator, transportând mase de aer spre nord și sud, care apoi coboară la latitudini înalte. Ozonul și alte specii chimice sunt transportate prin această circulație. Liniile roșii punctate arată zona în care se dezvoltă oscilația quasibianuală (QBO). Banda galbenă ilustrează stratul de ozon. Adaptare după https://www.jamstec.go.jp/e/about/press_release/20130523/.

În stratosferă, au loc interacțiuni intense între procesele radiative, dinamice și chimice, în care amestecul în plan orizontal al componentelor gazoase se desfășoară mult mai rapid decât amestecul în plan vertical. Circulația stratosferică face ca aerul care se ridică în regiunea tropicală din

troposferă în stratosferă să fie transportat în sus și apoi spre poli, coboară la latitudini medii și înalte. Această circulație, numită circulația Brewer-Dobson, este puternică în emisfera de iarnă respectivă și transferă ozonul și alți constituenți gazoși ai atmosferei aflați în concentrație mică, de la tropice în regiunile polare, așa cum arată Figura 4.

Vortexul polar este o circulație ciclonică circumpolară pe scară largă (vânturi puternice de la vest la est care înconjoară regiunile polare). Vortexul polar se extinde de la nivelurile superioare ale troposferei prin stratosferă și în mezosferă (peste 50 km) și este asociat cu valori scăzute ale temperaturii și ale concentrației de ozon. Vortexurile polare apar în ambele emisfere, cele mai puternice dezvoltându-se în timpul sezonului de iarnă, când gradientul de temperatură (diferența de temperatură) de la pol la ecuator este cel mai puternic. Vortexurile polare joacă un rol important în cuplarea troposferei cu stratosfera (de exemplu, prin oscilația arctică) și în reducerea stratului de ozon (de exemplu, gaura de ozon de deasupra Antarcticii). O altă caracteristică interesantă a circulației stratosferice este oscilația quasibianuală (QBO). Fenomenul QBO este definit de vântul zonal din stratosfera tropicală care își modifică sensul dinspre est sau dinspre vest, periodic, la un interval de aproximativ 28 de luni.

1.2. Oceanul planetar

Oceanul planetar, care acoperă 71 % din suprafața Pământului, reprezintă principalul rezervor termic și de umiditate pentru sistemul climatic. În jur de 40 % din transportul energiei în sistemul climatic este datorat circulației oceanice (Peixoto & Oort 1992). Procesele atmosferice sunt puternic influențate de variațiile temperaturii la suprafața oceanului (SST). Variații ale temperaturii oceanului apar ca urmare a anomaliilor fluxului net de căldură la suprafață sau datorită modificărilor în circulația oceanică. Structura pe verticală a oceanului planetar este prezentată schematic în figura 5.

1.2.1. Circulația generală a oceanului planetar

Dovezi observaționale și studii teoretice arată că, în cea mai mare parte a oceanului planetar, circulația medie determinată de vânt are loc în stratul de amestec de la suprafața oceanică și în regiunea din vecinătatea termoclinei (figurile 5 și 6). În general circulația oceanică de suprafață urmează sensul circulației atmosferei inferioare, cu două excepții notabile. Astfel, curenții oceanici de suprafață se intensifică puternic în partea vestică a fiecărui bazin, în ambele emisfere și contra-curenți de suprafață se deplasează împotriva vântului, în emisfera nordică, în vecinătatea zonelor de interconvergență tropicală (ITCZ) (figura 6) (Bojariu și colab., 2015).

Schimbările climatice care influențează semnificativ câmpul tensiunii vântului deasupra oceanelor modifică și transportul oceanic de căldură. Descrierea circulației oceanice de adâncime este o sarcină dificilă datorită lipsei datelor observaționale care să caracterizeze complet oceanul planetar. Totuși, observațiile existente arată că, în regiunile subpolare, apele de suprafață (mai calde) sunt separate de apele de adâncime (mai reci) prin intermediul unei termocline situată între 100 m și 1000 m adâncime. Această distribuție verticală de temperatură în coloana de apă nu poate fi menținută fără un transport continuu de ape reci în straturile oceanice abisale și de ape calde în straturile de suprafață (Bojariu și colab., 2015).

Legea de conservare a energiei în bazinele oceanice, a căror frontieră abisală este considerată izolată termic, impune ca energia primită din atmosferă în zonele tropicale și subtropicale să fie transferată înapoi atmosferei în zonele subpolare și polare. La latitudinile înalte, apele răcite, cu o concentrație mare de sare, ajung în straturile oceanice adânci, prin procesul de convecție termică. Aceste ape reci și saline se deplasează spre sud, de-a lungul coastei continentului american și în jurul continentului antarctic de unde, împreună cu masele de apă reci și saline, formate prin convecție în aceste regiuni, se deplasează apoi spre est, în Oceanul Indian și Pacific (Bojariu și colab., 2015).

Din nordul Oceanului Indian și Pacific se reîntorc la suprafață, se transformă în mase de ape calde, interacționând apoi cu atmosfera, în nordul Atlanticului (figura 7). Circulația termosalină descrisă mai sus are scara de timp de ordinul a o mie de ani, dar există studii teoretice care pun în lumină posibilitatea existenței fluctuațiilor interdecenale ale caracteristicilor acestei circulații.

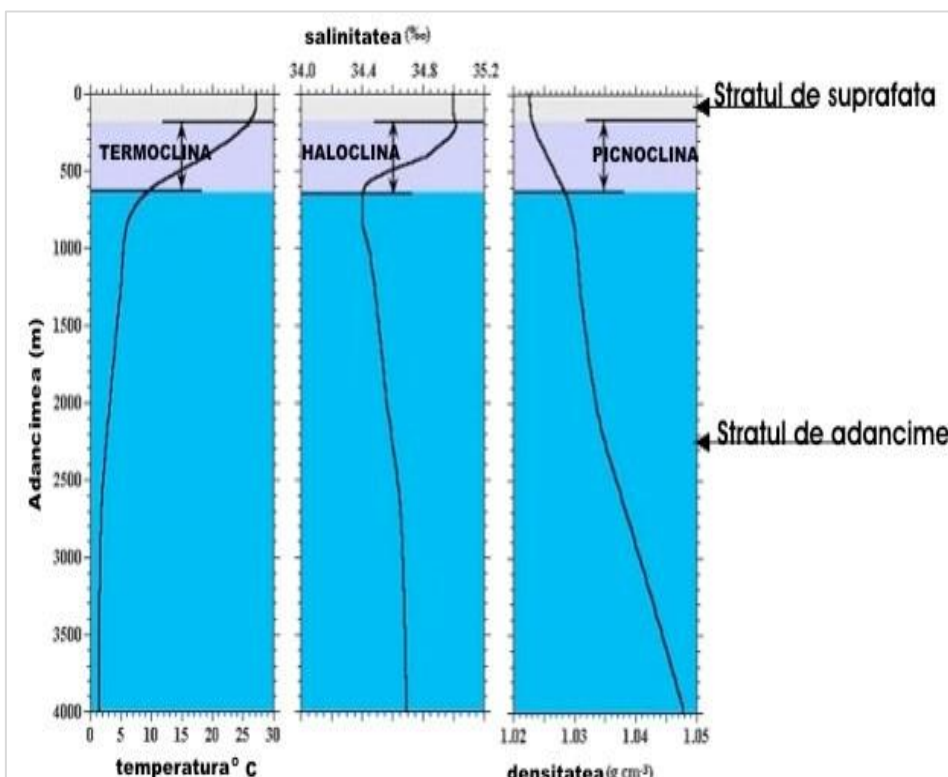


Figura 5. Reprezentare schematică a structurii termice, de salinitate și de densitate a oceanului planetar. După Bojariu și colab. (2015).

Analize efectuate cu modele climatice sugerează faptul că circulația termosalină poate influența semnificativ evoluția sistemului climatic (Bojariu și colab., 2015).

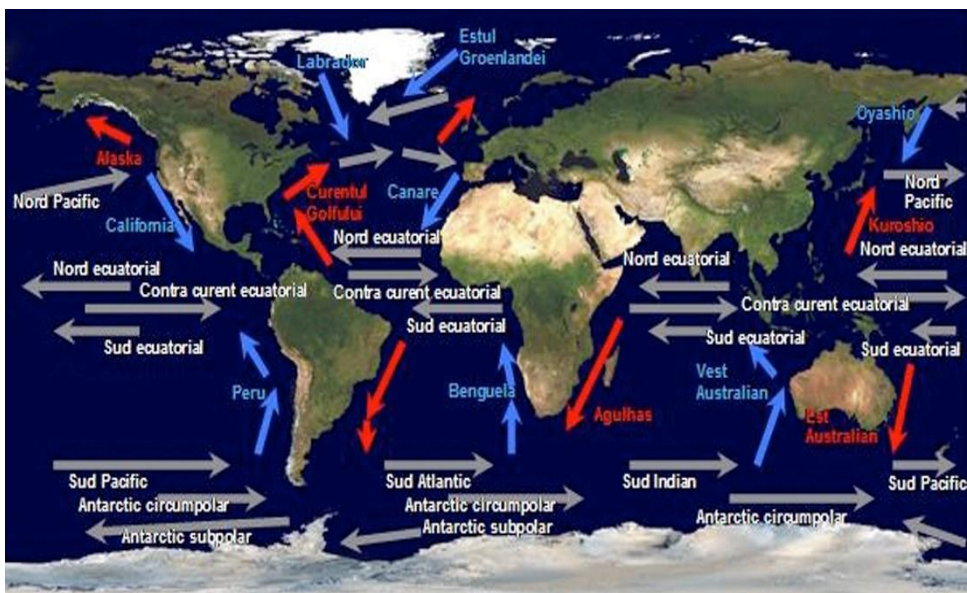


Figura 6. Reprezentare schematică a circulației oceanice din straturile de suprafață. Cu săgeți roșii sunt ilustrați curenții calzi și ci săgeți albastre, cei reci. După Bojariu și colab. (2015).

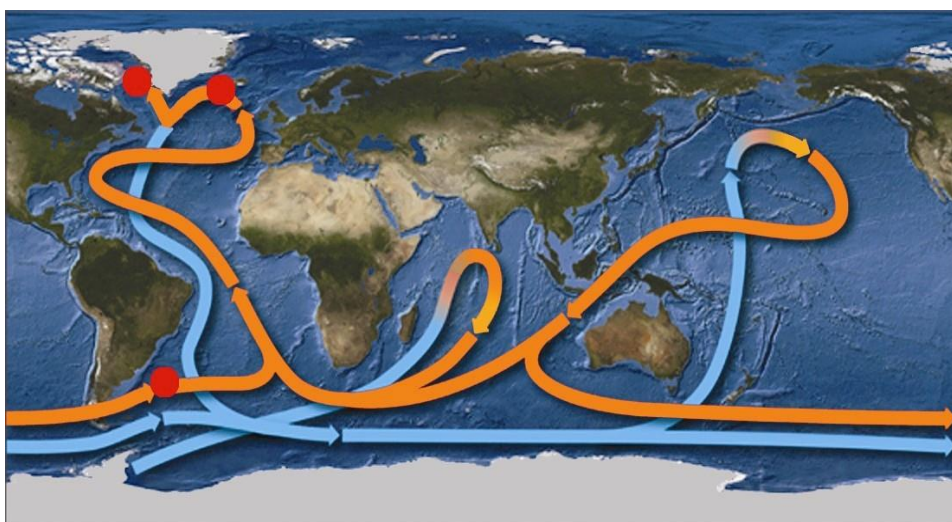


Figura 7. Schema circulației globale termosalinine (după Broecker, 1987). Cercurile roșii indică locațiile unde se produce schimbul de căldură între atmosferă și masele de apă în circulația termosalină. După Bojariu și colab. (2015).

1.3. Procesele de feedback și forță în sistemul climatic

Temperatura Pământului calculată pe baza legii Stefan - Boltzmann, din radianța observată în spațiul cosmic, este de 255 grade K. Temperatura observată la suprafața terestră este însă în jur de 288 grade K. Diferența de 33 grade K este datorată existenței atmosferei terestre, semitransparentă pentru radiația solară din spectrul vizibil, dar aproape opacă pentru radiația infraroșie, din cauza prezenței gazelor atmosferice radiativ active (care intervin în transferul radiației solare), a norilor și a particulelor în suspensie. Acești constituenți absorb radiația infraroșie emisă de suprafața Pământului și o reemit atât spre spațiu cosmic, cât și înapoi spre suprafață contribuind la o reducere a pierderilor de energie în exterior (efectul de seră). Creșterea concentrației constituenților atmosferici radiativ-activi determină o creștere a temperaturii suprafeței terestre. Acesta e un exemplu de forță ce acționează în sistemul climatic. Alt forță este cel legat de activitatea Soarelui ce furnizează energia primară sistemului climatic terestru (Bojariu și colab., 2015).

Ca urmare a activităților umane, s-a calculat că, începând cu anul 1900, creșterea concentrațiilor dioxidului de carbon, a metanului, oxidului de azot și a compușilor de tip cloro-fluor-carbon, precum și a altor gaze cu efect de seră a determinat o creștere a densității fluxului de energie radiantă la suprafața Pământului cu aproximativ 3 W/m² (Peixoto & Oort 1992). Raportul al V-lea al IPCC (2014) estimează o creștere a forțării radiativ, începând de la debutul erei industriale, cu 2,83 (2.54 la 3.12) W/m². Ce înseamnă acest forță de aproape 3 W/m² în plus pentru temperatura la suprafață este însă dificil de estimat datorită numeroaselor mecanisme de feedback ce acționează în sistemul climatic (Bojariu și colab., 2015).

Procesele de feedback sunt perturbații influențate de efectele lor, în buclă. Într-o astfel de buclă, «intrarea» este influențată de «ieșire». Feedback-ul pozitiv este acela în care perturbarea inițială este amplificată de efectele produse în sistem.

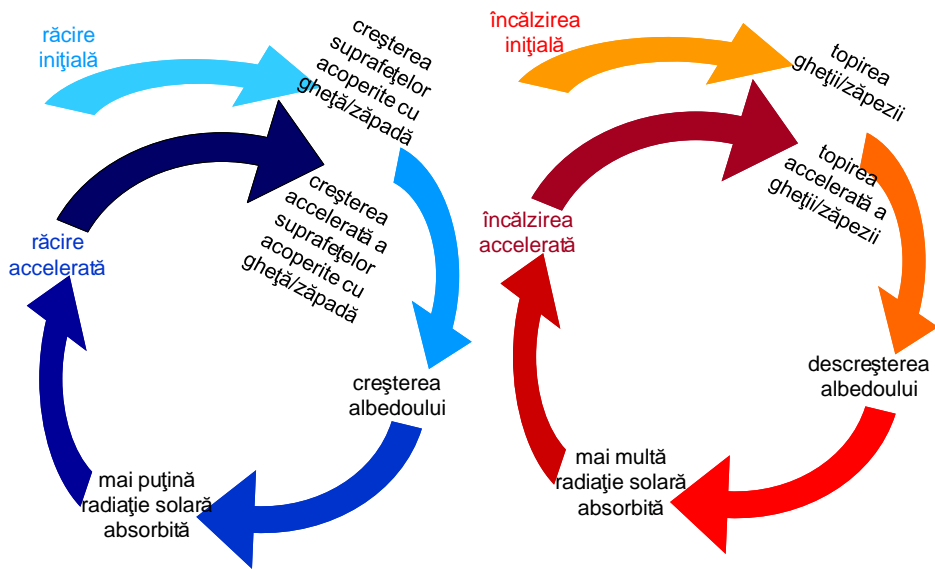


Figura 8. Reprezentarea schematică a feedback-ului pozitiv legat de albedoul gheții și zăpezii. După Bojariu și colab. (2015).

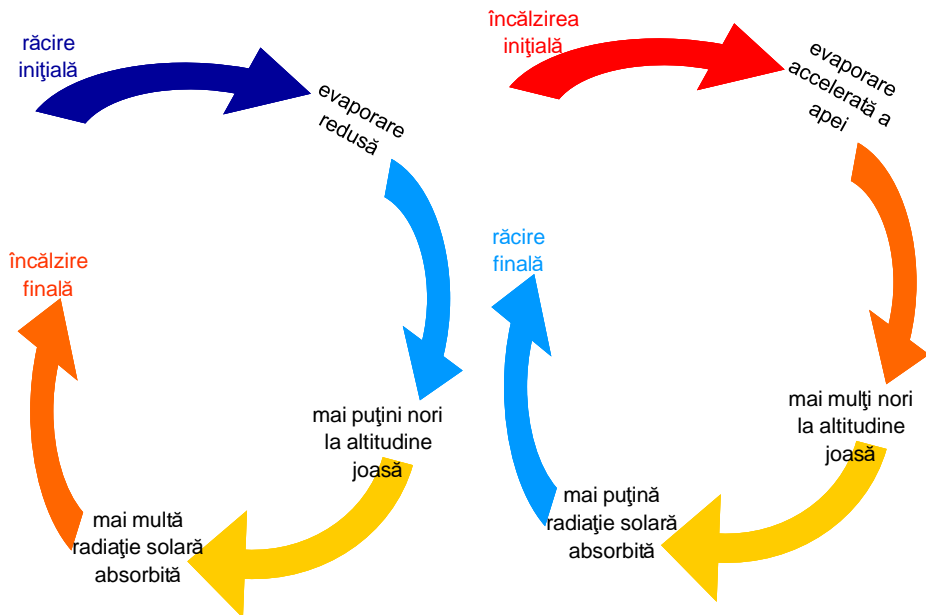


Figura 9. Reprezentarea schematică a feedback-ului negativ legat de norii joși. După Bojariu și colab. (2015). După Bojariu și colab. (2015).

Feedback-ul negativ apare când perturbația inițială este diminuată de impactul produs în sistem. Două exemple de feedback-uri care acționează în sistemul climatic sunt prezentate schematic în figurile 8 și 9 (Bojariu și colab., 2015).

Alte exemple de procese în buclă ce acționează în geosistem sunt: feedback-ul pozitiv al vaporilor de apă ce acționează odată cu creșterea cantității de vapori de apă în atmosferă, determinând o încălzire suplimentară care, la rândul ei, amplifică creșterea masei de vapori din atmosferă, accelerând încălzirea inițială; feedback-ul legat de tipul de folosință al solului ce depinde de albedoul suprafeței, acționând diferit în cazul suprafețelor acoperite cu vegetație și a celor aride (se consideră că în raport cu celelalte interacțiuni, efectul e relativ redus); feedback-ul negativ legat de procesele biotice – de exemplu, algele care produc particule de aerosoli, care la rândul lor favorizează formarea norilor în atmosferă – odată cu creșterea masei de alge, temperatura scade, ceea ce determină o reducere a cantității lor. În cazul norilor acționează atât un feedback pozitiv, cât și unul negativ, depinzând de tipul norilor, rezultatul net fiind însă o scădere a temperaturii globale odată cu creșterea nebulozității planetare.

Interacțiunea dintre oceane și atmosferă prin procesele de feedback și forțaj sunt fundamentale ca importanță pentru procesele dinamice ce guvernează clima și variabilitatea sa. Pe lângă răspunsul la fenomenele atmosferice, oceanele evidențiază propria scară de timp, configurată de procesele lente, comparativ cu cele atmosferice, datorită capacității sale calorice mari. Procesele oceanice, caracterizate de durate mari de timp, influențează, la rândul lor, circulația atmosferică prin procese de forțaj (Bojariu și colab., 2015).

1.4. Ciclul hidrologic

În Fig. 10 este ilustrată reprezentarea schematică a ciclului hidrologic, cunoscut și sub numele de ciclul apei. Datorită radiației solare, apa se evaporă, în principal, din mări, oceane, lacuri, râuri. Apa se evaporă și din

din frunzele plantelor (care preiau apa din sol) prin mecanismul transpirației și direct din sol. Pe măsură ce vaporii de apă se ridică în atmosferă, aceștia se răcesc, condensează și se reîntorc pe uscat și în mare/ocean, ca precipitații. Precipitațiile cad pe sol și îi modelează suprafața, creând astfel fluxuri de apă care ajung la lacuri și râuri. O parte din apa care precipită pătrunde în sol și se infiltrează, formând acvifere subterane. În cele din urmă, o parte din apa de suprafața și cea subterană ajunge în mare și ocean. În timpul acestor procese, apa trece prin toate fazele: gazoasă, lichidă și solidă (gheață).

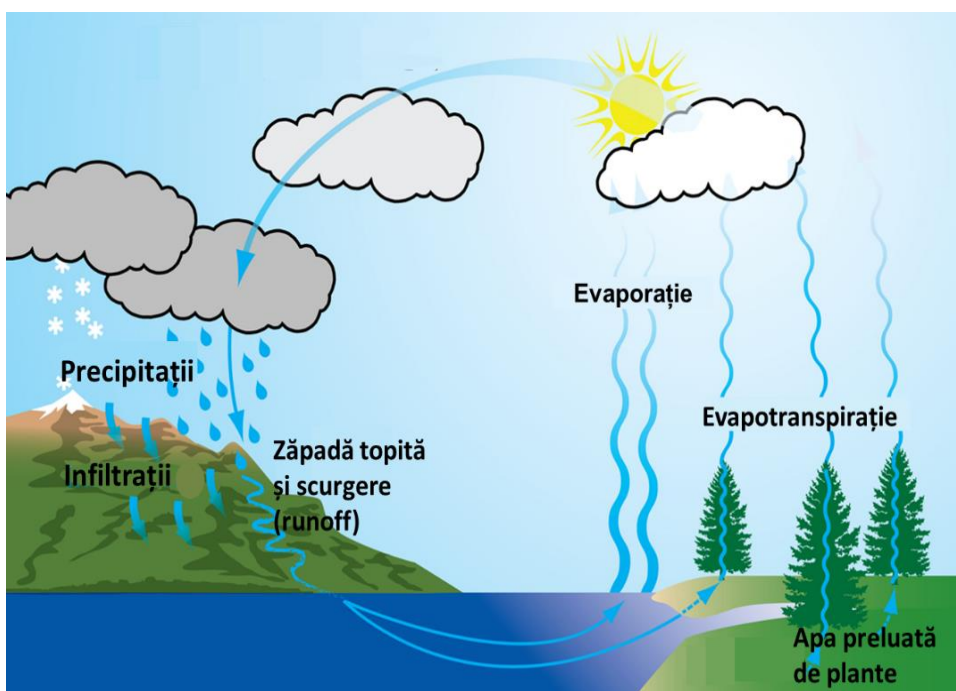


Figura 10. Reprezentarea schematică a ciclului hidrologic.

Ciclul hidrologic este dependent de diverși factori și este afectat în egală măsură de oceane și suprafața terestră. În cazul suprafeței terestre, vegetația joacă un rol important în menținerea bilanțului hidrologic (Pielke și Niyogi 2009). Prezența vegetației crește capacitatea suprafeței terestre

de a reține apa. De asemenea, precipitațiile sunt interceptate de plante. Plantele transpiră și ajută la crearea unei cantități importante de vapori de apă prin procese de evapotranspirație. Scurgerea la suprafață, în cazul terenului gol, fără vegetație, este mult mai mare decât în cazul terenurilor acoperite cu plante. Plantele sunt implicate în procesele de schimb de energie, vapori de apă și carbon, de aceea prezența lor este esențială pentru funcționarea ciclului hidrologic.

În cadrul proiectului IMDROFLOOD, studiul de caz privind sub-bazinul Jijiei din bazinul Prutului a evaluat, folosind un model ecohidrologic, principalele elemente ale bilanțului apei, în perioada 2005-2015. Analiza rezultatelor confirmă că pentru bazinul studiat evapotranspirația este un element important al bilanțului apei, contribuind la atingerea unor valori foarte mici ale umidității solului și implicit la instalarea secetei severe. Regimul pluviometric deficitar contribuie și el la instalarea și dezvoltarea secetei, precipitațiile anuale fiind mai reduse decât evapotranspirația potențială/reală, în bazinul studiat. Contribuția tipului de vegetație ce acoperă solul la valorile evapotranspirației e unul din factorii importanți pentru evoluția secetei în acest tip de bazin. În schimb, reducerea scurgerii la suprafață prin acoperirea cu diferite tipuri de vegetații are impact asupra inundațiilor. De exemplu, pentru sub-bazinul Jijiei, rezultatele experimentelor numerice indică o reducere a scurgerii totale cu 33% în cazul acoperirii totale a suprafeței de drenaj cu păduri. În plus, reducerea scurgerii totale contribuie la menținerea umezelii solului, mai ales în timpul perioadelor cu precipitații deficitare (IMDROFLOOD 2019).

Ciclul hidrologic este strâns legat de modificările temperaturii atmosferice și ale bilanțului radiativ, deci se așteaptă ca ciclul hidrologic să fie afectat de încălzirea globală ale cărei manifestări sunt deja observate în creșterea temperaturii medii globale a aerului și oceanului, topirea pe scară largă a zăpezii și a gheții și creșterea nivelului oceanului planetar. În condițiile schimbării climei, sunt studii care sugerează că ciclul hidrologic se intensifică prin creșterea intensității precipitațiilor și evaporației.

1.5. Ciclurile carbonului

Ciclul lent al carbonului, ce acționează la scara de timp de sute de milioane de ani, este cel inițiat de procesele de îndepărtare a dioxidului de carbon din atmosferă, odată cu precipitațiile cu care se combină, formând acidul carbonic. Acidul carbonic este un acid slab, dar pe perioade lungi de timp, poate eroda rocile ce conțin silicați și rocile calcaroase. Cea mai mare parte a scoarței (și a mantalei) Pământului este compusă din silicați.

Producții acestor reacții de erodare (în principal, ionii de calciu, magneziu, potasiu sau sodiu) ajung în ocean. În ocean, ionii de calciu se combină cu ionii de bicarbonat pentru a forma carbonat de calciu. Cea mai mare parte a carbonatului de calciu este produsă de organisme ce își construiesc exoschelete/cochilii (cum ar fi corali și specii de plancton de tipul coccolithophore și foraminifere). După ce aceste organisme mor, ajung pe fundul oceanului/mării. În timp, straturile de cochilii și sedimente sunt cimentate împreună și se transformă în rocă, stocând astfel carbonul în calcar și derivații săi. Pe de altă parte, reacția de precipitare, în ocean, a oxidului de siliciu, rezultat din erodarea rocilor cu silicați, se face cu eliberare de dioxid de carbon în atmosferă (dar în cantitate mai mică decât cea extrasă inițial din atmosferă). În zonele unde crusta oceanului se deplasează sub cea continentală, carbonatul de calciu și oxidul de siliciu se retransformă în silicați și dioxid de carbon emis în atmosferă, prin activitatea vulcanică.

Doar 80 % din rocile care conține carbon sunt generate în acest fel. Restul de 20 % conține carbon de la viețuitoare (carbon organic) care a fost încorporat în straturi de noroi. Căldura și presiunea comprimă noroiul și carbonul de-a lungul a milioane de ani, formând roci sedimentare precum șistul. În cazuri speciale, atunci când materia vegetală moartă se acumulează mai repede decât se poate descompune, straturile de carbon organic se transformă în petrol, cărbune sau gaz natural, în loc de roci sedimentare precum șistul.

Dacă concentrația dioxidului de carbon crește în atmosferă din cauza creșterii activității vulcanice, de exemplu, temperaturile cresc, ducând la

o cantitate crescută de precipitații, care erodează chimic o cantitate mai mare de roci, creând mai mulți ioni. Aceștia vor contribui la depunerea unei cantități mai mari de carbon pe fundul oceanului. Procesele de erodare sunt cu atât mai intense cu cât temperatura aerului este mai mare. După o încălzire inițială, erodarea mai intensă îndepărtează cantități sporite de dioxid de carbon din atmosferă. Scăderea concentrației de dioxid de carbon determină, mai departe, o răcire în geosistem. Acest ciclu acționează ca un feedback negativ în sistemul climatic. Este nevoie de câteva sute de mii de ani pentru a reechilibra, prin acest feed-back negativ, ciclul lent al carbonului.

Ciclul rapid al carbonului implică în mai mare măsură componenta biosferei (Figura 1). Carbonul joacă un rol esențial în biologie datorită capacității sale de a forma multe legături într-o varietate mare de molecule organice complexe. Multe molecule organice conțin atomi de carbon care au format legături puternice cu alți atomi de carbon, combinându-se în structure formate din lanțuri lungi și inele. Astfel de structuri stau la baza celulelor vii. Legăturile din lanțurile lungi de carbon conțin multă energie, iar când lanțurile se rup, energia stocată este eliberată, ceea ce înseamnă că structurile de carbon sunt o sursă bună de combustibil pentru toate viețuitoarele. Plantele și fitoplanctonul sunt principalele componente ale ciclului rapid al carbonului. Fitoplanctonul (organismele microscopice din ocean) și plantele preiau dioxidul de carbon din atmosferă absorbindu-l în celulele lor. Folosind energia provenită de la Soare, atât plantele, cât și planctonul combină dioxidul de carbon (CO_2) și apa pentru a forma zahăr (CH_2O) și oxigen. Dioxidul de carbon eliberat în reacțiile prin care viețuitoarele își generează energia necesară, din descompunerea lor când mor (prin intermediul bacteriilor) sau din incendiile de vegetație ajunge, de obicei, înapoi în atmosferă, închizând acest ciclu rapid. Ciclul rapid al carbonului este strâns legat de ciclul de viață al plantelor: în iarna emisferei nordice, când sunt puține plante care cresc și multe sunt în descompunere, concentrațiile atmosferice de dioxid de

carbon cresc; în primăvară, când plantele încep să crească din nou, concentrațiile de dioxid de carbon scad.

1.6. Efectul de seră

Bilanțul radiativ, care determină câtă energie de la Soare devine disponibilă climatic în geosistem, este influențat de compoziția atmosferei; mai precis, de concentrația gazelor radiativ-active, de cantitatea de aerosoli și de albedoul suprafeței terestre. Gazele radiativ-active (gazele cu efect de seră) lasă să treacă radiația solară incidentă, dar absorb radiația emisă de suprafața încălzită de Soare a Pământului și o reemit atât spre exterior, în spațiul cosmic, cât și înapoi, în geosistem, determinând astfel o reducere a pierderilor de energie (Bojariu și colab. 2015).

În clima actuală, principalul gaz cu efect de seră este reprezentat de vaporii de apă. În atmosfera joasă, cantitatea de vapori de apă este determinată de echilibrul natural dintre evaporație și precipitații, nefiind direct afectată de activitățile umane (deși există o influență indirectă, datorată feedback-urilor declanșate de încălzirea globală). Alte gaze radiativ-active importante sunt dioxidul de carbon, metanul, oxidul de azot, ozonul și compușii carbonului cu clorul și fluorul. Pe termen lung, rolul dioxidului de carbon devine predominant. Spre deosebire de alte gaze radiativ-active, dioxidul de carbon nu e distrus de reacții chimice sau fotochimice, iar timpul său de rezidență în atmosferă este de ordinul mai multor sute de ani.

Ideea rolului important al dioxidului de carbon în schimbarea climatică globală este a chimistului suedez Svante Arrhenius. La sfârșitul secolului al XIX-lea, Arrhenius a propus ca explicație a ciclurilor glaciare, modificarea intensității efectului de seră prin modificarea concentrației dioxidului de carbon din atmosferă (Bojariu și colab. 2015).

Există un efect de seră natural, care sporește cu aproape 33°C temperatura medie globală la suprafața terestră, față de cazul în care n-ar exista atmosfera cu gaze radiativ-active (adică de la -18°C la 14°C) (Peixoto

& Oort 1992). Efectul de seră natural a făcut posibilă dezvoltarea vieții pe planeta noastră. Efectul de seră acționează și pe alte planete ale Sistemului Solar, dar rezultatele sunt diferite, în funcție de particularitățile atmosferei planetare existente. În cazul planetei Venus, cu o atmosferă a cărei masă este de 90 de ori masa atmosferei terestre și care e compusă în proporție de 90% din dioxid de carbon, temperatura la suprafață este de 477°C. Acolo, efectul de seră are o contribuție de 523°C. Pe Marte, cu o masă atmosferică mai mică decât 1% din masa atmosferei terestre, și cu o compoziție atmosferică formată în proporție de 80% din dioxid de carbon, temperatura la suprafață este de -47°C – mai mare cu 10° decât în cazul în care n-ar fi existat efectul de seră marțian (Bojariu și colab., 2015).

Activitatea vulcanică (dar și unele activități ale omului) schimbă compoziția atmosferei prin emisia de gaze cu efect de seră și prin emisia de aerosoli, modificând astfel bilanțul radiativ. Există studii care sugerează că erupțiile vulcanice afectează sistemul climatic prin intermediul modurilor interne de variabilitate climatică precum oscilația nord-atlantică (NAO) (Kodera 1994) (§ 1.7 figura 13). Efectul unei erupții individuale poate să-și pună amprenta în geosistem pe o perioadă de până la 2 ani, atunci când particulele emise de vulcan ajung în stratosferă (§ 1.1), părăsind troposfera (stratul cel mai jos la atmosferei, unde se produce cea mai mare parte a fenomenelor meteorologice ce configurează clima). Eficacitatea injectării de aerosoli vulcanici în zona atmosferei înalte, unde aceștia pot rămâne mai mult timp, reducând radiația solară incidentă, până să se depună la suprafață, depinde, printre altele și de localizarea geografică a vulcanului – cei situați în zona ecuatorială provoacă efecte mai puternice în geosistem pentru că efectul erupției este amplificat de mișcarea atmosferică ascendentă ce domină la acele latitudini (§ 1.1, figura 4). În cazul unei activități geologice intense, caracterizate de o frecvență ridicată a erupțiilor vulcanice, efectul lor poate influența sistemul climatic pe perioade mult mai mari de timp (Bojariu și colab. 2015).

Împreună cu efectele aerosolilor, cele ale caracteristicilor suprafeței terestre și efectele gazelor radiativ-active acționează asupra felului în care radiația solară incidentă este absorbită, reflectată și împrăștiată. Un fapt cert este că activitățile umane, generând cantități din ce în ce mai mari de gaze cu efect de seră, intervin neliniar asupra unuia din factorii genetici ai climei: energia de orginie solară, disponibilă în sistemul terestru. Este un exemplu cum intervenția umană în geosistem poate altera ritmuri naturale aparținând unor scări de timp aparent inaccesibile ființei umane (Bojariu și colab. 2015).

1.7. Variabilitatea internă a geosistemului climatic

Răspunsurile componentelor sistemului climatic la perturbații au scări de timp foarte diferite. Atmosfera poate ajunge la un nou echilibru, după ce asupra sa au acționat perturbații externe, într-un interval de ordinul săptămânilor până la o lună. Stratul oceanic de suprafață se ajustează într-un interval de ordinul săptămânilor sau lunilor. Stratul oceanic de adâncime medie are timpul de răspuns de ordinul anilor. Stratul oceanic de adâncime mare se ajustează la noile condiții într-un interval de ordinul sutelor și miilor de ani. Stratul continental de zăpadă și gheața marină sunt caracterizate de variabilitate sezonieră și interanuală.

Ghețarii joacă un rol major în schimbările ce au loc pe intervale de sute și mii de ani. Învelișurile de gheață ale Groenlandei și Antarcticii au un timp de răspuns de ordinul sutelor de mii de ani. Permafrostul are un timp caracteristic de răspuns de ordinul miilor și sutelor de mii de ani. Modificările litosferei și ciclul lung al carbonului (§ 1.5) au timpi caracteristici de ordinul sutelor de milioane de ani (Bojariu și colab., 2015). În interiorul geosistemului, interacțiunilor complexe dintre componentele sistemului climatic provoacă perturbații asupra acestora prin procese de feedback pozitiv și negative (§ 1.3), generând variabilitatea climatică internă.

Astfel, El Niño-Oscilația Sudică (ENSO) este manifestarea cuplajului ocean-atmosferă în zona ecuatorială a Oceanului Pacific (Figura 11).

Perioada observată a ENSO este între 2 și 7 ani. Efectele sale sunt globale (Trenberth & Hoar 1997) și sunt ilustrate în Figura 12.

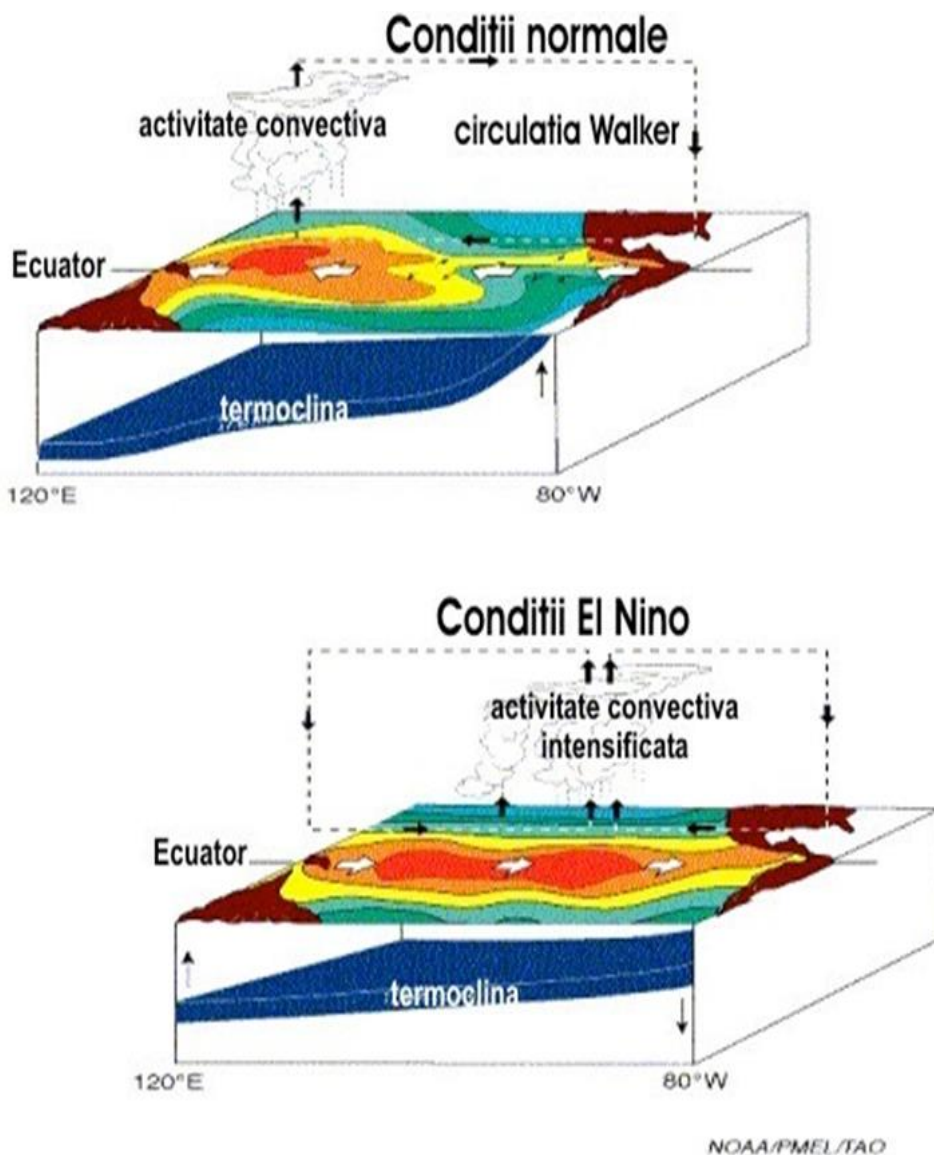


Figura 11. Reprezentarea schematică a condițiilor normale și a celor ce caracterizează faza El Niño în bazinul tropical al Pacificului, în atmosferă, la suprafața oceanului și la nivelul termoclinei din ocean (adaptare după NOAA).

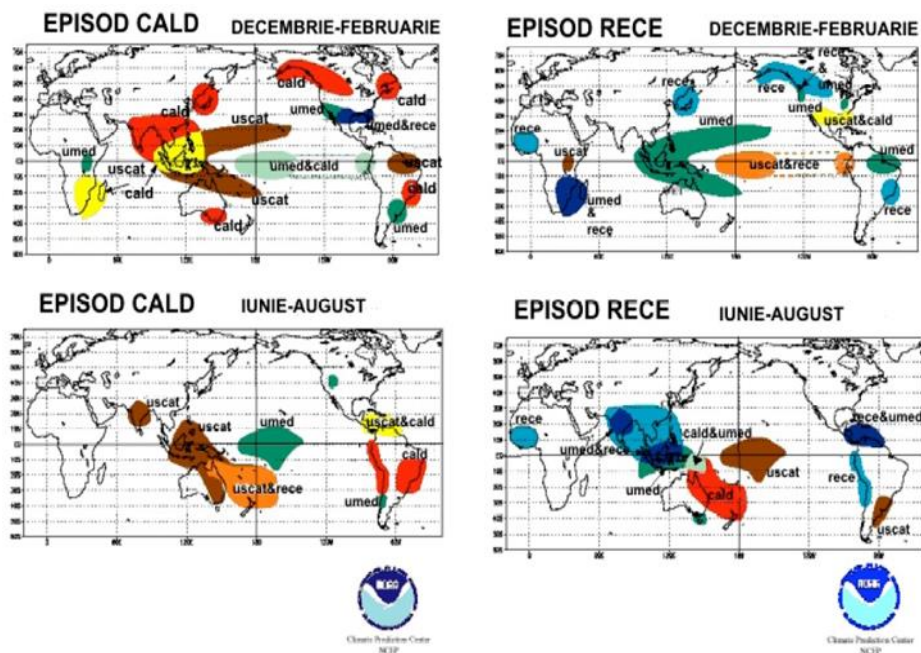


Figura 12. Efectele globale ale episoadelor calde și reci ale ENSO. În tonuri de roșu sunt reprezentate regiunile cu anomalii termice pozitive, iar în tonuri de albastru, cele cu anomalii termice negative. În tonuri de galben-portocaliu-maron sunt reprezentate regiunile cu deficit de precipitații, iar în tonuri de verde, cele cu exces de precipitații. Hărțile au fost preluate de la National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (SUA).

În plus, fazele La Niña (El Niño) favorizează un sezon mai activ (mai puțin activ) al furtunilor tropicale și uraganelor din Atlantic.

Oscilația arctică/nord-atlantică (AO/NAO) este un tip de fenomen generat de dinamica internă a atmosferei extratropicale, dar statistica sa poate fi influențată de condițiile de la frontierele troposferei. NAO induce fluctuații climatice în emisfera nordică, de la coasta estică a Statelor Unite până în Siberia și din Arctica până în zona subtropicală a Atlanticului (Bojariu 1997; Bojariu & Paliu 2000; Bojariu & Gimeno 2003 a, b).

Faza pozitivă a oscilației nord-atlantice este caracterizată de o intensificare a vânturilor de vest, la latitudinile medii. Această intensificare determină un aport de aer cald, oceanic peste cea mai mare parte a

Europei. Simultan, o invazie de aer rece, de proveniență arctică se produce peste vestul Groenlandei (Figura 13). În România, faza pozitivă a oscilației nord-atlantice aduce, în general, temperaturi de iarnă mai ridicate decât cele obișnuite, în timp ce precipitațiile sunt deficitare, mai ales în sudul țării muntoase (Bojariu și Paliu 2001; Stefan și colab. 2004; Bojariu și Giorgi 2005). Arcul carpatic acționează ca o barieră complexă în calea transporturilor atmosferice, astfel încât semnalul oscilației nord-atlantice este mai puternic în regiunile exterioare lanțului muntos (Bojariu și colab. 2015).

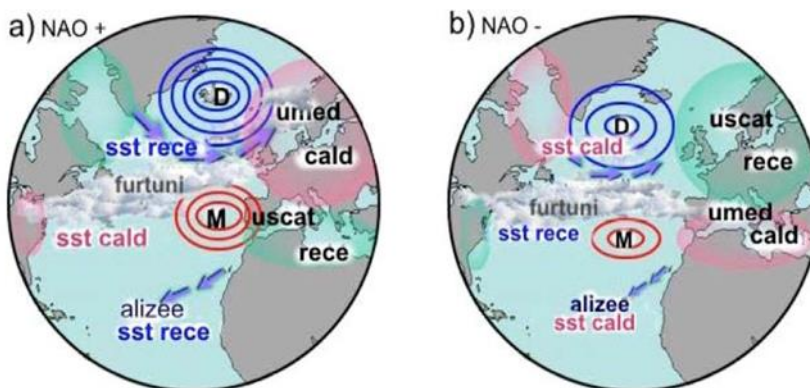


Figura 13. Reprezentarea schematică a fazei pozitive și negative a oscilației nord-atlantice. Cu acronimul «SST» au fost desemnate anomaliile temperaturii apei oceanului la suprafață. După Bojariu și colab. (2015).

Înțelegerea mecanismelor oscilației nord-atlantice depășește interesul pur teoretic, putând contribui la predicția condițiilor de iarnă în România, ca în cea mai mare parte a Europei. Scara de timp a fenomenului NAO cuprinde intervale de câteva săptămâni, un sezon, perioade interanuale și chiar interdecenale. Predictibilitatea, chiar limitată, a fazei oscilației nord-atlantice din iarnă poate fi importantă din punct de vedere socio-economic, datorită impactului pe care fenomenul îl are în agricultură și în gestionarea resurselor de apă și energetice, în România (Bojariu și Paliu 2001; Stefan și colab. 2004) ca în aproape întreaga Europă (Bojariu și Gimeno 2003a; Bojariu și colab. 2015).

În general, aceste moduri de variabilitate climatică produc fluctuații climatice care nu scot definitiv sistemul din starea sa climatică, ci determină variații în jurul ei. În sinergie cu alte perturbații, aceste fluctuații ce constituie variabilitatea climatică internă pot totuși determina trecerea sistemului de la o stare climatică la alta, producând schimbarea (Bojariu și colab., 2015).

1.8. Cauze ale schimbărilor climatice din trecutul geologic al Terrei

1.8.1. Ciclul de viață al Soarelui și variabilitatea activității sale

Soarele este o stea pitică galbenă a cărei evoluție se va sfârși în stadiul de gigantă roșie. Observațiile și teoriile astrofizice indică un ciclu de viață al Soarelui de aproximativ 10 miliarde de ani. În prezent, Soarele a ajuns la aproximativ jumătate din acest interval de timp. În cursul ciclului său de viață, Soarele devine din ce în ce mai luminos (intensitatea radiației solare crescând cu 10% la 1 miliard de ani), temperatura la suprafața sa crescând gradual. Peste 1 miliard de ani, temperatura la suprafața sa va fi atât de mare încât va face imposibilă existența apei în formă lichidă pe Terra, ceea ce va însemna distrugerea totală a biosferei terestre (Bojariu și colab. 2015).

În prezent, observații recente, obținute din măsurători satelitare, au arătat că radiația solară pe unitate de suprafață, situată perpendicular pe direcția radiației incidente, la limita superioară a atmosferei, variază cu 0,08% pe parcursul unui ciclu de aproximativ 11 ani (Foukal și colaboratorii, 2004). Variația este destul de mică, astfel încât la scările de timp interanuală și decenală, radiația solară poate fi considerată aproximativ constantă. Situația este diferită la scări de timp centeniale și mai mari (Bojariu și colab. 2015).

Există observații astronomice care sugerează că stelele de tipul Soarelui prezintă variații semnificative ale emisiei lor radiative pe intervale

de ordinul sutelor de ani. De exemplu, s-a estimat că valoarea radiației solare, incidente pe unitate de suprafață, la limita superioară a atmosferei, a fost, în secolul XVII, sensibil mai scăzută decât valorile actuale (Foukal și colaboratorii, 2004). Secolul al XVII-lea punctează o perioadă climatică interesantă: așa numita «mica epocă glaciară» (Bojariu și colab. 2015).

1.8.2. Schimbări geologice

La scări de timp de ordinul sutelor de milioane de ani, procesele geologice de modificare a distribuției oceane-continente produc schimbări climatice importante, datorită, în principal, modului diferit în care cele două componente ale sistemului climatic se încălzesc și transferă energia provenită de la Soare. În 1915, cercetătorul german Alfred Wegener a propus teoria deplasării continentelor care postulează că părți ale scoarței terestre se deplasează deasupra unui strat de lichid magmatic (figura 1). (Bojariu și colab. 2015).

1.8.3. Parametrii orbitali ai mișcărilor Pământului

Influența ciclurilor astronomice asupra climei globale este modulată prin variațiile asociate ale radiației solare incidente pe suprafața Pământului. În prezent, unghiul pe care îl face axa Pământului cu planul orbital este de aproximativ $23,5^\circ$. El variază între $22,1^\circ$ și $24,5^\circ$, într-un ciclu cu perioada de aproximativ 41 000 de ani. Schimbarea înclinării axei Pământului determină modificări ale severității și contrastului dintre anotimpuri: cu cât unghiul este mai mare, cu atât verile sunt mai călduroase și iernile mai reci. Când unghiul se micșorează, contrastul dintre vară și iarnă se reduce și zăpada acumulată în anotimpul rece nu dispăre total în anotimpul cald, favorizând extinderea stratului de zăpadă permanentă și a ghețarilor continentali. În aceste condiții, se declanșează procese de amplificare ale anomaliilor deja existente în geosistem, care accelerează acumularea gheții și zăpezii și duc la inițierea unei glaciațiuni. Momentul din an în care Pământul se găsește în poziția cea mai apropiată de Soare, în mișcarea sa de revoluție (la periheliu), variază după un ciclu

de aproximativ 23 000 de ani. În prezent, periheliu este în ianuarie, ceea ce face iarna emisferei nordice ușor mai caldă. În urmă cu aproximativ 11 000 de ani, periheliu era în iulie, accentuând contrastul dintre anotimpurile solstițiale. Excentricitatea orbitei Pământului în jurul Soarelui (diferența formei orbitei reale față de orbita perfect circulară) variază și ea în cicluri de 100 000 și 400 000 de ani. Combinația tuturor acestor cicluri determină distribuția latitudinală și sezonieră a radiației solare incidente, într-o anumită epocă, controlând creșterea și retragerea calotelor glaciare (Milankovitch 1998). Calculele arată că, din punct de vedere al valorilor parametrilor orbitali actuali, nu ne putem aștepta prea curând la o tranziție spre următoarea eră glaciară. Pentru ca o nouă glaciațiune să se producă, ar trebui să mai treacă câteva zeci de mii de ani.

Milankovitch a explicat existența ciclurilor glaciare prin modificările predictibile, la scara de timp de zeci de mii și sute de mii de ani, ale parametrilor care caracterizează orbita Pământului și înclinarea axei sale. Teoriile de azi explică marile ritmuri glaciare-interglaciare și schimbările climatice naturale asociate, atât prin modificările parametrilor orbitali și axei de înclinare a Pământului (procese de forță), cât și prin intervenția, pe acest fundal, a proceselor de feedback declanșate (§ 1.3), procese ce împreună cu alți factori externi determină variații atât ale dioxidului de carbon cât și ale temperaturii medii globale.

1.8.4. Activitatea vulcanică

Activitatea vulcanică (dar și unele activități ale omului) schimbă compoziția atmosferei prin emisia de gaze cu efect de seră și prin emisia de aerosoli, modificând astfel bilanțul radiativ. Există studii care sugerează că erupțiile vulcanice afectează sistemul climatic prin intermediul modurilor interne de variabilitate climatică (Kodera 1994; § 1.7 și figura 13). Efectul unei erupții individuale poate să-și pună amprenta în geosistem pe o perioadă de până la 2 ani, atunci când particulele emise de vulcan ajung în stratosferă, părăsind troposfera (stratul cel mai jos la atmosferei, unde se produce cea mai mare parte a fenomenelor

meteorologice ce configurează clima). Eficacitatea injectării de aerosoli vulcanici în zona atmosferei înalte, unde aceștia pot rămâne mai mult timp, reducând radiația solară incidentă, până să se depună la suprafață, depinde, printre altele și de localizarea geografică a vulcanului – cei situați în zona ecuatorială provoacă efecte mai puternice în geosistem pentru că efectul erupției este amplificat de mișcarea atmosferică ascendentă ce domină la acele latitudini (§ 1.1, figura 4). În cazul unei activități geologice intense, caracterizate de o frecvență ridicată a erupțiilor vulcanice, efectul lor poate influența sistemul climatic pe perioade mult mai mari de timp.

Împreună cu efectele aerosolilor, cele ale caracteristicilor suprafeței terestre și efectele gazelor radiativ-active acționează asupra felului în care radiația solară incidentă este absorbită, reflectată și împrăștiată. Un fapt cert este că activitățile umane, generând cantități din ce în ce mai mari de gaze cu efect de seră, intervin neliniar asupra unuia din factorii genetici ai climei: energia de orginie solară, disponibilă în sistemul terestru. Este un exemplu cum intervenția umană în geosistem poate altera ritmuri naturale aparținând unor scări de timp aparent inaccesibile ființei umane.

1.9. Schimbarea climatică prezentă

Schimbările climatice se traduc în modificări semnificative ale caracteristicilor statistice pentru mărimile fizice care caracterizează geosistemul. Manifestările vremii pot fi definite ca fluctuații de la starea medie, înregistrate la un moment. Schimbările climatice se traduc în modificări ale mediei și ale tuturor acestor parametri statistici (figura 14).

Cantitatea de dioxid de carbon din atmosferă a crescut cu aproximativ 50% față de epoca preindustrială, iar cantitatea de metan s-a dublat ca urmare a activităților umane (IPCC 2018), contribuind astfel la intensificarea efectului de seră. Cantitatea sporită de energie care apare ca urmare a intensificării efectului de seră (prin creșterea concentrației atmosferice a gazelor radiativ-active) este transportată în sistem de circulațiile atmosferice și oceanice și determină geosistemul să evolueze spre o nouă stare climatică. Indexul anual al gazelor cu efect de seră (AGGI)

elaborat de NOAA (SUA) arată că din 1990 până în 2020 forțajul radiativ al GES a crescut cu 47%, din care contribuția dioxidului de carbon acoperă 80%. Schimbarea climei a început deja.

Temperatura medie globală a crescut cu aproximativ 1°C față de perioada preindustrială (IPCC 2018). Temperatura medie în Europa a crescut cu aproximativ 0,9 ° C mai mult decât creșterea globală corespunzătoare, tendința crescătoare cea mai accentuată înregistrându-se în ultimele decenii. De asemenea, Europa s-a încălzit mai repede decât orice alt continent în ultimele decenii (CS3 2019).

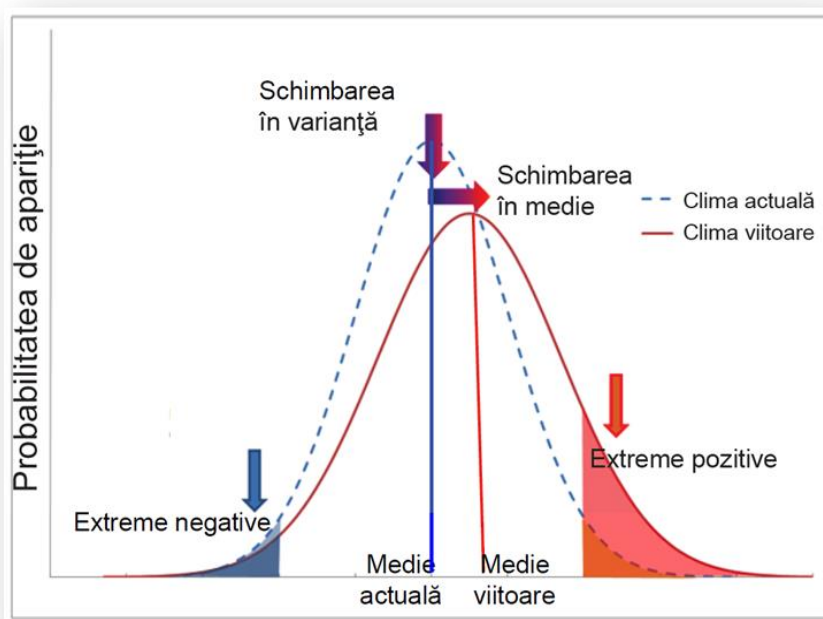


Figura 14. Modificări ale parametrilor statistici în cazul unei schimbări climatice. După Bojariu și colab. (2015).

Nu doar temperatura aerului la suprafața terestră a crescut, observațiile indică o încălzire a întregii troposfere (stratul cel mai consistent al atmosferei din punct de vedere al masei și locul de producere al principalelor fenomene de vreme și climă), începând cu a doua jumătate

a secolului XX. În același timp, frecvența și intensitatea unor fenomene extreme observate au crescut, începând din 1950. Frecvența valurilor de căldură a crescut în mare parte din Europa, Asia și Australia. Din ce în ce mai multe episoade cu precipitații abundente s-au înregistrat în multe regiuni continentale, în special în America de Nord și Europa (IPCC 2013).

Nu doar troposfera se încălzește, ci și oceanul planetar, după cum arată observațiile. Mai mult de 90% din energia reținută în sistem prin intensificarea efectului de seră, începând din 1971 până în 2010, a fost înmagazinată în oceanul planetar (IPCC 2013). Criosfera a fost și este și ea afectată de încălzirea globală. Învelișurile de gheață ale Groenlandei și Antarcticii de Vest și-au redus din masă, cei mai mulți ghețari continentali s-au diminuat, iar aria acoperită de gheața marină din Arctica are o tendință puternică de scădere. Stratul continental de zăpadă sezonieră s-a redus, mai ales în lunile de primăvară. Nivelul oceanului planetar a crescut cu aproximativ 19 cm în perioada 1901-2010 (IPCC 2013).

1.9.1. Schimbarea climatică observată în România

În cele ce urmează sunt prezentate principalele tendințe climatice pe baza seriilor de observații de la stații meteorologice din rețeaua națională coordonată de Administrația Națională de Meteorologie, ce acoperă perioada 1961-2020. În perioada 1901-2020, la nivelul României, temperatura medie anuală a aerului a crescut cu mai mult de 1 ° C. Răspunsul climatic regional la semnalul încălzirii globale este nuanțat de factorii locali precum: prezența arcului carpatic, vecinătatea Mării Negre, diversitatea tipurilor de soluri și de acoperire a terenului, rețeaua hidrografică complexă.

O analiză ce folosește observațiile de la 113 stații meteorologice ce acoperă teritoriul României arată că temperatura medie a aerului prezintă tendințe de creștere, semnificative statistic, pe întreg cuprinsul României, în timpul iernii (la niveluri de încredere mai mari de 95%) și verii (la niveluri de încredere mai mari de 99%). Detectarea tendințelor s-a făcut cu testul Mann-Kendall (Mann 1945).

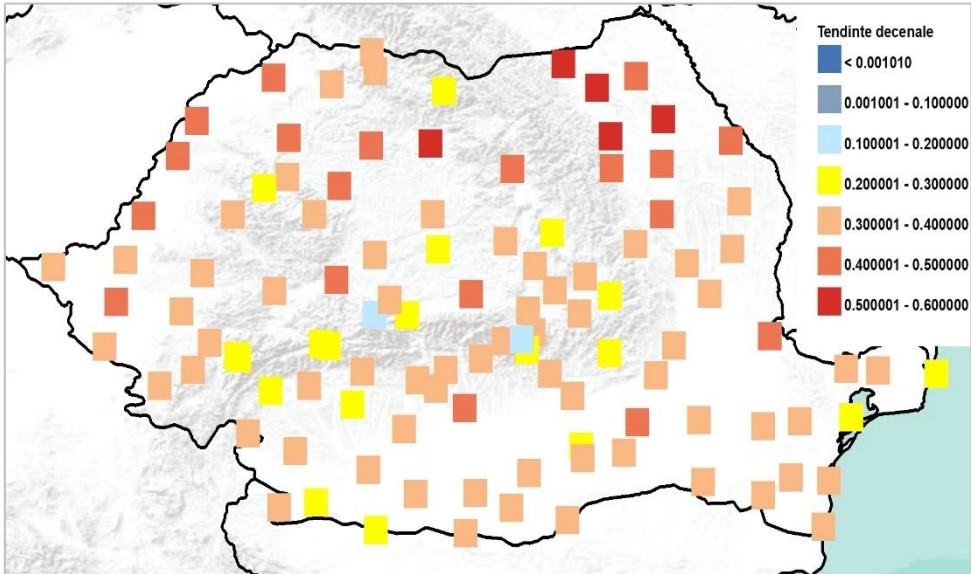


Figura 15. Tendințe decenale ale temperaturii aerului (°C/deceniu), iarna, la 113 stații meteorologice (dreptunghiuri colorate).

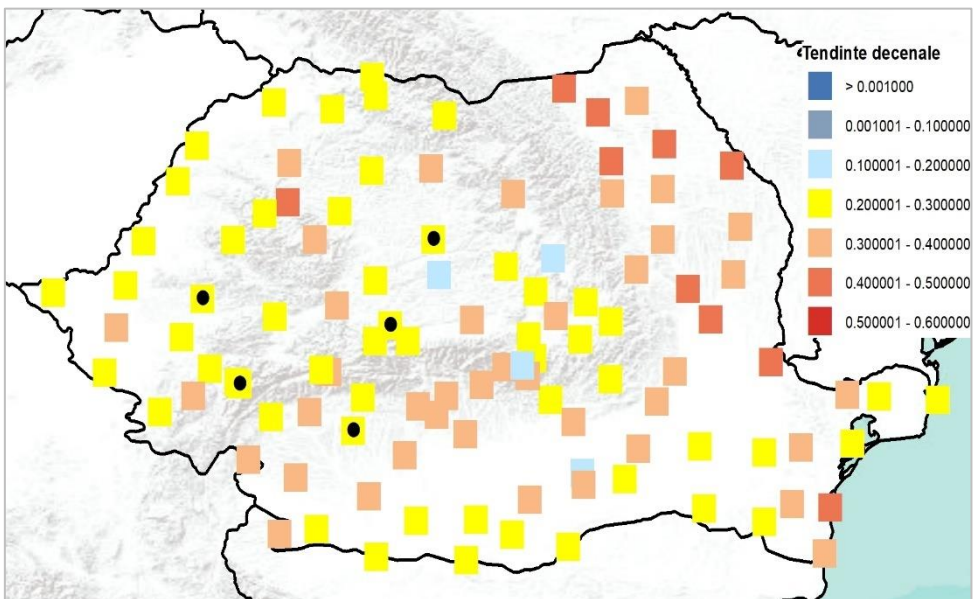


Figura 16. Tendințe decenale ale temperaturii aerului (°C/deceniu), primăvară, la 113 stații meteorologice (dreptunghiuri colorate). Elipsele negre ilustrează stațiile fără tendințe semnificative statistic la un nivel de încredere de cel puțin 90%.

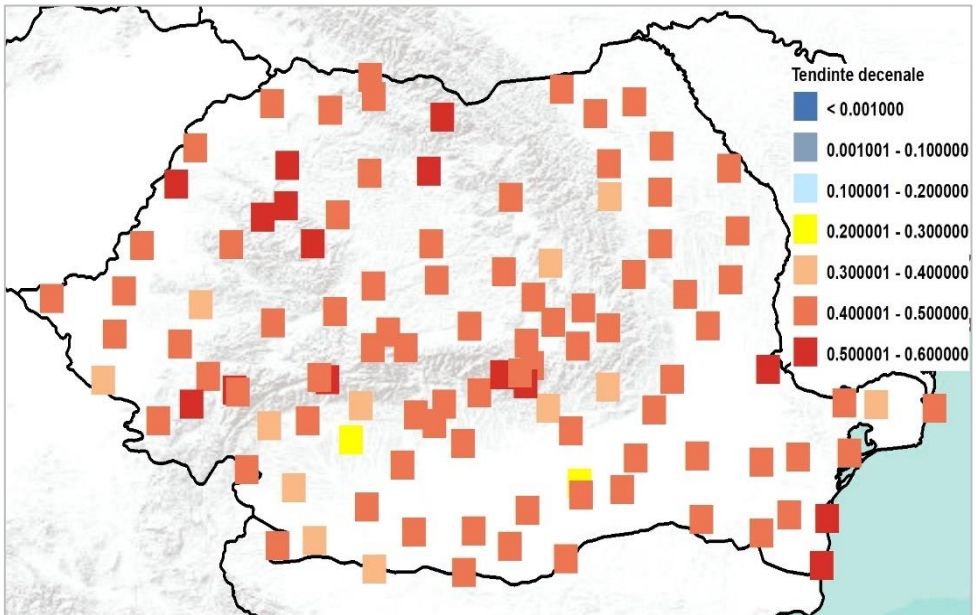


Figura 17. Tendințe decenale ale temperaturii aerului ($^{\circ}\text{C}/\text{deceniu}$), vara, la 113 stații meteorologice (dreptunghiuri colorate).

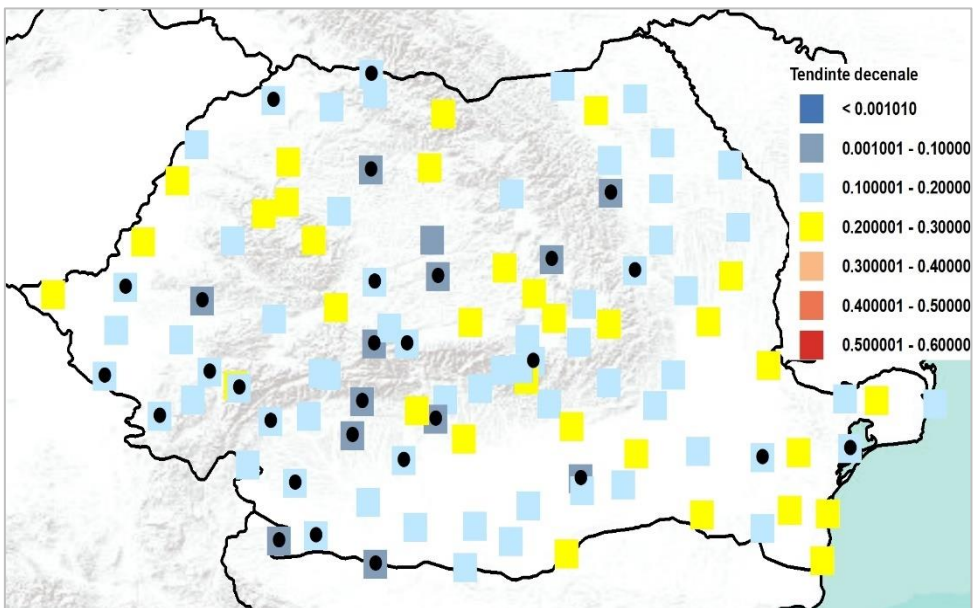


Figura 18. Tendințe decenale ale temperaturii aerului ($^{\circ}\text{C}/\text{deceniu}$), toamna, la 113 stații meteorologice (dreptunghiuri colorate). Elipsele negre ilustrează stațiile fără tendințe semnificative statistic la un nivel de încredere de cel puțin 90%.

Magnitudinea tendințelor în șirurile de date a fost calculată folosind estimarea Theil-Sen, cunoscută de asemenea sub numele de estimarea pantei Sen, care reprezintă mediana pantelor dintre toate perechile de puncte dintr-un eșantion de date (Gilbert 1987).

Iarna și vara creșterile de temperatură sunt cele mai mari (figurile 15 și 17). Vara, rata decenală de creștere a temperaturii se încadrează între 0,2 °C și peste 0,6 °C. Iarna, ea se încadrează între 0,1 °C/deceniu și peste 0,6 °C/deceniu. Și în cazul primăverii tendințele de creștere semnificative statistic sunt prezente la majoritatea stațiilor meteorologice analizate (rate decenale între 0,2 °C/deceniu și peste 0,5 °C/deceniu), dar mărimea creșterilor este, în general, mai mică decât în cazul anotimpurilor solstițiale (figura 16). Toamna, tendințele de creștere ale temperaturii (rate decenale între 0,001 °C/deceniu și peste 0,3 °C/deceniu) sunt cele mai mici din toate anotimpurile și nu sunt semnificative statistic decât la o parte din stațiile meteorologice analizate (figura 18).

În cazul stațiilor București Băneasa și București Filaret, în toate anotimpurile, stația meteo aflată în centrul orașului București prezintă o tendință de creștere mai mare a temperaturii decât cea aflată la extremitatea nordică a aglomerării urbane, ilustrând dezvoltarea urbană și efectul de insula de căldură a orașului.

Există și un semnal al creșterii duratei de strălucire a Soarelui, semnificativ statistic pe întreg cuprinsul țării, în timpul primăverii și verii, identificat pentru perioada 1961-2013 de Bojariu și colab. (2015). Numărul anual de zile caniculare și cel de nopți tropicale a crescut în perioada 1991-2020 comparativ cu 1961-1990, iar evoluția lor la nivelul României indică drept moment al schimbării anii '87 – '88 ai secolului trecut (figura 19). Creșterile numărului de zile caniculare și cel al nopților tropicale sunt mai mari în extremitatea sudică a României și în regiunile de câmpie din vestul și sud-estul țării (figura 20). Numărul de zile de îngheț s-a redus, în special în nordul, estul și sud-estul țării, dar și în unele zone din sud și în Munții Apuseni (Bojariu și colab. 2015).

Cantitățile de precipitații sezoniere nu prezintă configurații clare ale unor tendințe sezoniere decât în anotimpul de toamnă, când ele sunt în general de creștere, dar nu majoritar semnificative statistic, la un nivel de încredere de cel puțin 90% (figura 21), fapt ce se reflectă direct în tendințele de creștere ale debitelor din anotimpul respectiv (Birsan și colaboratorii 2012; 2014). Cu toate că nu există tendințe de creștere ale cantităților sezoniere de precipitații, se remarcă tendințe de creștere în maximele anotimpuale ale precipitațiilor zilnice, atât iarna, cât și vara (Bojariu și colab. 2015).

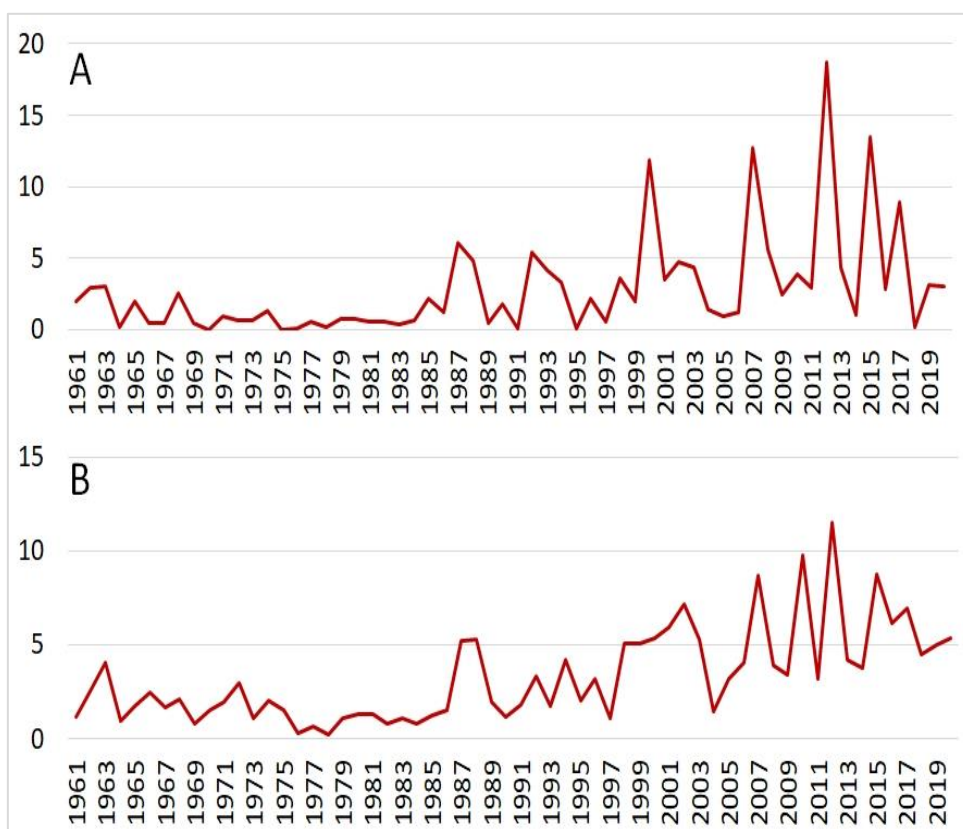


Figura 19. Numărul mediu anual de zile caniculare ($T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$; A) și nopți tropicale ($T_{min} < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; B) pentru perioada 1961-2020. Pentru numărul de zile caniculare (tropicale) au fost folosite datele de la 61(70) de stații cu șir complet, ce acoperă teritoriul României.

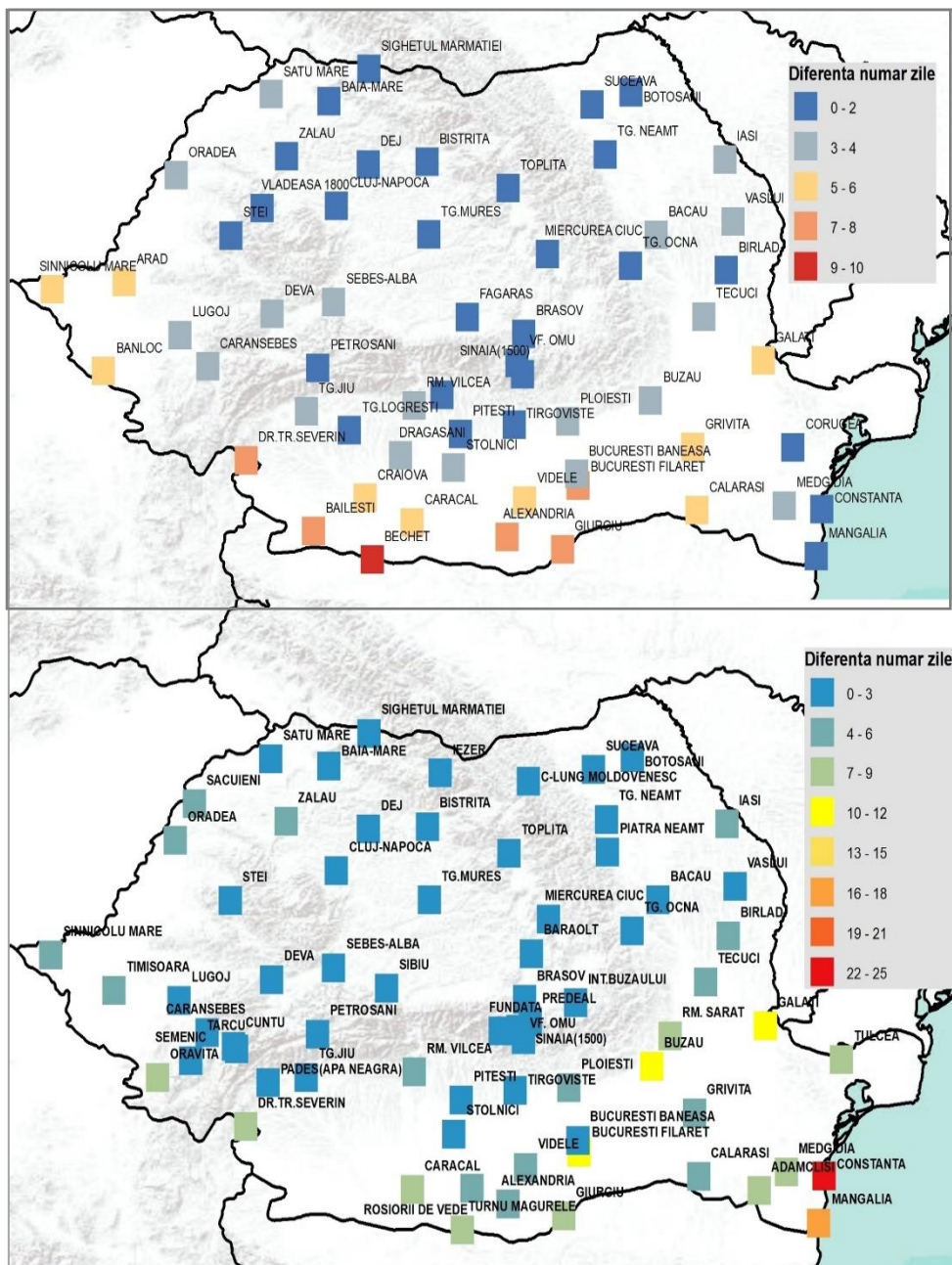


Figura 20. Diferențele în numărul mediu anual de zile caniculare ($T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$; sus) și nopți tropicale ($T_{min} < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; jos) dintre perioadele 1991-2020 și 1961-1990. Pentru numărul de zile caniculare (tropicale) au fost folosite datele de la 61(70) de stații cu șir complet.

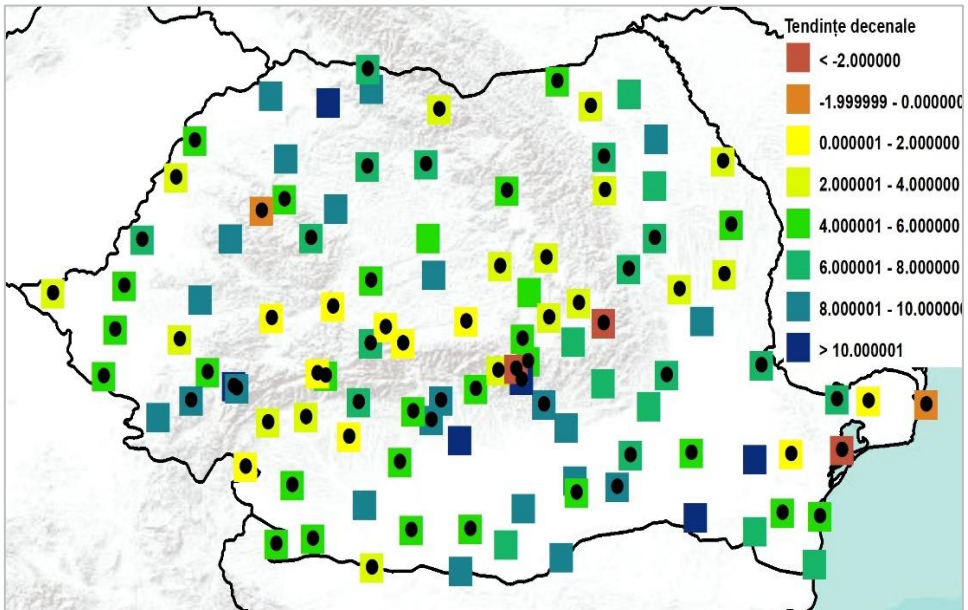


Figura 21. Tendințe decenale ale cantității de precipitații (mm/deceniu), toamna, la 113 stații meteorologice (dreptunghiuri colorate). Elipsele negre ilustrează stațiile fără tendințe semnificative statistic la un nivel de încredere de cel puțin 90%.

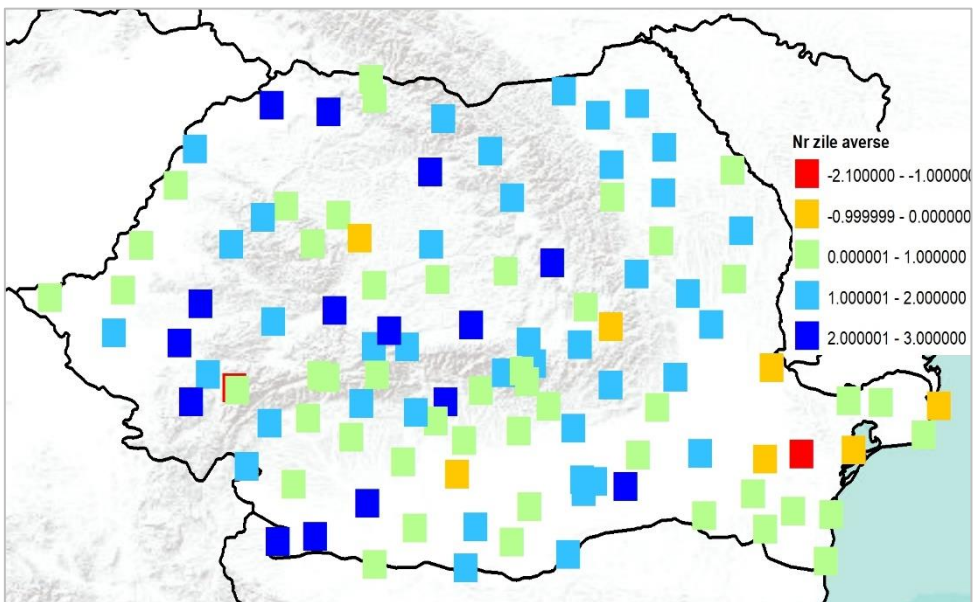


Figura 22. Diferențele în numărul mediu lunar de zile cu averse de ploaie dintre perioadele 1991-2017 și 1961-1990. Au fost folosite datele de la 116 stații meteorologice.

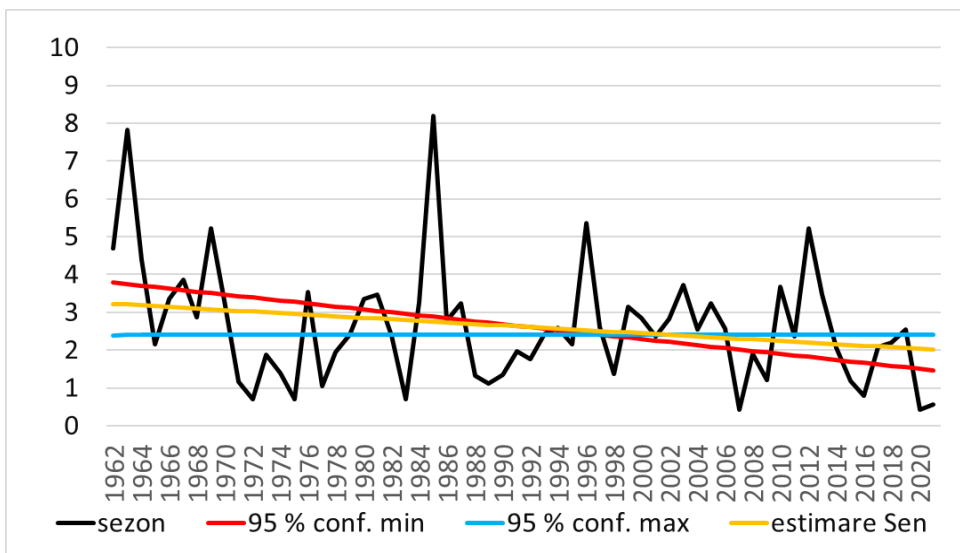


Figura 23. Evoluția grosimii stratului mediu de zăpadă (în cm/lună), la nivelul României (medie din observațiile de la 88 de stații complete, cu șir lung (sunt excluse stațiile de munte – cele de la altitudini mai mari de 800 m) și tendința liniară asociată (cu portocaliu), împreună cu valorile din intervalul de încredere la nivelul de 95% (cu roșu și albastru), pentru perioada octombrie - aprilie 1961-2021.

Numărul mediu lunar de zile cu averse de ploaie, calculat pentru perioada 1991-2017, este mai mare, comparativ cu perioada 1961-1990, la majoritatea stațiilor din România (figura 22), ceea ce sugerează creșterea gradului de torențialitate a precipitațiilor lichide așa cum a sugerat și studiul publicat de Busuioc și colab. (2016) pentru primăverile și verile intervalului 1961-2010. Tendința observată de creștere a frecvenței averselor de ploaie a fost asociată, în studiul publicat de Busuioc și colab. (2016), cu tendința observată de creștere a frecvenței de apariție a norilor convectivi (Cb). Busuioc și colab. (2016) au identificat și dovezi ale intensificării precipitațiilor extreme la stații din România, pentru intervale subzilnice (orare). Numărul mediu lunar de zile cu cantități de precipitații ce depășesc 20 mm, calculat pentru perioada 1991-2020, este și el mai mare comparativ cu perioada 1961-1990, la majoritatea stațiilor din România (cu excepția notabilă a unor stații situate mai ales în zona de munte, dar și a celor din Delta Dunării, unde numărul acesta este mai mic).

Evoluția și tendința asociată de scădere a grosimii medii a stratului de zăpadă din sezonul rece (octombrie-aprilie 1961-2021), obținută din media valorilor măsurate la stațiile aflate la altitudini sub 800 de m, este prezentată în figura 23. Este interesant de menționat că există o diferență intrasezonieră în comportamentul tendințelor de scădere a mediei grosimii stratului de zăpadă, acestea manifestându-se în lunile decembrie, ianuarie, februarie și martie, cu magnitudinea cea mai mare în februarie (0,5 cm/deceniu).

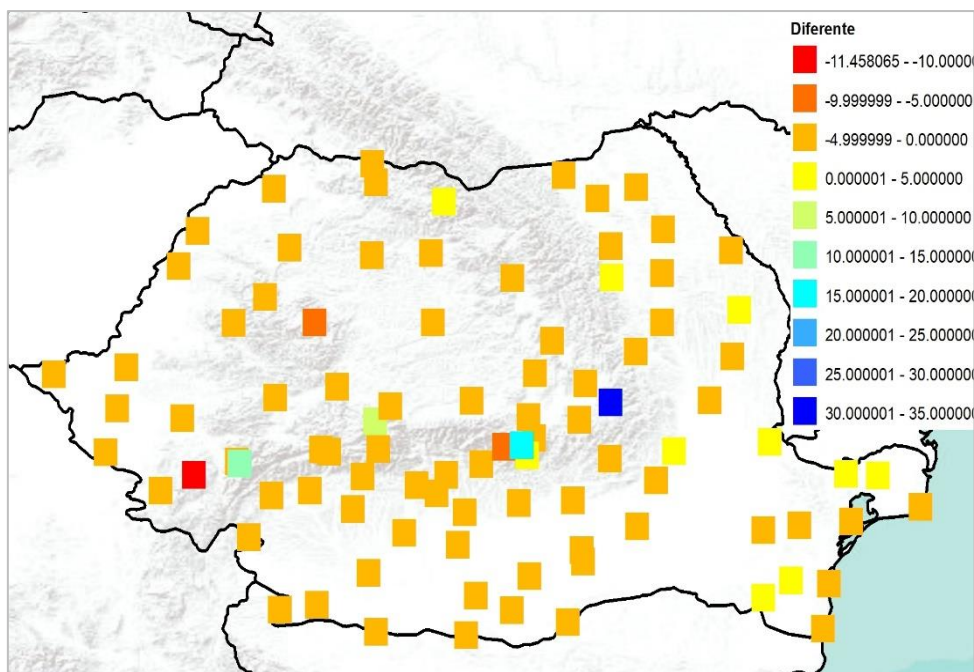


Figura 24. Diferențele grosimilor medii lunare ale stratului de zăpadă (în cm/lună) între decembrie - aprilie 1990 -2021 și decembrie - aprilie 1961 – 1990, la 88 de stații meteorologice cu șir complet de observații.

Pe de altă parte, în lunile octombrie și noiembrie, evoluțiile mediilor obținute din observațiile de la stațiile aflate la altitudini sub 800 m relevă tendințe liniare opuse, de creștere a grosimii medii a stratului de zăpadă, dar ne semnificative statistic. În general, există un comportament diferit la stațiile situate la altitudini mai mari de 800 m, cu șir complet de observații

(13 stații acoperind Munții Apuseni, Carpații Meridionali și cei de Curbură). Pentru media grosimii medii lunare a stratului de zăpadă a valorilor masurate la aceste stații, tendința este de creștere (cu excepția lunii februarie, când ea este cvasistaționară). În cazul lunii octombrie și noiembrie, tendințele liniare de creștere sunt chiar semnificative statistic la niveluri de încredere mai mari de 99 %, respectiv 95 %.

Configurația spațială a diferențelor grosimilor medii lunare ale stratului de zăpadă (în cm/lună) între decembrie - aprilie 1990 -2021 și decembrie - aprilie 1961 – 1990 este prezentată în figura 24. Diferența între semnalul observat la stațiile de munte (cele situate la altitudini egale sau mai mari de 800 m) și cel prezent la altitudini mai joase este relevată și aici: stațiile de munte, în general, prezintă creșteri ale grosimii medii a stratului de zăpadă, în timp ce pentru celelalte există reduceri ale grosimii medii a stratului de zăpadă, între cele 2 perioade climatice analizate.

Tiparul de evoluție al grosimii medii lunare a stratului de zăpadă, având tendințe diferite în perioada de preiarnă (octombrie-noiembrie) și în cea de iarnă și postiară (decembrie-martie), a fost identificat și de Bojariu și Paliu (2001) și Bojariu și Dinu (2007). Analiza de față confirmă acest semnal intrasezonier, folosind observații actualizate la nivelul sezonului octombrie 2020 - aprilie 2021.

Componenta de variabilitatea climatică a grosimii medii lunare a stratului de zăpadă este puternică. Variabilitatea grosimii stratului de zăpadă a fost examinată în România de Cazacioc & Cazacioc (2005) pentru intervalul 1961-1990, Bojariu și Dinu (2007) pentru intervalul 1961-2000 și Birsan și Dumitrescu (2014a) pentru intervalul 1961-2010, iar autorii au conchis că faza pozitivă a oscilației nord-atlantice (NAO) favorizează ierni cu mai puțină zăpadă, pe când faza negativă este asociată cu ierni în care stratul de zăpadă este mai consistent.

În general, rezultatele prezentate în această secțiune confirmă studiile anterioare privind variabilitatea climatică din România (e.g., Tomozeiu și colaboratorii 2002, 2005; Bojariu și Giorgi 2005; Bojariu și Dinu 2007; Busuioc și colaboratorii 2010, 2014, 2016; Croitoru și Piticar 2012;

Ionita și colaboratorii 2013; Birsan & Dumitrescu 2014a; Dumitrescu și colaboratorii 2014; Marin și colaboratorii 2014; Rimbu și colaboratorii 2014; Stefanescu și colab. 2014; Micu și colab. 2015; Bojariu și colab. 2015).

1.10. Predictabilitatea climatică

Există două clase distincte de probleme de predicție: (1) probleme tip «condiții inițiale», care urmăresc să determine evoluția sistemului analizat ca o succesiune de stări pornind de la condițiile inițiale; (2) probleme tip «condiții la frontieră», care urmăresc să determine modificările în starea de echilibru a sistemului analizat datorată forțajului extern.

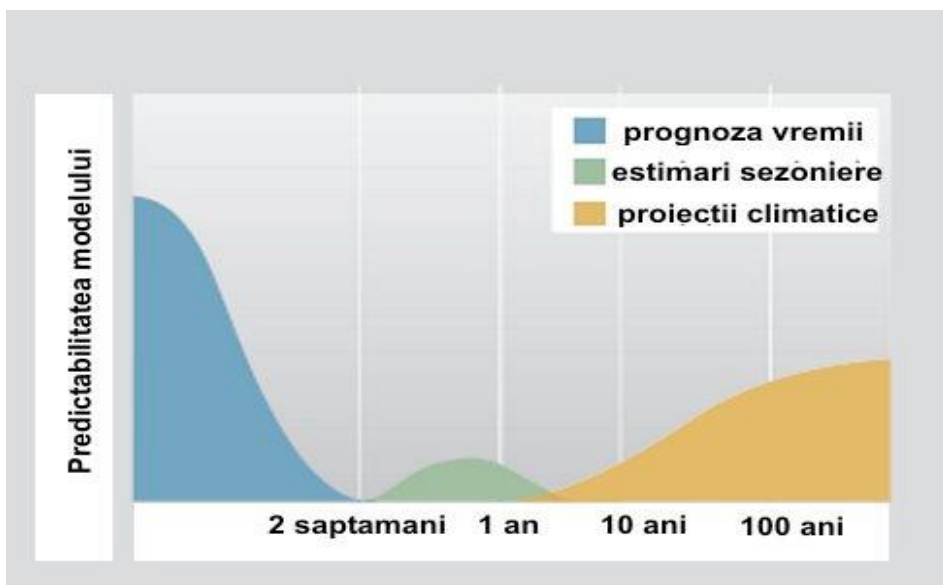


Figura 25. Reprezentarea schematică a scărilor de timp asociate predictibilității vremii și climei. După Bojariu și colab. (2015).

Lorenz (1975) a numit aceste două tipuri de probleme, probleme predictive de speța I respectiv, speța a II-a. Prognoza fluctuațiilor meteorologice, inclusiv a celor extreme, pe termen scurt (cu anticipație până la maximum 10-14 zile) este una de speța I, după clasificarea lui Lorenz. Performanța predicției de speța I este afectată de erori în

cunoașterea condițiilor inițiale, imperfecțiuni ale modelului predictiv folosit și de natura haotică/neliniară a proceselor din sistemul de analizat. Neliniaritatea intrinsecă a proceselor atmosferice face ca în cazul cunoașterii detaliate a condițiilor inițiale (ceea ce nu e cazul), erorile (chiar infinitezimale) să se amplifice în timp și să reducă semnificativ performanța prognozei, peste un anumit interval de anticipație (Bojariu și colab. 2015).

Estimările prognostice cu intervale de anticipație mai mari de aproximativ două săptămâni valorifică un potențial existent în sistemul climatic, potențial configurat de procesele cu variație lentă ce se derulează la frontierele troposferei (comparativ cu cele pur troposferice, cu timpi caracteristici mult mai mici). Studiile de până acum (e.g., Lorenz 1975) au sugerat că, dincolo de intervalul de anticipație de două săptămâni, există un maxim relativ al predictibilității potențiale la scările de timp sezoniere și anuale, iar la scările interdecenale și seculare, proiecțiile climatice oferă și ele un potențial de predictabilitate exploatabil (Figura 25) (Bojariu și colab. 2015).

Astfel, predicția fluctuațiilor meteorologice în general și a celor extreme, în special, nu e teoretic posibilă, pe termen lung, sub forma anticipării succesiunii stricte a tuturor stărilor cvasistaționare prin care trece sistemul analizat, pornind de la condiții inițiale date, ci mai degrabă sub forma anticipării răspunsului de echilibru la modificările parametrilor externi. Cunoscând aceste modificări, care sunt mult mai lente decât scara de timp a fluctuațiilor atmosferice, am putea anticipa tipul de stare de echilibru spre care tinde sistemul forțat extern și caracteristicile statistice ale fluctuațiilor meteorologice (inclusiv ale celor extreme) consistente cu acea stare de echilibru.

Condițiile la suprafața oceanului (de exemplu anomaliile temperaturii apei) sunt considerate sursa principală de predictabilitate pentru intervalele extinse de prognoză. Alte surse de predictabilitate pentru intervalele sezoniere și anual, în regiunea atlantico-europeană, discutate în literatura științifică actuală, sunt: extinderea banchizei arctice, umiditatea

solului, extinderea și grosimea stratului de zapadă pe continente, starea vortexului stratosferic (în sezonul rece). Abordările predictive folosesc tehnici statistice, deterministe și combinații ale celor două (Bojariu și colab. 2015).

2. Date și metode de analiză climatică

2.1. Date instrumentale și paleoclimatice

Caracteristicile climatice actuale se studiază pe baza înregistrării valorilor parametrilor climatici obținute cu echipamente standard. Instrumentele de măsură trebuie instalate în locații potrivite, întreținute, iar observațiile realizate conform protocoalelor convenite și recomandate în comunitatea internațională a climatologilor prin Organizația Mondială a Meteorologiei. Echipamentele pentru măsurători trebuie plasate astfel încât să asigure reprezentativitatea și omogenitatea șirurilor de observații. Exemple de mărimi climatice măsurate sunt: temperatura, cantitatea de precipitații, umiditatea aerului, presiunea atmosferică, viteza și direcția vântului, etc (Bojariu și colab. 2015).

Măsurătorile temperaturii aerului la suprafață se fac folosind termometre. În ultimele decenii, s-au făcut eforturi pentru a se înregistra variația temperaturii pe mai multe niveluri ale atmosferei, pe de-o parte, prin rețeaua de stații de radiosondaj, iar pe de altă parte, folosind dispozitive de măsurare plasate pe sateliți. Șiruri de date cu acoperire globală, provenind din radiosondaje, sunt disponibile începând cu anul 1958, iar cele satelitare, din 1979. Cantitatea de precipitații se măsoară notând periodic cantitatea de apă dintr-un recipient expus fenomenelor atmosferice. Trebuie luate în calcul fenomene ca evaporarea și efectul vântului. Variabilitatea spațială și temporală a precipitațiilor este mult mai mare decât a temperaturii, de unde și dificultatea crescută în procesul de analiză al acestui parametru climatic. Cantitatea de apă din aer poate fi exprimată ca: (1) presiune a vaporilor de apă; (2) umiditate relativă; (3) umiditatea absolută; (4) rata de amestec; (5) punctul de rouă. Instrumentul standard de măsurare a umidității e psihrometru. Vântul, de obicei, este măsurat folosind anemometrul, a cărui cupă se rotește pe un

ax vertical, perpendicular pe direcția vântului. Locația anemometrului trebuie aleasă cu grijă, având în vedere că orice obstacol din apropiere poate afecta calitatea măsurărilor (Bojariu și colab. 2015).

Observații instrumentale sistematice se fac, pe scară mare, începând cu a doua jumătate a secolului al XIX-lea. Există măsurători ale temperaturii, cantităților de precipitații și presiunii atmosferice începând chiar din prima parte a secolului al XVIII-lea, dar ele sunt limitate la câteva localități din Europa.

Fluctuațiile climatice au scări de timp foarte diferite, de la sezon, an, la sute de milioane de ani, fiecare componentă a variabilității având asociată un mecanism specific. Limitarea asociată intervalului relativ scurt pentru care există date instrumentale poate fi redusă folosind datele paleoclimatice. Paleoclimatologia este domeniul ce studiază variabilitatea și schimbările climatice pe intervale de timp ce preced perioada instrumentală (Bojariu și colab. 2015).

Tehnicile folosite pentru reconstrucțiile paleoclimatice oferă informații asupra variațiilor de la scară de câteva sute de ani la cea de milioane de ani. Analiza inelelor din trunchiurile de copaci furnizează informații pentru cel mult ultimii 10 000 de ani. Cele mai multe probe de gheață se limitează a oferi informații doar pentru ultimul milion de ani. Sedimentele oceanice oferă o fereastră de timp extinsă până la 100 de milioane de ani în urmă (Bojariu și colab. 2015).

2.2. Tehnici statistice

Complexitatea sistemului climatic face dificilă analiza sa. Metode statistice din ce în ce mai sofisticate sunt necesare pentru a identifica multitudinea de relații existente la diferite scări spațiale și temporale între variabilele ce caracterizează starea climatică. Aplicare cu discernământ, tehnicile statistice pot deveni unelte puternice de analiză ale datelor observaționale și ale rezultatelor experimentelor numerice. Scopul oricărei analize statistice este identificarea configurațiilor repetabile în setul de date și confruntarea acestora cu teoriile ce vizează explicarea proceselor climatice supuse analizei. În general, analizele statistice identifică în șirurile

de date semnale asociate unor procese climatice care depășesc «zgomotul» de fond. Analizele descriptive pun în lumină aspectele particulare ale variabilității din setul de date (semnalul). Pentru aceasta se calculează indici de tipul mediei și abaterii standard. Se definesc indici și pentru a caracteriza evenimentele considerate extreme. Testele de semnificație statistică sunt foarte importante în a stabili dacă variațiile analizate sunt diferite sau nu de ceea ce ar trebui să ne așteptăm de la o serie de timp aleatoare (Bojariu și colab. 2015).

Există și analize statistice care trec de nivelul descriptiv și încearcă să răspundă unor întrebări legate de ipoteze privind mecanismele fizice ce ar putea genera comportamentul spațio-temporal observat în datele de observație. Statistica nu poate oferi însă, singură, răspunsurile la problemele legate de sistemul climatic. În spatele statisticii există un cadru fizic ce trebuie înțeles în detaliu și acest lucru necesită tehnici de modelare numerică construite pe baza legilor fizicii (Bojariu și colab. 2015).

2.3. Modelarea climatică și incertitudinile asociate

În cadrul cercetărilor climatice ne aflăm în imposibilitatea utilizării paradigmei clasice conform căreia experimentele fizice sunt special proiectate să selecteze teoriile valide dintre cele propuse pentru a explica caracteristicile sistemului analizat. Cercetătorii proceselor geofizice nu pot aduce sistemul climatic în laborator, fiind puși în fața unui unic experiment, la a cărei elaborare nu au contribuit, și care se derulează de câteva miliarde de ani, pe Terra. În acest domeniu, ca în multe altele, dezvoltarea explozivă a tehnologiei informatice a impus soluția utilizării experimentelor numerice (Bojariu și colab., 2015).

Modele matematice deterministe ale sistemului climatic, înglobând caracteristicile fizice deduse din datele observaționale, sunt folosite pentru a proiecta experimente numerice care încearcă să clarifice problemele legate de fluctuațiile climatice naturale și de influențele activităților umane. În general, un model climatic descrie, în termeni matematici, având la bază legile fizicii, comportamentul sistemului analizat, pornind de la o stare inițială și constrâns de condițiile externe și

de frontieră. Sistemul climatic al Pământului (geosistemul) este configurat de interacțiunea componentelor sale: atmosfera, hidrosfera (oceanul planetar și rețeaua hidrologică continentală), criosfera (zăpadă, ghețari, permafrost, calote glaciare și gheața marină), biosfera și litosfera. Pentru a modela geosistemul nu este suficient să descriem separat componentele sale, este necesar să luăm în considerare și procesele ce cuplează aceste componente (Peixoto & Oort 1992). Datorită sinergiei dintre componentele geosistemului, răspunsul său la perturbațiile externe diferă de suma răspunsurilor individuale furnizate de componentele menționate mai sus. Primele tipuri de modele având cuplate componente ale geosistemului au fost cele de circulație atmosferică și oceanică (cu dinamica gheții marine inclusă). Recent, au fost dezvoltate abordări noi ce permit legarea interactivă de subsistemul cuplat ocean-atmosferă a proceselor biologice și geochimice (inclusiv a celor ce determină ciclul carbonului), rezultând așa numitele modele de geosistem (Earth System Models – ESM; Foley și colaboratorii 1998) (Bojariu și colab. 2015).

2.4. Modele climatice deterministe

Pentru a descrie evoluțiile viitoare ale variabilelor climatice în vederea evaluării hazardurilor legate de climă, uneltele la îndemâna noastră sunt modelele climatice globale și regionale cu care putem realiza experimente numerice, în condițiile scenariilor ce descriu perturbațiile externe (precum schimbări ale compoziției atmosferei datorită creșterii concentrației gazelor cu efect de seră - GES). Intervalul de integrare sau numărul de iterații folosit, precum și rezoluția spațială necesare rulării modelului depind de natura problemei analizate.

Realizarea modelelor circulației generale a atmosferei (AGCM) și oceanului (OGCM) necesită tehnici numerice pentru obținerea soluțiilor unui sistem de ecuații în fiecare punct al grilei globale (figura 26), algoritmi de calcul pentru diferitele tipuri de parametrizări ale proceselor fizice care au loc la scări nerezolvabile de rezoluția spațială a grilei, seturi de date la frontiera atmosferei, în acord cu rezoluția orizontală și verticală a

modelului construit și condițiile inițiale pentru variabilele prognostice (Bojariu și colab., 2015).

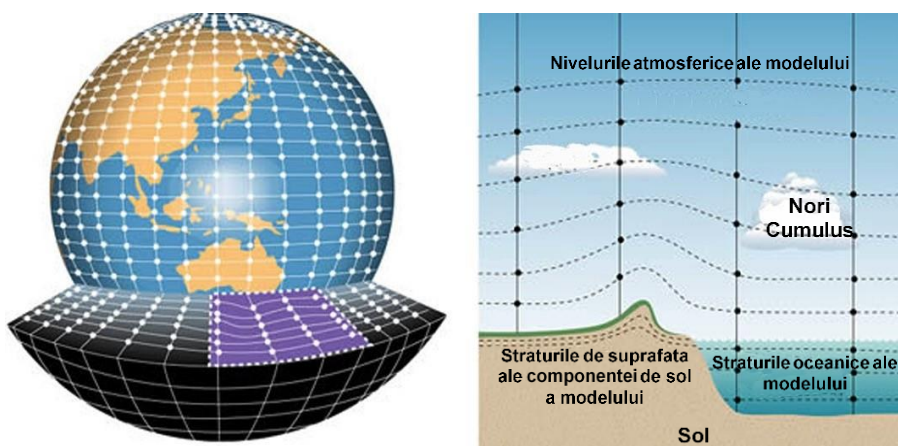


Figura 26. Reprezentarea schematică a unui model climatic global rezultat din cuplajul oceanului cu atmosfera (după Bureau of Meteorology, Australia, 2008).

Problemele legate de variabilitatea climatică necesită, în general, integrări începând cu intervale multianuale și mergând până la cele de ordinul miilor de ani. În cazul ideal, singurele condiții la frontieră fixate pentru atmosferă ar trebui să fie distribuția și caracteristicile orografice ale suprafețelor continentale. Toți ceilalți factori, cum ar fi temperatura oceanului la suprafață (SST), distribuția gheții marine, albedoul, concentrația diferiților constituenți ai atmosferei ar trebui predicționați de alte componente și transmiși apoi componentei atmosferice. În multe experimente numerice, aceste componente care reprezintă geosistemul sunt cuplate cu modele atmosferice. Există și cazuri când se folosesc seturile de date climatologice disponibile pentru a prescrie comportamentul lor. În acest caz avem de-a face cu experimente de forțaj al atmosferei care ignoră răspunsul cuplat (feedback-ul) al celorlalte componente (Bojariu și colab. 2015).

Modelele climatice globale (GCMs) furnizează condițiile la limită (de obicei, la o rezoluție spațială de la 50 km până la 150 km) pentru modelele

climatice regionale (RCMs), care practic proiectează dinamic evoluțiile globale la scări spațiale foarte fine (mai puțin de 50 de km) (figura 27).

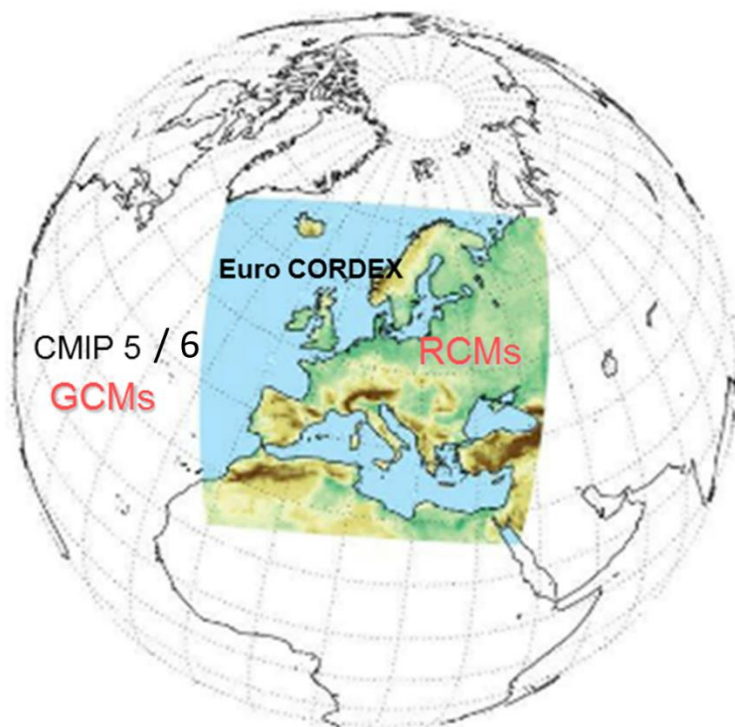


Figura 27. Reprezentarea modelelor climatice regionale (RCMs) în contextul modelării climatice globale cu modele climatice globale (GCMs).

În afară de proiectarea dinamică la scări fine, există și metodele statistice ce pot fi utilizate pentru a modela evoluțiile unei părți a geosistemului la rezoluții spațiale și mai fine, de la aproximativ 1 km la 10 km (Bojariu și colab. 2015).

Chiar dacă s-au realizat progrese privind simularea proceselor biochimice și fizice în modele, rămân încă destule incertitudini și lucruri de clarificat. Efectul norilor reprezintă încă un factor major de incertitudine pentru modelele climatice. Norii au efecte importante asupra climatului. Unul dintre rolurile pe care norii îl joacă în climă este acela de a răci

suprafața terestră prin reflectarea luminii solare înapoi în spațiu; altul este de încălzire a stratului atmosferic din apropierea suprafeței, prin blocarea radiațiilor infraroșii emise de suprafața încălzită către atmosferă (Bojariu și colab. 2015).

Un exemplu este și cel ce privește evoluția socio-economică viitoare a populației, industriei și tehnologiei, care determină nivelul emisiilor și cel al concentrațiilor atmosferice de gaze cu efect de seră. Estimarea evoluției viitoare a nivelurilor de concentrație al GES și al aerosolilor este necesară pentru realizarea experimentelor numerice pentru proiecțiile viitoare ale climei (Bojariu și colab. 2015).

2.5. Scenarii climatice

Dinamica schimbării climatice în următoarele decenii și secole depinde în mare măsură de evoluția activităților umane viitoare. De aceea, modelele climatice sunt rulate în condițiile unor scenarii de dezvoltare socio-economică.

Factorii externi impuși modelelor climatice - cum ar fi viitoarele concentrații ale GES - sunt derivați din diferite scenarii pentru viitor. Scenarii ale emisiilor/concentrațiilor GES sunt utilizate pentru a evalua impactul unei game de activități umane asupra componentelor sistemului terestru. Scenariile nu prezic viitorul, dar ele ajută la o mai bună înțelegere a incertitudinilor și a căilor de evoluție, în scopul evaluării fezabilității opțiunilor de adaptare la schimbările climatice și a diminuării emisiilor care le provoacă sub un nivel critic de la care capacitatea adaptivă a speciei noastre nu ar mai putea funcționa. Trebuie să luăm în considerare faptul că modificările climatice determină schimbări atât în sistemele naturale cât și în cele umane (prin schimbările tehnologice, economice, stilul de viață și politică), acestea din urmă, la rândul lor, influențând schimbările climatice (Bojariu și colab. 2015).

Prima abordare în proiectarea scenariilor climatice a fost una liniară, constând în următoarele etape: (1) producerea de scenarii socio-economice care conduc la diferite niveluri de emisii de aerosoli și GES

(adică scenariile de tipul IPCC SRES); (2) transformarea acestor emisii în concentrații; (3) descrierea influențelor lor asupra sistemului climatic și (4) evaluarea implicațiilor acestor schimbări climatice, împreună cu schimbările socio-economice și de mediu, asupra sistemelor naturale și umane (figura 28-a). Scenariile IPCC SRES se bazează pe diferiți factori care determină schimbări în emisiile de aerosoli și GES, inclusiv creșterea populației și durabilitatea dezvoltării socio-economice. Acești factori cuprind o gamă de posibile evoluții viitoare care ar putea influența sursele de aerosoli și GES, cum ar fi tipul de sistem energetic folosit și modificarea utilizării terenurilor. Există 40 de scenarii diferite, fiecare plecând de la un set de supoziții în ceea ce privește emisia viitoare de gaze cu efect de seră și utilizarea în viitor a terenului. Majoritatea scenariilor includ o creștere a consumului de combustibil fosil și a produsului intern brut global (PIB). Aceste scenarii privind emisiile se organizează în familii care conțin trăsături evolutive similare în anumite privințe (Bojariu și colab. 2015).

Rapoarte de evaluare ale proiecțiilor viitoare sunt elaborate periodic de Grupul Interguvernamental pentru Schimbări Climatice (IPCC), pe baza acestor scenarii. În echipa SRES s-au definit linii evolutive (cu numele de A1, A1T, A1F1, A1B, A2, B1 și B2), care descriu factorii ce determină emisiile de aerosoli și GES, relațiile dintre ei și evoluția lor în timpul secolului XXI (Nakicenovic și colaboratorii 2000). Fiecare linie evolutivă reprezintă diferite evoluții demografice, sociale, economice, tehnologice și de mediu care diverg din ce în ce mai mult pe măsură ce se apropie de sfârșitul secolului XXI (www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf).

Familia A1 de scenarii se caracterizează prin: (1) creștere economică rapidă; (2) populație globală care ajunge la 9 miliarde în 2050, iar apoi descrește gradual; (3) răspândirea rapidă a tehnologiilor noi și eficiente; (4) o lume convergentă – venitul și modul de viață converg între regiuni; (5) interacțiuni sociale și culturale extinse în toată lumea.

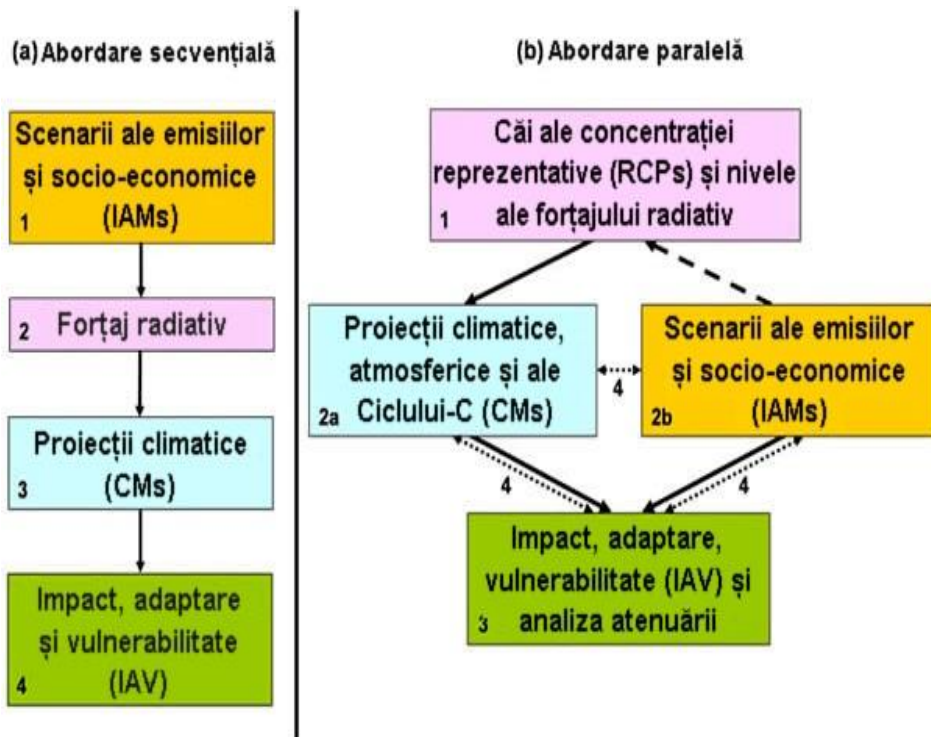


Figura 28. Abordări în dezvoltarea scenariilor globale: (a) abordare secvențială precedentă; (b) abordare paralelă propusă. Numerele indică pașii analitici (2a și 2b acționează în același timp). Săgețile indică transferuri de informație (solid), selecția RCP-urilor (liniuite) și integrarea informației și feedback-urilor (punctat). Sursa: Moss și colaboratorii (2008).

De exemplu, familia A2 de scenarii presupune: (1) operare independentă, națiuni încrezătoare în propriile forțe; (2) creșterea continuă a populației; (3) dezvoltarea economică orientată la nivel regional; (4) modificări tehnologice mai lente și mai fragmentate și îmbunătățiri la venitul pe cap de locuitor. Familia B1 de scenarii reprezintă o lume mai integrată și mult mai prietenoasă din punct de vedere ecologic, caracterizată prin: (1) creștere economică rapidă la fel ca la A1, dar cu schimbări rapide față de o economie a serviciilor și a informațiilor; (2) creșterea populației la 9 miliarde în 2050 și apoi descreștere ca la A1; (3) reducerea intensității materiale și introducerea resurselor tehnologice curate și eficiente; (4) accentuare a soluțiilor globale în ceea ce privește stabilitatea economică,

socială și a mediului. Scenariile de tip B2 ilustrează o lume mai divizată, însă mult mai prietenoasă din punct de vedere ecologic, reprezentată de: (1) creșterea continuă a populației, dar la un nivel mai lent față de A2; (2) accentuarea soluțiilor locale de stabilitate economică, socială și a mediului, în dauna celor globale; (3) nivele medii ale dezvoltării economice; (4) modificări tehnologice mai puțin rapide și mai fragmentate față de A1 și B1 (Bojariu și colab. 2015).

O altă abordare a scenariilor ce sunt impuse modelelor climatice a fost recent proiectată pentru o mai bună integrare între factorii socio-economici, schimbările din sistemul climatic și vulnerabilitatea sistemelor naturale și umane. În loc să pornească de la scenarii socio-economice care conduc la diferite niveluri de emisii ale aerosolilor și gazelor cu efect de seră, noile scenarii încep cu concentrațiile viitoare de aerosoli și gaze cu efect de seră (figura 28-b). Aceste noi scenarii descrise de Moss și colaboratorii (2008) sunt așa numitele „căi reprezentative de evoluție a concentrațiilor» (RCPs). Scenariile RCP pot fi folosite simultan, fie de modelele geosistemului (ESM) pentru a explora schimbările viitoare ale răspunsurilor fizice și biogeochimice la schimbarea compoziției atmosferice și a forțajului radiativ, sau de modelele de evaluare integrată (IAMs) pentru a explora condițiile socio-economice alternative care ar rezulta în astfel de modificări viitoare ale compoziției atmosferei (figura 28-b) (Moss și colaboratorii 2008). În faza paralelă a noii abordări, sunt efectuate noi experimente climatice cu ajutorul modelelor pentru a produce proiecții climatice folosind seriile de timp ale concentrațiilor și ale utilizării terenurilor din cele patru scenarii RCP. Aceste proiecții numerice vor fi folosite pentru a construi noi scenarii climatice pentru aplicarea lor în studii ale impactului, adaptării și vulnerabilității (IAV) și IAM (figura 28-b) (Moss și colaboratorii 2008).

Prin noua abordare, comunitatea științifică trebuie să producă scenarii cantitative ale modificărilor socio-economice, inclusiv modificările demografice, tehnologice, energetice și de utilizare a terenurilor în concordanță cu scenariile concentrațiilor (RCPs). Scenariile de tip RCP nu

sunt legate de nici un scenariu socio-economic, dar fiecare dintre ele este în concordanță cu multe tipuri de evoluții socio-economice, deoarece diferite schimbări socio-economice viitoare ar putea conduce la schimbări similare în compoziția atmosferică (figura 29). Liniile evolutive de dezvoltare socio-economică definite de comunitatea științifică pot fi apoi folosite ca un set comun de ipoteze de către comunitățile IAM și IAV.

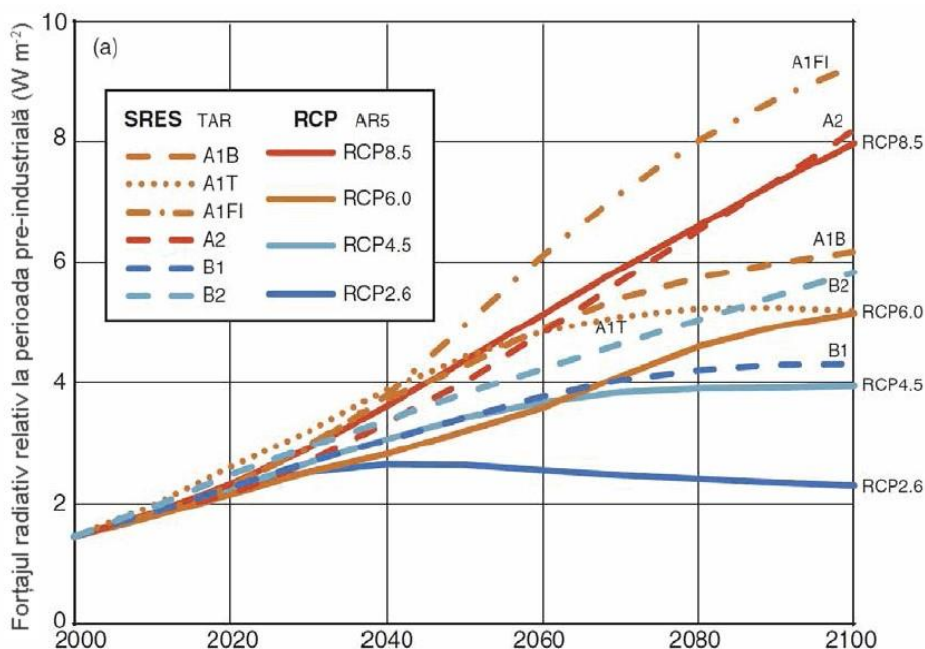


Figura 29. Forțajul radiativ (Wm^{-2}) proiectat pe secolul XXI, din scenariile SRES și RCP. Figură din raportul IPCC AR5 WGII, Capitolul 1.

Comunitatea IAV combină aceste rezultate cu cele obținute de comunitatea celor ce modelează geosistemul (ESM), având la bază scenariile de tip RCP, pentru a analiza impactul schimbărilor climatice, opțiunile la adaptare și vulnerabilitatea la schimbările climatice (figura 29) (Bojariu și colab. 2015).

Schimbarea climei este rezultatul interacțiunii geosistemului natural cu antroposfera (formată din sisteme socio-economice). Modificări în

ecosisteme, resurse naturale, activități economice și de infrastructură, precum și bunăstarea oamenilor, depind nu numai de schimbările climatice, dar și de alte schimbări ale mediului (descrise în scenariile de mediu) și de capacitatea societății și a economiei de a amortiza și a se adapta la impact (descrisă în scenariile de vulnerabilitate și capacitate de adaptare). O mai bună integrare a tuturor tipurilor de scenarii este necesară și în abordarea altor probleme, cum ar fi implicațiile ecologice și economice ale diferitelor seturi de politici de adaptare și atenuare a efectelor schimbării climatice (Capela Lourenço și colaboratorii 2014).

În ultimii ani, o echipă internațională de oameni de știință în domeniul climei, economiști și experți în modelarea sistemelor energetice au construit o serie de scenarii noi care examinează modul în care societatea globală, demografia și economia s-ar putea schimba în secolul următor. Acestea sunt cunoscute sub numele de "traietorii socio-economice comune" (Shared Socioeconomic Pathways - SSPs).

Noile SSP-uri oferă cinci traietorii pe care lumea ar putea evolua (Fig. 30). În comparație cu scenariile anterioare, acestea oferă o viziune mai largă asupra unei lumi "*business as usual*", fără acorduri climatice viitoare, încălzirea globală în 2100, variind de la 3,1 grade C până la 5,1 grade C față de nivelurile preindustriale.

Scenariul SSP1 e caracterizat de durabilitatea dezvoltării și o abordare ecologistă, ceea ce înseamnă provocări reduse pentru atenuare și adaptare. Este o lume în care investițiile educaționale și de sănătate accelerează tranziția demografică, iar accentul pus pe creșterea economică vizează contextul mai larg al bunăstării umane. Susținută de un angajament din ce în ce mai mare pentru atingerea obiectivelor de dezvoltare, inegalitatea este redusă. Consumul este orientat către o limitare a folosirii resurselor materiale și energetice.

Scenariul SSP2 descrie o cale de mijloc, ceea ce înseamnă provocări medii pentru atenuare și adaptare. Lumea urmează o cale în care tendințele sociale, economice și tehnologice nu se schimbă semnificativ față de modelele istorice. Dezvoltarea și creșterea veniturilor au o evoluție

inegală. Instituțiile globale și naționale lucrează, dar fac progrese lente în atingerea obiectivelor de dezvoltare durabilă. Creșterea populației globale este moderată. Inegalitatea veniturilor persistă sau se îmbunătățește încet, iar provocările legate de reducerea vulnerabilității la schimbările sociale și de mediu rămân.

Scenariul SSP3 este descris ca unul în care caracteristica principală este rivalitatea regională, ceea ce înseamnă provocări majore pentru atenuare și adaptare. Un naționalism reînviat, preocupările legate de competitivitate și securitate și conflictele regionale împing țările să se concentreze din ce în ce mai mult asupra problemelor interne sau, cel mult, regionale. Politicile se schimbă în timp pentru a deveni din ce în ce mai orientate spre problemele de securitate națională și regională. Țările se concentrează asupra atingerii obiectivelor privind energia și securitatea alimentară în doar cadrul propriilor regiuni. Investițiile în educație scad și se constată declinul dezvoltării tehnologice. Dezvoltarea economică este lentă, consumul este intensiv, iar inegalitățile persistă sau se înrăutățesc în timp. Creșterea populației este scăzută în țările dezvoltate și înaltă în cele în curs de dezvoltare. O prioritate internațională scăzută pentru abordarea preocupărilor legate de mediu conduce la o degradare puternică a mediului în unele regiuni.

Scenariul SSP4 este caracterizat de inegalitate, ceea ce se traduce prin provocări scăzute pentru atenuare și ridicate pentru adaptare. Investițiile foarte inegale în capitalul uman, combinate cu disparitățile din ce în ce mai mari în ceea ce privește oportunitățile economice și puterea politică, duc la creșterea inegalităților și stratificării. De-a lungul timpului, se creează o diferență între o societate conectată la nivel internațional care contribuie la sectoarele intensive ale cunoașterii și capitalului din economia globală și o colecție fragmentată de societăți cu venituri reduse și slab dezvoltate care lucrează într-o economie slab tehnologizată. Coeziunea socială se degradează, conflictele devin tot mai frecvente.

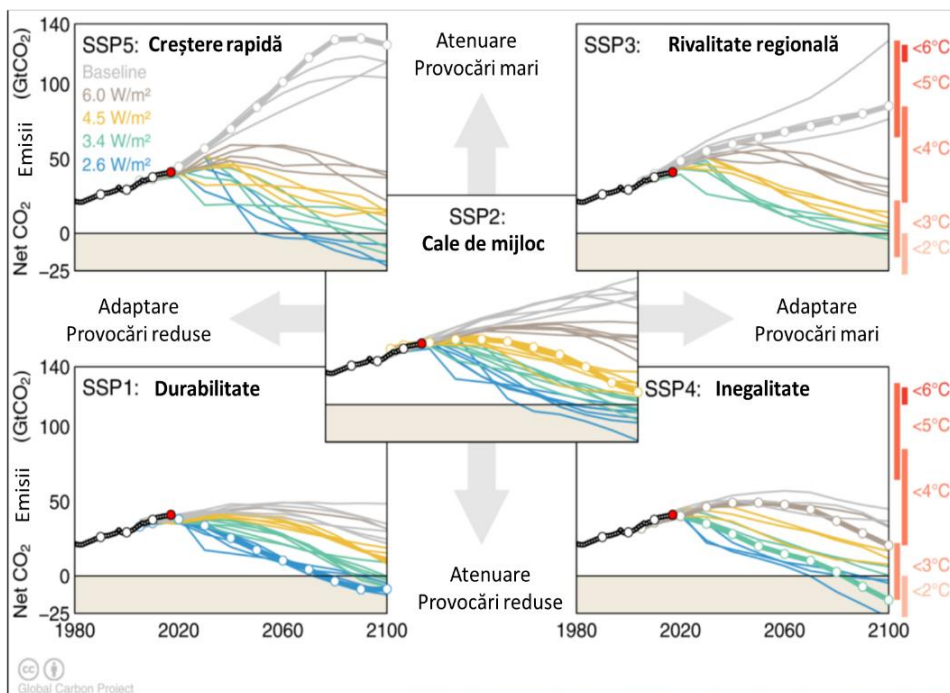


Figura 30. Reprezentarea celor 5 scenarii SSP cu emisiile și creșterile asociate de temperatură (la sfârșitul secolului) și legătura cu scenariile RCP. După Glen Peters and Robbie Andrews și Global Carbon Project (<https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>).

Sectorul energetic conectat la nivel global se diversifică, cu investiții atât în combustibili pe bază de carbon, cum ar fi cărbunele și petrolul neconvențional, dar și pe sursele de energie cu emisii reduse de carbon. Politicile de mediu se concentrează asupra problemelor locale din jurul zonelor medii și înalte de dezvoltare.

Scenariul SSP5 este unul de dezvoltare pe bază de combustibili fosili, ceea ce înseamnă provocări importante pentru atenuari și provocări reduse pentru adaptare. Această lume se bazează pe piețele competitive, inovare și societățile participative pentru a produce progrese tehnologice rapide și dezvoltarea capitalului uman. Piețele globale sunt din ce în ce mai integrate. Există, de asemenea, investiții puternice în domeniul sănătății, al educației și al instituțiilor pentru a spori capitalul uman și social. În

același timp, impulsivitatea dezvoltării economice și sociale este combinată cu exploatarea resurselor abundente de combustibili fosili și adoptarea unui stil de viață ce exploatează intens resursele materiale și de energie din întreaga lume. Toți acești factori duc la o creștere rapidă a economiei globale. Problemele locale de mediu precum poluarea aerului sunt gestionate cu succes. Există încredere în capacitatea de a gestiona în mod eficient sistemele sociale și ecologice, inclusiv prin geoinjinerie, dacă este necesar.

2.6. Incertitudini asociate scenariilor climatice

Există incertitudini în alegerea scenariilor de dezvoltare socio-economică viitoare și ele sunt transmise în scenariile de emisie. Scenariile privind emisiile viitoare ale gazelor cu efect de seră sunt, la rândul lor, introduse ca date de intrare în modelele numerice care simulează evoluția sistemului climatic global. Modelele climatice globale generează, și ele, incertitudini legate de reprezentarea corectă și completă a proceselor fizice. Pe de-o parte, avem de-a face cu un sistem complex, care se comportă neliniar – sistemul climatic – iar pe de altă parte, resursele de calcul sunt și ele limitate. Trebuie subliniat că proiectarea la nivel regional (în cazul de față, la nivelul României) a semnalului încălzirii globale, presupune adăugarea unor noi verigi la lanțul de incertitudini deja existent, în situația evaluării schimbării climatice globale. La toate acestea se adaugă incertitudinile generate de sistemul actual de observații. În ultimii ani s-au înregistrat progrese în localizarea, și în unele cazuri, minimizarea incertitudinilor legate de reprezentarea proceselor fizice. Resursele de calcul s-au mărit și ele. Nu suntem însă în situația de a fi eliminat toate incertitudinile în evaluarea semnalului încălzirii globale și evaluările impactului acestuia asupra societății umane trebuie să țină seama de existența lor (Bojariu și colab., 2015).

Din perspectiva adaptării, este important să se evalueze toate schimbările posibile în relație cu incertitudinile asociate acestora. O parte din incertitudinile în proiecțiile climatice viitoare există din cauza

limitărilor teoretice în modelarea climei și a interacțiunilor sale cu ecosistemele și sistemele umane. Acestea sunt intrinseci științei, deci anumite niveluri de incertitudine vor fi mereu prezente și trebuie să fie incluse în procesele de luare a deciziilor. Date fiind aceste niveluri inevitabile de incertitudine, adaptarea la schimbările climatice ridică provocări în planificarea politicilor pe termen lung (Capela și colaboratorii 2014).

3. Simulări ale climei prezente și viitoare a României

Modele numerice care simulează comportamentul sistemului climatic sunt folosite, împreună cu datele de observație, pentru a evalua caracteristicile schimbărilor climatice pe termen mediu și lung. Astfel de evaluări au fost realizate și pentru România – ele sunt proiecții ale schimbărilor climatice în viitor, valabile în contextul scenariilor specifice de evoluție a concentrațiilor atmosferice ale gazelor cu efect de seră.

Pentru a evalua tendințele viitoare ale climei în România am folosit, în cele ce urmează, experimentele numerice realizate atât cu modele climatice globale, disponibile în cadrul programelor CMIP 3 (tabelul 1), CMIP 5 (tabelul 2) și CMIP 6 (tabelul 3), cât și cu cele regionale, disponibile în cadrul programului EURO-CORDEX (tabelul 4). Simulările EURO-CORDEX sunt descrise în lucrarea publicată de Jacob și colaboratorii (2014). Metodologia de bază pentru evaluarea schimbărilor în valorile variabilelor climatice folosește conceptul de ansamblu de experimente. În acest caz, de interes este evoluția valorii rezultate din medierea variabilelor climatice simulate de fiecare experiment numeric, membru al ansamblului, pe perioade comune. Această mediere elimină o parte din «zgomotul» creat de particularitățile de construcție ale fiecărui model și extrage mai eficient semnalul legat de răspunsul comun al ansamblului de experimente la creșterea concentrației atmosferice a gazelor cu efect de seră. Pe de altă parte, medierea ansamblului de experimente îngustează plaja de variabilitate posibilă și aplicarea mediei multimodel, în cazul evaluării fenomenelor extreme, necesită precauție metodologică.

În cazul nostru particular – schimbarea climei în România - mediile ansamblurilor de experimente CMIP3, CMIP5, CMIP 6 și EURO-CORDEX simulează relativ bine comportamentul sezonier observat, în climatul actual, chiar dacă există diferențe cantitative. Intervalul de referință pentru climatul actual este 1961-1990 pentru ansamblurile de modele globale și 1971-2000 pentru cele regionale. Datele de observație folosite pentru a

evalua capacitatea modelelor de a reprezenta climatul regional în aceste intervale sunt cele din setul ROCADA (Bîrsan și Dumitrescu 2014b, Dumitrescu și Bîrsan 2015).

Tabelul 1. Modelele climatice globale ale programului CMIP 3 ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România.

Nr.	Centrul de modelare climatică globală	Model
1	BCCR (Norvegia)	BCCR_BCM2_0
2	CCCma (Canada)	CCCMA_CGCM3_1
3	CNRM (Franța)	CNRM_CM3
4	CSIRO (Australia)	CSIRO_MK3_0
5	GFDL (Statele Unite ale Americii)	GFDL_CM2_0 GFDL_CM2_1
6	INM (Rusia)	INCM3_0
7	MIROC (Japonia)	MIROC3_2_medres
8	MIUB (Germania)	MIUB_echo_g
9	MPI (Germania)	MPI_ECHAM5
10	NASA (Statele Unite ale Americii)	GISS_model_E_R
11	UKMO (Marea Britanie)	UKMO_HadCM3

Rezoluția spațială a setului ROCADA este de 0,1° în latitudine și longitudine. Experimentele cu modele globale au rezoluții spațiale diferite. Pentru a calcula mediile ansamblurilor cu modele globale, datele simulate au fost interpolate pentru a fi aduse la o rezoluție comună de 1° în latitudine și longitudine. Experimentele EURO-CORDEX cu modele regionale au prin construcție o rezoluție de 0,125° în latitudine și longitudine. Deși intervalele de referință, ansamblurile de modele și tipurile de scenarii impuse modelelor folosite diferă, făcând dificilă o comparație cantitativă directă, putem trage anumite concluzii generale.

Tabelul 2. Modelele climatice globale ale programului CMIP 5 ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România.

Nr.	Centrul de modelare	Modelele folosite
1	BCC (China)	BCC-CSM1.1 BCC-CSM1.1(m)
2	CCCma (Canada)	CanESM2
3	CNRM-CERFACS (Franța)	CNRM-CM5
4	CSIRO-BOM (Australia)	ACCESS1.0 ACCESS1.3
5	CSIRO-QCCCE (Australia)	CSIRO-Mk3.6.0
6	GCESS (China)	BNU-ESM
7	IPSL (Franța)	IPSL-CM5A-LR IPSL-CM5A-MR IPSL-CM5B-LR
8	MIROC (Japonia)	MIROC5 MIROC-ESM MIROC-ESM-CHEM
9	MOHC (Marea Britanie)	HadGEM2-CC HadGEM2-ES
10	MPI-M (Germania)	MPI-ESM-LR MPI-ESM-MR
11	MRI (Japonia)	MRI-CGCM3
12	NASA GISS (Statele Unite ale Americii)	GISS-E2-H GISS-E2-H-CC GISS-E2-R GISS-E2-R-CC
13	NCAR (Statele Unite ale Americii)	CCSM4
14	NCC (Norvegia)	NorESM1-M
15	NSF-DOE-NCAR (Statele Unite ale Americii)	CESM1(BGC) CESM1(CAM5)

Tablelul 3. Modelele climatice globale ale programului CMIP 6 ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România.

Nr.	Centrul de modelare	Modelele folosite
1	BCC (China)	BCC-CSM2-MR
2	CCCma (Canada)	CanESM5
3	CNRM-CERFACS (Franța)	CNRM-CM6-1
4	CAMS (China)	CAMS-CSM1-0
5	EC-Earth-Consortium (Europa)	EC-Earth3 EC-Earth3-Veg
6	CAS (China)	FGOALS-f3-L FGOALS-g3
7	UA (Statele Unite ale Americii)	MCM-UA-1-0

Tablelul 4. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX (Jacob și colab. 2014) ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România, pentru temperatură.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	CLMcom (Consortiul CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
2	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
3	IPSL-INERIS (Laboratorul de Știința Climei și Mediului, IPSL, CEA/CNRS/UVSQ – Institutul Național al Mediului Industrial și la Riscurilor, Halatte, Franța)	WRF331F	IPSL-CM5A-MR
4	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
5	MPI-CSC (Institutul Max-Planck – Centrul de Servicii Climatice Hamburg, Germania)	REMO2009	MPI-ESM-LR
6	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
7	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
8	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

Tablelul 5. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România, pentru precipitații.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	CLMcom (Consortiul CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
2	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
3	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
4	MPI-CSC (Institutul Max-Planck – Centrul de Servicii Climatice Hamburg, Germania)	REMO2009	MPI-ESM-LR
5	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
6	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
7	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

Tablelul 6. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România, pentru stratul de zăpadă.

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	CLMcom (Consortiul CLMcom)	CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR
2	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
3	IPSL-INERIS (Laboratorul de Stiința	WRF331F	

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
	Climei și Mediului, IPSL, CEA/CNRS/UVSQ – Institutul Național al Mediului Industrial și la Riscurilor, Halatte, Franța)		IPSL-CM5A-MR
4	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
5	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
6	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
7	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

Tablul 7. Modelele climatice globale și regionale ale programului EURO-CORDEX ale căror rezultate au fost folosite la analiza tendințelor climatice viitoare în România, pentru evapotranspirația potențială și indicele Palmer de severitate a secetei (IPSS).

Nr.	Centrul de modelare climatică regională	Model regional	Model global
1	DMI (Institutul Meteorologic Danez)	HIRHAM5	ICHEC-EC-EARTH
2	KNMI (Institutul Regal Olandez de Meteorologie)	RACMO22E	ICHEC-EC-EARTH
3	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	ICHEC-EC-EARTH
4	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	IPSL-CM5A-MR
5	SMHI (Institutul Hidrometeorologic Suedez)	RCA4	MPI-ESM-LR

3.1.1. Simulări ale regimului termic

Modelele climatice globale și regionale utilizate reușesc să simuleze calitativ comportamentul sezonier al temperaturii medii lunare și al abaterii medii standard asociate, la nivelul României (figura 31, 32, 33 și

34). Totuși, o problemă comună majorității ansamblurilor de simulări analizate este supraestimarea valorilor termice medii în lunile de vară și în cele de iarnă (CMIP 5 și CMIP6) (figura 31). Există și o subestimare a temperaturilor medii primăvara (CMIP 6) și toamna (CMIP 3) (figura 31). Pe de altă parte, în cazul temperaturii la nivelul României, mediile ansamblului de experimente regionale care simulează clima actuală sunt mai aproape de observații, ceea ce era de așteptat, ținând cont că reprezentarea proceselor locale este mai bună la RCM-uri și deci răspunsul local la semnalul global este mai corect nuanțat (figura 32). În cazul distribuției spațiale a temperaturii, ansamblul de modele regionale reproduce destul de bine observațiile, în perioada 1971 – 2000 (figura 34).

Rezultatele bazate pe ansambluri de experimente numerice cu modele climatice globale și regionale indică pentru teritoriul României o creștere progresivă a temperaturii aerului în secolul 21, pentru toate anotimpurile, dar mai pronunțată vara și iarna (figura 35 și 36), ceea ce deja apare și în tendințele observate ale temperaturii, discutate în secțiunea § 1.9.1.

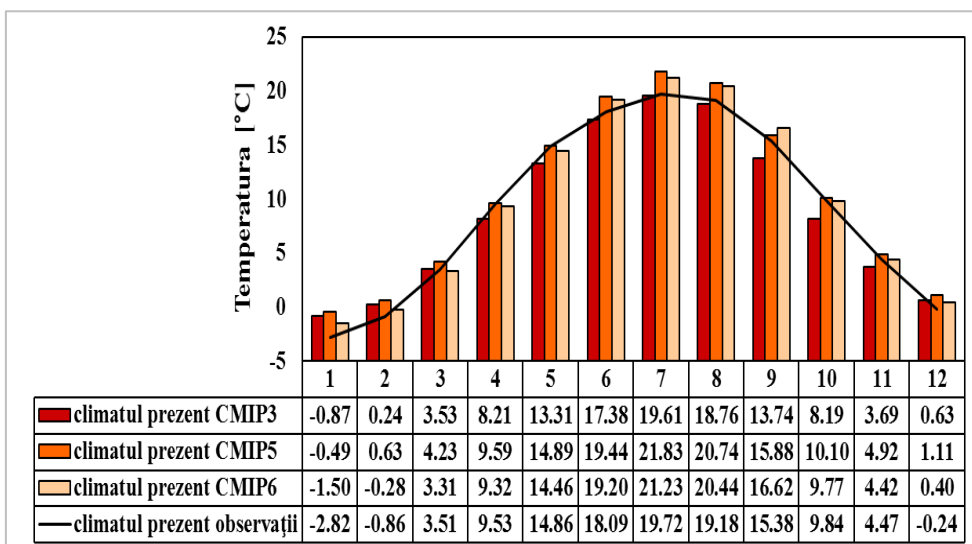


Figura 31. Mediile multianuale (1961-1990) ale valorilor lunare de temperatură (în °C) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice globale (tabelele 1,2 și 3).

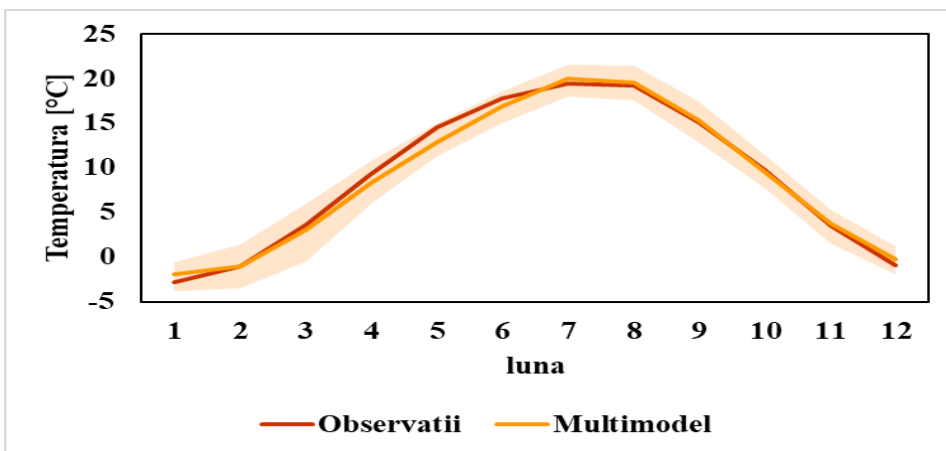


Figura 32. Mediile multianuale (1971-2000) ale valorilor lunare de temperatură (în °C) mediate la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO - CORDEX (prezentate în tabelul 4). Banda portocalie reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia portocalie este media ansamblului.

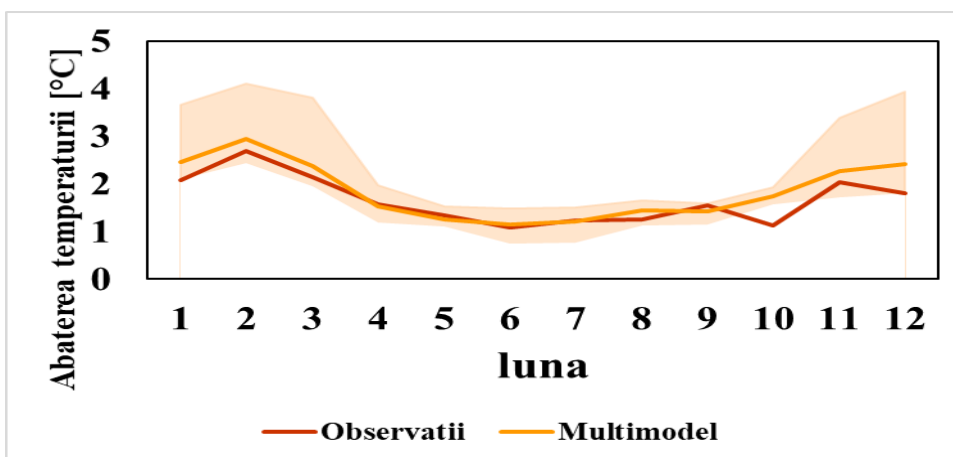


Figura 33. Abaterile medii standard (1971-2000) ale valorilor lunare de temperatură (în °C) mediate la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO - CORDEX (prezentate în tabelul 4). Banda portocalie reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia portocalie este media ansamblului.

Pentru viitorul apropiat (2021-2050), la nivelul României, rezultatele modelelor climatice globale analizate indică o creștere medie a

temperaturii lunare, în cea mai caldă lună a anului (august), de peste 3 ° C, în cel mai pesimist scenariu (SSP5 RCP 8.5).

Creșterea similară a temperaturii medii lunare, obținută cu modelele climatice regionale, este de peste 2,5 ° C, în condițiile scenariului pesimist RCP 8.5. Totuși, diferențele legate de scenariu sunt relativ mici în primele decenii ale secolului XXI.

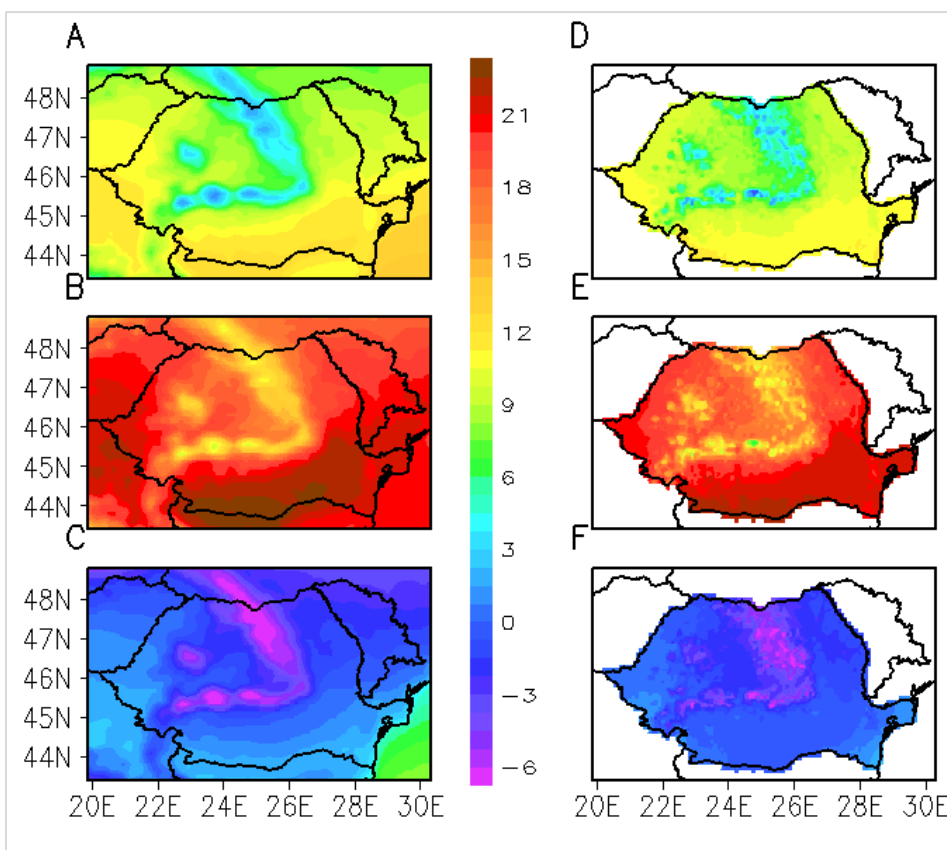


Figura 34. Temperatura medie anuală, de vară și iarnă (coloana din stânga) simulată cu ansamblul de modele climatice regionale din programul EURO - CORDEX (prezentate în tabelul 4) și temperatura medie anuală de vară și iarnă obținută din setul ROCADA, derivat din observațiile de la stațiile meteorologice din rețeaua națională (coloana din dreapta) pentru perioada 1971-2000. Temperaturile sunt în °C.

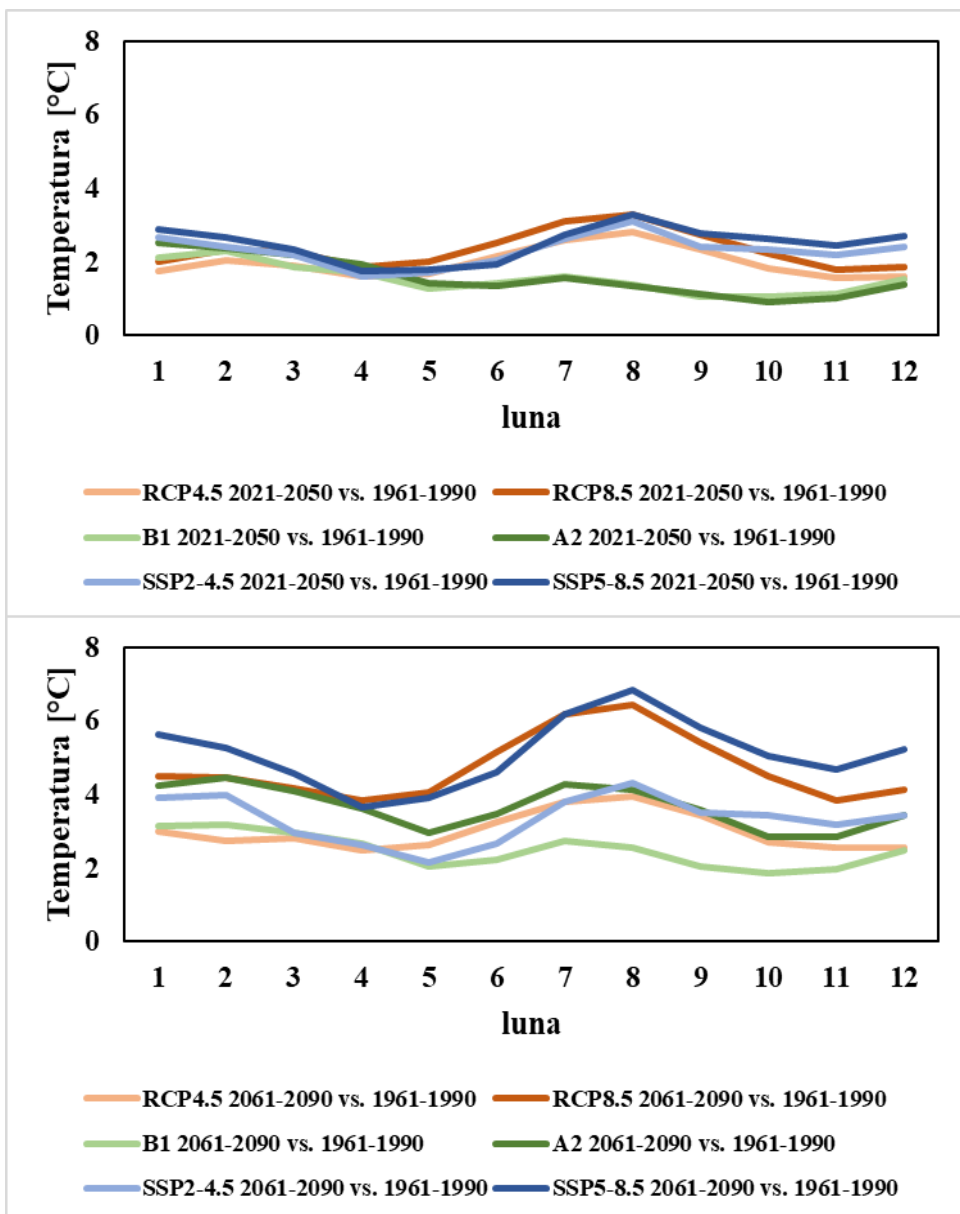


Figura 35. Schimbarea în valorile medii lunare ale temperaturii (figura de jos, în °C) în condițiile scenariilor de emisie și concentrație pentru 2021-2050 vs. 1961-1990 și 2061-2090 vs. 1961-1990. Au fost folosite date ale modelelor globale din programele CMIP3, CMIP5 și CMIP 6 (tabelele 1,2 și 3).

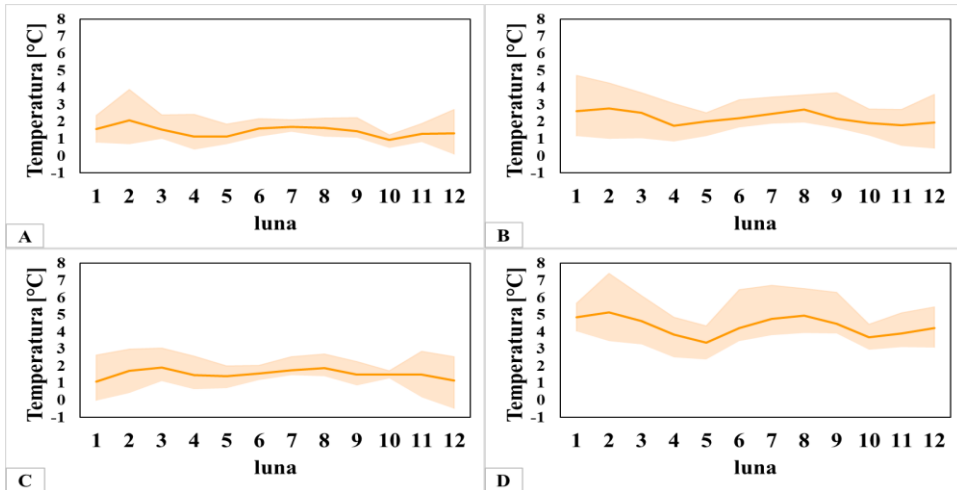


Figura 36. Schimbarea în valorile medii de vară ale temperaturii aerului (în °C) la nivelul României, calculate din rezultatele modelelor EURO-CORDEX (prezentate în tabelul 4), în condițiile scenariilor RCP 4.5(A și B) și RCP 8.5 (C și D), pentru 2021- 2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071- 2100 vs. 1971-2000 (B și D).

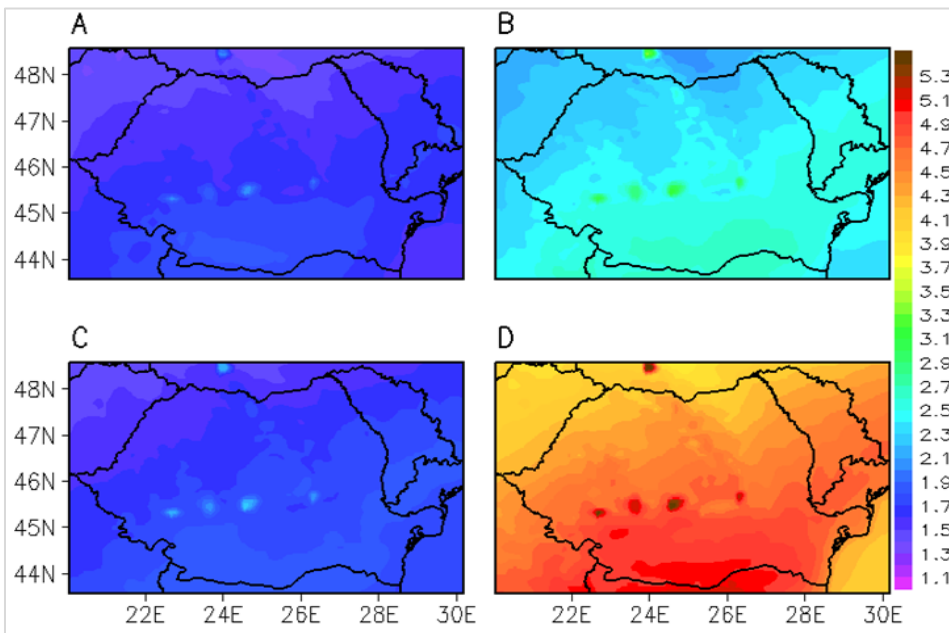


Figura 37. Schimbarea în valorile medii de vară ale temperaturii aerului (în °C) calculate din rezultatele modelelor EURO-CORDEX (prezentate în tabelul 4), în condițiile scenariilor RCP 4.5(A și B) și RCP 8.5 (C și D), pentru 2021- 2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071- 2100 vs. 1971-2000 (B și D).

Diferențele mai mari în ceea ce privește schimbarea climatică sunt așteptate spre sfârșitul secolului XXI. Pentru scenariul pesimist (SSP5 RCP 8.5), creșterea medie a temperaturii pentru România obținută cu modelele globale poate atinge aproape 7 ° C în luna august.

Modelele climatice regionale, în condițiile scenariului pesimist (RCP 8.5) indică o valoare maximă a creșterii medii similar cu cea derivată din rezultatele modelelor climatice globale, dar pentru luna iulie, în intervalul 2071-2100, comparativ cu intervalul 1971-2000.

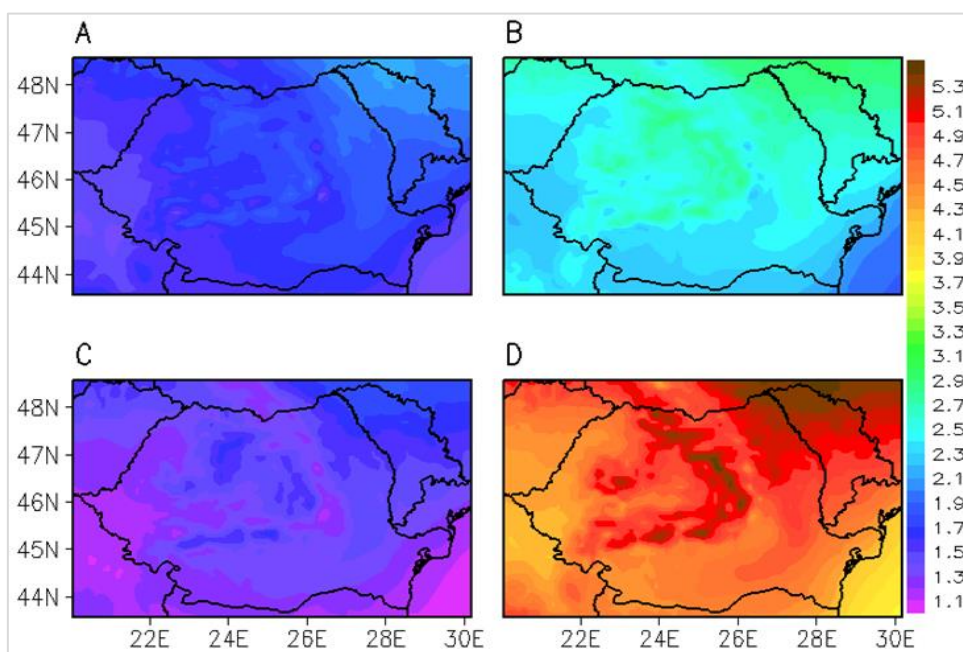


Figura 38. Schimbarea în valorile medii de iarnă ale temperaturii aerului (în grd. C) calculate din rezultatele modelelor EURO-CORDEX (prezentate în tabelul 4), în condițiile scenariilor RCP 4.5(A și B) și RCP 8.5 (C și D), pentru 2021- 2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071- 2100 vs. 1971-2000 (B și D).

Configurațiile spațiale ale creșterilor temperaturii pentru vară și iarnă sunt prezentate în figurile 37 și 38. Vara, creșterile sunt mai mari în sudul țării și scad ca magnitudine, spre regiunile nordice. Iarna, creșterile cele mai puternice sunt, în general, spre regiunile nord-estice. În cazul iernii, există și există o configurație a magnitudinilor relativ mai mari, care

se așează la est de Carpații Orientali și ajung până în sud-estul țării, sugerând fie scăderea frecvenței pătrunderilor de aer foarte rece dinspre nordul țării, fie modificări substanțiale în caracteristicile termice ale maselor de aer polar ce ajung în România pe circulație nordică. De reținut și în cazul verii și în cel al iernii, magnitudinea mare a creșterilor termice în zonele de munte, în funcție de altitudine (figura 37 și 38). Acest semnal ar putea fi legat de feedback-ul zăpezii, fiind mult mai restrâns vara (în zona altitudinilor mari).

3.1.2. Simulări ale regimului precipitațiilor

Pentru teritoriul României, modelele climatice globale și regionale utilizate reușesc să simuleze rezonabil comportamentul sezonier al ratei medii lunare de precipitații (figura 39 și 40). În cazul abaterii standard asociate, varianța ratei lunare de precipitații este mult supraestimată în rezultatele ansamblului cu modele climatice regionale (figura 41).

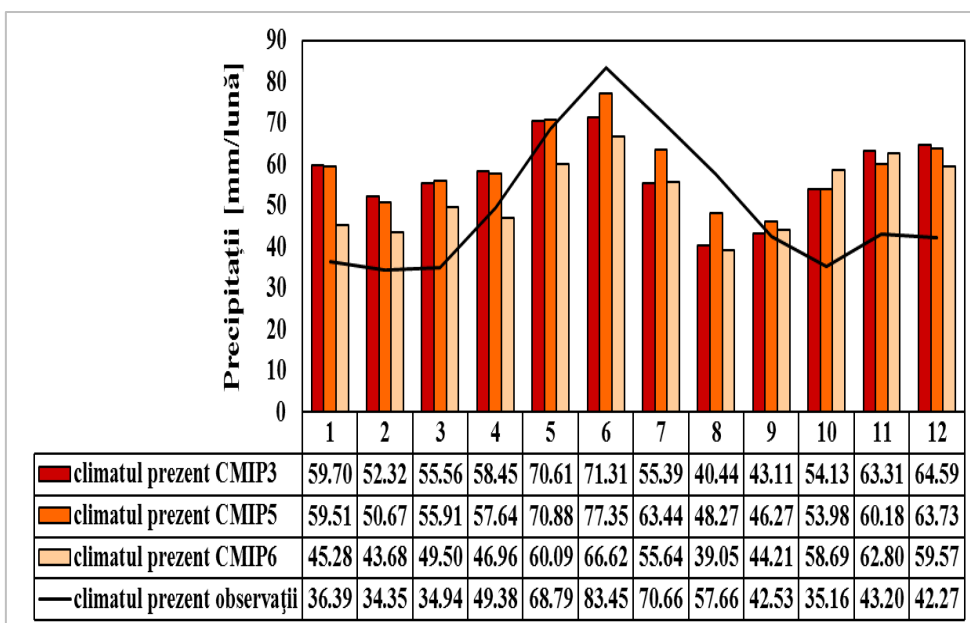


Figura 39. Mediile multianuale (1961-1990) ale ratei medii lunare a precipitațiilor (în mm/zi) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice globale (tabelele 1,2 și 3).

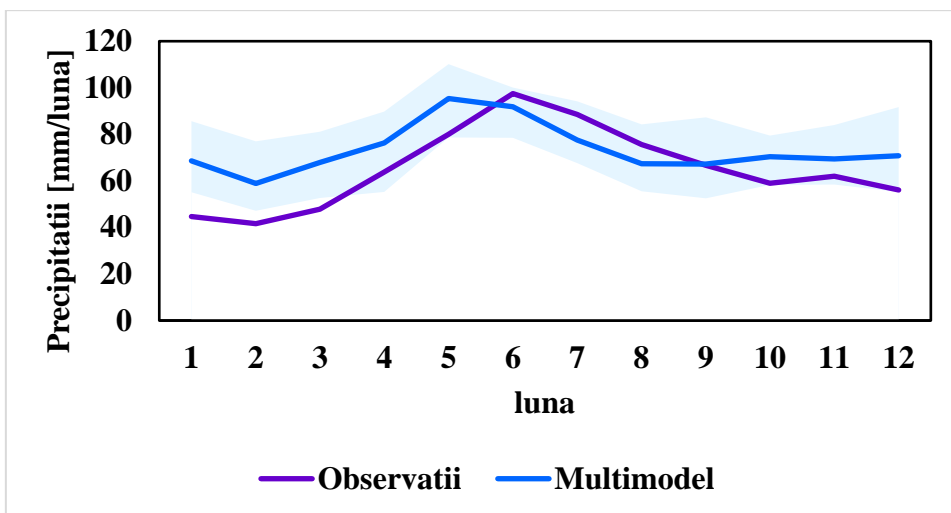


Figura 40. Mediile multianuale (1971-2000) ale ratei medii lunare a precipitațiilor (în mm/lună) mediată la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO-CORDEX (prezentate în tabelul 5). Banda albastră reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia albastră este media ansamblului.

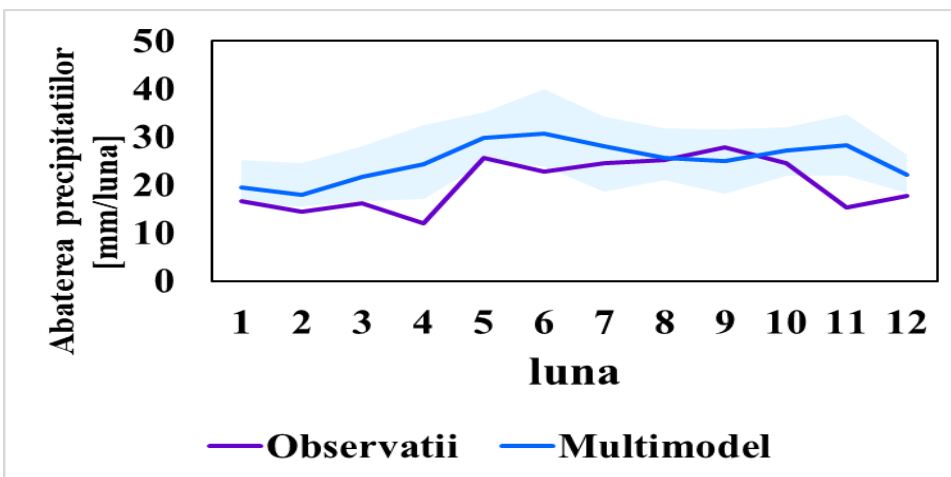


Figura 41. Abaterile medii standard (1971-2000) ale ratei lunare de precipitații (în mm/lună) mediate la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO - CORDEX (prezentate în tabelul 5). Banda albastră reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia albastră este media ansamblului.

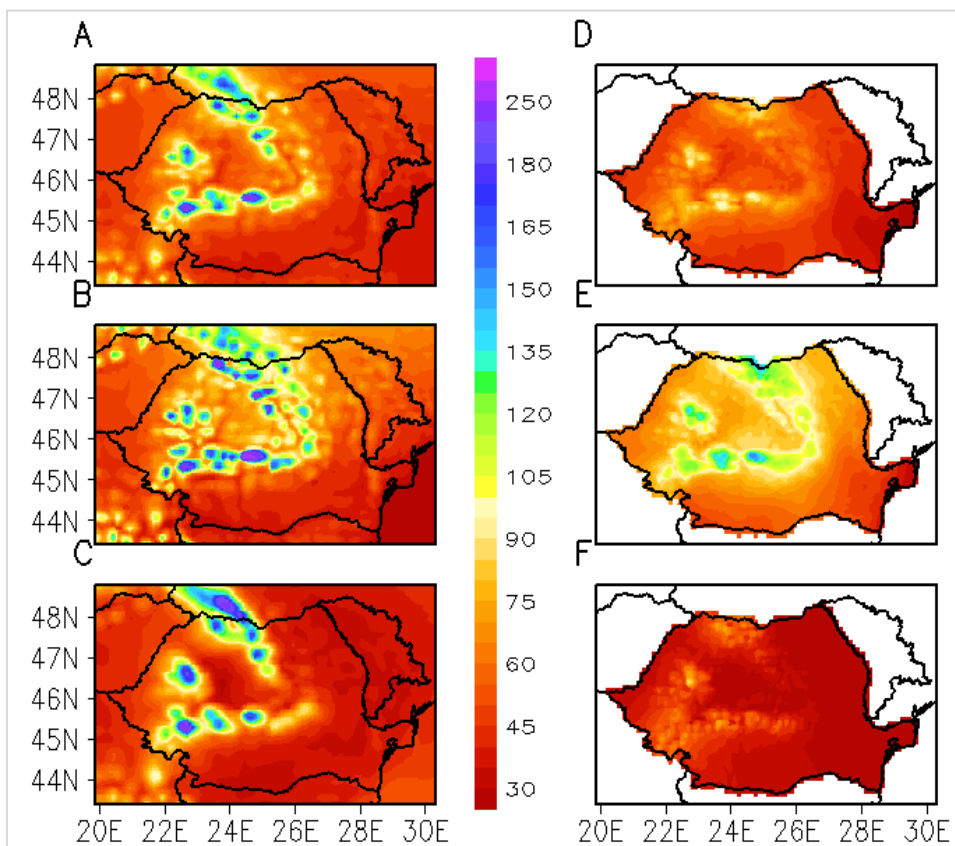


Figura 42. Suma medie anuală, de vară și iarnă a precipitațiilor (coloana din stânga) simultană cu ansamblul de modele climatice regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 5) și suma medie anuală de vară și iarnă a precipitațiilor obținută din setul ROCADA, derivat din observațiile de la stațiile meteorologice din rețeaua națională (coloana din dreapta) pentru perioada 1971-2000. Cantitățile de precipitații sunt în l/m².

În plus, la nivelul României, se observă, din compararea datelor observate cu cele simulate, că modelele climatice globale folosite tind să supraestimeze rata precipitațiilor în sezonul rece și să o subestimeze în sezonul cald (figura 39). La nivelul României, atât modelele climatice globale cât și cele regionale subestimează precipitațiile în lunile de vară (figura 39 și 40). În cazul modelelor regionale apare, în plus, o decalare față de observații a maximumului lunar de precipitații din luna iunie, în luna mai (figura 40).

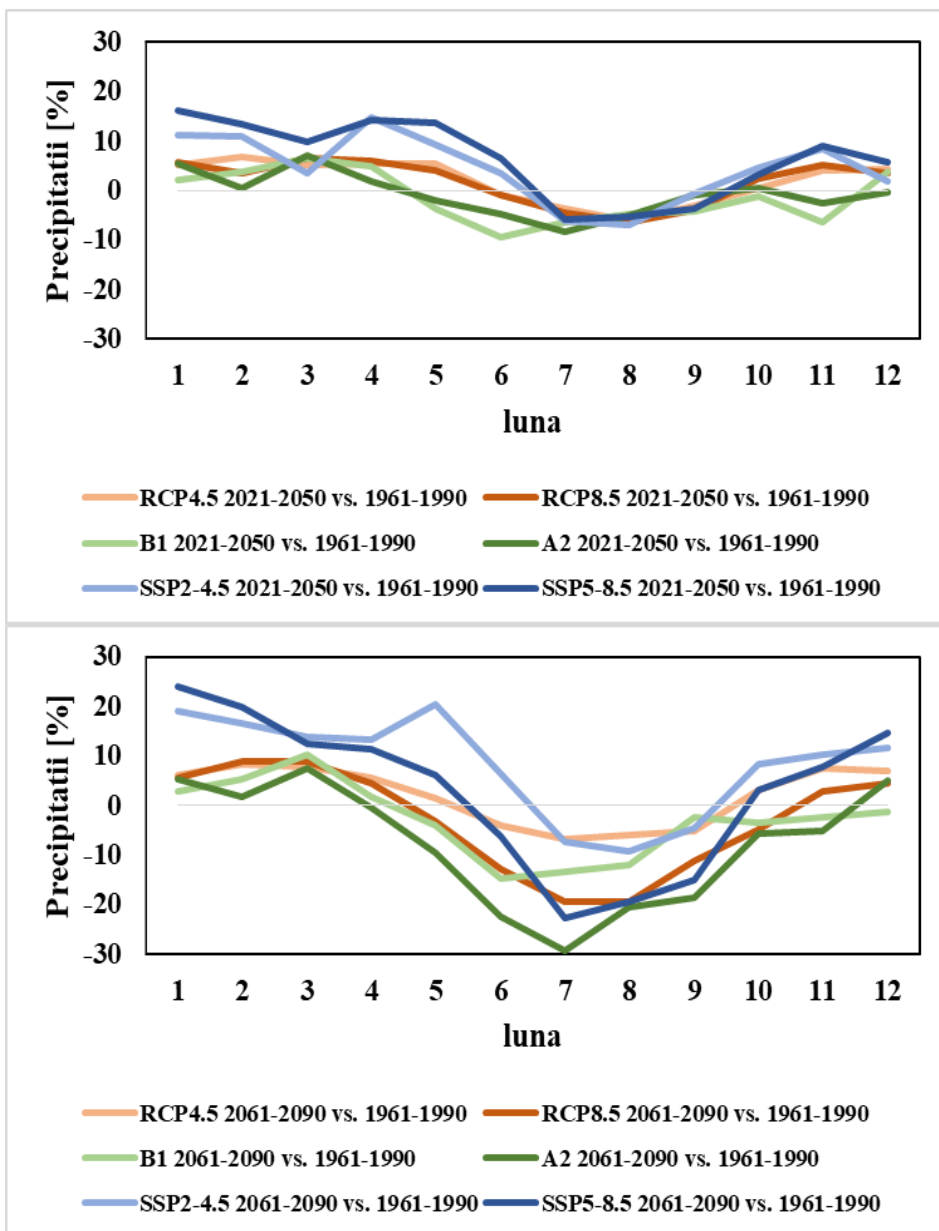


Figura 43. Schimbarea în valorile medii lunare ale sumelor lunare de precipitații (figura de jos, în %) în condițiile scenariilor de emisie și concentrație pentru 2021-2050 vs. 1961-1990 și 2061-2090 vs. 1961-1990. Au fost folosite date ale modelelor globale din programele CMIP3, CMIP5 și CMIP 6 (tabelul 1, 2 și 3).

Spațial, modelele climatice regionale reproduc configurațiile sezoniere și anuale ale cantităților de precipitații observate, evidențiind, de exemplu, influența arcului carpatic asupra regimului pluviometric mediu (figura 42).

Comparația rezultatelor modelelor regionale cu precipitațiile din setul gridat ROCADA (Bîrsan și Dumitrescu 2014b, Dumitrescu și Bîrsan 2015), derivate din observațiile de la stațiile meteorologice din rețeaua națională, relevă, totuși, supraestimarea puternică a cantităților în zonele de munte. În acest context, trebuie însă menționat și numărul insuficient de stații meteorologice din masivele carpatice pentru caracterizarea riguroasă a configurației spațiale a câmpului de precipitații din zona de munte.

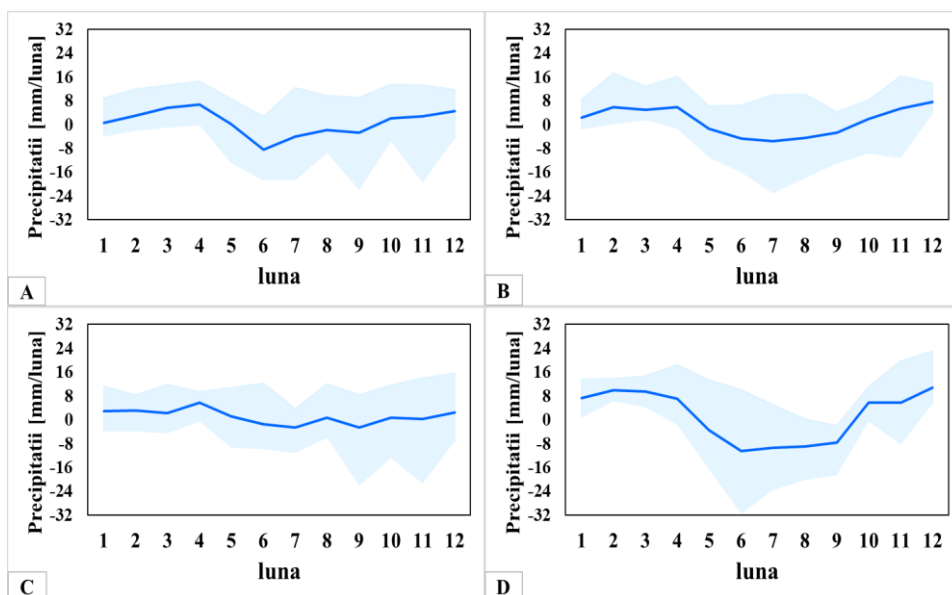


Figura 44. Schimbarea în valorile medii lunare ale sumelor lunare de precipitații (în mm/lună) în Au fost folosite rezultate ale modelelor regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 5) pentru perioadele 2021-2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071-2100 (B și D) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (A și B) și RCP 8.5 (C și D).

Pentru perioadele de la sfârșitul secolului XXI (2061-2090 sau 2071-2100), la nivelul României, rezultatele modelelor climatice globale și

regionale analizate indică un semnal clar de reducere a mediei ratei lunare de precipitații, pe durata sezonului cald. Reducerea este mai mare în condițiile scenariilor pesimiste SSP5- RCP8.5/RCP 8.5 (figura 43 și 44). Tot pentru a doua parte a secolului, atât modelele climatice globale cât și cele regionale sugerează o creștere a cantității lunare a precipitațiilor în lunile de iarnă (figura 43 și 44). Cele globale identifică acest semnal de creștere și în perioada 2021-2050.

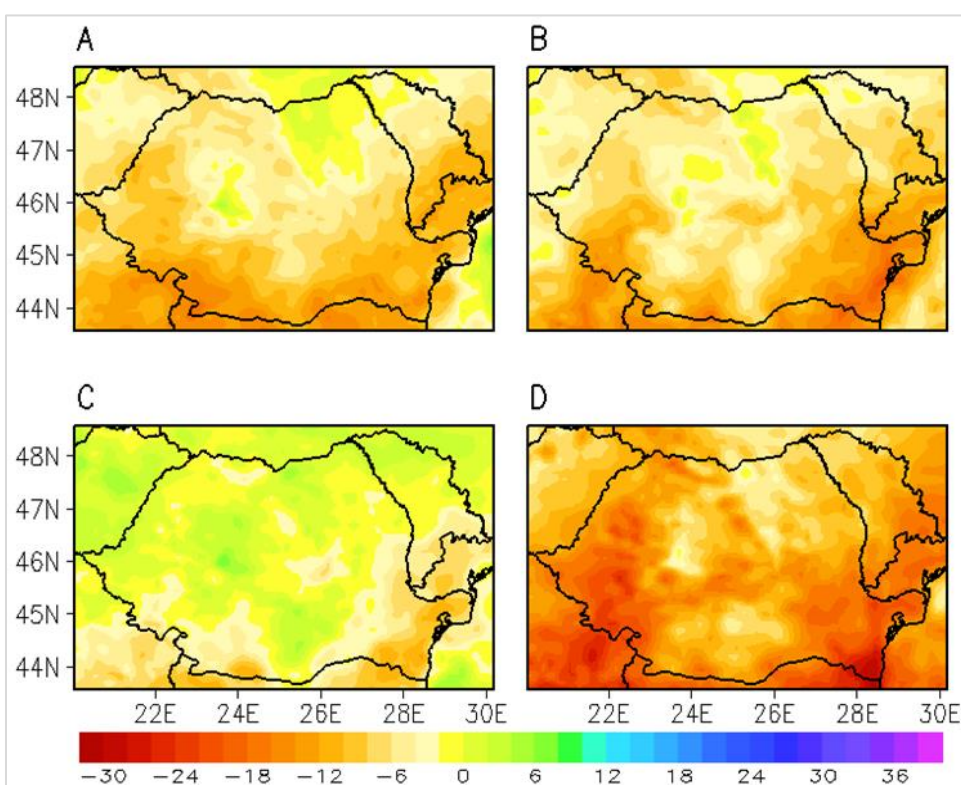


Figura 45. Schimbarea în valorile medii de vară ale cantității de precipitații (în %) calculate din rezultatele modelelor climatice regionale EURO-CORDEX (tabelul 5) în condițiile scenariilor de concentrație RCP 4.5 (A și B) și RCP 8.5 (C și D), pentru 2021- 2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071- 2100 vs. 1971-2000 (B și D).

Pentru scenariul pesimist (SSP5 RCP 8.5), reducerea medie a cantității lunare de precipitații ajunge vara până la 30 % (în iulie), în intervalul 2061-2090, comparativ cu intervalul 1961-1990 (figura 43). Ansamblul de

modele climatice regionale sugerează o reducere a cantității lunare de precipitații vara de până la 32% (în iunie) pentru perioada 2071-2100 comparativ cu 1971-2000, în condițiile scenariului cu concentrații GES cele mai mari la sfârșitul secolului XXI - RCP 8.5 (Figura 44). Configurațiile spațiale ale diferențelor în cantitatea de precipitații de vară indică Dobrogea, Bărăganul și vestul țării ca regiuni în care semnalul de reducere este cel mai puternic (figura 45).

Semnalul ce indică o creștere a precipitațiilor de iarnă apare cel mai clar în regiunile din vestul și centrul României (figura 46).

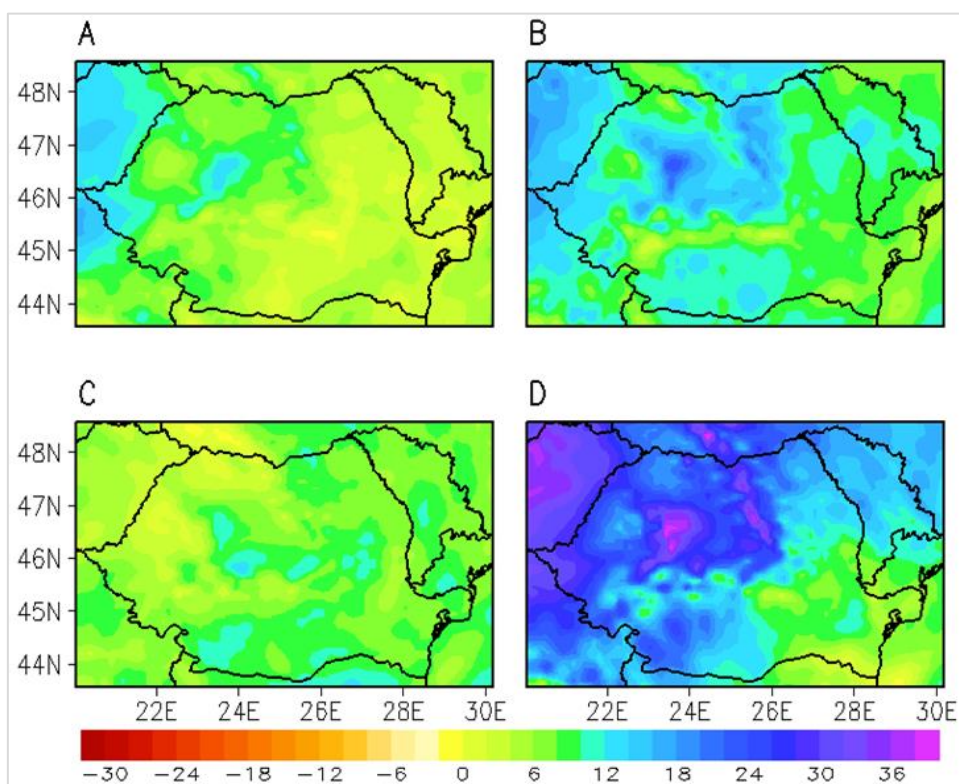


Figura 46. Schimbarea în valorile medii de iarnă ale cantității de precipitații (în %) calculate din rezultatele modelelor climatice regionale EURO-CORDEX (tabelul 5) în condițiile scenariilor de concentrație RCP 4.5 (A și C) și RCP 8.5 (B și D), pentru 2021- 2050 vs. 1971-2000 (A și B) și 2071- 2100 vs. 1971-2000 (C și D).

3.1.3. Simulări ale evapotranspirației potențiale

În cazul evapotranspirației potențiale, desi modelele climatice regionale reproduc relativ bine ciclul sezonier, ele supraestimează valorile acesteia în lunile de vară, la nivelul României (figura 47).

Există o supraestimare, mai ales în lunile de vară, și a a variabilității cantității lunare a evapotranspirației, ilustrată în figura 50, unde este prezentat ciclul sezonier al abaterii standard pentru această variabilă climatică.

Ansamblul de modele regionale indică, pentru viitor, creșterea cantității lunare și sezoniere a evapotranspirației potențiale în toată țara, creșterea fiind mai mare pe măsură ce ne îndrptăm spre sfârșitul secolului și în condițiile scenariului cu concentrație mare a GES (figura 49 și 50).

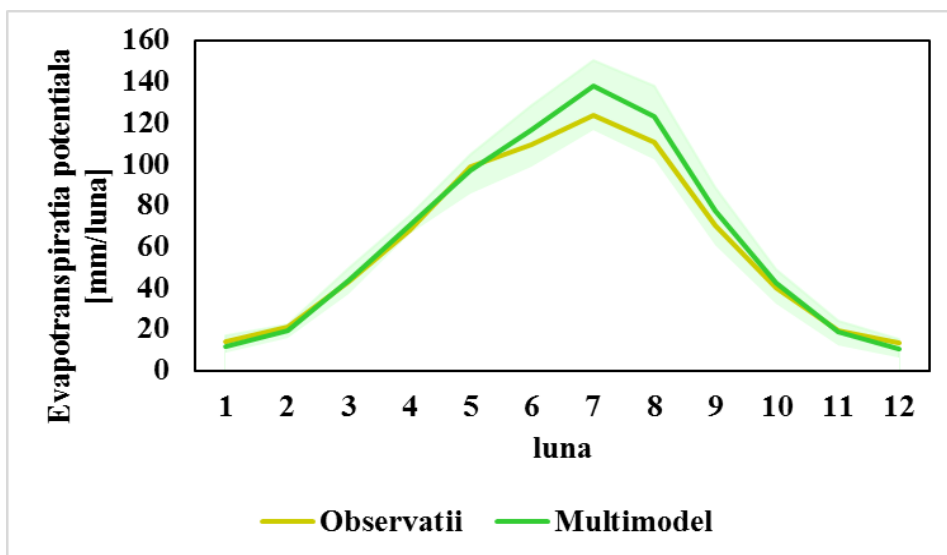


Figura 47. Mediile multianuale (1971-2000) ale evapotranspirației potențiale medii lunare (în mm/lună), la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO-CORDEX (prezentate în tabelul 7). Banda verde reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia verde este media ansamblului. Valorile evapotranspirației potențiale derivate din observații sunt extrase din setul gridat CRU (Harris și colab. 2014).

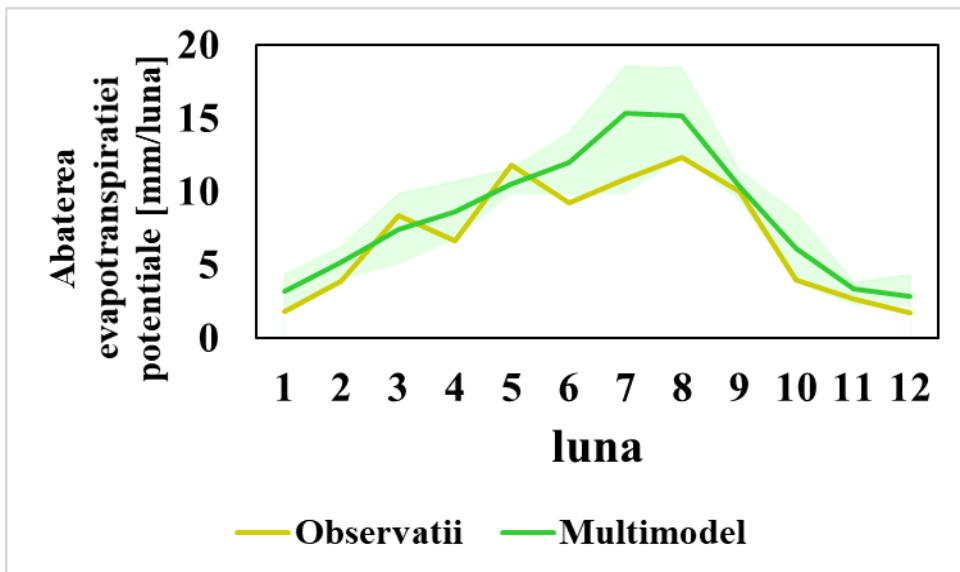


Figura 48. Abaterile medii standard (1971-2000) ale ratei lunare de precipitații (în mm/lună) mediate la nivelul României, observate și simulate cu modele climatice regionale din programul EURO - CORDEX (prezentate în tabelul 7). Banda verde reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia verde este media ansamblului. Valorile evapotranspirației potențiale derivate din observații sunt extrase din setul gridat CRU (Harris și colab. 2014).

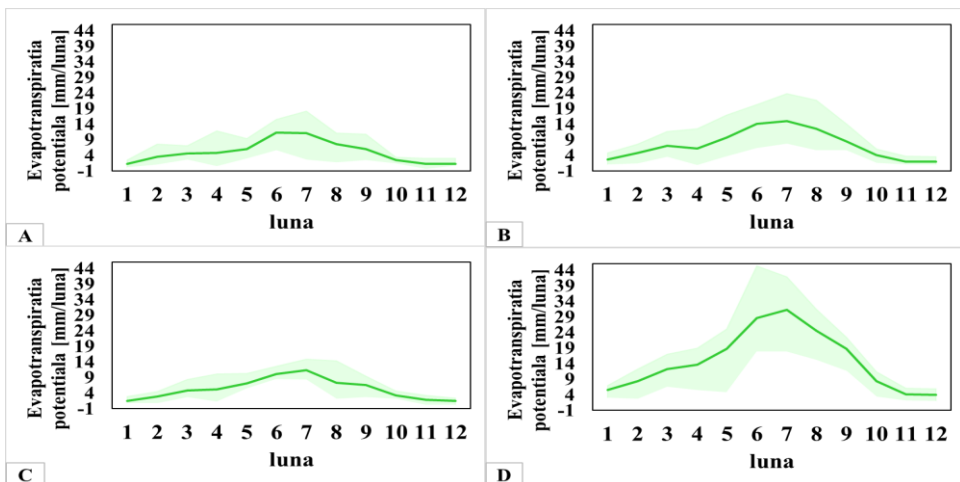


Figura 49. Schimbarea în valorile medii lunare ale sumelor lunare ale evapotranspirației potențiale (în mm/lună) în Au fost folosite rezultate ale modelelor regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 5) pentru perioadele 2021-2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071-2100 (B și D) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (A și B) și RCP 8.5 (C și D).

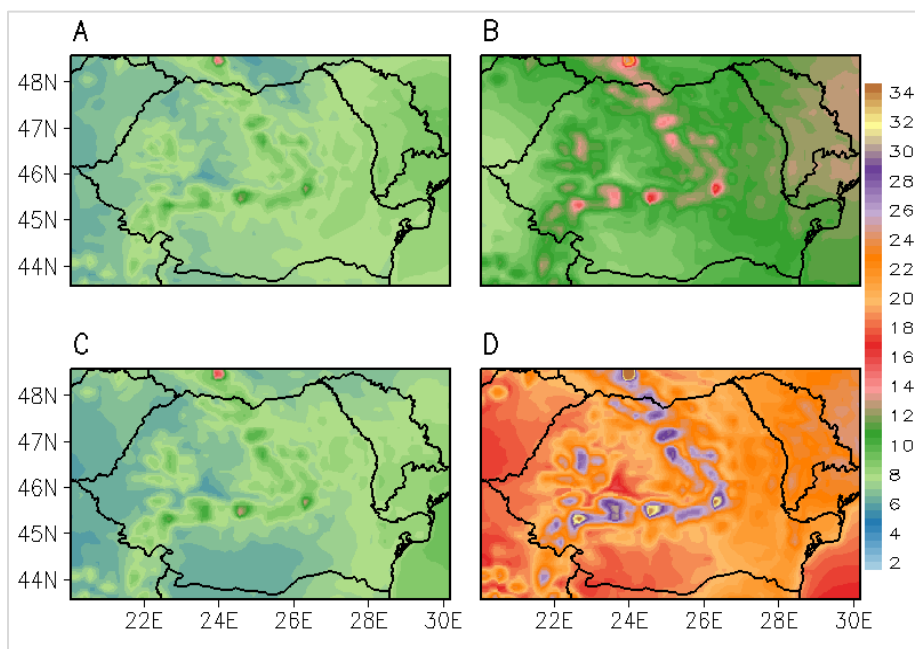


Figura 50. Schimbarea în valorile medii de vară ale evapotranspirației potențiale (în l/m2.) din rezultatele EURO-CORDEX (tabelul 7) pentru 2021- 2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071-2100 vs. 1971-2000 (B și D), în condițiile scenariilor de emisie și concentrație RCP 4.5 (A și B) și RCP 8.5 (C și D).

3.1.4. Simulări ale grosimii medii a stratului de zăpadă

Și în cazul grosimii medii a stratului de zăpadă, modelele climatice regionale reproduc relativ bine valorile observate, la nivelul României (figura 51 și 52), cu mențiunea că în cazul configurațiilor spațiale, supraestimează valorile acestuia în regiuni montane, în funcție de altitudine (figura 53).

Aici se poate discuta și în ce măsură stațiile meteorologice montane existente asigură o bună acoperire a Carpaților, având în vedere complexitatea topografică și de acoperire a terenului muntos.

Pe de altă parte, topografia modelului este mai “netedă” comparativ cu cea reală din cauza constrângerilor legate de tehnicile numerice folosite în modelarea climatică.

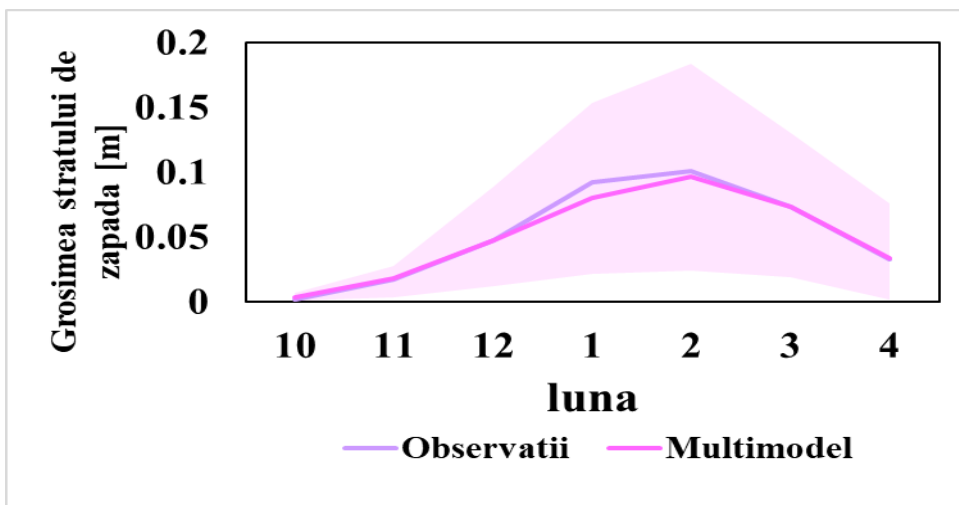


Figura 51. Grosimea medie lunară a stratului de zăpadă, la nivelul României, din observații (linia violet închis) și din rezultatele modelelor climatice regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 6) pentru perioada 1971-2000. Banda violetă reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia violet deschis este media ansamblului.

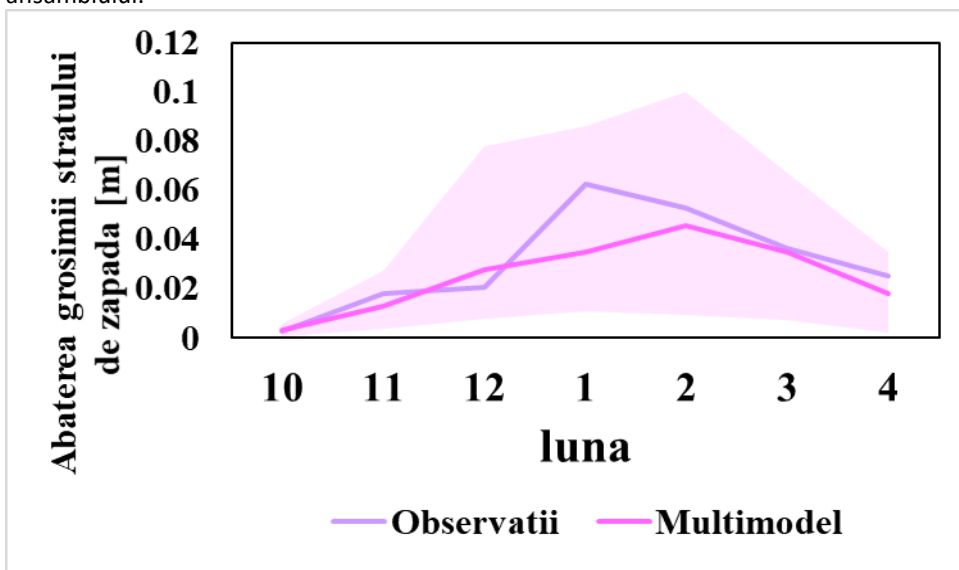


Figura 52. Abaterea standard a grosimii medie lunară a stratului de zăpadă, la nivelul României, din observații (linia violet închis) și din rezultatele modelelor climatice regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 6) pentru perioada 1971-2000. Banda violetă reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia violet deschis este media ansamblului.

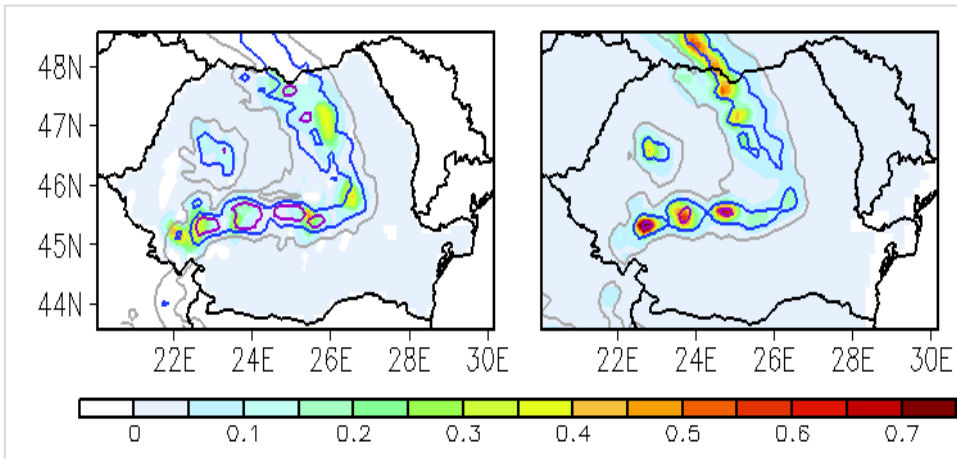


Figura 53. Grosimea medie a stratului de zăpadă calculată din observații (stânga) și simulată cu ansamblul de modele climatice regionale (dreapta) pentru perioada 1971-2000. Grosimea medie a stratului de zăpadă este în m. Conturul gri reprezintă altitudini până la 500 m, conturul albastru -până la 1000 și cel violet – de peste 1500 m.

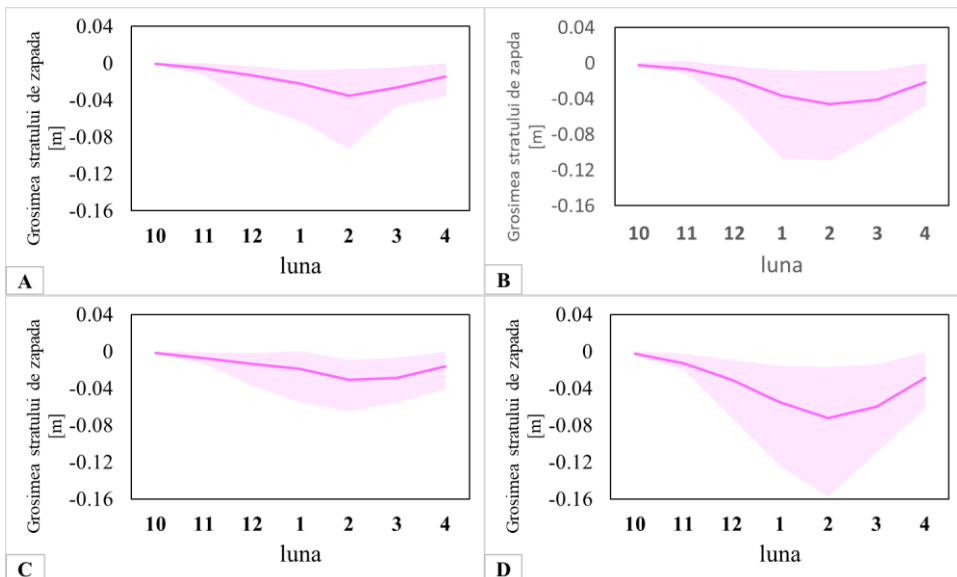


Figura 54. Schimbarea în valorile medii lunare ale grosimii stratului de zăpadă (în m), la nivelul României. Au fost folosite rezultate ale modelelor regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 6) pentru perioadele 2021-2050 vs. 1971-2000 (A și C) și 2071-2100 (B și D) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (A și B) și RCP 8.5 (C și D). Banda violetă reprezintă plaja de valori a rezultatelor modelelor individuale din ansamblul folosit, iar linia violet deschis este media ansamblului.

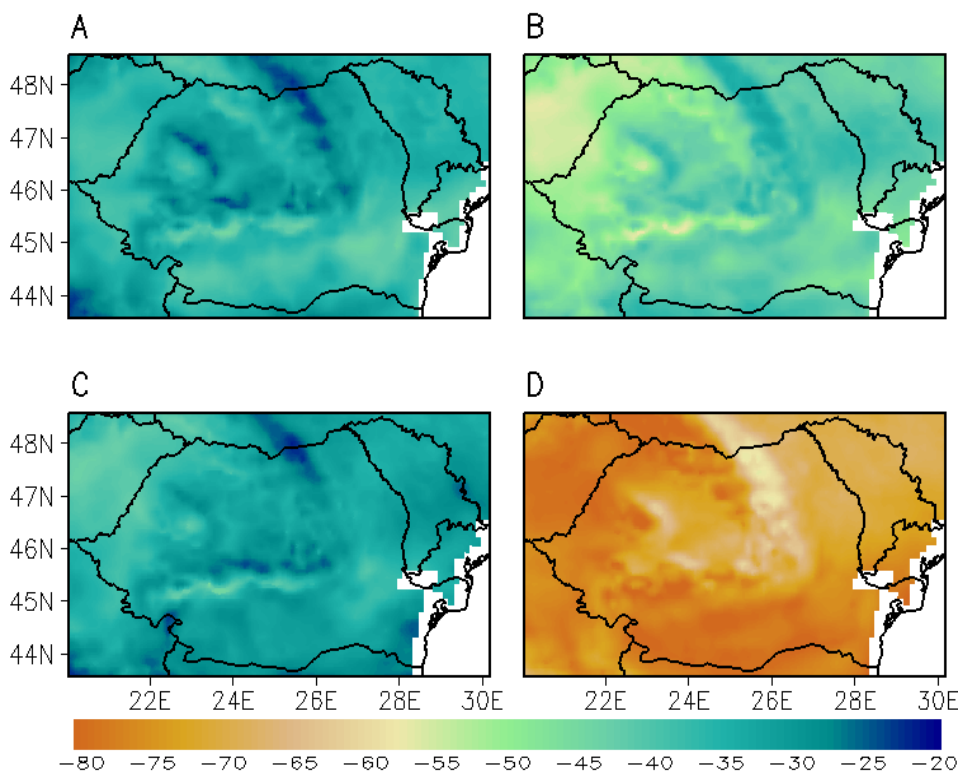


Figura 55. Schimbarea în valorile medii ale grosimii stratului de zăpadă (în %) din rezultatele EURO-CORDEX (tabelul 6) în condițiile scenariilor de emisie și concentrație RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos) pentru octombrie-aprilie 2021- 2050 vs. octombrie -aprilie 1971-2000 (rândul din stânga) și 2071- 2100 vs. 1971-2000 (rândul din dreapta).

Pentru viitor, ansamblul de modele climatice regionale indică o scădere generală a grosimii medii a stratului de zăpadă, mai mare spre sfârșitul secolului XXI și în condițiile scenariului cu cea mai mare concentrație de GES (RCP 8.5). La nivelul României, această reducere este mai puternică în luna februarie (figura 54), ceea ce poate fi asociat cu tendința observată de reducere a grosimii stratului de zăpadă la nivelul României, care, pentru intervalul 1961-2021, e maximă pentru aceeași lună (§ 1.9.1). Reprezentarea spațială a scăderii grosimii medii a stratului de zăpadă în viitor, sugerează reduceri ale acestuia, de până la 80% față de perioada 1971-2000, la sfârșitul secolului, în condițiile scenariului pesimist RCP 8.5 (figura 55 D). Regiunile cele mai afectate, din acest

punct de vedere, sunt, în general, cele de la altitudinile joase, din vestul și sudul României. În zone muntoase, reducerile în grosimea stratului de zăpadă sunt, în general, mai mici, pe rama estică a Carpaților Orientali și Occidentali și pe cea nordică a Carpaților Orientali, ajungând totuși și acolo la valori de aproximativ 60% față de perioada 1971-2000, la sfârșitul secolului, în condițiile scenariului pesimist RCP 8.5 (figura 55).

3.1.5. Simulări ale unor extreme climatice

Evoluțiile viitoare ale numărului de zile cu temperatura maximă mai mare de 35°C (indicele zilelor caniculare) conform configurației spațiale a mediei ansamblului format din 4 modele regionale (CLM, WRF, RACMO și RCA4) din arhiva EURO-CORDEX, incluse în tabelul 4, indică o creștere pe tot teritoriul României, cu diferențe în magnitudine, rezultate din efectul modulator al factorilor locali (figura 56). Astfel, în extremitatea sudică a țării, numărul mediu anual al zilelor caniculare ar putea fi, în condițiile scenariului moderat RCP 4.5, cu până la 5,5 zile mai mare, față de intervalul de referință – în acest caz 1971-2000.

În cazul temperaturii minime mai mari de 20°C (indicele nopților tropicale), conform configurației spațiale a mediei ansamblului format din 4 modele regionale (CLM, WRF, RACMO și RCA4) din arhiva EURO-CORDEX, incluse în tabelul 4, indică o creștere pe tot teritoriul României, dar diferită ca magnitudine datorită efectului modulator al factorilor locali (figura 57). Astfel, în extremitatea sudică a țării, ar putea fi cu până la 18 nopți tropicale mai mult pe an, față de același interval de referință 1971-2000, în condițiile scenariului moderat RCP 4.5.

Evoluțiile observate în intervalul 1961-2020 pentru numărul de zile caniculare și de nopți tropicale (§ 1.9.1; figura 20) indică deja creșteri ale căror configurații spațiale sunt similare cu cele din figurile 56 și 57, ceea ce sugerează că există deja răspunsuri regionale pe teritoriul României la semnalul încălzirii globale de tipul creșterii numărului de zile caniculare și al celui de nopți tropicale.

Acest tip de schimbare în frecvența temperaturilor maxime și minime provoacă consecințe, ce nu pot fi neglijate, în cazul sănătății populației (e.g., § 5.2). Multe tipuri de infrastructură sunt și ele afectate de acest impact termic crescut.

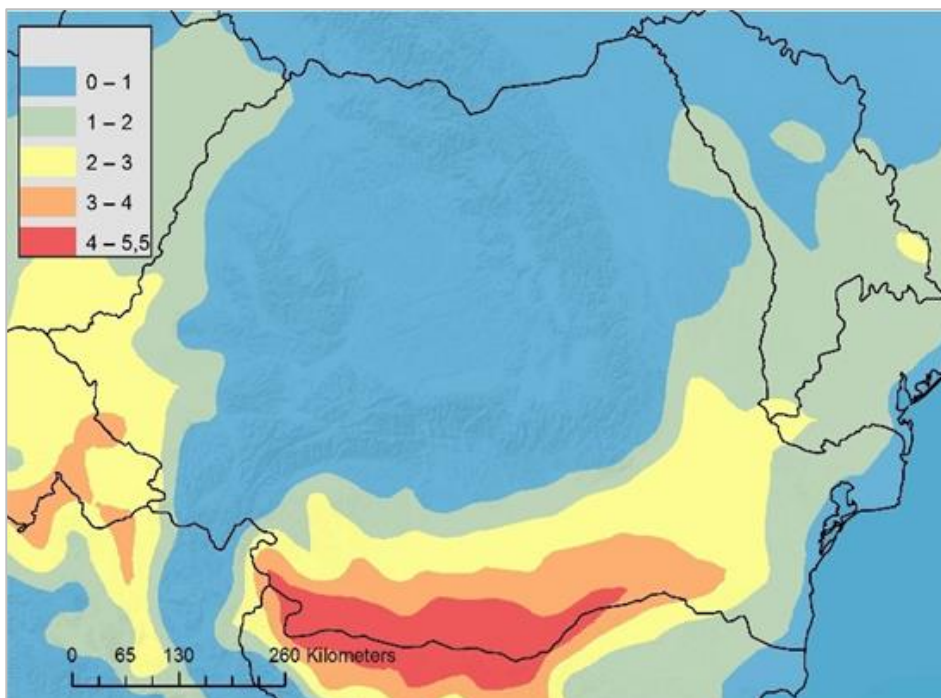


Figura 56. Diferența dintre numărul mediu de zile pe an (valoarea medie a 4 modele climatice regionale din programul EURO-CORDEX; tabelul4) cu Tmax > 35 °C pentru perioada 2021-2050 vs 1971-2000, în condițiile scenariului RCP4.5.

Pentru cazul proiecțiilor viitoare ale precipitațiilor extreme, am ales pentru analiză indicele ce ilustrează numărul anual de zile cu precipitații ce depășesc cantitatea de 20 l/m². Analiza rezultatelor a 4 experimente numerice cu modelele regionale CLM, WRF, RACMO și RCA4 (tabelul 7), în condițiile scenariilor RCP 4.5 și RCP 8.5, sugerează pentru mijlocul secolului (2021-2050), comparativ cu perioada de referință (1971-2000), o creștere a frecvenței de apariție a episoadelor cu precipitații care depășesc în 24 de ore cantitatea de 20 l/m².

Creșterea acoperă întreg teritoriul țării, în condițiile scenariului RCP 8.5 și majoritatea regiunilor României, în condițiile scenariului RCP 4.5.

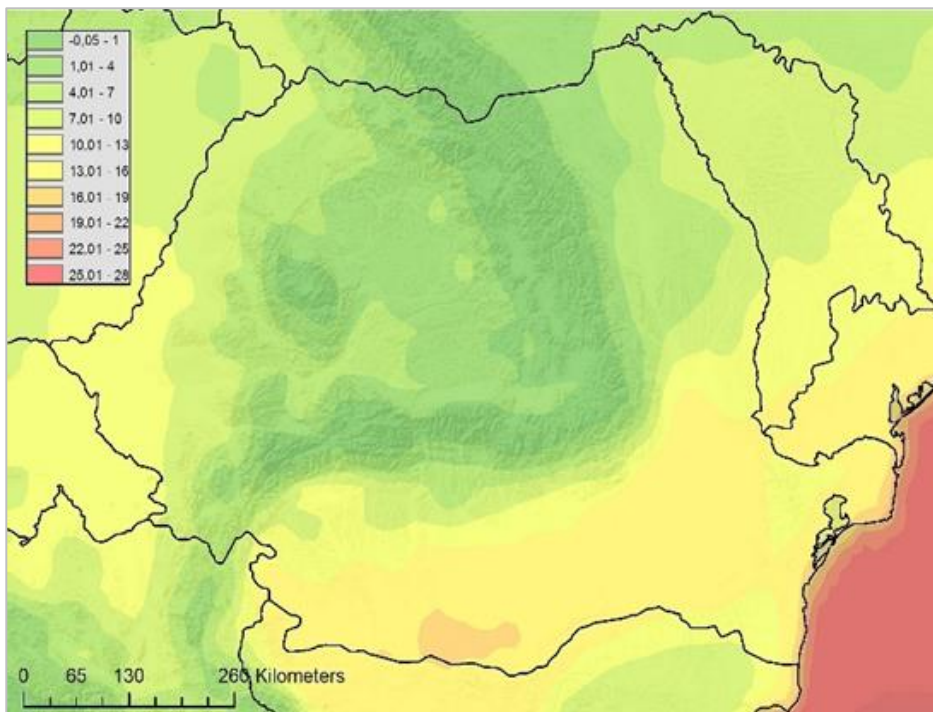


Figura 57. Diferența dintre numărul mediu de zile pe an (valoarea medie a 4 modele climatice regionale din programul EURO-CORDEX; tabelul4) cu $T_{min} > 20$ °C pentru perioada 2021-2050 vs 1971-2000. în condițiile scenariului RCP4.5.

Creșterea numărului de zile cu episoade extreme de precipitații este mai mare în zone de deal și munte și în apropierea coastei Mării Negre, comparativ cu cele de câmpie, în toate cele patru modele analizate. Creșterile sunt, în general, mai mari în condițiile scenariului RCP 8.5. Diferențe între configurațiile relevate de cele patru modele climatice regionale vizează mai ales magnitudinea semnalului de creștere.

Configurația diferenței medii a celor patru modele dintre numărul de zile cu precipitații ce depășesc 20 l/m^2 în orizontul de timp 2021-2050 față

de intervalul 1971-2000, în condițiile scenariului moderat RCP4.5, este ilustrată în figura 58.

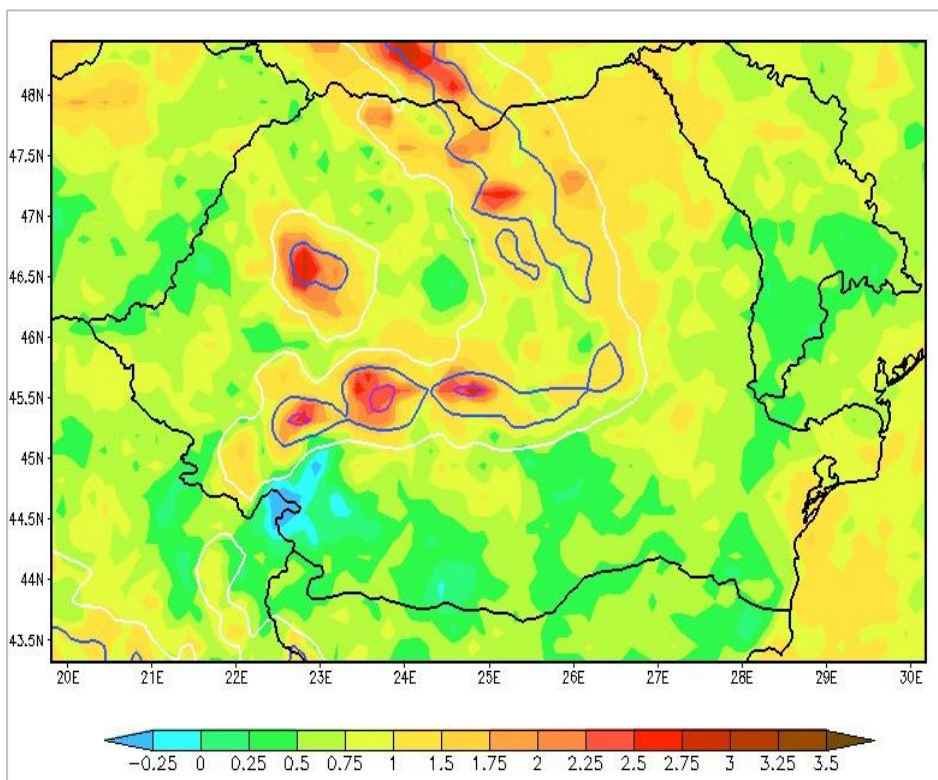


Figura 58. Diferențe în numărul cumulativ de zile pe an cu precipitații care depășesc 20 l/m² în intervalul 2021-2050 față de intervalul 1971-2000 în condițiile scenariului RCP 4.5. Au fost folosite rezultatele a 4 experimente numerice cu 4 modele regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 4). Liniile de contur ilustrează topografia modelului (contur alb – până la 500 m, contur albastru – până la 1000 m, contur violet – până la 1500 m). După Bojariu și colab. (2015).

4. Hazarduri climatice

Noțiunea de «hazard» vizează potențialul producerii unor fenomene, tendințe, sau impacturi fizice, fie ele produse în mod natural sau provocate de oameni, care pot genera pierderi de vieți omenești sau efecte nedorite asupra sănătății, daune și pierderi de bunuri, efecte negative asupra mijloacelor de trai, infrastructurii, furnizării de servicii și influențe negative asupra ecosistemelor și resurselor naturale. În contextul schimbării climatice, termenul de «hazard» se referă la fenomene sau tendințe legate de climă sau impactul lor fizic. Fenomenele meteorologice extreme și impactul lor fizic (adică asupra sistemelor fizice, precum bazinele hidrografice, de exemplu) se pot transforma în hazarduri atunci când afectează sistemele umane și activitățile socio-economice (e.g., Apostol & Ilie 2015).

Există fenomene meteorologice (de vreme) și climatice extreme, specifice diferitelor regiuni ale globului, în funcție de caracteristicile locale, care afectează atât ecosistemele, cât și comunitățile locale umane, perturbând activitățile socio-economice. Locuitorii României nu se pot aștepta la hazarduri de tipul producerii furtunilor tropicale sau uraganelor și nu au de ce să se pregătească pentru a le face față. În schimb, trecerea și dezvoltarea furtunilor de tipul ciclonilor extratropicali (e.g. mediteraneeni) sau a celor convective sunt cele care pot provoca, în zona țării noastre, episoade cu precipitații abundente (rezultând inundații și alunecări de teren), intensificări ale vântului, episoade cu grindină și chiar tornade, ceea ce le poate transforma în hazarduri naturale pentru România. Valurile de frig și valurile de căldură sunt și ele exemple de fenomene extreme ce se pot transforma în hazarduri climatice. Condițiile asociate producerii de valuri de căldură favorizează și alte tipuri de hazarduri, cum ar fi incendiile de vegetație, episoade de scăderea calității aerului și secetele.

4.1. Fenomenele meteorologice extreme

Un fenomen meteorologic este considerat extrem când determină trecerea sistemului analizat pe o stare mult diferită de norma climatică. În Raportul al III-lea al Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC, 2001) fenomenele extreme de vreme sunt definite ca evenimente rare, față de distribuțiile lor statistice de referință, într-un loc precizat. În mod obișnuit, atributul «rar» asociat fenomenelor de vreme este cuantificat folosind percentilele distribuțiilor statistice de 10%, 5%, 1%, sau cele de 90%, 95% și 99%. Prin definiție, caracteristicile fenomenelor extreme de vreme pot varia foarte mult de la o regiune la alta și ele se modifică odată cu distribuțiile statistice ce definesc climatul analizat (§ 1.8; figura 14). Un eveniment climatic extrem este o sinteză a mai multor evenimente extreme de vreme, pentru un anumit interval temporal (de exemplu, cantitatea sezonieră a precipitațiilor zilnice ce depășesc percentila de 95%) (Bojariu și colab. 2015).

În afară de criteriul rarității, comunitatea internațională mai folosește, pentru definirea evenimentelor extreme, criteriile de maxim/minim, intensitate și pe cel care cuantifică impactul socio-economic, transpus în pierderi umane (număr de morți și/sau persoane afectate) și materiale (costuri economice, costuri în sistemul de asigurări). Una din problemele cele mai dificile în analiza fenomenelor extreme este lipsa șirurilor de observații omogene și suficient de lungi, mai ales când rezoluția temporală cerută este cea zilnică.

Pentru multe regiuni ale Terrei, date climatice relativ omogene (de exemplu, temperatură, precipitații, umiditate, presiune a aerului și vânt) sunt disponibile doar începând de la sfârșitul celui de-al II-lea război mondial, iar schimbările în valorile extreme sunt deseori mult mai afectate de neomogenitățile din date decât de schimbările în medii (Bojariu și colab. 2015).

4.1.1. Valurile de căldură și frig

În contextul temperaturilor extreme, Raportul al V-lea al IPCC (2013) relevă, pentru secolul XX, în cele mai multe regiuni de la latitudinile medii și înalte, o reducere a frecvenței temperaturilor foarte scăzute și o creștere în frecvența temperaturilor foarte ridicate.

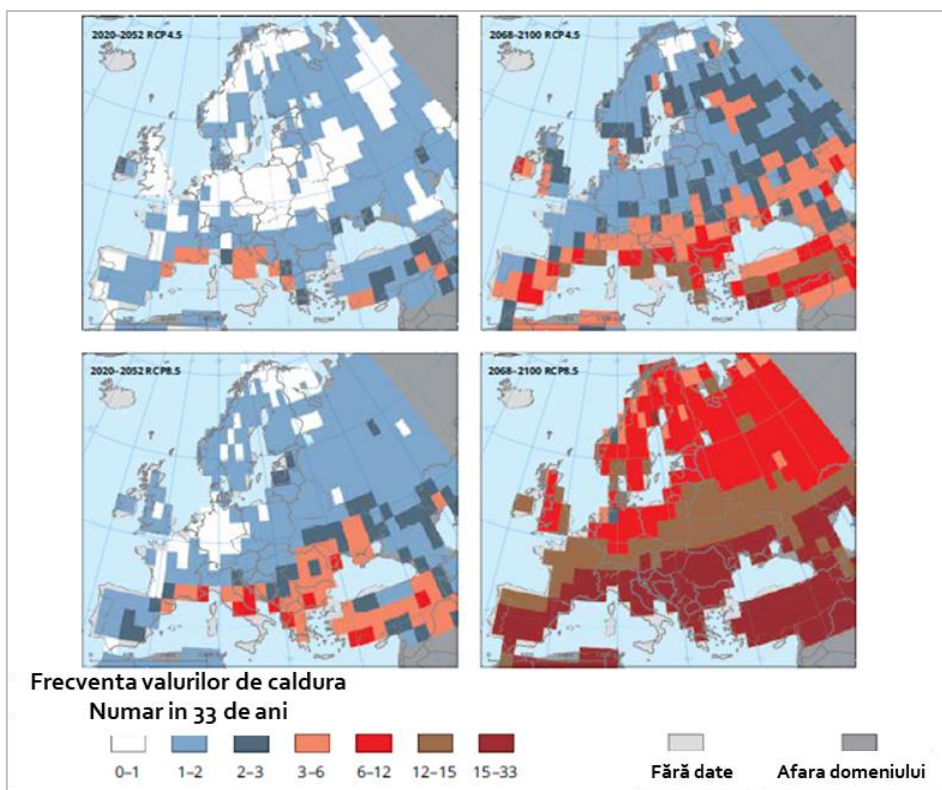


Figura 59. Valurile de căldură foarte extreme sunt definite ca având un HWMI peste 8. Pentru comparație, valul de căldură din Europa de Vest din 2003 a avut o medie HWMI de aproximativ 3, iar valul de căldură din Europa de Est din 2010 a avut un HWMI mediu de aproximativ 5. Hărțile din rândul de sus indică media numărul de valuri de căldură foarte extreme într-un ansamblu multi-model de GCM-uri din viitorul apropiat (2020–2052) și din a doua jumătate a secolului (2068–2100) în scenariul RCP4.5. Hărțile din rândul de jos sunt pentru aceleași perioade de timp, dar pentru RCP8.5. După EEA (2017) și Russo și colab. (2015).

Există o mare diversitate de definiții ale valurilor de căldură (și de frig), în funcție de frecvență, intensitate, durată dar și de pragurile diferite ce depind de caracteristicile climatice specifice diferitelor regiuni analizate. În general, valurile de căldură (frig) sunt identificate prin anomalii termice peste (sub) un prag definit, pentru o perioadă de mai multe zile consecutive. Pragul poate fi sub forma unei valori precizate de temperatură sau a unei temperaturi definite de percentile ale distribuției temperaturilor într-un anumit loc.

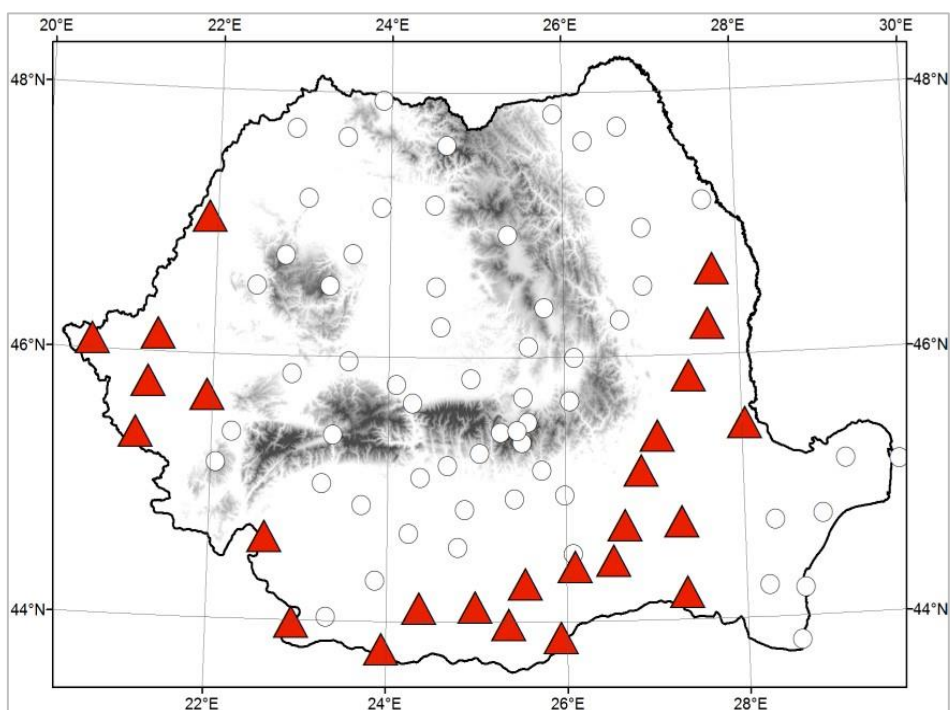


Figura 60. Tendințele în numărul de zile cu valuri de căldură (intervale de minim două zile consecutive cu temperatura maximă $\leq 37^{\circ}\text{C}$) la 113 stații din România pentru perioada 1961-2013. Stațiile cu tendințe crescătoare semnificative sunt simbolizate cu triunghiuri roșii, iar cu cercuri cele care nu prezintă tendință). După Bojariu și colab. (2015)

În Europa, numărul de zile extrem de calde (cele care depășesc pragul definit de percentila de 90 % a perioadei de referință) aproape s-a dublat,

Începând din 1960. Europa a cunoscut mai multe valuri de căldură extreme, începând din anul 2000 (2003, 2006, 2007, 2010, 2014, 2015, 2018, 2019, 2021).

Un exemplu interesant este cazul valului de căldură care a afectat cea mai mare parte din Europa în 2003. S-au înregistrat atunci recorduri ale temperaturilor maxime. Luterbacher și colaboratorii (2004) au estimat că vara 2003 e posibil să fi fost cea mai călduroasă din 1500 și până la momentul analizei. Valul de căldură din 2003 s-a datorat unui sistem de presiune ridicată care a blocat circulația deasupra continentului european și care pare să fi fost legat de o extindere spre nord a celulei Hadley (Black și colaboratorii 2004). Un factor care a amplificat creșterea temperaturii a fost, se pare, lipsa de precipitații din cea mai mare parte a Europei. Acest fapt a contribuit la reducerea pronunțată a umidității solului și a evaporației la suprafață (care contribuie la răcirea aerului de deasupra), declanșând un puternic feedback pozitiv (§ 1.8.1). În condițiile scenariului RCP8.5, se estimează că valurile de căldură extreme, la fel de puternice ca acestea sau chiar mai puternice, vor avea o frecvență mult crescută, mai ales în a doua jumătate a secolului 21 (Figura 59). Impacturile legate de aceste valuri de căldură vor fi deosebit de puternice în sudul Europei (EEA, 2017).

În țara noastră, valuri intense și persistente de căldură au devenit din ce în ce mai frecvente în ultimele decenii, comparativ cu cele precedente (de exemplu, episoadele din 2007, 2012, 2017, 2021). Croitoru și colab. (2016) au identificat tendințe de creștere ale unor indici caracteristici ai valurilor de căldură, în România, pentru perioada 1961-2015, folosind două definiții ale valului de căldură: cel puțin trei zile consecutive când temperatura maximă depășește percentila 90 și cel puțin trei zile consecutive când temperatura minimă depășește percentila 90. În acest context, Croitoru și colab. (2016) au arătat că tendințele de creștere sunt mai puternice în cazul indicilor valurilor de căldură definiți pe baza temperaturii maxime, comparativ cu cei obținuți pe baza temperaturii minime, iar regiunile vestice și centrale ale României sunt cele mai expuse

acestor tendințe. Tendința puternică de creștere a numărului de zile cu valuri de căldură în România, pentru perioada 1961-2015, este confirmată și în studiul publicat de Sfică și colab. (2017), care, în plus, identifică și condițiile sinoptice asociate acestora.

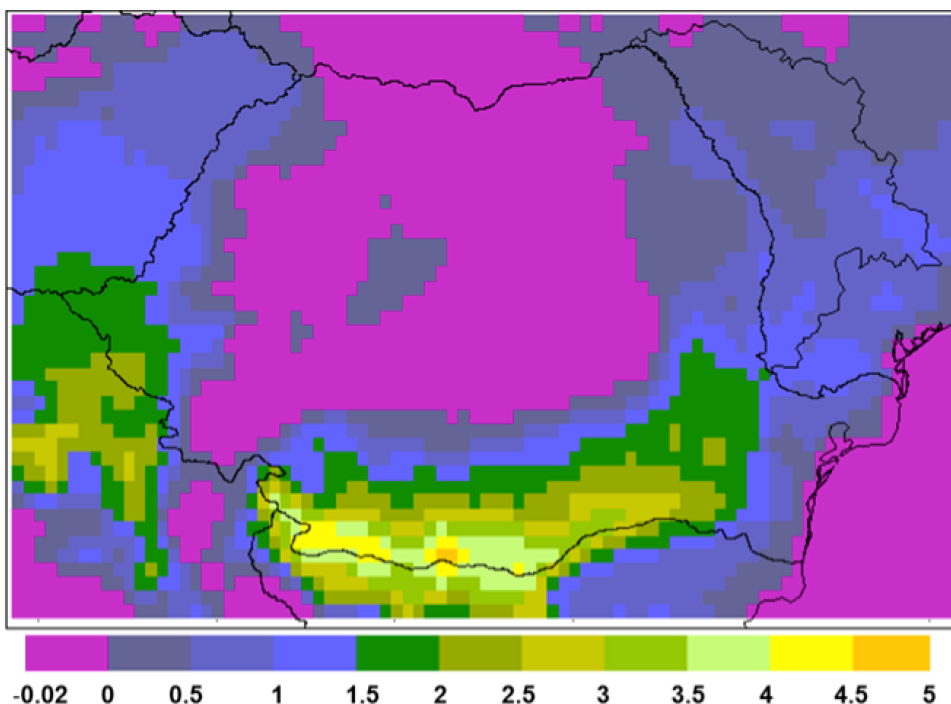


Figura 61. Diferențe în numărul mediu anual de zile cu episoadele de valuri de căldură (intervale de minim două zile consecutive cu temperatura maximă $\leq 37^{\circ}\text{C}$) în intervalul 2021-2050 față de intervalul 1971-2000, în condițiile scenariului RCP 4.5. Au fost folosite rezultatele a 4 experimente numerice cu 4 modele regionale din programul EURO-CORDEX (tabelul 4). După Bojariu și colab. (2015).

Volumul publicat de Croitoru și colab. (2018) face o analiză detaliată atât a valurilor de căldură, cât și de frig, observate în România, pentru perioada 1961-2015 și analizează evoluția lor viitoare în condițiile unor scenarii climatice de creștere moderată a emisiilor (RCP 4.5). Croitoru și colab. (2018) au observat, atunci când au identificat valurile de căldură pe baza pragului definit de percentile, o creștere a frecvenței, intensității și

duratei acestora pe perioada 1961-2015. Acest semnal identificat în observații continua și se amplifică și în viitor, în condițiile scenariului creștere moderată a emisiilor (RCP 4.5). Pentru valurile de frig, Croitoru și colab. (2018) nu au identificat tendințe semnificative în observații, dar au observat o scădere a frecvenței, intensității și mai ales duratei maxime a acestora în viitor, în condițiile scenariului creștere moderată a emisiilor.

Din punct de vedere practic, valul de căldură este definit în România, prin reglementări legislative care impun măsuri de combatere a efectelor lui asupra populației (Monitorul Oficial 2000). În acest context, valul de căldură este definit ca intervalul de minim 2 zile consecutive cu temperaturi maxime cel puțin egale sau mai mari decât 37°C sau cu indicele temperature/umiditate ITU având valori egale sau peste 80 de unități. Folosind această definiție practică, figura 60 prezintă tendințele în numărul de zile cu valuri de căldură la stațiile meteo din rețeaua națională a României. Aceste tendințe sugerează o creștere semnificativă statistic a numărului de zile cu condiții de val de căldură în regiuni extracarpatică din estul, sud-estul, sudul și vestul țării.

Tendințele observate ale numărului de zile cu valuri de căldură (definite ca în reglementările legislative din România) sunt prezentate în figura 60, pentru perioada 1961-2013. Regiunile cu o tendință semnificativă de creștere a numărului de zile cu valuri de căldură sunt cele situate în sud, est și vest, în zonele de câmpie din exteriorul arcului carpatic. Proiecțiile în viitor ale numărului mediu anual de zile cu valuri de căldură sugerează că această configurație spațială se va păstra în viitor. În condițiile scenariilor climatice, regiunile în care creșterea numărului de zile cu valuri de căldură se așteaptă să fie mai mare sunt tocmai cele situate în sud, est și vest, în exteriorul arcului carpatic (figura 61). Valurile de căldură au fost identificate ca hazard climatic cheie în Europa (e.g., figura 59) și îl putem considera la fel și în România.

4.1.2. Secetele

Secetele, deși nu sunt fenomene care se produc brusc, ca inundațiile rapide sau furtunile, datorită persistenței lor, care determină efecte socio-economice devastatoare, intră în categoria fenomenelor extreme. Seceta este definită diferit, în funcție de tipul de impact sau activitate socio-economică afectată. Din punct de vedere meteorologic, un interval secetos este cel pentru care există un deficit important în regimul precipitațiilor. Seceta meteorologică se instalează după 10 zile consecutive fără precipitații (în anotimpul cald). Persistența secetei meteorologice se apreciază în funcție de numărul de zile fără precipitații și de numărul de zile cu precipitații sub media multianuală a perioadei pentru care se face analiza. Din punct de vedere agricol, seceta este definită prin parametri care afectează dezvoltarea și producția culturilor. Pe lângă cantitatea de precipitații, în seceta agrometeorologică devin importanți și alți parametri ca rezerva de apă din sol, evapotranspirația potențială, evapotranspirația reală, deficitul de apă din sol etc. Cerințele de apă ale plantelor depind de: condițiile de mediu cum ar fi parametrii meteorologici (precipitațiile, temperatura, umiditatea); parametrii hidrologici și fizici ai solului; faza de dezvoltare a culturii; specia de cultură.

Seceta hidrologică se asociază cu perioadele în care precipitațiile sunt prea slabe sau de scurtă durată, astfel încât nu au efect asupra alimentării directe cu apă a rețelei hidrologice. Rezultatul secetelor hidrologice se face simțit în timp și spațiu pe suprafețe mult mai mari. În acest caz apar efecte asupra alimentării cu apă potabilă și industrială, asupra producerii de energie hidroelectrică și afectează semnificativ starea ecosistemelor (Bojariu și colab. 2015).

4.1.2.1. Indici de secetă

De-a lungul timpului, s-au făcut eforturi considerabile pentru dezvoltarea tehnicilor de analiză și monitorizare a secetei. Printre aceste tehnici, definirea indicilor cantitativi este cea mai răspândită abordare,

însă complexitatea definirii secetei împiedică folosirea unui singur indice de secetă, folosit universal (Bojariu și colab. 2015).

Indicii de secetă calculați exclusiv pe baza cantității de precipitații, printre care și SPI, se bazează pe două ipoteze: (1) faptul că variabilitatea precipitațiilor este mult mai mare decât a celorlalte variabile, precum temperatura și evapotranspirația; (2) celelalte variabile climatice sunt staționare pe termen lung (nu exercită tendințe). În acest scenariu, importanța celorlalte variabile este neglijabilă, iar seceta este controlată de variabilitatea cantității de precipitații. Mai mulți autori au avertizat însă împotriva neglijării sistematice a importanței efectului temperaturii asupra condițiilor de secetă. Studii empirice au arătat că severitatea secetei este afectată de creșterea temperaturii. Rolul creșterii temperaturii asupra severității secetei este evidențiat în studii recente legate de analiza impactului secetei asupra producției agricole și a mortalității diferitelor specii de conifere și foioase (Williams și colaboratorii 2011; Martínez-Villalta și colaboratorii 2008; McGuire și colaboratorii 2010; Linares & Camarero 2011). Rolul puternic al temperaturii a fost evident în valul de căldură devastator din 2003 din Europa centrală, atunci când temperaturile extrem de ridicate au dus la creșteri drastice în evapotranspirație și au exacerbat severitatea secetei din vara respectivă (Rebetez și colaboratorii 2006), diminuând considerabil producția agricolă (Ciais și colaboratorii 2005). Fenomene similare au avut loc și în 2010, când un val de căldură puternic a dus la creșterea severității secetei în păduri și a produs incendii de păduri în Europa de est și în Rusia (Barriopedro și colaboratorii 2011). Studii recente au demonstrat că temperaturile ridicate contribuie substanțial la creșterea impactului secetelor și afectează mortalitatea pădurilor în condițiile lipsei precipitațiilor (Adams și colaboratorii 2009), ducând de asemenea și la scăderea producției agricole (Lobell și colaboratorii 2011) (Bojariu și colab. 2015).

Vicente-Serrano și colaboratorii (2010) a construit Indicele de secetă SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index), bazat pe

cantitatea de precipitații și pe evapotranspirație. SPEI combină natura multi-temporală a indicelui standardizat de precipitații (SPI) cu luarea în considerare a efectului termic. Calculul indicelui SPEI se bazează pe procedura inițială de estimare a indicelui SPI. SPI este determinat folosind ca date de intrare cantitatea lunară de precipitații. SPEI utilizează diferența dintre cantitatea de precipitații și evapotranspirația potențială (PET) (Bojariu și colab. 2015). Estimarea evapotranspirației potențiale se poate realiza prin mai multe proceduri (e.g., Thornthwaite, Penman-Monteith, Hargreaves etc.), iar SPEI nu este constrâns de nici una dintre acestea. Având valoarea PET, se calculează diferența dintre cantitatea de precipitații (P) și PET pentru luna i :

$$D_i = P_i - PET_i \quad (1)$$

care dă o măsură simplă a surplusului sau deficitului de apă din luna respectivă.

Valorile D_i sunt agregate la diferite scări temporale, prin aceeași procedură ca și în cazul indicelui SPI. Valoarea medie a SPEI este zero, iar deviația standard este 1. Întrucât SPEI este un indice standardizat, este posibilă intercompararea valorilor sale în timp și spațiu. Valoarea zero a SPEI corespunde celei aflate la 50% din probabilitatea cumulată a lui D , după distribuția log-logistică (Bojariu și colab. 2015).

Indicele Palmer pentru Severitatea Secetei – IPSS (PDSI este acronimul în limba engleză) – a fost introdus de climatologul american Palmer (1965). Deși numele său se referă doar la «secetă», indicele poate fi aplicat și pentru analiza excesului de umiditate. Indicele a fost utilizat pentru analiza severității secetelor din perioada instrumentală (Diaz 1983; Karl 1986; Dai și colaboratorii 1998), pentru reconstituirea unor secete în condiții paleoclimatice (Stahle și colaboratorii 1985; Cook și colaboratorii 1999) sau pentru analiza schimbării climei (Karl și colaboratorii 1996; Dai și colaboratorii 2004). De asemenea, IPSS a fost aplicat atât pentru stații meteorologice individuale (Guttman 1991; Guttman și colaboratorii 1992), cât și pentru areale (Dai și colaboratorii 1998, 2004). Byun & Wilhite (1999)

consideră că rezoluția temporală potrivită pentru IPSS este de o lună sau cel puțin două săptămâni.

IPSS măsoară efectul cumulat al deficitului/surplusului de precipitații lunare raportat la cantitatea optimă de precipitații, aceasta din urmă definită drept cantitatea de precipitații necesară pentru menținerea unui conținut optim de apă în sol, astfel încât plantele să aibă o creștere normală (ferită de stresul lipsei de apă) într-o anumită regiune (Qi & Wilson 2000). Palmer a construit indicele care îi poartă numele pe baza componentelor bilanțului hidric, în cazul unui areal anume, luând în considerare nu doar deficitul de precipitații, ci și alte variabile ca temperatura aerului și conținutul de apă disponibilă din sol (Hayes 2002).

Tablelul 8. Calificative acordate lunilor în funcție de Indicele Palmer pentru Severitatea Secetei (IPSS) (după Barbu și Popa, 2011).

IPSS	Calificativ
$\leq -4,0$	Extrem de secetos
-3,00...-3,99	Secetă severă
-2,00...-2,99	Secetă moderată
-1,00...-1,99	Secetă slabă
-0,50...-0,99	Secetă incipientă
-0,49...-0,49	Aproximativ normal
0,50...0,99	Umed incipient
1,00...1,99	Umed slab
2,00...2,99	Moderat umed
3,00...3,99	Foarte umed
$\geq 4,0$	Extrem de umed

Obiectivul inițial al IPSS a fost de a permite compararea condițiilor de umiditate din areale diferite (Palmer 1965). Din punct de vedere al analizei secetei o valoare a IPSS de -3,5 în Podișul Dobrogei de Sud are aceeași semnificație cu o valoare de -3,5 în Podișul Central Moldovenesc sau în Carolina de Sud (Barbu și Popa, 2011). Datorită faptului că evaluarea severității secetei cu ajutorul IPSS se bazează nu doar pe aportul precipitațiilor și al temperaturilor, ci și pe caracteristicile solurilor, cele mai bune rezultate sunt obținute în regiuni cu relief relativ plan, cât mai omogen din punct de vedere al condițiilor fizico-geografice. De astfel,

Palmer a dezvoltat indicele în regiuni de câmpie din statele Iowa și Kansas, iar cercetările ulterioare au dovedit că IPSS dă rezultate concludente mai ales în astfel de regiuni (Bojariu și colab. 2015).

Unul din argumentele care pledează pentru utilizarea IPSS constă în capacitatea acestuia de a urmări persistența secetei. De exemplu, o lună cu exces de precipitații care apare într-o perioadă extinsă cu deficit, nu înseamnă finalul secetei (Hayes 2002).

Această situație nu este întotdeauna bine evidențiată cu ajutorul altor indici (ca SPI) care nu iau în considerare condițiile pluviometrice precedente celor din luna pentru care se calculează indicele de secetă. Calificativele acordate lunilor în funcție de IPSS au fost stabilite de Palmer (1965) tocmai pentru a «puncta» începutul și sfârșitul unei perioade secetoase (tabelul 8).

Calculul IPSS se bazează pe date de precipitații, temperatura aerului, condiții pedologice generale (conținutul apei disponibile din sol) și condiții radiative (latitudinea locului). Pentru a obține valoarea IPSS, este necesar ca în prealabil să se calculeze un indice al anomaliei umidității din sol (ZIND_i) pentru fiecare lună (i), după următoarea formulă:

$$ZIND_i = k \cdot (P - \alpha \cdot PE - \beta \cdot PR - \gamma \cdot PRO + \delta \cdot PL) \quad (2)$$

unde: k este un factor empiric de ponderare, specific fiecărui areal; α , β , γ , δ sunt coeficienți de evapotranspirație, alimentare, scurgere și pierdere a apei în sol, calculați ca ponderi ale cantităților reale față de cele potențiale pentru fiecare variabilă; P, PE, PR, PRO, PL reprezintă cantitatea reală de precipitații, evapotranspirația potențială calculată după metoda Thornthwaite, alimentarea potențială, scurgerea potențială și pierderea umezelii solului.

$$IPSS_i = IPSS_{i-1} + ZIND_i/3 - 0.103 IPSS_{i-1} \quad (3)$$

În condițiile creșterii generale a temperaturilor, utilizarea indicilor de secetă care țin cont de temperatură (precum IPSS) sunt de preferat, în special pentru aplicații legate de proiecțiile climatice (Bojariu și colab. 2015).

IPSS se diferențiază de alți indici prin inerția sa, ceea ce nu este mereu un avantaj; astfel, începutul și sfârșitul secetei pot fi marcate artificial, datorită inerției IPSS. Alley (1984) face o sinteză a avantajelor utilizării IPSS.

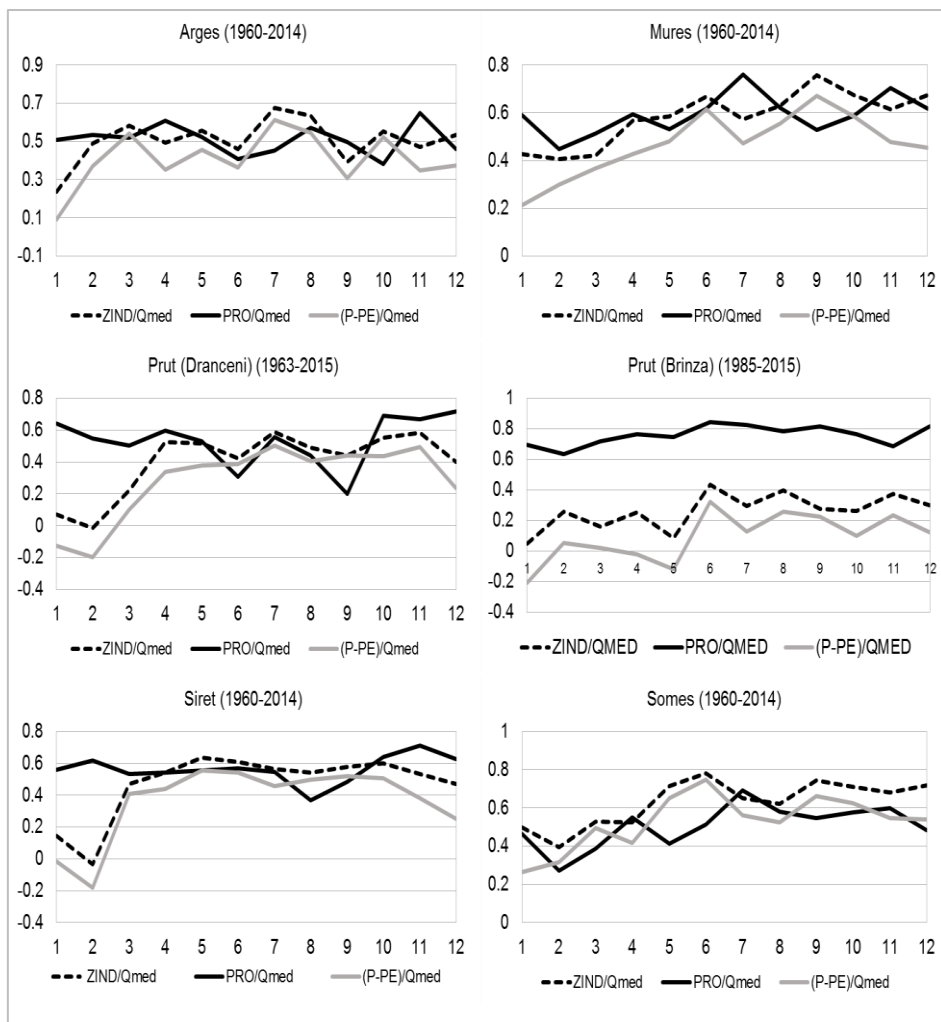


Figura 62. Valorile corelației dintre componentele lunare ale indicelui de severitate al secetei Palmer - indicele de umiditate al solului ZIND (linie punctată) și potențialul de scurgere PRO (linia neagră) calculat din observațiile CRU și debitul lunar mediu observat (Qmed) la stațiile de măsurare asociate pentru bazinele râurilor Argeș, Mureș, Prut, Siret și Somes. Intervalele analizate cu datele disponibile sunt specificate între paranteze. Linia gri ilustrează corelația care leagă diferența dintre precipitațiile și evapotranspirația potențială (P-PE) și Qmed. După Bojariu și colab. (2018).

Printre cele mai evidente se numără cuantificarea abaterii față de normală a alimentării cu apă dintr-un areal și compararea temporală și spațială între condițiile de secetă.

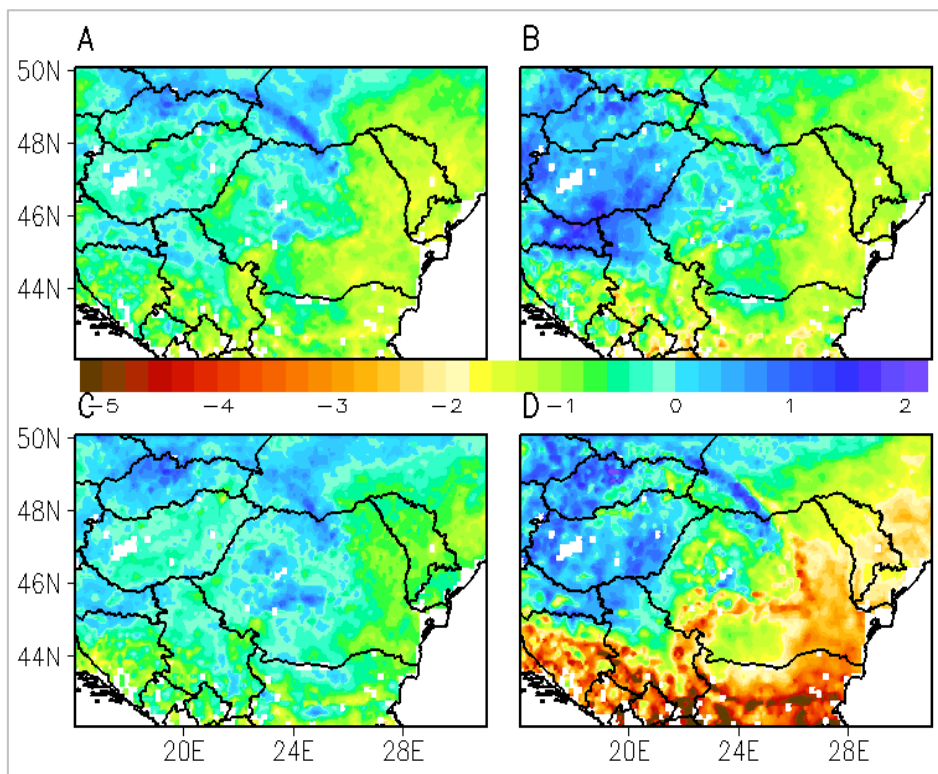


Figura 63. Schimbarea în valorile medii IPSS în orizonturile de timp 2021-2050 vs. 1971-2000 (dreapta) și 20171-2100 vs. 1971-2000 (stânga) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos), pentru bazinul Dunării, calculate folosind rezultatele anasmablului de experimente numerice cu 5 modele regionale (tabel 6).

Literatura științifică a domeniului (Alley 1984; Karl & Knight 1985; Hayes 2002) evidențiază punctele slabe ale Indicelui Palmer: (1) pragurile de atribuire a calificativelor au fost acordate doar în funcție de cercetările lui Palmer din Iowa și Kansas, și nu pe baza unor studii de caz complexe; (2) IPSS este sensibil la caracteristicile solului, iar coeficientul dependent de tipul de sol este insuficient pentru surprinderea detaliilor proceselor din sol; (3) nu se iau în calcul precipitațiile solide (topirea zăpezii e un

factor neglijat); (4) tehnica Thornthwaite de estimare a evapotranspirației potențiale este relativ simplistă din perspectiva proceselor implicate în evapotraspirație. Cercetările realizate în cadrul proiectului IMDROFLOOD au arătat că, în anumite condiții – la nivelul bazinelor hidrografice, de exemplu – abordarea Palmer își dovedește valoarea adăugată față de abordările ce nu includ, nici chiar simplificat, factorul “sol”.

Figura 62 ilustrează cum, la scară lunară, valorile coeficienților de corelație dintre componenta a IPSS ce reflectă anomaliile de umezeală din sol (ZIND) și debitul mediu la stația de închidere a bazinului hidrografic (Qmed) sunt sistematic mai mari decât valorile coeficienților de corelație dintre diferența dintre precipitații și evapotranspirația potențială (P-PE) și Qmed. Dacă în formula de calcul (2) a ZIND am avea doar termenul bazat pe diferența P-PE, coeficienții de corelație cu Qmed ar fi sistematic mai mici decât atunci când sunt incluși și ceilalți termeni (PR, PRO, PL) ce conțin și constanta caracteristică tipului de sol (conținutul apei disponibile din sol).

Indicii de vegetație calculați pe baza măsurătorilor satelitare sunt o opțiune interesantă atunci când se doresc estimări ale apariției și intensității secetei și impacturile asociate agriculturii (e.g., Páscoa și colab. 2020, Dobri și colab. 2021). Produse satelitare precum Indicele de vegetație al diferenței normalizate (NDVI), Indicele de apă al diferenței normalizate (NDWI), Indicele ariei frunzelor (LAI), Frația radiației absorbire active fotosintetic (FPAR) și Indicele de secetă diferență normalizată (NDDI) au fost, de asemenea, propuse pentru monitorizarea secetei în bazinul râului Prut în cadrul proiectului IMDROFLOOD (IMDROFLOOD 2018; <http://imdroflood.meteoromania.ro/geoportal/>). Durata relativ scurtă a seriilor de timp derivate din observațiile satelitare le fac totuși mai dificil de folosit atunci când se analizează tendințele climatice ale frecvenței, intensității și duratei secetelor.

4.1.2.2. Tendințe ale indicilor de secetă

Secetele au fost și sunt un fenomen comun climatului european. În perioada 2006–2010, în medie 15% din teritoriul UE și 17% din populația

UE a fost afectată de secete meteorologice în fiecare an. Severitatea și frecvența secetelor meteorologice și hidrologice au crescut în anumite părți ale Europei, în special în sud-vestul și centrul Europei (EEA 2019).

O analiză realizată în cadrul proiectului IMDROFLOOD (Jaagus și colab. 2021) relevă pentru vară (iunie-august) și lunile de vară ale perioadei 1949-2018 tendințe de scădere ale valorilor indicilor SPEI (caracterizând tendința spre condiții de secetă) în sudul Poloniei, Republica Cehă, Slovacia, Ungaria, România și Moldova. Aceste tendințe de scădere nu sunt însă, în general, semnificative statistic pentru teritoriul României. În același timp, e interesant de menționat că același studiu indică tendințe de creștere a valorilor indicilor SPEI pentru septembrie și octombrie în România, Moldova și Ungaria, datorită tendinței de creștere a cantităților de precipitații (§ 1.9.1, figura 21).

Studiile disponibile prevăd creșteri mari ale frecvenței, duratei și severității secetelor meteorologice și hidrologice în cea mai mare parte a Europei, în secolul 21, cu excepția regiunilor nordice. Cele mai mari creșteri ale frecvenței, duratei și severității secetelor se așteaptă să se producă în sudul Europei (EEA 2019).

Proiecțiile viitoare ale indicelui Palmer de severitate a secetei, calculat pentru teritoriul României, în cadrul proiectului IMDROFLOOD, sugerează că secetele vor fi din ce în ce mai intense, în condițiile schimbării climei, mai ales pentru bazine hidrografice din sudul și estul României (Fig. 63). În acest caz a fost folosită versiunea autocalibrată a indicelui Palmer de severitate a secetei (Wells și colab. 2004), iar în loc de tehnica Thornthwaite de estimare a evapotranspirației potențiale a fost folosită abordarea Penman-Monteith, răspunzând astfel unora din limitările inițiale ale indicelui propus de Palmer (1965). Aceste rezultate sunt în concordanță cu cele din studiul publicat de Bisselink și colaboratorii (2018).

4.1.3. Inundațiile

În general, inundațiile apar ca efect al unor fenomene de tipul sistemelor de vreme ce tranzitează o regiune (ciclone tropicale și extratropicale, furtuni convective) și/sau a topirii zăpezii sau chiar din cauza topirii unor ghețari. Zonele costiere pot fi și ele, ocazional inundate, în contextul creșterii nivelului mării, datorită vânturilor puternice ce însoțesc furtunile, sau a valurilor de tip tsunami, care iau naștere după un cutremur submarin puternic. Foarte primejdioase sunt viiturile rapide (*flash floods*), produse de precipitații intense, căzute într-un timp scurt pe o arie mică. Acestea sunt și cel mai greu de prognozat, în timp ce viiturile pe râurile mai mari, se propagă relativ mai lent și predictabilitatea lor e mai ridicată, odată declanșate (Bojariu și colab. 2015).

Sistemul european de avertizare a inundațiilor (EFAS) (<https://www.efas.eu/>) furnizează partenerilor săi (Serviciile hidrologice naționale / regionale și Centrul european de răspuns și coordonare (ERCC)) informații privind prognozele inundațiilor cu anticipație mai mare de 48 de ore, cu până la 15 zile în avans. În prezent, EFAS utilizează prognoze meteorologice de la trei servicii meteorologice diferite, observații meteorologice, în timp real, de la peste 5000 de stații din Europa și măsurători hidrologice, în timp real, de la peste 500 de stații. EFAS este un serviciu operațional sub umbrela serviciului de gestionare a situațiilor de urgență al programului Copernicus și este pe deplin operațional începând cu luna octombrie 2012.

Creșterea intensității precipitațiilor, deja observată în multe regiuni ale Europei (§ 1.9), ridică problema schimbărilor în frecvența și intensitatea inundațiilor, mai ales că există date privind pierderile economice în creștere, asociate cu inundațiile, în multe părți din lume, inclusiv în Europa (EASAC 2018). Acoperirea spațială cu stații hidrometrice ridică probleme atunci când se încearcă estimarea acestor tendințe. În plus, relația dintre creșterea intensității precipitațiilor și modificarea statisticilor caracteristicilor legate de episoadele cu inundații nu este una simplă. Totuși, folosind cea mai completă bază de date dedicată

episoadelor cu inundații, Blöschl și colab. (2019) au identificat configurații regionale coerente la nivelul continentului european, pentru perioada 1960-2010: creșterea precipitațiilor de toamnă și iarnă a dus la creșterea debitului de viitură în nord-vestul Europei; scăderea precipitațiilor și creșterea evapotranspirației au condus la scăderea debitului de viitură în bazinele medii și mari din sudul Europei; iar reducerea extinderii și scăderea grosimii stratului de zăpadă, cauzate de tendința de creșterea temperaturii aerului, au determinat scăderea debitului de viitură în estul Europei. Conform studiului publicat de Blöschl și colab. (2019), tendințele regionale de debitului de viitură în Europa variază de la o creștere de aproximativ 11% pe deceniu la o scădere de 23% pe deceniu pentru perioada analizată. Modificările caracteristice episoadelor cu inundații identificate de Blöschl și colab. (2019) sunt în mare măsură în concordanță cu proiecțiile realizate cu modele climatice pentru secolul următor (Kundzewicz și colab. 2017; Thober și colab. 2018). Este interesant de menționat că teritoriul României se află, prin bazinele sale hidrografice sudice, în regiunea cu caracteristici asociate sudului Europei, în timp ce bazinele din nordul țării indică o tendință ușoară de creștere a debitului de viitură (figura 1 din studiul publicat de Blöschl și colab., 2019).

O mențiune specială trebuie făcută pentru inundațiile urbane la care orașele din zona bazinului Dunării (deci inclusiv din România) vor deveni din ce în ce mai vulnerabile, în condițiile schimbării climei (§ 5.1.2, figura 68 și Bisselink și colab. 2018).

4.1.4. Grindina

Căderile de grindină apar ca precipitații sub formă de particule de gheață, având formă sferoidală, conică sau neregulată. Astfel de precipitații sunt generate de norii de tip Cumulonimbus asociați unor furtuni convective severe și sunt înregistrate frecvent în sezonul cald al anului. În mediul urban, grindina poate provoca avarii autovehiculelor sau structurilor construite.

În mediul rural, grindina afectează culturile agricole. Severitatea pagubelor depinde de: (1) frecvență, reflectată în numărul de zile cu grindină și/sau numărul episoadelor de grindină; (2) intensitate exprimată prin numărul de greloane pe unitate de suprafață, dimensiunea maximă și/sau medie a greloanelor, viteza la rafală a vântului care accelerează particulele de grindină în cădere (Changnon 1999).

Frecvența căderilor de grindină are un impact mai puternic asupra activităților din agricultura, în timp ce intensitatea căderilor de grindină este importantă pentru evaluarea pagubelor în mediul urban (de exemplu, în cazul acoperișurilor locuințelor și automobilelor).

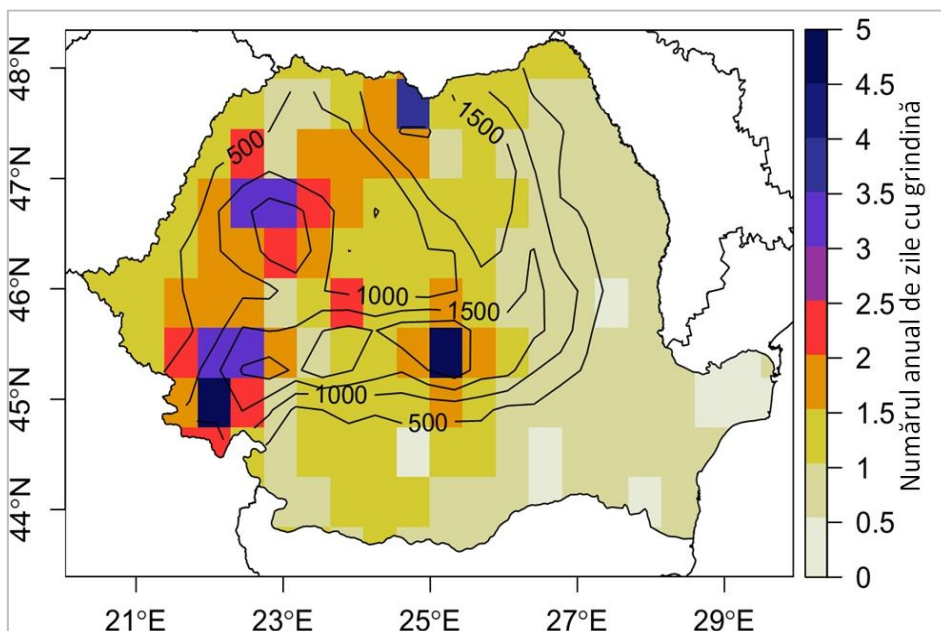


Figura 64. Numărul mediu anual de zile cu episoade de grindină pentru perioada 1961-2014 (în tente de culoare). Contururile negre ilustrează nivelurile altitudinale (în m). După Burcea și colab. (2016).

Pentru teritoriul României, numărul anual de zile cu episoade de grindină din perioada 1961-2014, analizat de Burcea și colab. (2016), este ilustrat în figura 64. Acest număr este mai mare în zonele de deal și munte și, în general, în vestul țării. În ciuda îmbunătățirilor în ceea ce privește

disponibilitatea datelor, tendințele observate și proiecțiile viitoare privitoare la episoadele de grindină sunt încă incerte din cauza observațiilor directe insuficiente și a reprezentării inadecvate a proceselor microfizice în predicția numerică a vremii și climei (EEA 2017).

4.1.5. Tornadele

Tornadele sunt asociate furtunilor convective severe. Apariția lor nu e limitată geografic, ele se pot produce oriunde și există consemnări ale lor pe toate continentele, cu excepția Antarcticii. Dar chiar și acolo, dezvoltarea unei tornade nu e teoretic exclusă. Există însă unele regiuni de pe glob unde probabilitatea de producere a tornadelor este mai mare.

În general, zona latitudinilor medii (între 30° și 50°) furnizează condițiile cele mai favorabile pentru dezvoltarea lor (figura 65). Aici, se produce preponderent atât amestecul între aerul rece, de origine polară și cel mai cald, provenind din regiunile subtropicale.

Tabelul 9. Scara Fujita a intensității tornadelor și efecte asociate lor în Europa.

Scara Fujita	Viteza vântului (km/h)	Efecte asupra caselor medii (din cărămidă) în Europa
F0	64 - 116	aproape nicio distrugere
F1	117 - 180	distrugeri mici și medii asupra acoperișului
F2	181 - 253	distrugeri semnificative ale acoperișului/ acoperișul smuls de pe casă
F3	254 - 332	acoperișul smuls / pereți prăbușiți
F4	333 - 418	aproape toți pereții prăbușiți
F5	419 - 512	casă distrusă

După o statistică realizată de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), pe primul loc în clasamentul numărului de tornade înregistrate se situează Statele Unite ale Americii (SUA) cu o medie anuală

de aproximativ 1200 de evenimente. Canada urmează, cu 100 de tornade înregistrate pe an. În Europa se înregistrează aproximativ 300 de tornade anual (Groenemeijer & Kühne, 2014). Alte regiuni în care dezvoltarea tornadelor este favorizată de condițiile locale includ nordul și centrul Europei (figura 65), vestul Asiei, Bangladesh, Japonia, Australia și Noua Zeelandă.

În România, mărturii ale apariției tornadelor există încă din secolul al XIX-lea. Astfel, în perioada 1822–2013, a fost înregistrat un număr de 129 de tornade ce au avut loc în 112 zile (Antonescu & Bell 2014). Dintre acestea, 89 au fost înregistrate în perioada 1990–2013.

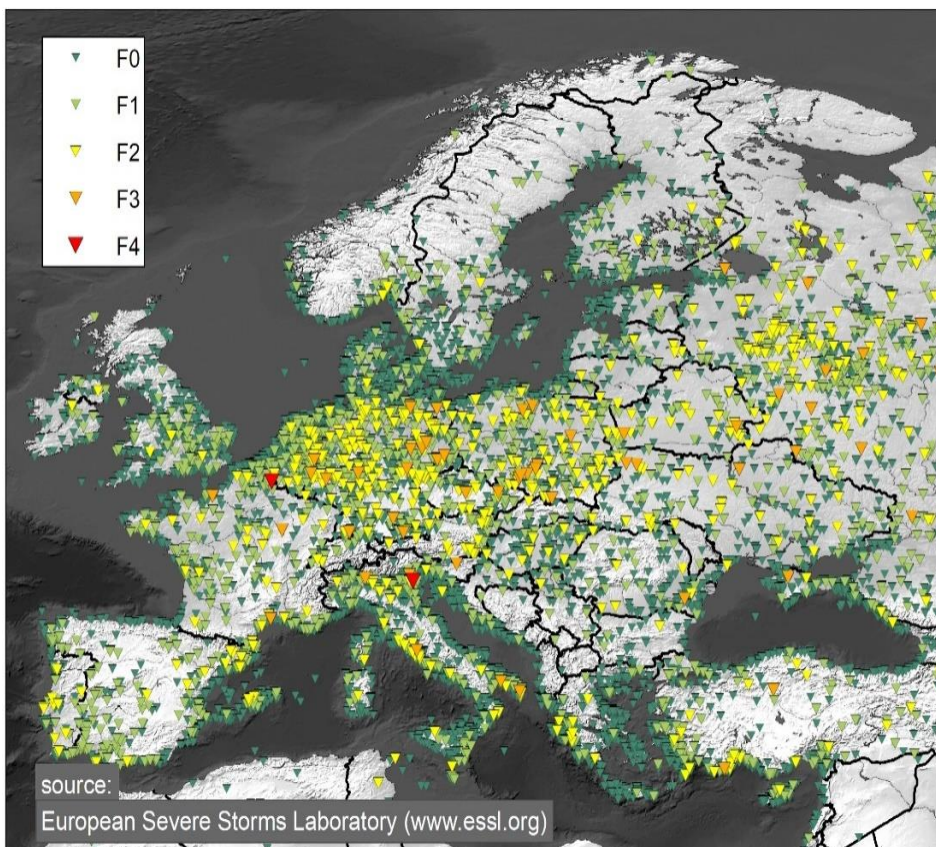


Figura 65. Localizarea tornadelor produse în Europa și intensitatea lor conform scării Fujita în perioada 2000-2020 (Sursa: European Severe Storms Laboratory). Adaptare după Groenemeijer & Kühne (2014). Intensitatea crește de la F0 la F4 (tabelul 9).

Această creștere din ultimele decenii a numărului de tornade raportate poate fi atribuită câtorva factori, precum: creșterea conștientizării publice asupra fenomenului, creșterea accesului la informație și la tehnologiile de comunicare, raportările din teren ale pasionaților de fenomene meteorologice și, nu în ultimul rând, creșterea capacității de observație a fenomenelor convective severe prin utilizarea de instrumente și tehnici de observație și analiză de ultimă oră.

Distribuția spațială a tornadelor în România arată faptul că acestea sunt mai frecvente în zona de est a țării, cu un maxim în zona de sud-est (aproximativ 1,5–2,25 tornade pe 105 km²/5 ani) (Antonescu & Bell 2014). De asemenea, apariția tornadelor este mai frecventă în perioada lunilor mai–iulie, majoritatea având loc între orele 09:00–20:59, cu un maxim în jurul orelor 15:00 și 17:00. La fel ca și în cazul episoadelor cu grindină, tendințele și proiecțiile viitoare privitoare la frecvența și intensitatea tornadelor sunt încă incerte din cauza observațiilor directe încă limitate în spațiu și timp și a reprezentării inadecvate a proceselor locale relevante pentru acestea în predicția numerică a vremii și climei.

4.1.6. Ciclonii extratropicali

Furtunile extratropicale se dezvoltă, în primul rând, datorită contrastului termic între masele de aer de la latitudinile medii, spre deosebire de ciclonii tropicali a căror sursă energetică principală este legată de evaporarea ce are loc la suprafața caldă a oceanului și precipitarea în troposfera tropicală a vaporilor de apă. Ciclonii extratropicali au tendința de a se dezvolta și deplasa în anumite regiuni – așa numitele *căi ale furtunilor* (storm track). O dificultate în analiza ciclonilor extratropicali o constituie lipsa de date de calitate, pe perioade lungi de timp. O analiză a datelor de presiune atmosferică, la mai multe stații din nordul Europei, nu a reușit să identifice tendințe semnificative în variabilitatea ciclonilor extratropicali, în ultima sută de ani.

Caracteristicile ciclonilor extratropicali din regiunea atlantico-europeană sunt strâns legate de variabilitatea oscilației nord-atlantice

(NAO) prin fluctuațiile diferenței dintre anomaliile presiunii atmosferice în regiunea depresiunii islandeze și a maximumului azoric (Bojariu & Gimeno 2003a). România este afectată atât de cicloni extratropicali de proveniență atlantică, cât și de cei ce se dezvoltă deasupra Mării Mediterane (e.g., Apostol 2004, Apostol 2008). Ciclonii mediteraneeni sunt sisteme de dimensiuni mai reduse și cu un timp de viață relativ mai mic decât în cazul ciclonilor nord-atlantici. În multe cazuri, un ciclon atlantic ce traversează Europa de la vest la est favorizează pătrunderi de mase foarte reci de aer care deasupra Mării Mediterane, mai calde, inițiază dezvoltarea unor cicloni mediteraneeni la extremitatea sa (Ion-Bordei 1983).

Observațiile privind localizarea, frecvența și intensitatea furtunilor severe și a episoadelor de vânt puternic asociate acestora indică existența unei variabilități considerabile în întreaga Europă, pe durata secolului 20. Cu toate acestea, majoritatea studiilor sunt de acord că riscul furtunilor severe de iarnă și, eventual, al celor severe de toamnă va crește în viitor pentru Atlanticul de Nord, precum și pentru nordul, nord-vestul și centrul Europei (EEA 2017).

4.1.7. Ciclonii tropicali

Ciclonii tropicali se dezvoltă deasupra suprafețelor oceanice subtropicale și tropicale, unde temperatura apei în stratul de suprafață de ordinul a 100 m depășește 26°C.

În Atlantic, pentru ciclonii tropicali puternici se folosește denumirea de uragan, iar în Pacific, cea de taifun. Studii recente au relevat faptul că în afară de temperatura apei la suprafața oceanului, un rol important îl joacă și profilul termic vertical, instabilitățile în coloana de aer și variațiile intensității și direcției vântului în funcție de înălțime.

Un alt factor important pentru variabilitatea ciclonilor tropicali este El Niño – oscilația sudică (ENSO). ENSO este manifestarea cuplajului ocean-atmosferă în zona ecuatorială a Oceanului Pacific. Efectele sale sunt însă globale (Trenberth & Hoar 1997).

Efectul ENSO asupra dezvoltării ciclonilor tropicali variază de la un bazin oceanic la altul. Fazele pozitive ale ENSO inhibă activitatea ciclonică în Atlanticul tropical, dar o amplifică în cea mai mare parte a Pacificului. Faza negativă a ENSO (La Niña) determină condiții opuse în cele două bazine. În anii 2005 și 2020, numerele ciclonilor tropicali cu nume, din Atlantic, au înregistrat recorduri semnificative (figura 66), iar sezonul lor de activitate s-a prelungit neobișnuit de mult.

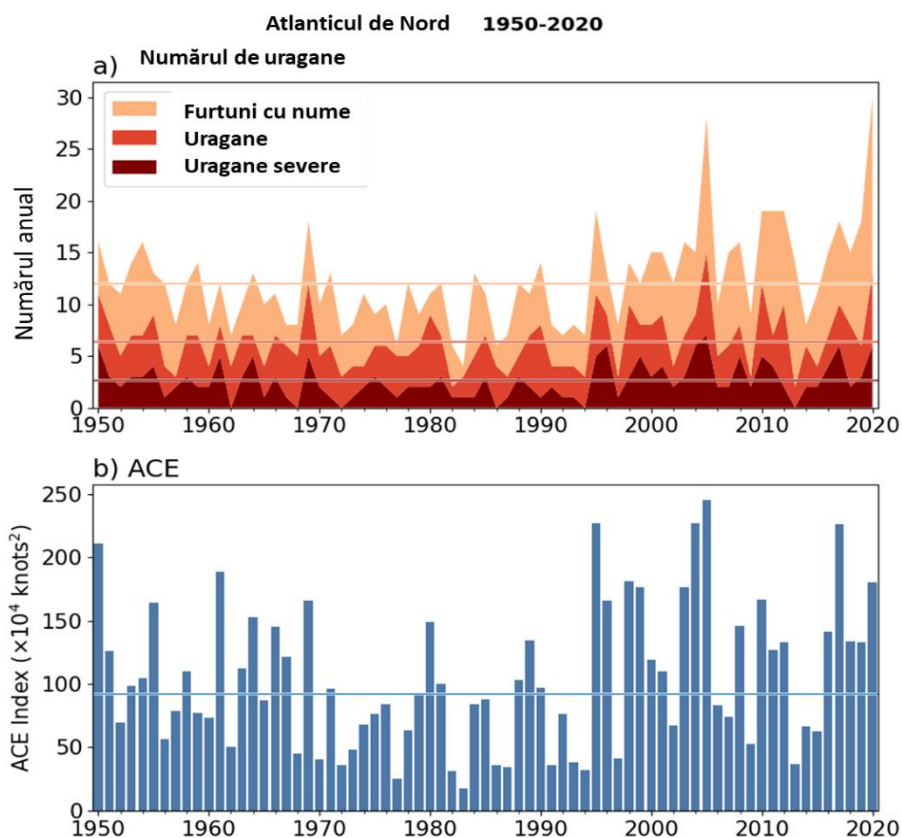


Figura 66. Numărul de cicloni tropicali cu nume, uragane și uragane majore înregistrate în Atlantic și indicele ACE (evaluare realizată de NOAA, SUA) (<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/tropical-cyclones/202013>).

În cazul anului 2005, Trenberth și Shea (2006) au apreciat că acest fapt s-a datorat efectelor cumulate ale încălzirii globale, episodului La Niña prezent în Pacific și anomaliilor pozitive ale temperaturii apei la suprafață în Atlanticul de Nord. De la mijlocul anilor '90 ai secolului XX se observă și o creștere a numărului uraganelor severe asociat cu o creștere a indicelui ACE (figura 66).

4.2. Hazarduri și resurse legate de rezerva de apă din România

Intensitatea precipitațiilor a crescut, mai clar pentru intervale subzilnice (§ 1.9.1; Busuicoc și colab. 2016) și va crește și în viitor, în condițiile scenariilor schimbării climatice.

Tabel 10 Schimbarea în valorile indicelui Palmer de severitate a secetei pentru lunile de vară (iunie-august) din intervalul 1970-2100, mediată la nivelul unor bazine ale râurilor din România. (După Bojariu et al., 2018). Celulele gri marchează cazurile când valorile reducerii indicelui Palmer sunt mai mari în condițiile scenariului RCP 8.5 față de RCP 4.5 (semnal legat de schimbarea climatică globală).

Bazin hidrografic	Scenariu climatic	Experimente numerice				
		1	2	3	4	5
Argeș	RCP 4.5	-0,75	-2,87	0,20	-2,28	-1,57
	RCP 8.5	0,00	-3,81	-1,85	-4,01	-5,34
Mureș	RCP 4.5	1,85	-1,81	0,98	-0,94	-1,89
	RCP 8.5	1,80	-0,31	-2,24	-1,22	-3,58
Prut	RCP 4.5	-2,24	-1,10	-0,43	-1,81	-1,65
	RCP 8.5	-1,14	0,39	-1,89	-2,83	-3,62
Siret	RCP 4.5	-1,69	-1,18	-0,39	-2,75	-2,40
	RCP 8.5	-0,79	-0,55	-1,85	-4,87	-5,27
Someș	RCP 4.5	2,12	-1,93	0,20	-0,75	-1,30
	RCP 8.5	0,83	-0,39	-2,95	0,02	-1,14

Experimentele numerice sugerează că aceste creșteri sunt mai mari, în special în zonele de munte, dar tendința este aceeași, ca semn, pentru întreg teritoriul țării (Bojariu și colab. 2015) (§ 3.1.5; figura 58).

Creșterea mai mare în regiunile montane a intensității precipitațiilor poate favoriza viiturile rapide, mai ales în bazinele mici, fără amenajări, dar și efecte asupra râurilor din zona de câmpie, din aval. De asemenea, această creștere a intensității precipitațiilor favorizează și inundațiile urbane, acolo unde, în plus față de mediul natural, solul este în mare parte izolat de atmosferă și scurgerea apei la suprafață este amplificată (§ 5.1.2 figura 68).

Dincolo de conceptul de hazarduri, dacă privim la evoluțiile regimurilor medii ale unor variabile climatice, acestea pot fi asimilate unor resurse (resurse pentru agricultură, generarea de energie hidroelectrică, turism) (e.g., Nedeașcov 2012). În cazul resurselor de apă, variabilele climatice de interes sunt elemente ale ciclului hidrologic, precum precipitațiile, evapotranspirația și stratul de zăpadă.

În condițiile schimbării climatice, precipitațiile, vara, au o tendință progresivă de reducere, în toată țara, în funcție de scenariu și orizontul de timp analizat, comparativ cu intervalul de referință 1971-2000 (§ 3.1.2; figura 45). Față de același interval de referință, iarna, există un semnal de creștere moderată a precipitațiilor în regiunile din vestul, nordul și centrul României, în timp ce în sud-estul țării fluctuațiile sunt comparativ mai mici (§ 3.1.2; figura 46). Diferențele legate de scenariu sunt relativ mici în primele decenii ale secolului XXI. Diferențele mai mari în ceea ce privește schimbarea climatică sunt așteptate spre sfârșitul secolului XXI.

În condițiile schimbării climei, iarna, se anticipează că va avea loc o scădere a grosimii stratului de zăpadă (§ 3.1.4; figura 55), o modificare a raportului dintre precipitațiile solide și lichide, ceea ce ar putea favoriza o creștere a debitelor râurilor. În același timp, debitele minime de vară vor avea o tendință de reducere (Bisselink și colab. 2018), în acord cu decuplarea topirii zăpezii de precipitațiile de primăvară, reducerea

precipitațiilor vara (§ 3.1.2) și creșterea evapotranspirației potențiale (§ 3.1.3 și Blöschl și colab. 2019).

În concluzie, pe măsură ce, în condițiile schimbării climatice, în bazinele hidrografice devin dominante precipitațiile lichide, se estimează că debitele râurilor vor crește iarna și vor scădea în primăvară și vară. Ciclul anual al debitelor râurilor se va modifica, cu impact asupra resurselor de apă necesare agriculturii și generării de energie electrică în hidrocentrale (e.g. Bisselink și colab. 2018). Analizele realizate în cadrul proiectului IMDROFLOOD, folosind proiecțiile viitoare ale indicelui Palmer de severitate a secetei (figura 62), au sugerat că schimbarea climatică reduce resursa de apă de pe teritoriul României, mai ales în regiuni din sudul și estul României (Bojariu și colab. 2018). De exemplu, bazinul Argeșului, cel ce alimentează cu apă capitala țării, se pare că va suporta tendințe accelerate de aridizare, în condițiile scenariului climatic pesimist RCP 8.5 (4 experimente din 5; tabelul 10). Tendințe sistematice de aridizare (cu valori ale reducerii indicelui Palmer mai mari în condițiile scenariului RCP 8.5 față de RCP 4.5) există și pentru bazinele Prut, Siret și Mureș (3 experimente din 5; tabelul 10) (Bojariu și colab. 2018). Pentru bazinul Someș, doar într-un experiment din 5 apare acest semnal. Aceste rezultate sunt consistente cu studiul publicat de Bisselink și colab. (2018).

4.3. Hazarduri legate de sănătatea publică din România

Temperaturile ridicate sau scăzute au un impact important asupra sănătății publice prin efectul creșterii mortalității mai ales în cazul persoanele cu boli cronice cardiace și respiratoria și a celor în vârstă. Există un efect al stresului termic și asupra morbidității și productivității muncii.

În condițiile schimbării climatice, de interes din perspectiva mortalității și morbidității ca indicatori de sănătate publică, sunt tendințele de creștere ale temperaturii, atât în sezonul rece, cât și în cel cald, cu efecte opuse asupra sănătății publice.

În anotimpul cald, în cazul aglomerărilor urbane, acolo unde peste valul de căldură se suprapune și efectul de insula de căldură a orașului (§ 5.1.2, § 6.3.1 și 6.3.2) impactul termic este mai mare. Proiecțiile cu modele climatice regionale ale valorilor indicelui temperatură - umezeală indică o frecvența hazardurilor legate de stresul termic cu valorile cele mai mari spre sfârșitul secolului, în condițiile scenariului pesimist RCP 8.5 (figura 67).

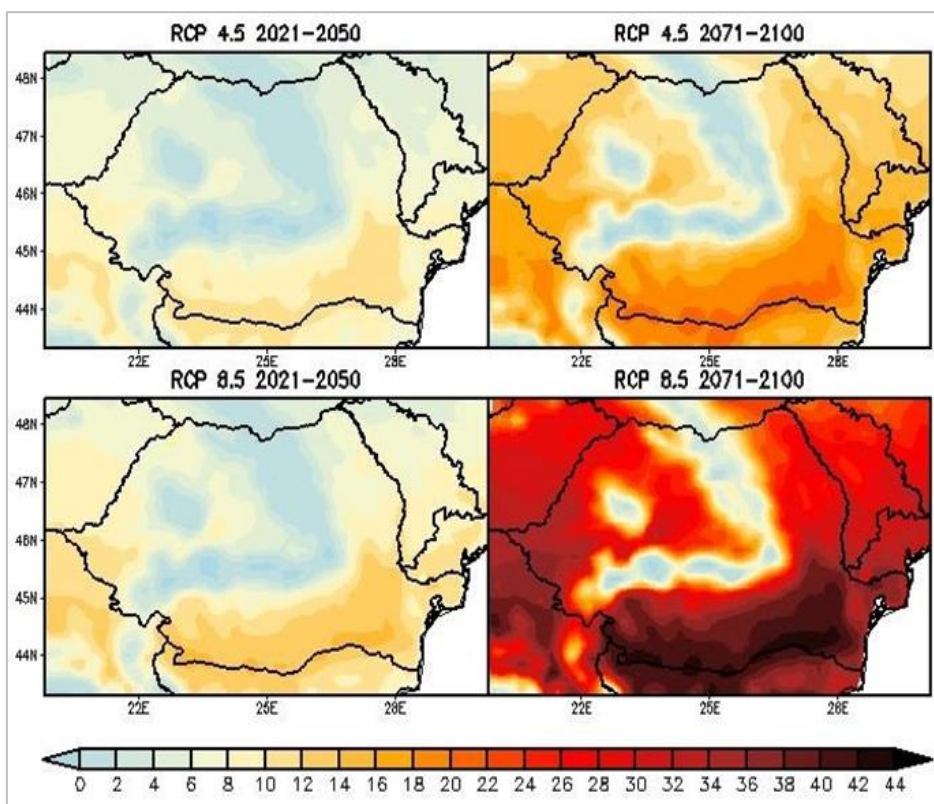


Figura 67 Modificările sezoniere relative ale numărului de zile cu indicele de confort THI ≥ 80 pentru mai-septembrie în perioada 2021-2050 (coloana din stânga) și 2071-2100 (coloana din dreapta), în scenariile RCP45 (rândul superior) și RCP85 (rândul inferior) comparativ cu anul 1971-2000, pe baza simulărilor EURO-CORDEX a patru modele climatice regionale (media celor patru modele) (Velea și Bojariu, 2018).

Alte fenomene extreme, ale căror frecvențe se modifică în condițiile schimbării climatice, precum inundațiile, pot să pună și ele probleme (de

exemplu, cele legate de bolile transmisibile din cauza înrăutățirii calității apei).

Pe de altă parte, modificări în regimul mediu al temperaturii și precipitațiilor pot influența, la rândul lor, condițiile de înmulțire și extinderea habitatului unor vectori (precum țânțarii, căpușele, păsările), ce transmit agenți patogeni ai unor boli (e.g., infecția West Nile, boala Lyme, malaria, febra denga) cu impact asupra sănătății publice (§ 5.2).

4.4. Incertitudini în estimarea hazardurilor

Precizările cantitative în legătură cu schimbările în frecvența și intensitatea unor tipuri de fenomene extreme ce se pot transforma în hazarduri, în condițiile schimbării climatice, trebuie luate în considerare *cum grano salis*, ținând cont de incertitudinile ce însoțesc proiecțiile viitoare ce folosesc modelarea climatică.

Totuși, informația că aceste tipuri de hazarduri vor deveni mai frecvente și diferențierile regionale simulate coerent de modelele climatice regionale, din punct de vedere al cadrului fizic, pot fi folositoare în procesul de evaluare a impacturilor (§ 5), riscurilor (§ 6) și, mai departe, la selectarea opțiunilor de adaptare ce permite planificarea unei dezvoltări socio-economice durabile (§ 7).

Inițial, știința climei a abordat problema incertitudinilor dintr-o perspectivă a eliminării lor prin perfecționarea fără limite a cunoașterii și aplicarea unor tehnici din ce în ce mai bune de modelare (Mehta și colab. 2019). În ultimele două decenii, a existat însă o schimbare important de abordare, de la focalizarea exclusivă pe reducerea incertitudinilor științifice către înțelegerea și gestionarea lor (Mehta și colab. 2019; Schneider și Kuntz-Duriseti 2002). În cel de-al cincilea raport de evaluare, Grupul interguvernamental privind schimbările climatice (IPCC) recunoaște că există incertitudini pe care nu le vom elimina niciodată și că cea mai bună soluție în această situație este să le înțelegem și să le facem față (IPCC 2014).

5. Impactul schimbării climatice

5.1. Contextul socio-economic prezent și viitor

Evaluarea schimbărilor socio-economice necesită, de obicei, scenarii socio-economice. Un scenariu socio-economic reprezintă o combinație între proiecțiile cantitative și informația calitativă (cum ar fi liniile narrative) care definește un viitor plauzibil (Carter și colaboratorii 2007).

5.1.1. Scenarii regionale de dezvoltare socio-economică

Până acum, scenariile de viitor la nivel global au fost în general utilizate pentru a evalua evoluția globală plauzibilă a emisiilor și concentrațiilor gazelor cu efect de seră, impuse drept condiții externe în modelele climatice (§ 2.5). Comunitatea științifică implicată în cercetarea impactului, adaptării și vulnerabilității la schimbările climatice a analizat, mai degrabă, consecințele unei anumite creșteri locale a variabilei climatice (de exemplu, creșterea cu 1°C a temperaturii aerului în comparație cu un interval de referință), fără a utiliza scenariile socio-economice globale prezentate în secțiunea § 2.5.

Dezvoltarea scenariilor regionale, naționale sau sub-naționale pentru perioade de timp foarte lungi reprezintă un efort complex (Gaffin și colaboratorii 2004; Theobald 2005; Lempert și colaboratorii 2006; Grübler și colaboratorii 2007; Groves & Lempert 2007; Hallegatte și colaboratorii 2010; Van Vuuren și colaboratorii 2011). În unele cazuri sunt dezvoltate scenarii locale - cum ar fi scenariile la nivel urban, proiectate să sprijine planificarea urbană. Totuși, aceste scenarii nu sunt conectate la cele globale, în care schimbarea mediului poate fi pe deplin reprezentată. În plus, acestea consideră de obicei orizonturi de timp mai mici de 30 de ani. Scenariile urbane având orizontul de timp anul 2100 nu sunt, în general, disponibile acum, dar astfel de scenarii ar fi relevante pentru a înțelege impactul schimbărilor climatice la scară urbană. Așadar, în contextul

nostru, este dificil de exemplificat cu scenarii socio-economice pentru bazinul Dunării și cu atât mai mult pentru România, pentru a evalua partea de impact a riscurilor viitoare. Ceea ce poate fi prezentat din literatura de specialitate disponibilă sunt unele informații calitative despre impactul viitor regional, având la bază tendințele identificate la nivel european ale indicilor de expunere (de exemplu, populația totală, ariile urbane, etc) și vulnerabilitate (de exemplu, distribuția vârstei, utilizarea terenului, etc) care, parțial, conturează impactul socio-economic.

5.1.2. Schimbări ale folosirii terenului

Impermeabilizarea solului este una din cele mai importante provocări, dacă luăm în considerare schimbările în acoperirea terenului și impactul lor asupra consecințelor dezastrelor naturale. Impermeabilizarea solului este determinată de «acoperirea permanentă a unei zone de teren și a solului acesteia cu material artificial impermeabil ca asfaltul sau betonul» (EC 2012). Impactul impermeabilizării solului asupra ciclului hidrologic local este indicat schematic în figura 68.

Impermeabilizarea solului în ariile construite poate descrește capacitatea luncilor de a stoca apă, conducând la o creștere a riscului la inundații și a pagubelor produse de acestea (Fig. 68). Câteva exemple la nivel european pot sublinia dimensiunea problemei: spre exemplu, fluviile Rin și Elba au pierdut în procent de 80 și 86% suprafețe a patru lunci naturale de stocare (EC 2012). Această problemă se va amplifica în anii și deceniile ce vin deoarece suprafețe importante de teren sunt impermeabilizate în Europa, datorită, de exemplu, expansiunii constante a rețelei de transport. Impermeabilizarea solului joacă un rol important și în creșterea temperaturii urbane și dezvoltarea insulei de căldură asociate orașului.

Insula urbană de căldură (UHI) este un areal semnificativ mai cald decât zonele rurale din jur, din cauza activităților umane care modifică mediul natural (figura 69). Diferența de temperatură dintre zona urbană și

cea rurală este de obicei mai mare noaptea decât ziua și apare mai clar în timpul verii și iernii.

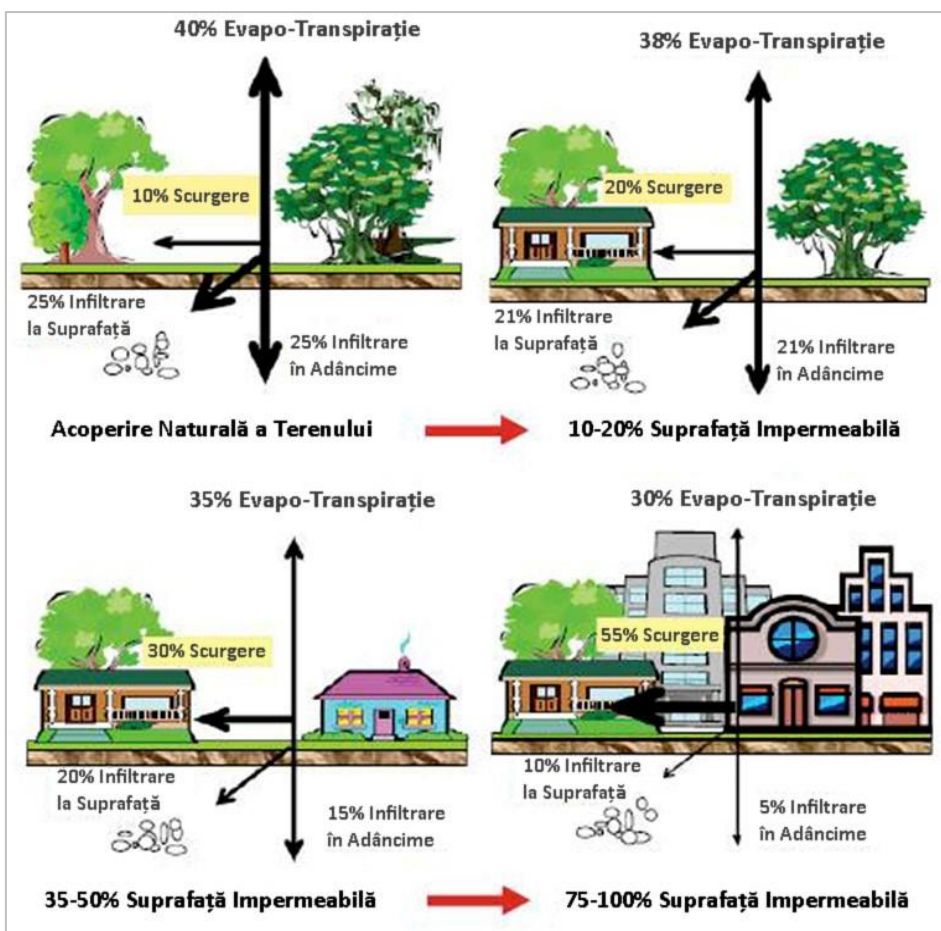


Figura 68. Impactul impermeabilizării solului asupra ciclului hidrologic (EC 2012). După Bojariu și colab. (2015)

O cauză majoră a generării insulei de căldură este reducerea zonei acoperite cu vegetație din marile aglomerări urbane ceea ce determină reducerea drastică a efectelor locale de răcire datorate evapotranspirației și umbririi pe care arborii ar asigura-o (figura 68 și figura 69). Suprafețele urbane pot fi cu până la 20% mai calde decât cele neimpermeabilizate sau acoperite cu vegetație (Bojariu și colab 2015).

De asemenea, materiale utilizate în mod obișnuit pentru construcții și pavaj, cum ar fi betonul și asfaltul, au proprietăți termice și radiative diferite (e.g., capacitatea termică, conductivitatea termică, albedo, emisivitate) comparativ cu zonele rurale înconjurătoare. Aceste caracteristici diferite modifică bilanțului energetic al zonei urbane, ceea ce are ca efect creșterea temperaturii în comparație cu zonele rurale înconjurătoare (Oke, 1982).

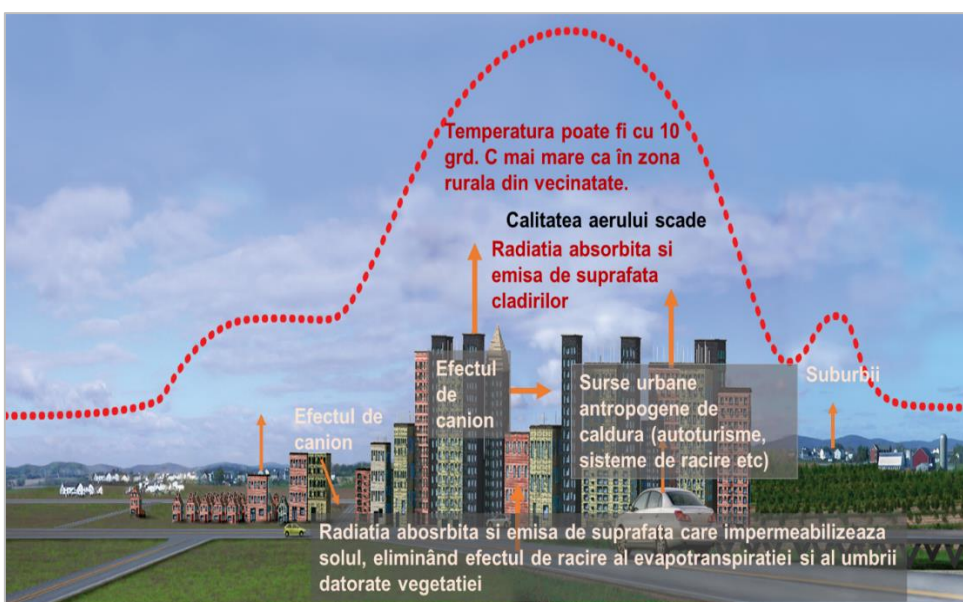


Figura 69. Reprezentarea efectului de insula de căldură din marile aglomerări urbane.

Alte cauze ale dezvoltării insulei urbane de căldură sunt legate de caracteristicile urbanistice. Clădirile înalte, care permit multiplicarea reflectării și absorbției radiației solare, cresc eficiența cu care sunt încălzite zonele urbane (efectul de canion urban) (ex. Oke, 1981). Un alt efect al clădirilor este blocarea vântului, care inhibă răcirea prin convecție, dar și disiparea poluanților, ceea ce scade calitatea aerului. Creșterea concentrației de ozon (care este poluant local, dar și gaz cu efect de seră), favorizată de insula de căldură a orașului, contribuie și ea la reducerea calității aerului din orașe. La bilanțul energetic al zonei urbane există și un

aport de căldura generat de trafic și de consumul de energie casnic (e.g., aer condiționat) și industrial (figura 69).

Studii ce vizează insula de căldură din câteva orașe din România au fost realizate, printre alții, de: Cheval și Dumitrescu (2015) și Zak și colab. (2020) pentru București, Sfîcă și colab. (2018) pentru Iași, Herbel și colab. (2018) pentru Cluj, Udristioiu și colab. (2017) pentru Craiova, Bojariu și colab. (2014) și Ppathoma-Koehle și colab. (2016) pentru Arad.

Alte schimbări în folosirea terenului, de exemplu cele relevante pentru agricultură, pot interacționa în mod complex cu hazardurile modificate de schimbarea climatică (e.g., Bălțeanu și colab. 2013).

5.1.3. Schimbări demografice

Schimbări demografice sunt așteptate în: (1) distribuția vârstelor; (2) mărirea și dinamica creșterii populației; (3) mobilitatea și migrația; (4) urbanizarea populației. În contrast cu rata mare a natalității din deceniile de după al II-lea Război Mondial, au fost observate tendințe de îmbătrânire a populației, începând cu anii 1970 (Stula & Linz 2010). Plecând de la distribuția actuală a vârstelor în Europa, tendința principală pentru viitor este de accelerare a ritmului de îmbătrânire a populației.

Ratele scăzute ale natalității în combinație cu ratele scăzute ale mortalității au condus la o populație îmbătrânită. Această populație îmbătrânită poate fi mai vulnerabilă la unele tipuri de hazarduri (de exemplu, la valuri de căldură, inundații) și mai puțin capabilă să se adapteze la schimbarea climei (ESPON 2013). Procentul vârstnicilor în Europa este așteptat să crească de la 17,1% la 30% în 2060, în timp ce procentul persoanelor în vârstă de peste 80 de ani se va tripla până în 2060 (Eurostat 2008; EEA 2012).

Conform unor evaluări ale unui studiu coordonat de Departamentul Economic și Social al Organizației Națiunilor Unite (UN 2014), gradul de urbanizare al României a ajuns la 54,4% în 2014. Potrivit proiecțiilor realizate în același studiu, în 2030, 58,7% din populația țării va locui în orașe, iar până în 2050, procentul va ajunge la 66,8%. Populația urbană în România va crește, până în 2050, cu aproape 10% față de nivelul ei din

2010 (UN 2014). Tendințele evoluției populației urbane la nivelul României sunt ilustrate în figura 70.

Raportul Global al Națiunilor Unite asupra Așezărilor Umane – Orașe și Schimbările Climatice (UN-Habitat 2011) estimează că procentul populației din orașele cu mai puțin de 500 000 de locuitori va scădea ușor, dar procentul populației din mega-orașe (mai mult de 10 milioane de locuitori) va crește de la 8,2% în anul 2000 la 10,4% în anul 2020 (UN-Habitat 2011).

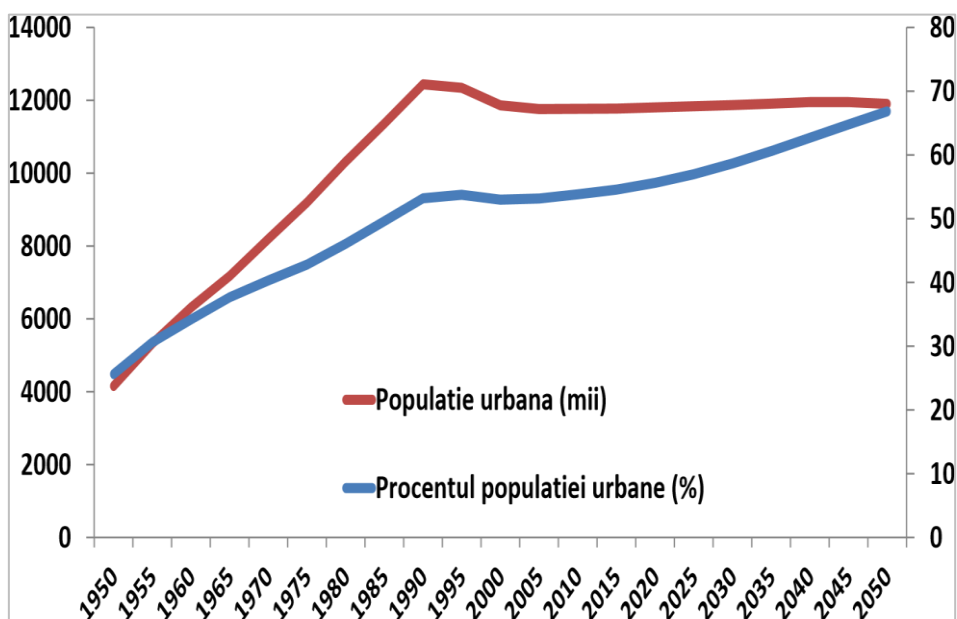


Figura 70. Tendințele populației urbane la nivelul României (UN 2014).

Creșterea populației și urbanizarea au determinat deja creșterea vulnerabilității orașelor europene la hazardurile legate de schimbarea climei, precum valuri de căldură, inundații și secetă. Creșterea vulnerabilității de acest tip se va amplifica în viitor, în general, în Europa și evident, în România.

5.1.4. Alte schimbări socio-economice

Alte schimbări socio-economice precum șomajul, crizele financiare, schimbări în Produsul Intern Brut (PIB) pot afecta impactul general al dezastrelor naturale asupra unei comunități. Din păcate, în literatura domeniului există un număr relativ mic de studii privind adaptarea la schimbarea climatică, bazate pe scenarii socio-economice (Kriegler și colaboratorii 2012). Astfel de studii sunt cele ale lui Arnell și colaboratorii (2004) și Rounsevell și colaboratorii (2006).

5.2. Impactul climatic asupra sănătății publice din România

Schimbarea climatică reprezintă o amenințare semnificativă pentru sănătatea umană din cauza creșterii temperaturilor (de multe ori cuplată cu reducerea locală a calității aerului), modificării regimului precipitațiilor, creșterii nivelului oceanului planetar și modificării statisticii fenomenelor extreme (figura 71).

Aceste consecințe ale schimbării climei vin și cu impacturi asupra vectorilor purtători de agenți patogeni, cantității de alergeni din atmosferă și resursei de apă și hrană care afectează la rândul lor sănătatea publică. Nu trebuie neglijat nici impactul schimbării climatice asupra sănătății mentale. De asemenea, impacturi climatice cu efecte sinergice pot să favorizeze inclusiv migrații la scară mare și/sau conflicte civile (figura 68).

Sursele pentru emisii de poluanți locali și gaze cu efect de seră sunt în multe situații aceleași, astfel că prin reducerea emisiilor se obțin simultan atât beneficii privind combaterea efectelor schimbării climei, cât și beneficii pentru sănătatea publică (figura 72).

Vom trece în revistă în cele ce urmează doar o parte din impacturile climatice asupra sănătății publice - cele pentru care există, după cunoștințele noastre de până acum, evaluări cantitative privind populația din România.

Stresul termic cauzat de temperaturi scăzute și ridicate crește mortalitatea și morbiditatea. De exemplu, Croitoru și colab. (2018)

estimează pentru orașul Cluj o creștere cu 14% a mortalității în perioadele de vară caracterizate de condiții de val de căldură, comparativ cu cele în care acestea lipsesc în intervalul 2006-2015. Vicedo-Cabrera și colab. (2021) atribuie schimbării climatice observate valori ale mortalității pentru un număr de orașe din lume (ce include și 8 din România). În general, studiile au arătat că asocierea temperatură zilnică / mortalitate zilnică este una neliniară, cu un răspuns aproape imediat și o creștere rapidă a mortalității la temperaturile mai mari față de o temperatura optimă (figura 73).



Figura 71. Reprezentarea impacturilor schimbării climatice asupra sănătății publice.

Pentru temperaturile mai mici decât cea optimă, mortalitatea are, în general, o creștere mai lentă, ce cumulează efecte întârziate ce se întind pe o perioadă de câteva săptămâni. Temperatura optima este definită ca

fiind cea corespunzătoare excesului minim de mortalitate și este determinată prin aceeași metodologie neliniară care modelează statistic asocierea expunere la stresul termic / răspunsul în excesul de mortalitate (Gasparrini și Leone 2014).

Conform metodologiei propuse de Gasparrini și Leone (2014), pentru setul de date privind mortalitatea zilnică, cauzată de bolile sistemului circulator, în perioada 1999-2019, în București, temperatura optimă estimată este 23,9 °C (Chițu și colab. 2021).

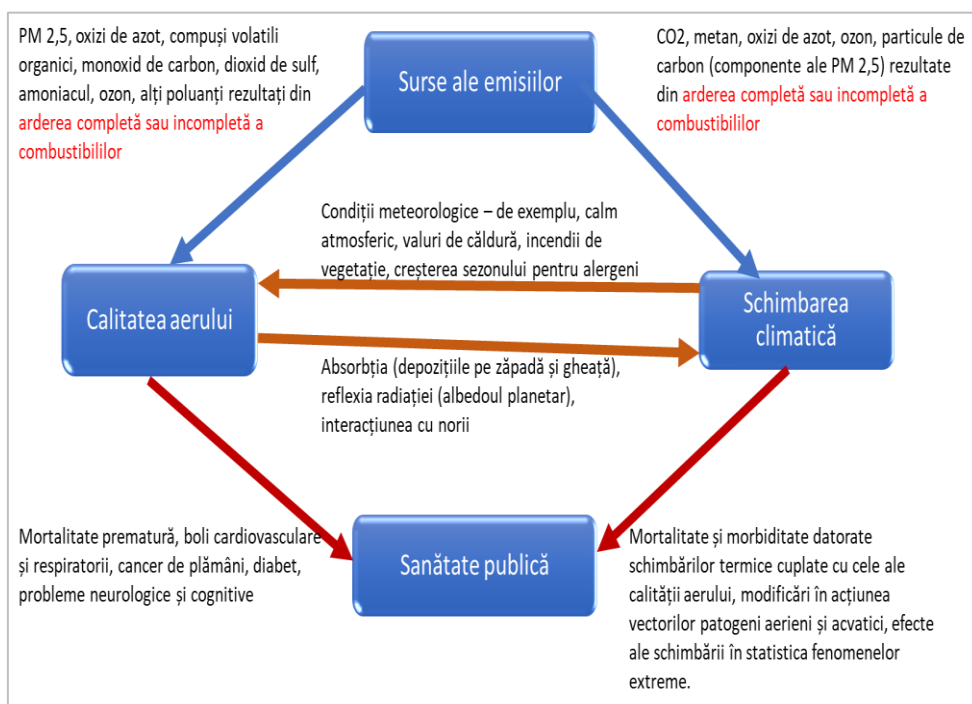


Figura 72. Reprezentarea schematică a impactului încălzirii globale și a poluării locale asupra sănătății publice și a legăturilor dintre acestea.

Analizele realizate în cadrul proiectelor URCLIM și EXHAUSTION de echipa Administrației Naționale de Meteorologie au arătat că, în cazul municipiului București, populația în vârstă și femeile cu boli cronice (cardiovasculare și respiratorii) sunt cele mai vulnerabile categorii la stresul

termic (figura 74). Aceste tipuri de boli impun o povară economică grea asupra sistemelor de sănătate din România și Europa, în general.

Bolile sistemului circulator, care includ și bolile cardio-vasculare, reprezintă 50-60% din totalul deceselor din România. Bolile ischemice ale inimii reprezintă principala cauză de deces, deși mortalitatea cauzată de diferite forme de cancer este în creștere. Bolile ischemice de inimă și accidentele vasculare cerebrale au reprezentat mai mult de 550 de decese la 100 000 de locuitori în 2016. Rata mortalității din cauza bolilor de inimă ischemice este de aproape trei ori mai mare în România decât în UE în ansamblu.

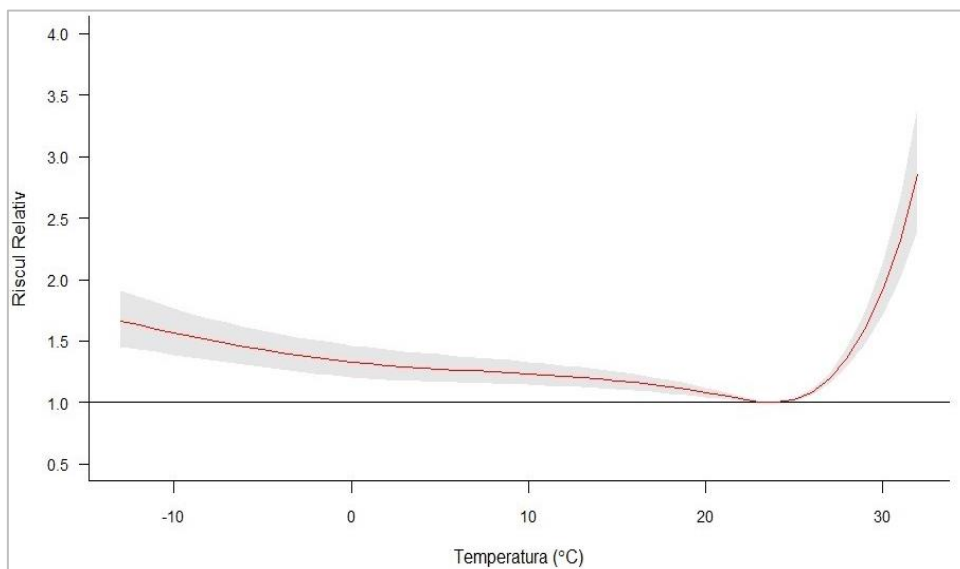


Figura 73. Riscul relativ (cu efectele întârziate cumulate până la 21 de zile) la asocierea temperatură/mortalitate zilnică cauzată de bolile sistemului circulator (International Classification of Diseases-10th revision: ICD - 10 I00: I99), estimat pentru municipiul București, perioada 1999-2019. Banda gri ilustrează intervalul de încredere la nivelul de 95%.

În ciuda unei reduceri semnificative din 2000, accidentul vascular cerebral rămâne a doua cauză cea mai importantă de deces, cu 256 de decese la 100 000 de locuitori în 2016, cu mult peste media UE de 80 de decese la 100 000 de locuitori (OECD/European Observatory on Health

Systems and Policies 2019). Costul total al bolilor cardiovasculare și respiratorii în UE a fost estimat la 600 miliarde EUR, cu o rată a mortalității legată de boli cardiovasculare de 60% în Europa de Est, în 2016. (ERS, 2018; ESC, 2018). Pe de altă parte, o populație din ce în ce mai îmbătrânită, așa cum indică proiecțiile viitoare demografice (§ 5.1.3) înseamnă, de asemenea, amplificarea vulnerabilității populației la stresul termic.

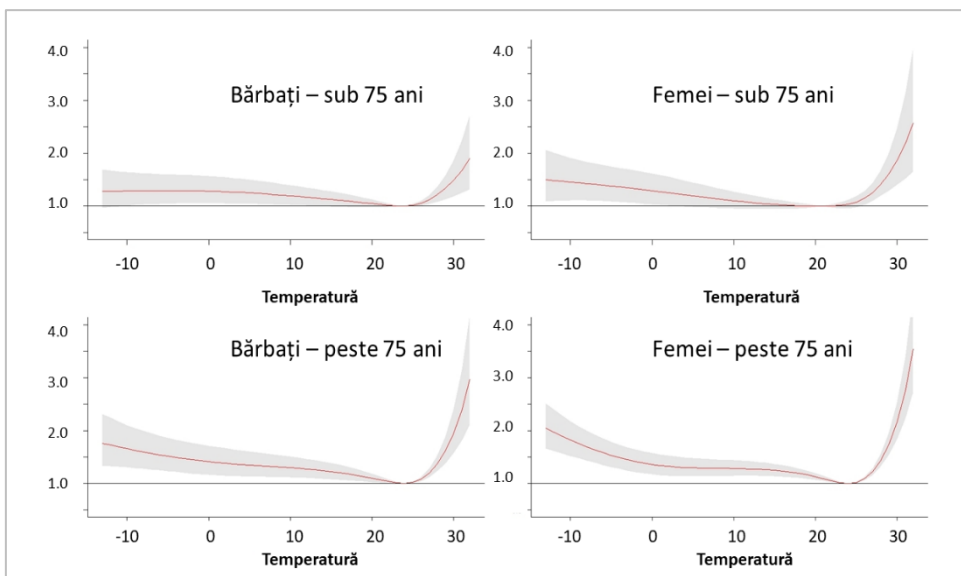


Figura 74. Riscul relativ (cu efectele întârziate cumulate până la 21 de zile) la asocierea temperatură/mortalitate zilnică, cauzată de bolile sistemului circulator (International Classification of Diseases-10th revision: ICD - 10 I00: I99), estimat pentru municipiul București, perioada 1999-2019 și pentru populații de vârste și gen diferite. Banda gri ilustrează intervalul de încredere la nivelul de 95%.

În viitor, mortalitatea cauzată de temperaturile scăzute se va reduce odată cu creșterea temperaturilor și în sezonul rece. În același timp, o creștere accentuată a mortalității cauzate de temperaturile ridicate este estimată în condițiile scenariilor cu emisii ridicate, când mortalitatea legată de temperaturile ridicate ar putea depăși mortalitatea legată de temperaturile scăzute (e.g., Gasparrini și colab. 2017). În prezent, mortalitatea asociată cu temperaturile scăzute este preponderentă în multe din regiunile cu climă temperat continentală.

Și în România, efectul net al schimbării climatice, în scenariul pesimist RCP 8.5, sugerează, pentru sfârșitul secolului, o creștere netă a mortalității legate de stresul termic, cauzată de creșterea accentuată a mortalității asociate cu temperaturile ridicate. Studiile de pînă acum au arătat că, în mediul urban, categoriile vulnerabile sunt persoane cu boli ale sistemului circulatoriu, dintre care cele mai expuse sunt cele în vârstă și femeile (Chițu și colab. 2021).

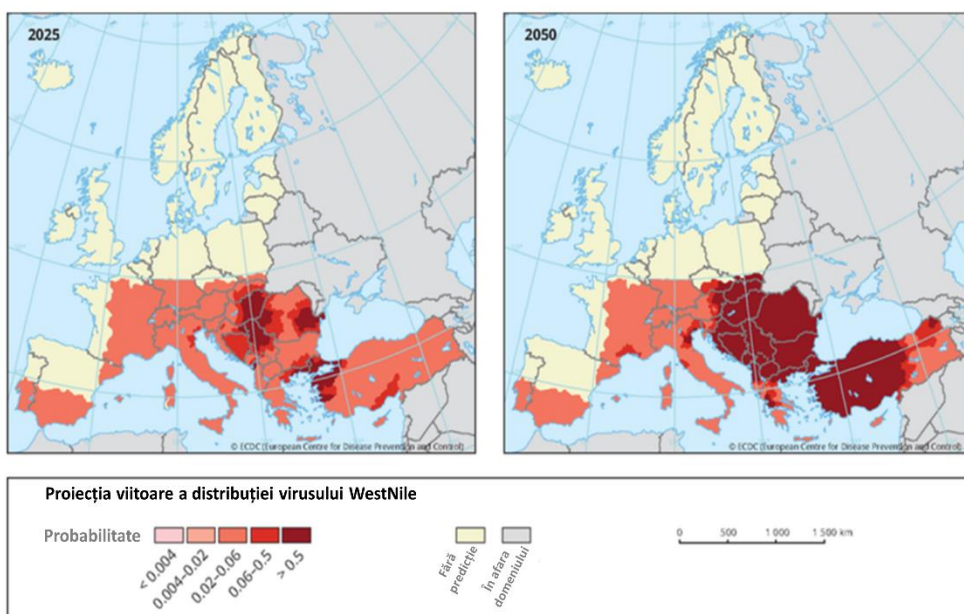


Figura 75. Proiecții viitoare ale distribuției spațiale a virusului West Nile pentru anii 2025 (stânga) și 2050 (dreapta). Adaptare după Eurtopen Environment Agency (EEA) și European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-future-distribution-of-west-1>) și Semenza și colab. (2016).

Numeroase studii sugerează că reducerea calității aerului amplifică impactul stresului termic și acest factor suplimentar trebuie luat în considerare în studiile viitoare privind efectul creșterii frecvenței și intensității valurilor de căldură (§ 4.1.1) asupra indicatorilor de sănătate publică din România.

Semenza și colab. (2016) și Semenza & Suk (2018) au identificat impacturi ale schimbării climatice asupra răspândirii unor boli infecțioase în Europa, datorită modificării habitatului și ciclului de viață al vectorilor ce transportă agenți patogeni. De exemplu, în condițiile climatice estimate pentru 2050, studiile acestor cercetători sugerează că probabilitatea de distribuție a virusului West Nile (purtat de țanțari și păsări) ar putea crește, pe întreg teritoriul României, până la valori de peste 50%, (Figura 75), ceea ce ridică problema unui alt tip de impact climatic, cu riscul climatic asociat.

Pentru selectarea măsurilor optime de adaptare, care să reducă expunerea și vulnerabilitatea la hazardurile climatice viitoare din sectorul sănătății publice, este nevoie de studii extinse, aprofundate și detaliate privind circumstanțele climatice și epidemiologice ale modificărilor indicatorilor de sănătate publică, în condițiile schimbării climatice. Pe lângă impacturile legate de stresul termic și răspândirea vectorilor ce transportă patogeni, trebuie luate în considerare și alte impacturi ale hazardurilor climatice, cum ar fi pierderile de vieți omenești în contextul fenomenelor meteorologice extreme, bolile cauzate de calitatea apei, afectarea sănătății mentale, efectul răspândirii alergenilor și chiar cele legate de securitatea alimentară precară.

5.3. Impactul climatic asupra rezervei de apă și agriculturii din România

Schimbarea climatică va avea efecte asupra rezervelor de apă în Europa. Raportul EEA (2019) sintetizează impactul climatic viitor pentru principalele regiuni biogeografice din Europa (figura 76). România se încadrează în regiunea continentală, iar cu lanțul carpatic, în zona montană. Evapotranspirația potențială în România va avea o tendință de creștere (§ 3.1.3, figura 50) determinată în principal de tendințele de creștere ale temperaturii, mai mari în regiunea montană (§ 3.1.1, figura 36), detalii relevate și de analizele rezultatelor modelelor climatice regionale. Evapotranspirația crescută și tendința de reducere a cantității de precipitații vara (§ 3.1.2, figura 45), coroborate cu reducerea grosimii

stratului de zăpadă din sezonul rece (§ 3.1.4, figura 55), schimbarea raportului între precipitațiile solide și cele lichide, iarna și schimbările în ciclul sezonier al debitelor râurilor vor favoriza o tendință de reducere a rezervelor de apă, mai ales în bazinele râurilor din sudul și estul României (§ 4.1.2, § 4.2 și), unde astfel s-ar putea intensifica concurența între diferiți utilizatori de apă, cum ar fi cei din generarea de energie electrică, agricultură, industrie, turism și utilizatorii casnici (e.g. Bisselink și colab. 2018).

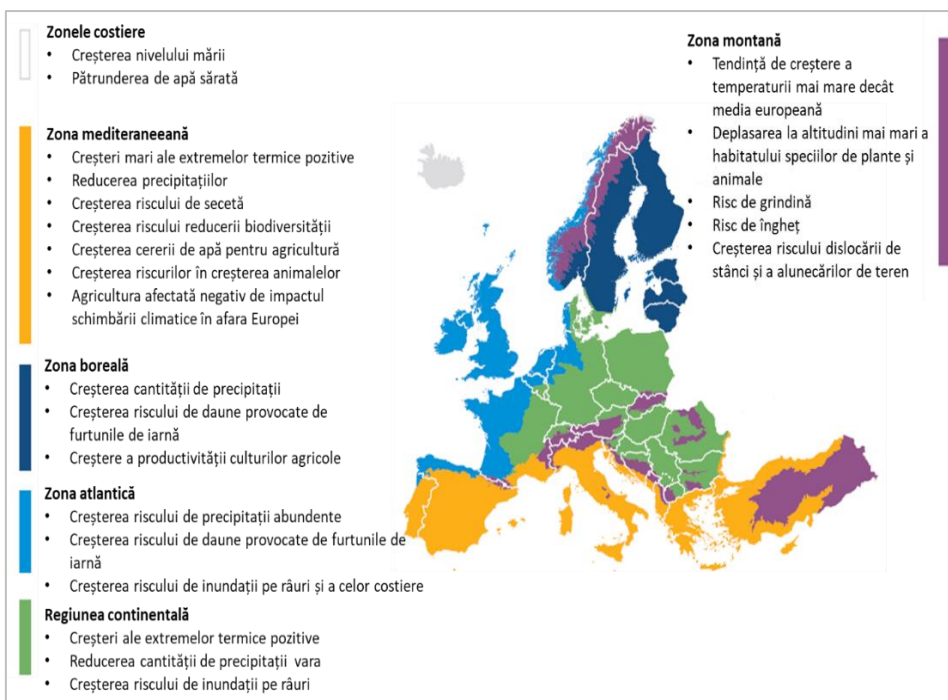


Figura 76. Reprezentarea impacturilor climatice viitoare pentru principalele regiuni biogeografice din Europa. După EEA (2019).

În contextul reducerii cantității de precipitații, vara, producția de energie de la hidrocentrale s-ar putea reduce în această perioadă a anului. Generarea de energie folosind combustibilii fosili și centralele nucleare ar putea fi redusă datorită temperaturilor crescute ale apei, ce nu mai poate asigura eficient răcirea din procesul tehnologic. Hidrocentralele reprezintă

o sursă de energie regenerabilă competitivă și o componentă cheie a mixului energetic din România. Ele oferă capacitate de stocare și servicii de stabilizare a sistemului energetic, care sunt esențiale pentru asigurarea unei securități energetice a țării. Importanța unei tehnologii de generare de energie pentru sistemul global depinde în principal de capacitatea sa de a stabiliza fluctuațiile între cerere și ofertă. Hidrocentralele contribuie deja la echilibrarea acestor diferențe - o funcție care va fi și mai valoroasă în viitor, când alte energii regenerabile vor fi utilizate într-o mai mare măsură. Problema apare când, datorită schimbării climatice, debitele râurilor se reduc (e.g., Bisselink și colab. 2018). Studiile de regionalizare a semnalului global pentru teritoriul României se află în desfășurare; este însă necesară o extindere și o aprofundare a lor, astfel încât să furnizeze un cadru teoretic coerent privitor la cuantificarea impactului asupra potențialului hidroenergetic al României.

Dincolo de tendințele pe termen mediu și lung, cauzate de încălzirea globală, se așteaptă ca productivitatea culturilor agricole să varieze din ce în ce mai mult de la an la an, ca urmare a evenimentelor meteorologice extreme. Creșterea intensității precipitațiilor, identificată în proiecțiile climatice viitoare pentru România (§ 3.1.5, figura 58; §4.2), poate favoriza creșterea riscului de inundații pe râuri (și modificarea sezonality sale din prezent), fapt consemnat și în sinteza raportului EEA (2019), prezentată în figura 76.

În concluzie, impactul schimbării climatice ar putea determina reducerea productivității culturilor agricole în anumite regiuni ale Europei și creșterea lor în altele (EEA 2019). Alți factori, cum ar fi dăunătorii și bolile, amplifică creșterea vulnerabilității sectorului agricol față de impacturile climatice, în lipsa măsurilor de adaptare (IPCC 2014). Impactul global al schimbărilor climatice asupra agriculturii din Uniunea Europeană ar putea produce o pierdere semnificativă pentru sectorul agricol: până la 16% din veniturile din agricultura UE până în 2050, cu variații regionale mari. Sectorul va trebui să se adapteze în continuare la aceste schimbări pentru a asigura o producție agricolă durabilă (EEA, 2019).

În viitor, impacturile climatice asupra agro-ecosistemelor și producției agricole vor afecta veniturile agricole din Europa datorită efectelor asupra prețului, cantității și calității produselor și, în consecință, asupra schimburilor comerciale. În acest context, valoarea economică a terenurilor agricole europene se poate modifica semnificativ datorită combinațiilor acestor efecte în cascadă. Intensificarea activităților agricole ar putea avea loc în nordul și vestul Europei, în timp ce în sudul Europei și, în special, în zonele din vecinătatea Mării Mediterane, o reducere a profitabilității relative a agriculturii ar putea duce la abandonarea terenurilor agricole (EEA 2019).

Impactul schimbării climatice asupra fluxurilor comerciale internaționale de mărfuri agricole este și el relevant, deoarece acestea pot contracara lipsurile de produse, care pot apărea ca urmare a condițiilor meteorologice și climatice extreme, prin furnizarea de importuri din regiuni neafectate, unde astfel de produse sunt încă disponibile. Comerțul permite răspândirea de noi tehnologii sau “know-how”, reducând costurile de producție și sporind securitatea alimentelor și a furajelor. Astfel, comerțul poate îmbunătăți atât acțiunile de adaptare, cât și acțiunile de atenuare, deși există multe aspecte ale comerțului, împreună cu legăturile sale cu acțiunile climatice din sectorul agricol, care necesită o mai bună înțelegere și cercetări suplimentare (EEA 2019).

Amploarea impactului estimat al schimbării climatice depinde și de scenariile de emisie și socio-economice analizate, dar agricultura se pare că va rămâne unul dintre sectoarele cele mai vulnerabile la impactul schimbării climatice asupra regiunilor situate atât în interiorul, cât și în afara Europei. În acest context climatic și socio-economic complicat, este nevoie de studii aprofundate, cu noi generații de modele și scenarii climatice, cuplate cu scenariii de dezvoltare socio-economică a României, pentru a estima în detaliu impacturile și apoi riscurile (§ 6.4) privitoare la rezervele de apă și agricultura din România, limitând cât mai mult incertitudinile asociate. Aceste estimări sunt absolut necesare, în contextul schimbării climei, pentru fundamentarea științifică solidă a

elaborării politicilor durabile socio-economice în general și a celor agricole, în particular (§ 7).

5.4. Impactul climatic asupra turismului de iarnă

În condițiile reducerii grosimii stratului de zăpadă (§ 3.1.4), pentru a estima impactul schimbărilor climatice asupra turismului de iarnă, din perspectiva condițiilor optime pentru schi, din zona Carpaților românești, am investigat, în condițiile scenariilor climatice RCP 4.5 și RCP 8.5, numărul de zile cu condiții bune de schi și numărul de luni cu condiții adecvate pentru producerea artificială a zăpezii, într-un sezon de schi (de la 1 decembrie până la 15 aprilie anul viitor).

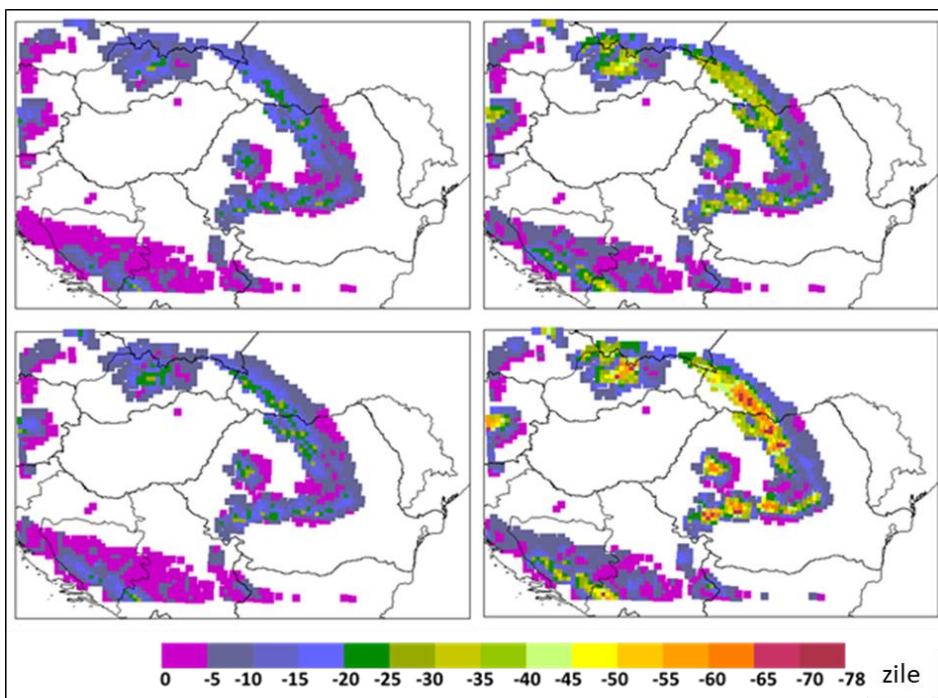


Figura 77. Diferența în numărul de zile cu condiții optime de schi (grosimea stratului de zăpadă egală sau mai mare de 30 cm) în condițiile scenariilor RCP 4.5 (sus) și RCP 8.5 (jos), în orizonturile de timp 2021-2050 (stânga) și 2071-2100 (dreapta), comparative cu intervalul 1971-2000. Diferențele au fost calculate pentru toate punctele de grilă cu altitudini mai mari de 500 de m.

Condițiile bune de schi sunt definite pentru o grosime a stratului de zăpadă de cel puțin 30 cm. La evaluarea condițiilor adecvate pentru producerea artificială a zăpezii Steiger și Mayer (2008) au propus considerând drept condiție adecvată pentru înzăpezire artificială ca temperatura medie zilnică a aerului să fie egală sau mai scăzută de -2°C .

În analiză, ne concentrăm asupra modificărilor în contextul scenariilor climatice, comparativ cu condițiile actuale simulate. Am folosit și aici simulările modelelor din arhiva EURO-CORDEX (tabel 7).

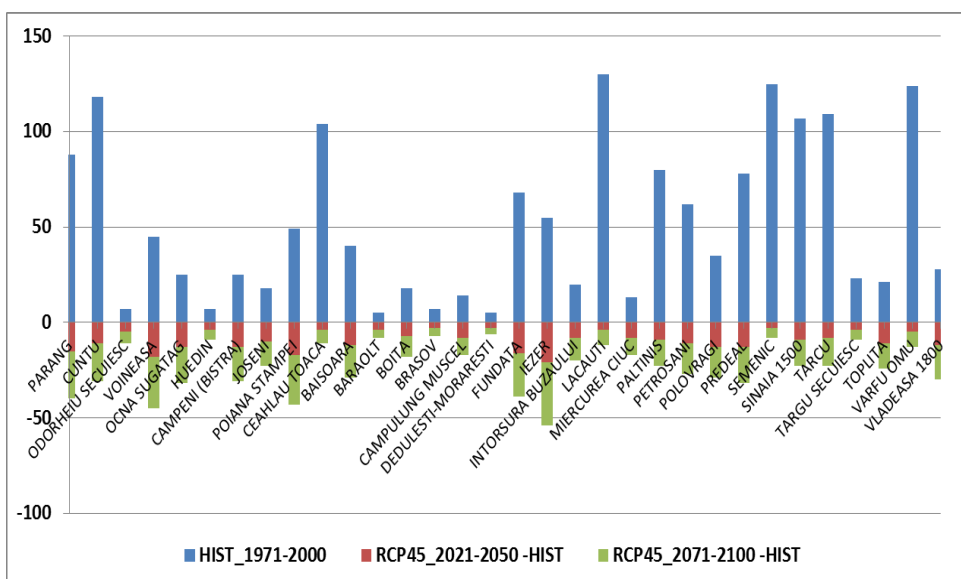


Figura 78. Numărul mediu de zile cu grosimea stratului de zăpadă mai mare de 30 cm, într-un sezon de schi, simulat la locațiile a 32 stații meteo românești din zona de munte, pentru perioada 1971-2000 (albastru) și diferențele față de această perioadă de referință în condițiile scenariului RCP 4.5 pentru perioadele 2021-2050 (roșu) și 2071-2100 (verde). Au fost folosite la calcularea mediei ansamblului experimentele numerice cu 5 modele din arhiva EURO-CORDEX (tabelul 7).

Figura 77 prezintă cu cât se reduce numărul de zile având condiții optime de schi în cazul scenariilor RCP 4.5 și RCP 8.5 și pentru diferite orizonturi de timp (2021-2050 vs. 1971-2000 și 2071-2100 vs. 1971-2000). Valorile numerice sunt orientative, având în vedere incertitudinile legate de modelarea proceselor de scară fină ce au un impact asupra stratului de

zăpadă, în condițiile complexe de relief ale zonei montane. Conform figurii 77, zonele montane cele mai expuse reducerii numărului de zile cu condiții optime pentru schi sunt cele din Munții Apuseni, Carpații Meridionali și rama interioară a Carpaților Orientali.

Rezultatele experimentelor cu modelele climatice regionale din arhiva EURO-CORDEX pot fi interpolate la locațiile montane dorite, ca în figura 78. Rezultatele modelelor prezentate în figura 78 au fost ajustate (*bias-corrected*), folosind observațiile din perioada de referință 1971-2000. Astfel de tipuri de informații pot fi utilizate la planificarea dezvoltării durabile a stațiunilor montane, eventual prin modificarea profilului lor, din stațiuni preponderant dedicate sporturilor de iarnă în unele care să ofere și alte opțiuni pentru turiști, pe durata întregului an.

5.5. Incertitudini în estimarea impacturilor

În plus față de incertitudinile legate de estimarea hazardurilor (§ 4.4), trebuie luate în considerare și incertitudinile legate de evaluarea impacturilor, prin cele două componente ale sale, expunerea și vulnerabilitatea (e.g., Grigorescu și colab. 2021). În acest context, Metha și colab. (2019) relevă că, teoretizarea temei incertitudinilor de experți, modelatori și decidenți politici trebuie să fie completată de luarea în considerare a abordărilor practice folosite de comunitățile umane în condițiile de zi cu zi, la nivelul local, unde acționează aceste incertitudini legate de impacturile climatice.

6. Riscuri legate de schimbarea climei

Schimbarea climei modifică atât valorile medii cât și valorile extreme ale principalelor variabile climatice. Fenomenele extreme legate de variabilitatea și schimbarea climatică sunt la originea unor tipuri de dezastre naturale. Există un mecanism al Uniunii Europene (UE) pentru protecție civilă care se referă la componenta de prevenire a dezastrelor naturale și a celor provocate de om, evaluând riscurile asociate acestora și urmărind reducerea acestora. Acțiunile de prevenire trebuie să fie corelate cu acțiunile de pregătire și răspuns la dezastre, prin încurajarea unui schimb de informații între nivelurile administrative din interiorul unui stat, dar și între statele membre, pentru a folosi eficient resursele și a evita dublarea eforturilor.

Eforturile la nivelul UE pentru gestionarea situațiilor de urgență provocate de dezastre naturale și produse de om vizează aspecte legate de: (1) extinderea și standardizarea seturilor de date și a informațiilor georeferențiate privind hazardurile și consecințele lor la nivel regional și național conform unor metodologii comune; (2) extinderea studiilor de caz privind evenimente deosebite, înregistrate în trecut, atât din punct de vedere al hazardurilor cât și al impactului socio-economic; (3) realizarea de hărți de risc, hărți de impact și construirea de sisteme de avertizare în timp real pentru hazarduri cu potențial distructiv. În acest context, ghidurile publicate de Comisia Europeană (CE) (European Commission 2010) au ca obiectiv o abordare unitară a riscurilor, atât la nivel național, cât și la nivel european. Prin această abordare metodologică unitară se aduc îmbunătățiri semnificative sistemului de gestionare al situațiilor de urgență. România, ca membru al UE, s-a angajat într-un proces de aliniere la cerințele acestui mecanism.

În cadrul proiectului SEERISK a fost elaborat și publicat un ghid pentru gestionarea riscurilor generate sau intensificate de schimbarea climatică în macroregiunea Dunării (SEERISK 2014). Metodologia de evaluare a

riscurilor climatice a fost proiectată în conformitate cu liniile directoare comunitare privind evaluarea riscurilor și cartografierea acestora (Further Developing Risk Assessment for Disaster Management within the European Union, 2011) și poate fi aplicată la mai multe tipuri de risc (de exemplu, valuri de căldură, inundații, secetă, incendii de vegetație, episoade de vânt extrem). Elaborarea unor strategii adecvate de adaptare la variabilitatea și schimbarea climei trebuie să se bazeze pe evaluarea cât mai completă a riscurilor (figura 79). Evaluarea riscurilor este un proces sistematic ce fundamentează luarea deciziilor pe bază științifică.

6.1. Definirea riscului climatic

Riscul asociază probabilitatea de apariție a evenimentelor sau tendințelor periculoase (hazardul) cu impactul acestora (e.g., Bogdan și Niculescu 1999, Bogdan 2005). Exprimat matematic, riscul este o funcție ce depinde atât de probabilitatea de apariție cât și de impactul hazardului analizat. Impactul, la rândul lui, rezultă din expunere și vulnerabilitate. Expunerea este definită ca totalitatea elementelor (oameni, proprietăți, sisteme de infrastructură) prezente în regiunile în care acționează hazardul analizat care pot suferi consecințe ale acestuia (pierderi). Vulnerabilitatea este definită ca un ansamblu de caracteristici care predispun comunitățile umane și sistemele de infrastructură la efectele dăunătoare ale hazardului analizat. Riscul rezultă din interacțiunea vulnerabilității, expunerii și hazardului. În acest raport, termenul risc se referă în primul rând la riscul hazardurilor legate de schimbarea climatică (Figura 79).

6.2. Metodologii de evaluare a riscurilor climatice

Conform Ghidului de Adaptare la Schimbarea Climei și Evaluare a Riscului în macroregiunea Dunării (SEERISK, 2014), etapele metodologice ale unei analize de risc, exemplificate și în figura 75, sunt următoarele: (1) stabilirea contextului și identificarea riscului; (2) elaborarea scenariilor cu determinarea probabilității de apariție a unui anumit pericol; (3) evaluarea impactului acestui pericol specific asupra elementului selectat și supus riscului; (4) definirea nivelurilor de risc/clasificarea riscului (cantitativă sau

calitativă); (5) cartografierea riscului prin suprapunerea (combinația și analiza) cartografierii pericolelor (hazardului) și a impactului; (6) evaluarea riscului în contextul planificării priorităților și a procedurilor de urmat pentru minimizarea consecințelor (impactului).

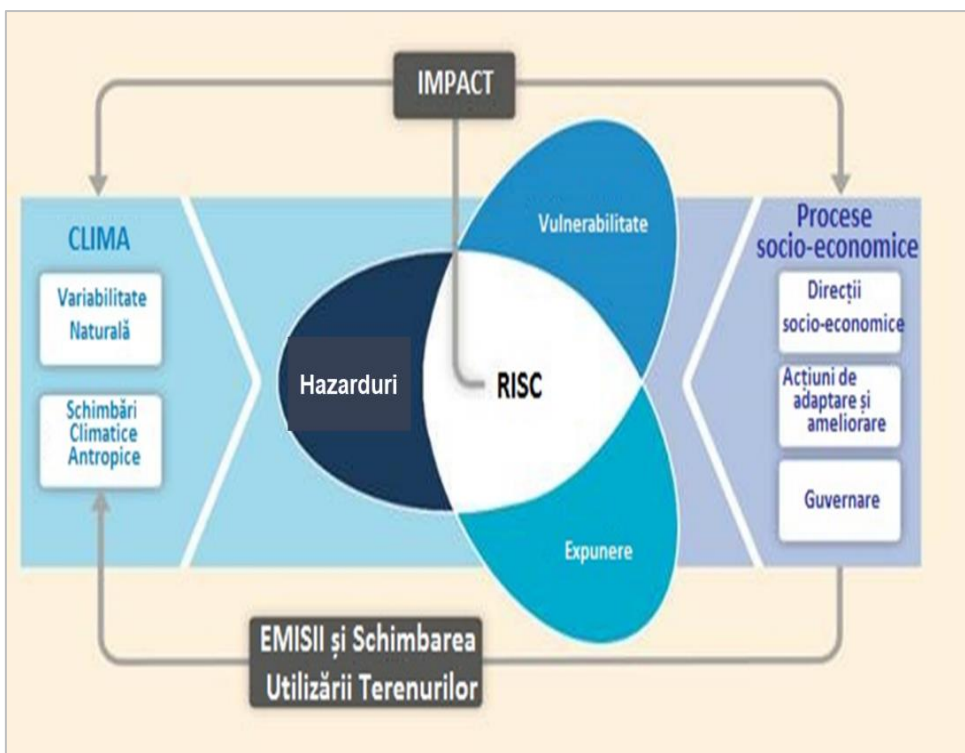


Figura 79. Riscurile în contextul variabilității și schimbării climatice (după IPCC WGII Summary for Policymakers, 2014).

O modalitate de a ierarhiza și reprezenta riscurile este matricea de risc. Matricea de risc reprezintă grafic scorurile probabilității de producere a hazardului și ale impactului asociat (figura 81). Abordarea folosită în proiectul SEERISK ia în considerare dezavantaje precum lipsa de indicatori cantitativi și oferă măsuri alternative, pentru a furniza o metodologie ușor de utilizat chiar și cu date limitate ce stau la dispoziția celui ce o folosește (SEERISK 2014).

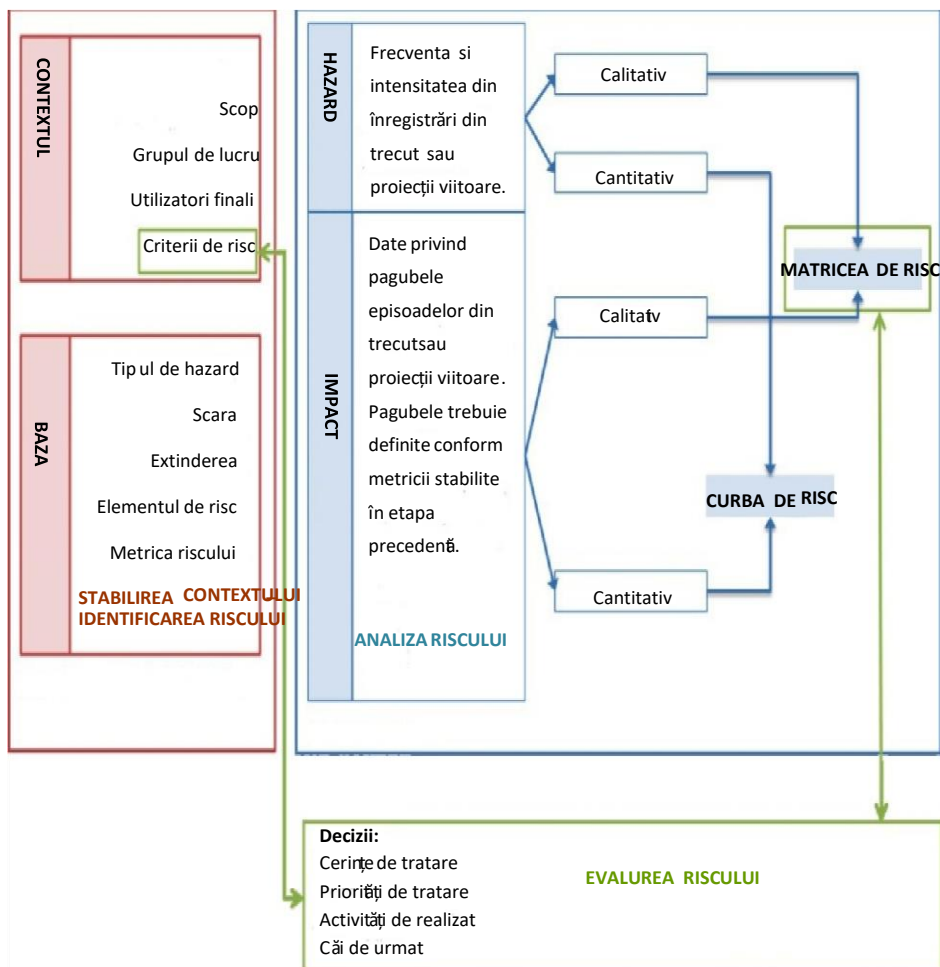


Figura 80. Procedura de evaluare a riscului. Schemă preluată din *Guideline on climate change adaptation and risk assessment in the Danube macro-region* (SEERISK 2014).

Din acest punct de vedere, problemele cele mai mari, identificate pe parcursul proiectului SEERISK, au fost cele legate de disponibilitatea datelor privind consecințele socio-economice (impactul) hazardurilor studiate. În acest caz, metodologia sugerează folosirea hărților de expunere în locul celor de risc, utilizând, de exemplu, date de folosința solului, atunci când datele privind impactul hazardului natural lipsesc.

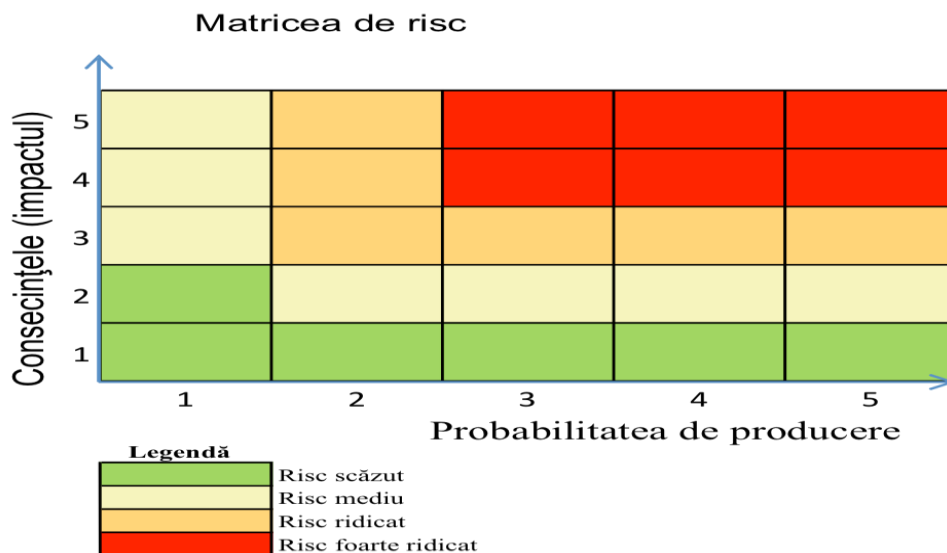


Figura 81. Reprezentarea matricii folosite în evaluarea calitativă a riscului, conform metodologiei SEERISK (2014).

6.3. Cartografierea riscurilor asociate stresului termic

Schimbarea climei determină deja o creștere a frecvenței și intensității valurilor de căldură, mai ales în sudul Europei și, evident, în România (§ 4.1.1, figura 60). Impactul acestor episoade cu temperaturi foarte ridicate va continua să se amplifice în deceniile ce urmează (§ 4.1.1, figurile 58 și 61; § 4.3, figura 62). Astfel de episoade au implicații negative asupra sănătății publice (cele mai vulnerabile segmente de populație fiind copiii, vârstnicii și persoanele cu boli cronice din marile aglomerări urbane) (§ 5.2), agriculturii (§ 5.3, figura 73), silviculturii, producerii de energie, transportului, turismului și productivității muncii. Episoadele cu temperaturi ridicate ridică și probleme legate de înrăutățirea calității aerului, mai ales în zonele urbane (IPCC 2014; IPCC 2018) (§ 5.2, figura 72).

6.3.1. Studiu de caz pentru municipiul Arad

În cadrul proiectului SEERISK, au fost selectate valurile de căldură din municipiul Arad ca tip de hazard de analizat pentru aplicarea metodologiei de evaluare comune, dezvoltate în proiect pentru riscurile climatice.

Valurile de căldură au un impact negativ asupra persoanelor cu boli cardiovasculare și respiratorii și ar putea cauza probleme de sănătate pentru persoanele în vârstă.

De aceea, elementul considerat a fi supus riscului este populația locală a municipiului Arad. Nivelurile de risc pentru matricea de risc utilizată au fost estimate pe baza numărului de intervenții medicale de tip SMURD la 150 000 de locuitori și pot fi legate de efectul termic asupra sănătății populației urbane. Pentru estimarea nivelurilor probabilității de producere a hazardului, s-a folosit așa-numitul indice al insulei de căldură urbană (UHI), care a fost folosit pentru a estima calitativ distribuția spațială a probabilităților asociate temperaturilor extreme, atât pe timp de zi, cât și pe timp de noapte. Matricile de risc pentru zi și noapte sunt prezentate în figura 82.

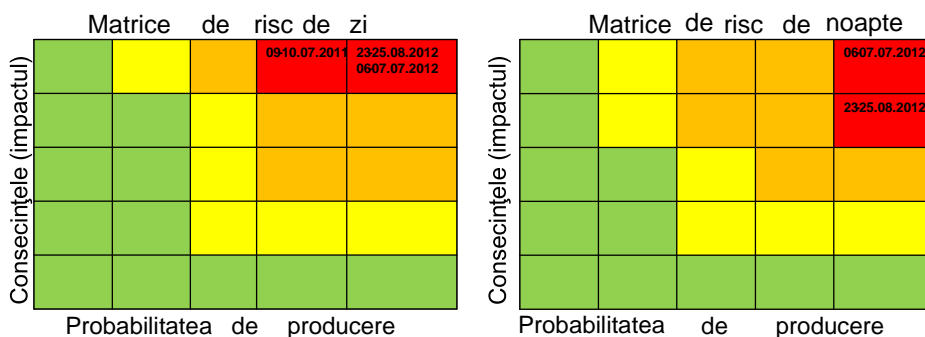


Figura 82. Matricea de risc realizată pe baza indicilor de impact și de hazard (probabilitate de apariție a hazardului) la valurile de căldură pentru municipiul Arad. Datele la care s-au produs valurile de căldură, precizate în matricile de risc, sunt cele înregistrate conform observațiilor de la stația meteo Arad.

Scenariul de risc pentru Arad se bazează pe informațiile existente pentru 5 din cele 7 episoade cu valori de căldură înregistrate între 2009 și 2012 (consemnate și în matricile de risc din figura 82), pentru care au fost disponibile atât date satelitare de temperatura suprafețelor urbane, cât și date de impact privind intervențiile medicale ale SMURD. Datele satelitare ale temperaturii suprafețelor au fost extrase din setul MODIS (Bojariu și

colaboratorii 2014) pentru intervale de zi și de noapte, la rezoluția de 1 km și au fost mediate, pentru anotimpul de vară pentru a defini insula de căldură a orașului Arad, ca în lucrarea Bojariu și colaboratorii (2014). Aceste date de temperatură au fost normalizate împărțind fiecare valoare de temperatură la cea maximă din domeniul analizat, rezultând un indice al insulei de căldură (UHI) cu valori cuprinse între 0 și 1, ce la rândul lui a fost standardizat prin împărțire la abaterea standard. Valorile astfel obținute au fost repartizate în 5 categorii: hazard foarte mare, mare, mediu, mic și foarte mic (Figura 83).

Indicele UHI exprimă nivelurile de intensitate ale fenomenului de insulă de căldură urbană care sunt calitativ echivalente cu nivelurile de probabilitate de apariție a episoadelor cu temperaturi extrem de ridicate. Conform matricei de risc, un eveniment caracterizat de înregistrarea unei temperaturi extrem de ridicate va fi asociat cu un indice UHI peste 0,8 și are o probabilitate foarte mare de apariție în zona caracterizată de valoarea respectivă a indicelui UHI.

Cartografierea riscului s-a făcut în 3 etape, prima fiind realizarea hărților de hazard. Două hărți de hazard au fost pregătite pentru Arad, hărți care ilustrează distribuția valorilor UHI în oraș, în timpul zilei și pe timp de noapte (figura 83). Este evident că nivelul de hazard este mai mare în centrul și nord-vestul orașului, unde temperatura suprafeței crește datorită efectelor clădirilor înalte, proprietăților termice ale materialelor de construcție, impermeabilizării solului (cu scăderea asociată acoperirii cu vegetație) precum și a emisiilor vehiculelor.

A doua etapă a constat realizarea hărților de impact pentru orașul Arad. Au fost construite două hărți (pentru zi și noapte) care indică nivelul de impact exprimat ca indice standardizat calculat folosind numărul de intervenții ale SMURD la 150.000 de locuitori (figura 84). Numărul intervențiilor la 150.000 de locuitori în fiecare cartier din Arad a fost împărțit la valoarea maximă și valorile obținute au fost repartizate în 5 categorii: impact foarte mare, mare, mediu, mic și foarte mic. Zonele cu impact mare nu coincid întotdeauna cu zonele cu niveluri ridicate ale

probabilității de producere a hazardului, ilustrate în hărțile prezentate în figura 83, deoarece numărul mai mare de intervenții este, probabil, asociat și cu caracteristici sociale ale populației diferitelor cartiere (de exemplu, starea de sănătate, vârstă etc).

Realizarea hărții de risc este cea de-a treia etapă. Au fost construite două hărți de risc pentru municipiul Arad (pentru zi și noapte), folosind matricile de risc (figura 82) pentru a obține nivelul de risc, în fiecare cartier analizat al orașului, din nivelurile de hazard și cele de impact. Zona cu cele mai ridicate niveluri de risc, ilustrată în figura 85, este formată din zone locuibile (clădiri vechi, bloc de apartamente, case individuale), grădini, zone industriale mici și gara principală a orașului. În timpul zilei, există trei districte în Arad cu un nivel de risc foarte ridicat (marcate cu roșu), precum și trei zone cu risc ridicat (marcate cu portocaliu). În ceea ce privește nopțile, există zone din trei cartiere marcate cu roșu pentru nivel de risc foarte ridicat și zone din patru cartiere cu nivel de risc ridicat marcate cu culoarea portocalie (Figura 85).

În fiecare an, Inspectoratele pentru Situații de Urgență, în general și cel din Arad, în particular, actualizează «Planul de evaluare a riscurilor și de intervenție» pentru județul Arad, plan ce include și măsuri pentru situații cu perioade prelungite în care sunt înregistrate temperaturi ridicate. În cazul mai multor intervenții medicale sau situațiilor medicale grave de pe teritoriul județului Arad se aplică «Planul roșu» elaborat pentru a eficientiza răspunsul tuturor unităților medicale mobile (ambulante publice și private, echipe medicale de urgență) și al spitalelor publice coordonate, în situații excepționale.

De asemenea, Direcția de Sănătate Publică din Arad are propriile regulamente și proceduri pentru a face față efectelor valurilor de căldură (înființarea de corturi pentru adăpostirea oamenilor care merg pe jos în timpul perioadelor cu temperaturi ridicate, furnizarea de apă rece, etc.), cu sprijinul organizațiilor nonguvernamentale (de exemplu Crucea Roșie).

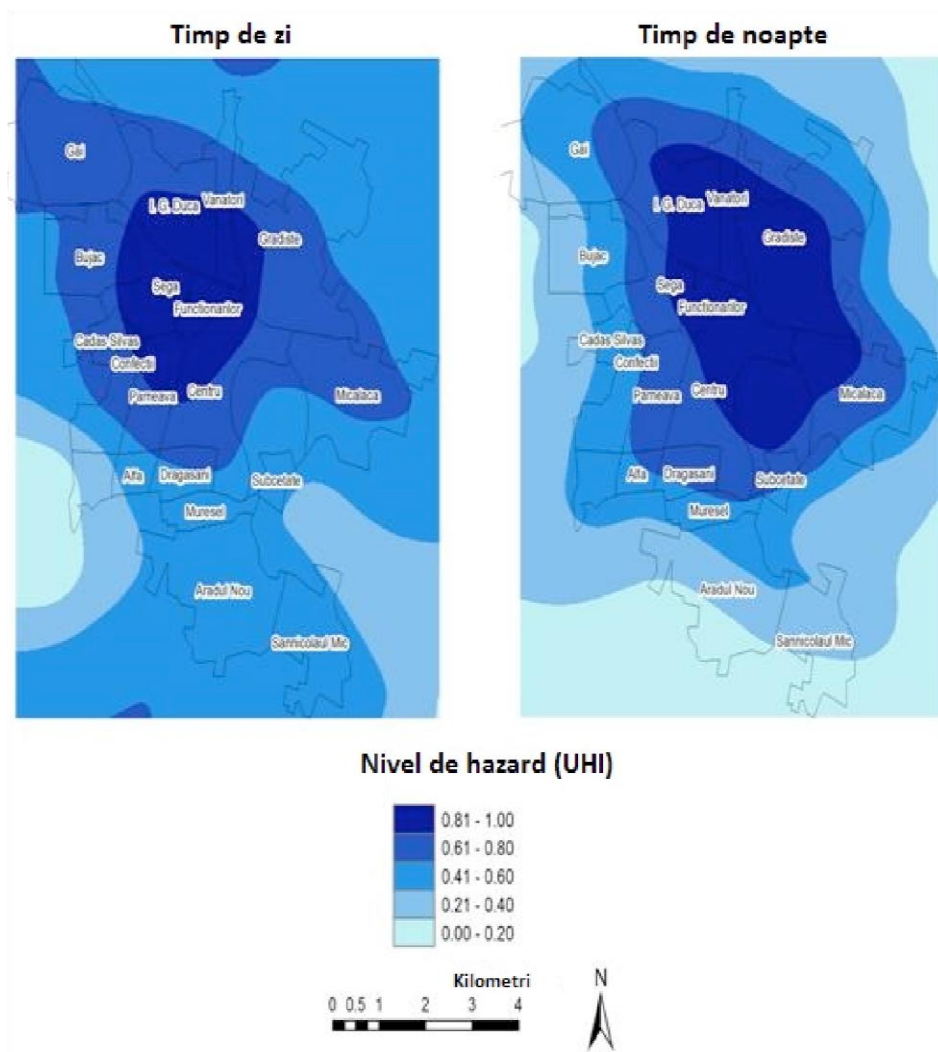


Figura 83. Harta nivelului de hazard natural în cazul riscului la valurile de căldură în zona municipiului Arad. Nivelul de hazard natural a fost definit pe baza efectului insulei de căldură a orașului, identificat în datele satelitare (Aqua MODIS) ale temperaturii la suprafață pentru anotimpul de vară (iunie-august 2002-2012). După Bojariu și colab. (2015).

În acest context, hărțile de risc realizate pentru studiul de caz prezentat aici ar putea fi folosite de autoritățile locale atât la procesul anual de planificare a intervențiilor și evaluare a riscurilor, cât și pentru o

mai bună fundamentare a «Planului Roșu» în cazul valurilor de căldură, ce prin stres termic și efecte colaterale (degradarea calității aerului în mediul urban) pot da naștere, mai ales în condițiile accelerării viitoare a încălzirii globale, la dezastre materializate în creșteri semnificative ale morbidității și mortalității în aglomerările urbane.

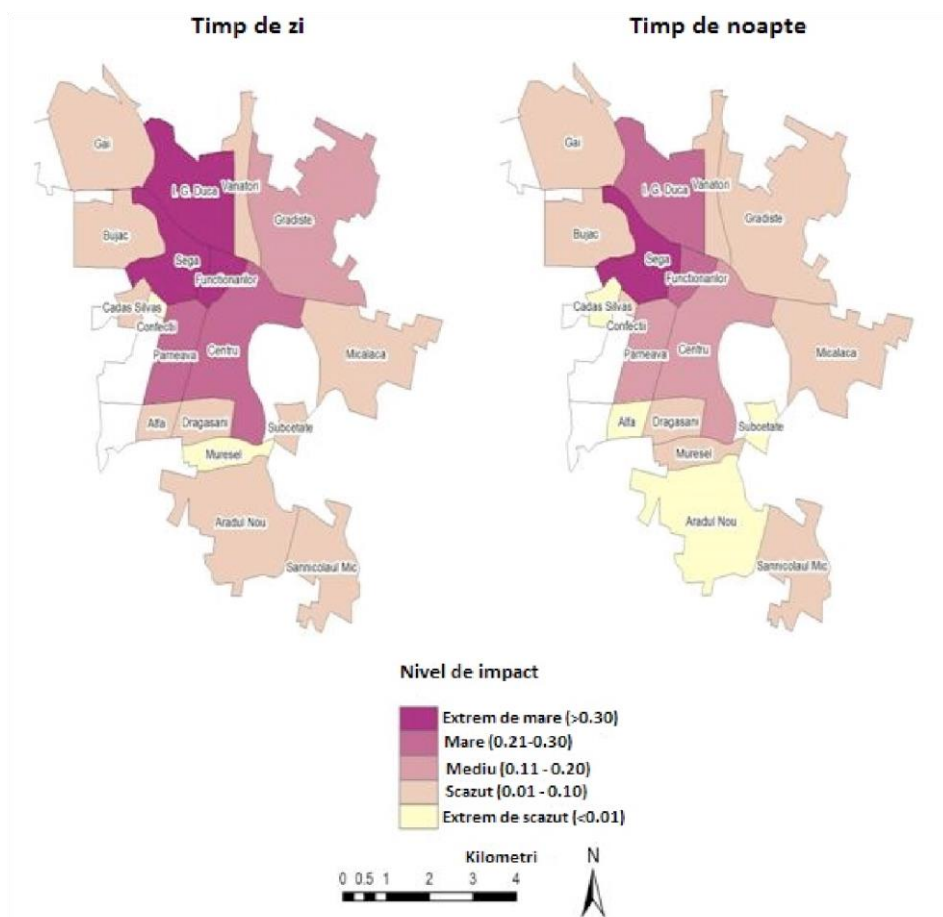


Figura 84. Harta nivelului de impact în cazul riscului la valurile de căldură în zona municipiului Arad. Nivelul de impact a fost definit pe baza numărului de intervenții al serviciilor de urgență survenite în urma impactului temperaturilor (cazuri de lipotimii, acutizări ale bolilor cardio-respiratorii etc.) în anotimpul de vară (iunie-august 2009-2012). Cu mov închis sunt ilustrate zonele în care impactul valurilor de căldură este cel mai mare, iar cu galben, cele în care impactul este cel mai mic. După Bojariu și colab. (2015).

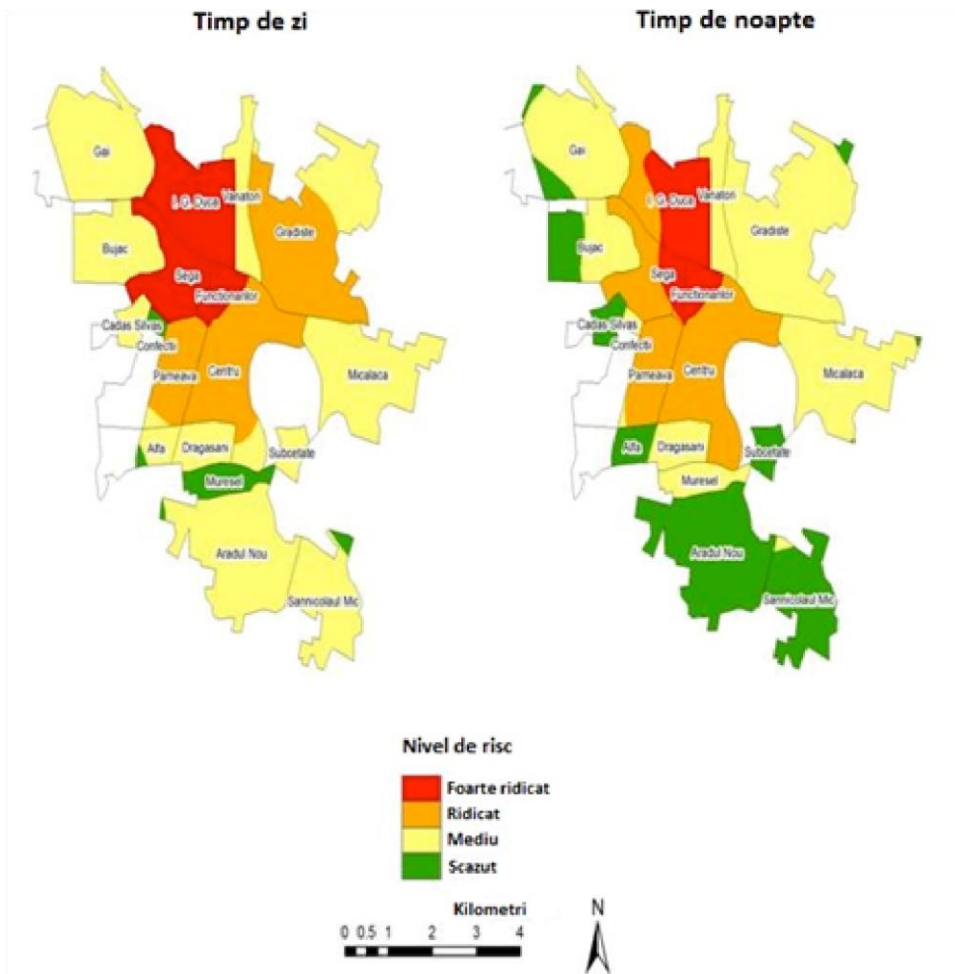


Figura 85. Harta nivelului de risc la valorile de căldură în zona municipiului Arad. Nivelul de risc a fost definit pe baza matricei de risc cu cele două componente (hazard și impact). Cu roșu sunt ilustrate zonele cu cel mai mare risc, iar cu verde cele cu risc cel mai scăzut. După Bojariu și colab. (2015).

6.3.2. Studiu de caz pentru municipiul București

Pe baza metodologiei folosite la evaluarea riscului asociat hazardurilor climatice, dezvoltată în cadrul proiectului SEERISK, în cadrul proiectului URCLIM a fost cartografiat și riscul asociat stresului termic pentru sănătatea publică din municipiul București. Datele privind numărul

de intervenții al echipajelor SMURD pentru zi și noapte, ce pot fi asociate stresului termic, au fost obținute de la Inspectoratul pentru Situații de Urgență al municipiului București și acoperă intervalul de timp iunie-agust 2012-2017.

În acest caz, s-a introdus geocodarea adreselor unde au fost efectuate intervențiile SMURD cauzate de impactul stresului termic, ca element nou față de analiza riscului realizată în cadrul proiectului SEERISK. Prin geocodarea adreselor, transformând adrese în coordonate geografice, apelurile de urgență preluate de SMURD au fost cartografiate în vederea analizei distribuției spațiale, iar rezoluția spațială a hărților de impact și risc a ajuns la 1 Km x 1 Km (rezoluția datelor satelitare folosite) – un progres față de hărțile de impact și risc realizate în SEERISK.

Pentru cartografierea hazardului, ca în cazul municipiului Arad, au fost folosite datele satelitare de temperatură la suprafață (LST). Datele satelitare ale temperaturii suprafețelor au fost extrase din setul MODIS, pentru intervale de zi și de noapte, la rezoluția spațială de 1 Km x 1 Km și au fost mediate, pentru anotimpul de vară, definind astfel insula de căldură a orașului București. Mediile obținute au fost normalizate împărțind toate valorile la valoarea maximă și apoi au fost clasificate în 5 categorii: hazard foarte mare, mare, moderat, mic și foarte mic (figura 86).

Cartografierea impactului s-a făcut însumând numărul de intervenții ale SMURD pentru fiecare pixel cu dimensiunea de 1 km x 1 Km pentru zi și noapte, acoperind intervalul de timp iunie-agust 2012-2017. Sumele rezultate au fost normalizate împărțind toate valorile la valoarea maximă și apoi au fost clasificate în 5 categorii: impact foarte mare, mare, moderat mic, și foarte mic (figura 87).

Hărțile de risc la stresul termic în București, pentru zi și noapte, prezentate în figura 88, au fost obținute prin suprapunerea hărților de hazard (figura 86) și impact (figura 87), folosind matricea de risc din figura 84. În analiza de față, am considerat cazul cel mai simplu, cu aceeași matrice pentru zi și noapte și cu o structură simetrică a matricii de risc.

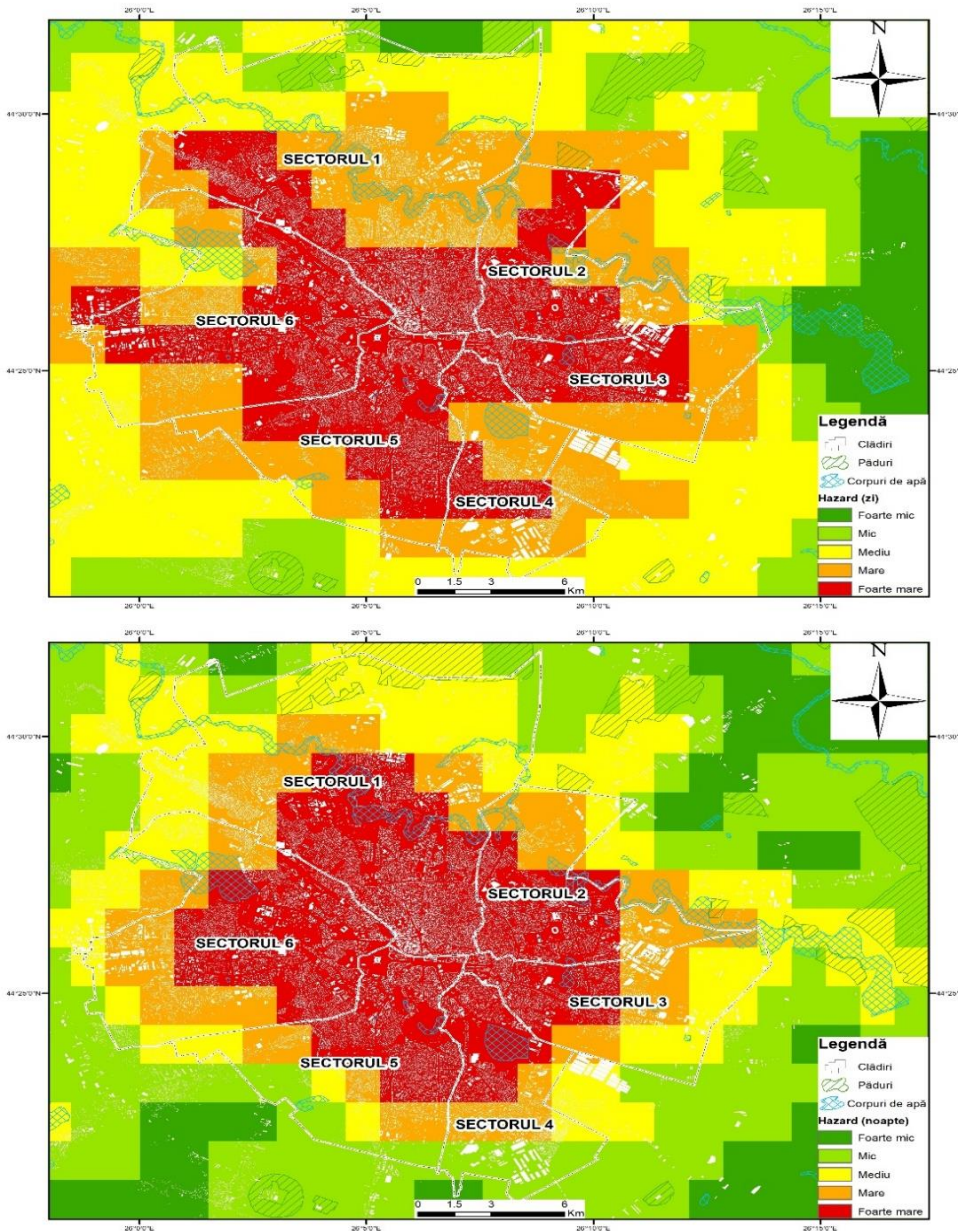


Figura 86. Harta nivelurilor de hazard în cazul riscului de stres termic, în zona municipiului București. Nivelul de hazard natural a fost definit pe baza mediei temperaturii la suprafață pentru anotimpul de vară (iunie-august 2002-2012) din date satelitare (MODIS) pentru zi (sus) și noapte (jos). Cu roșu -hazard foarte mare, portocaliu -hazard mare, galben -hazard mediu, verde-deschis hazard - mic, verde – hazard foarte mic.

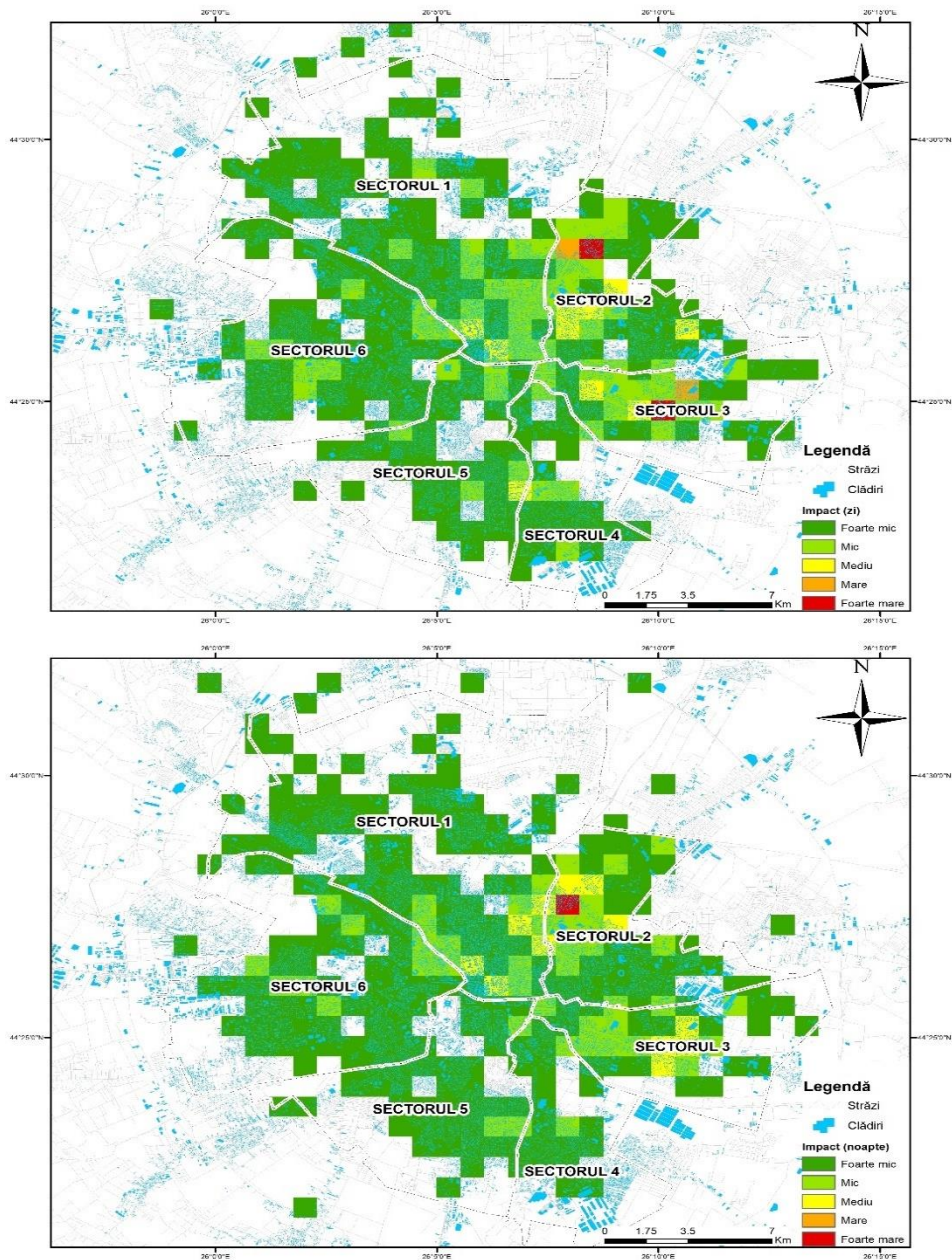


Figura 87. Harta nivelurilor de impact în cazul riscului de stres termic, în zona municipiului București. Nivelul de impact a fost definit pe baza sumei numărului de intervenții SMURD asociate cauzelor de stres termic pentru anotimpul de vară (iunie-august 2002-2012) pentru zi (sus) și noapte (jos). Cu roșu - impact foarte mare, portocaliu - impact mare, galben - impact mediu, verde-deschis - impact mic, verde – impact foarte mic.

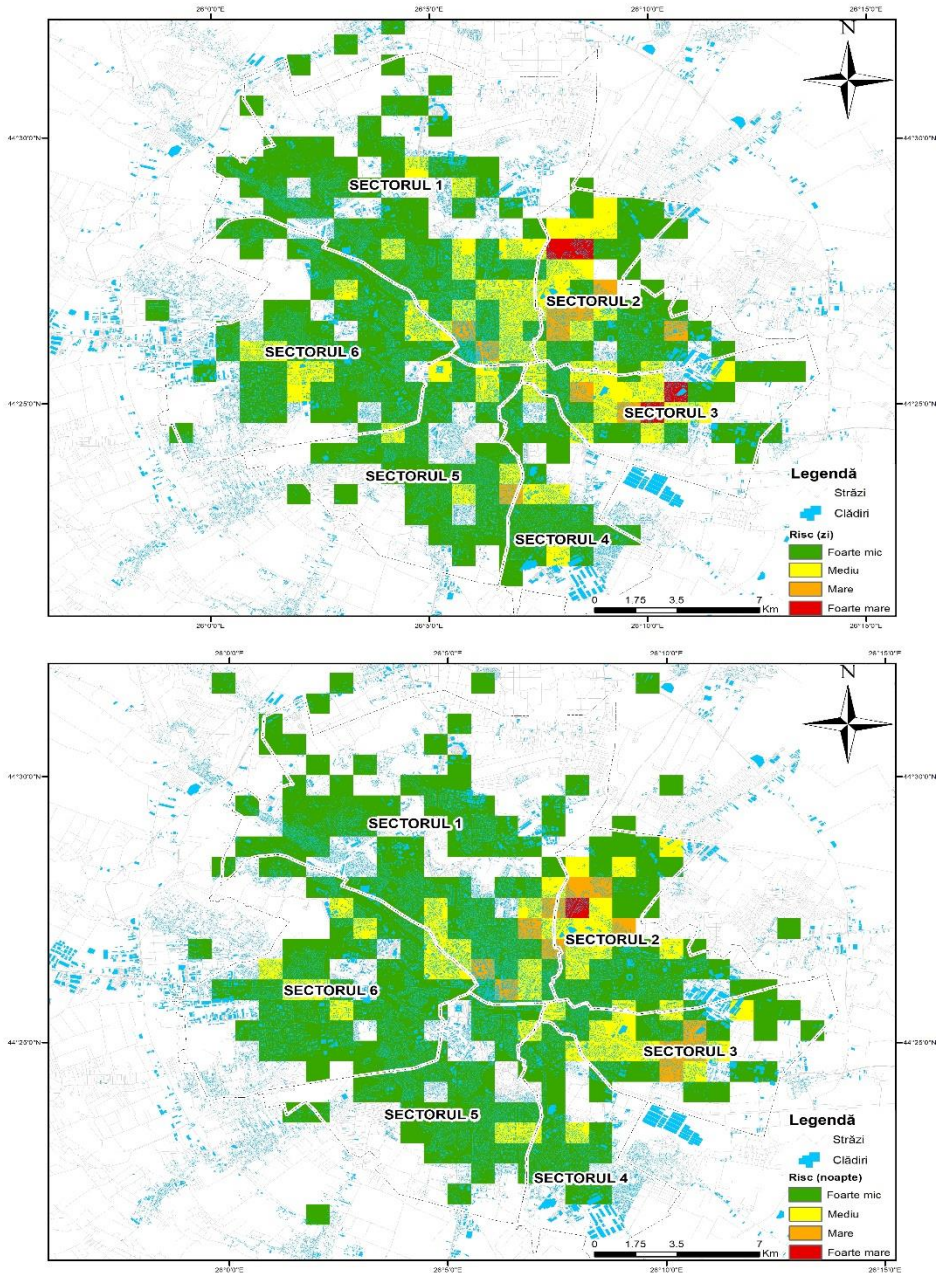


Figura 88. Harta nivelurilor de risc în cazul riscului de stres termic, în zona municipiului București. Nivelul de risc a fost definit pe baza matricii de risc din figura 77, pentru zi (sus) și noapte (jos). Cu roșu - risc foarte mare, portocaliu - risc mare, galben - risc mediu, verde – risc foarte mic.

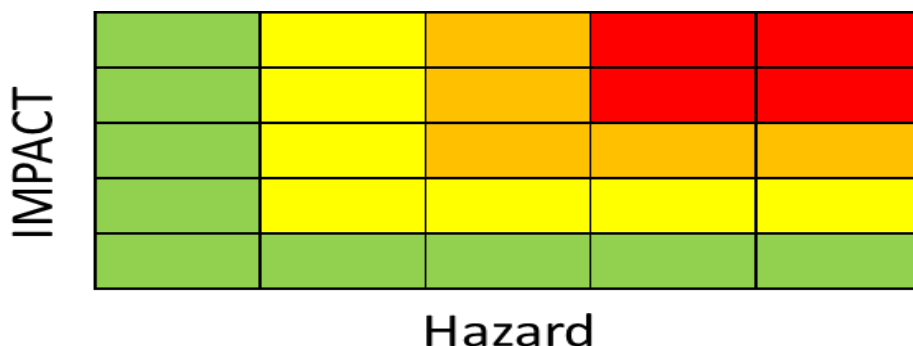


Figura 89. Matricea de risc pentru stresul termic în București, folosită atât pentru zi cât și pentru noapte.

Rezultatele sugerează existența unui risc crescut în jumătatea estică a municipiului, comparativ cu restul orașului. Trebuie menționat că acest set de hărți de risc sunt un prim pas și atât matricea de risc asociată cât și metrica ce descrie impactul pot fi îmbunătățite.

În general, construirea matricii de risc se face ținând cont de ce se consideră a fi, din punct de vedere social și economic, niveluri de risc inacceptabile, acceptabile parțial sau acceptabile total. În acest proces se pot lua ca reper, eventual, evenimente din trecut pentru care există cuantificări îndeajuns de detaliate ale hazardului și impactului. Evident că studiul prezentat aici, privind riscul la stresul termic în București, necesită dezvoltări viitoare, mai ales în direcția construirii unor matrici ale riscului care să reflecte necesitățile socio-economice și niveluri asociate de acceptabilitate a riscurilor, dar și în definirea mai potrivită a indicilor de hazard și impact.

6.4. Riscuri climatice prezente și viitoare

Hărțile de hazard, impact și cele de risc trebuie să intre într-un proces continuu de îmbunătățire atât prin utilizarea unor seturi actualizate de observații (reanalize, date satelitare și de impact) cât și prin trecerea de la abordarea calitativă la cea cantitativă, prin utilizarea în locul matricii de risc a curbelor de risc (Bojariu și colab. 2015).

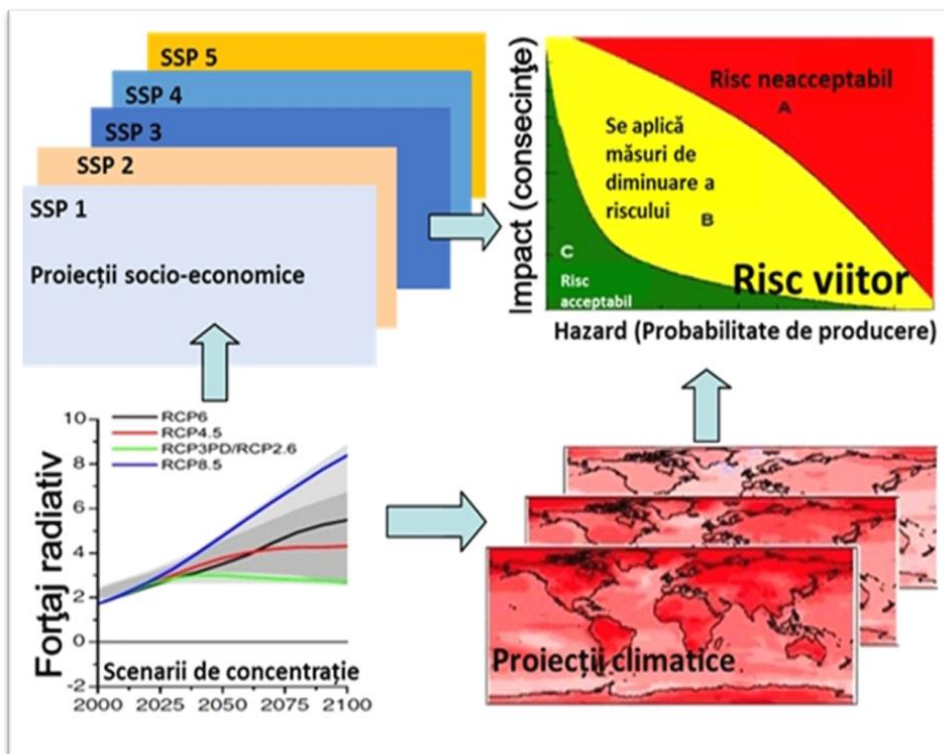


Figura 90. Reprezentarea schematică a procesului de evaluare a riscurilor în condițiile schimbării climatice. Adaptare după Bojariu și colab. (2015).

O abordare multirisic care să țină seama și de impacturi asociate stresului termic, precum degradarea calității aerului și probleme de infrastructură (legate de cerințe crescute de energie, apă, de exemplu), va permite o evaluare mai precisă a riscurilor. Evaluarea riscurilor viitoare în cazul valurilor de căldură în mediul urban, pe baza proiecțiilor climatice și socio-economice este un alt pas necesar pentru fundamentarea atât a planurilor de dezvoltare urbană cât și pentru planificarea mai eficientă a resurselor dedicate pregătirii pentru dezastre și diminuării efectelor lor.

Discuția despre riscurile viitoare trebuie să pornească de la constatarea că ambele componente, atât hazardul cât și impactul, se vor modifica în condițiile schimbării climatice viitoare.

Astfel, evaluările riscurilor folosind date istorice și pe cele ale climei prezente trebuie completate cu evaluări care țin cont de modificările în frecvența și intensitatea hazardurilor de interes, pe de-o parte și de evoluțiile viitoare socio-economice în regiunile analizate. În ambele cazuri, sunt necesare proiecții viitoare: ale probabilității de producere a hazardurilor derivate din modificarea statisticilor variabilelor climatice și ale estimării consecințelor viitoare ale acestor hazarduri într-o societate diferită de cea din prezent, atât economic cât și social (figura 90) (Bojariu și colab. 2015). Răspunsul societății viitoare la impactul diferitelor tipuri de hazard va fi semnificativ diferit față de cel prezent. Evaluarea riscurilor prezente și a celor viitoare cere abordări interdisciplinare și transdisciplinare care să cupleze modelarea climatică și pe cea socio-economică (Bojariu și colab. 2015).

Incertitudinile asociate evaluării riscurilor se cumulează atât dinspre componenta de hazard cât și dinspre cea de impact (ce include expunerea și vulnerabilitatea sistemelor umane la hazard). Există și incertitudini asociate direct riscurilor, ele vizând, de exemplu, situația multiriscurilor și a riscurilor în cascadă.

7. Adaptarea la schimbarea climei

7.1. Ciclul adaptării la variabilitatea și schimbarea climei

Variabilitatea și schimbarea climatică influențează deja ecosistemele și sistemele umane (IPCC WGII AR5 2014; IPCC 2018). Se așteaptă ca în viitor influența climatică asupra frecvenței și intensității hazardurilor naturale (valuri de căldură, secete, incendii de pădure, inundații, etc.) să crească, afectând astfel dinamica și serviciile ecosistemelor, viețile oamenilor și bunurile lor materiale. În acest context, consecințele socio-economice și de mediu ale dezastrelor legate de hazardurile naturale devin din ce în ce mai grave. Schimbarea tiparelor spațiale și temporale ale hazardurilor naturale impune strategii de adaptare și acțiuni adecvate și particularizate. Adaptarea la schimbarea climatică presupune atât anticiparea efectelor negative și luarea de măsuri adecvate pentru a preveni și minimiza daunele pe care acestea le pot provoca, cât și a profita de oportunitățile ce pot apărea (figura 91).

Evaluarea condițiilor climatice și socio-economice prezente și viitoare este primul pas în procesul de adaptare. Această etapă necesită sisteme de monitorizare climatică (rețele meteorologice de suprafață, radare meteorologice, sisteme de radiosondaj pentru atmosferă, dispozitive satelitare, balize oceanice și marine etc.), care să adune sistematic și continuu observații. Observațiile sunt folosite împreună cu rezultatele experimentelor numerice, realizate cu modele climatice globale și regionale, în analiza stării prezente a climei și estimarea celor viitoare, la nivel nu doar global, ci și regional și local. În paralel este nevoie de o dezvoltare a bazelor de date și a modelării socio-economice care să se poată cupla cu informațiile climatice, în etapa următoare – cea a evaluării riscurilor și oportunităților potențiale legate de variabilitatea și schimbarea climei. În continuare, evaluarea trebuie să țină cont nu doar

de fiecare risc în parte și de situațiile de tip multirisc. Discutăm și despre oportunități, atunci când analizăm impactul schimbării climei pentru că eficiența adaptării ține de includerea ei ca parte a dezvoltării socio-economice (Bojariu și colab. 2015).

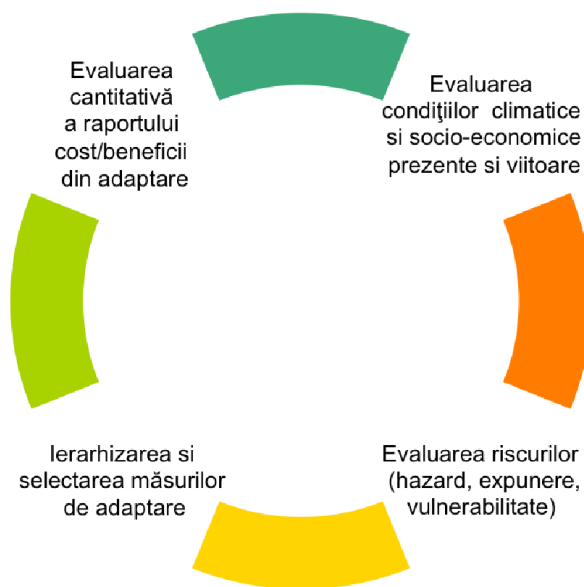


Figura 91. Reprezentarea ciclului adaptării la schimbarea climatică.

În luarea deciziilor, în urma etapei de selecție și ierarhizare a măsurilor de adaptare (figura 91), este necesar ca decidenții să țină cont sau chiar să înglobeze incertitudinile asociate evaluărilor climatice, socio-economice și celor de risc. Aceste incertitudini sunt foarte diverse ca origine. Ele pot fi generate fie de cunoașterea științifică și limitele ei inerente (asociate cu modelarea climatică dar și cu variabilitatea internă a geosistemului complex), fie de incertitudinile legate de deciziile politice, sociale și economice de la un moment dat (de exemplu, rezultate ale negocierilor globale de reducere a emisiilor gazelor cu efect de seră) (Bojariu și colab 2015).

Înglobarea incertitudinilor în procesul de selecție al politicilor de dezvoltare, ca răspuns la riscurile și oportunitățile identificate a fi legate

de schimbarea climei, se poate face folosind fie strategii de tip «top-down» fie de cele de tip «bottom-up» (Tiago și colaboratorii 2014). Abordările de tip «top-down» sunt cele predictive care au ca punct forte estimarea statistică a incertitudinilor și pot descrie rezonabil incertitudinile legate de scenariile folosite, dar nu pot funcționa atunci când cunoașterea nu este suficientă pentru a modela rezonabil procesele analizate. Abordările de tip «top-down» necesită folosirea estimărilor probabiliste și a scenariilor lipsite de surprize de tipul metodelor bayesiene și a analizelor Monte Carlo (Capela Lourenço și colaboratorii 2014). Metodele bayesiene se aplică în doi pași: (1) pe baza cunoașterii existente se identifică și se selectează o distribuție a probabilităților pentru variabila a cărei plajă de incertitudine se analizează; (2) valorile variabilei obținute prin modelare sunt introduse, folosind o teoremă a matematicianului Bayes, pentru a actualiza distribuția inițială, transformând-o în distribuția finală a probabilităților, cea pe baza căreia se determină nivelurile de incertitudine. Analiza Monte Carlo este o metodă statistică pentru determinarea componentei aleatoare și a propagării erorilor la modelarea variabilei analizate (Bojariu și colab. 2015).

Abordările de tip «bottom-up» sunt potrivite pentru situațiile în care cunoașterea este în mare măsură incompletă și pot exista evoluții impredictibile ale variabilelor de interes, la momentul analizei. Astfel de abordări folosesc estimări calitative ale incertitudinilor. A face predicții și a controla procesele e un mod potrivit în gestionarea unui anumit tip de riscuri și oportunități, în timp ce abordările bazate pe capacitatea empirică de a face față situațiilor nepredictibile funcționează în cazul altora. În acest ultim caz, măsurile care au la bază principiul precauției pot fi mai potrivite, atunci când cunoașterea este în mare parte incompletă, dar impactul posibil și incertitudinile asociate sunt mari (Capela Lourenço și colaboratorii 2014).

În procesul decizional, raportul cost/beneficii al aplicării măsurilor adaptive, evaluat în ciclul ilustrat în figura 91, este un criteriu atât în alegerea tipului de abordare al incertitudinilor cât și al tipurilor de politici,

în general. În ce măsură o abordare sau alta poate fi ușor implementată sau cere schimbări importante în funcționarea sectorului/sistemului socio-economic analizat, necesitând cheltuieli greu de susținut, influențează deciziile politice în domeniul adaptării la schimbarea climei (Bojariu și colab. 2015).

Pentru a fi eficient, procesul de adaptare trebuie să fie unul continuu: odată parcurse etapele ilustrate în figura 91, ele se reiau, îmbogățite cu experiența din ciclul precedent. Evaluarea cantitativă a rezultatelor măsurilor de adaptare permite, împreună cu evaluarea condițiilor climatice și socio-economice actualizate, o mai bună convergență a procesului de adaptare astfel încât raportul cost / beneficii să tindă spre unul optim și dezvoltarea socio-economică să devină durabilă (Bojariu și colab. 2015).

7.2. Adaptarea climatică în Europa

Informații detaliate privind adaptarea la schimbarea climatică în Europa, la nivel național și regional, sunt prezentate pe platforma Climate-ADAPT (climate-adapt.eea.europa.eu/) dezvoltată de Agenția Europeană de Mediu.

Capela Lourenço și colaboratorii (2014) remarcă faptul că majoritatea statelor din Uniunea Europeană folosește, pe plan național, proiecții ale schimbării climei luând în considerare scenarii diferite de emisii ale gazelor cu efect de seră, mai multe modele climatice globale și o diversitate de proceduri de proiecții la scară locală ale acestora (atât dinamice, folosind modele climatice regionale, cât și statistice) (Bojariu și colab. 2015). Folosirea proiecțiilor climatice pentru procesul de adaptare a fost favorizat de existența proiectelor europene PRUDENCE (2001-2004), ENSEMBLES (2006-2009) și, mai recent EURO-CORDEX.

În ultimii ani, în cadrul Strategiei de adaptare din 2013, UE a luat deja măsuri pentru a-și spori reziliența climatică. Toate statele membre au acum o strategie sau un plan național de adaptare; adaptarea a fost integrată în politicile și bugetul pe termen lung al UE; iar platforma Climate-ADAPT a devenit o referință esențială pentru cunoașterea

științifică privind adaptarea. Comisia globală pentru adaptare a recunoscut UE ca un pionier în integrarea cunoașterii privind riscul climatic în procesul decizional (Global Commission on Adaptation 2019).

O nouă strategie a Uniunii Europene pentru adaptare a fost prezentată public în februarie 2021 (https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/adaptation/what/docs/eu_strategy_2021.pdf). Această nouă strategie se bazează pe evaluarea rezultatelor ciclului de adaptare început în 2013, dar se extinde pentru a acoperi noi domenii și priorități. Strategia își propune să construiască o societate rezilientă rezistentă la schimbări climatice, îmbunătățind cunoștințele despre impactul climatic și soluțiile de adaptare, intensificând planificarea adaptării și a evaluărilor riscurilor climatice, accelerând acțiuni de adaptare și contribuind la nivel global la consolidarea rezilienței la schimbarea climatică. Având în vedere natura sistemică a politicii de adaptare, eforturile de adaptare sunt integrate cu alte inițiative europene ce țin de Pactul verde (https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en), cum ar fi: Strategia pentru biodiversitate, Strategia pentru renovarea clădirilor, Strategia de la fermă la furculiță, Economia circulară, Planurile de acțiune pentru poluare zero, Strategia forestieră, Strategia solurilor sănătoase, Strategie de mobilitate inteligentă și durabilă și Strategie de finanțare durabilă reînnoită.

Noua strategie pentru adaptare urmărește trei obiective principale și propune o serie de acțiuni pentru a le îndeplini. Primul obiectiv se referă la adaptarea inteligentă prin îmbunătățirea cunoștințelor și gestionarea incertitudinilor asociate, îmbunătățirea bazelor de date privind pierderile provocate de hazarduri climatice și consolidarea și extinderea Climate-ADAPT ca platformă europeană pentru cunoașterea științifică privind adaptarea. Al doilea obiectiv al noii strategii vizează adaptare sistemică cu sprijinirea dezvoltării politicilor la toate nivelurile și toate sectoarele relevante. În acest context, au fost identificate trei priorități de integrare a adaptării în: politica macro-fiscală, soluțiile inspirate de natură și acțiuni locale de adaptare. Al treilea obiectiv al strategiei Uniunii Europene se

referă la rapiditatea adaptării, recunoscând importanța accelerării procesului la nivel general. În plus, față de strategia de adaptare precedentă, în cadrul noii strategii sunt integrate și acțiunile climatice la nivel internațional pentru reziliența climatică.

Pe de altă parte, există, la nivel european, o problemă legată de evaluarea impactului și vulnerabilității la variabilitatea și schimbarea climei, astfel încât procesul de adaptare, care necesită cuplarea acestei evaluări cu cea din proiecțiile climatice are de suferit. În procesul de adaptare, schimbările în factorii neclimatici - sociali, economici și de mediu – devin la fel de importante, pe termen lung, ca și proiecțiile climatice viitoare. Unele schimbări de acest fel pot fi deja considerate a fi certe, cum e cazul creșterii segmentului de populație cu vârste înaintate, în toată Europa, în timp ce altele sunt mult mai greu de estimat (de exemplu, schimbările tehnologice în folosirea energiilor regenerabile, încheierea unor înțelegeri eficiente, la nivel global, privind emisiile de gaze cu efect de seră. Scenarii pentru evoluțiile viitoare ale unor astfel de factori neclimatici, deși foarte necesare, sunt încă puține, la nivel european. Doar Finlanda, Olanda și Marea Britanie au elaborat scenarii cantitative pentru evoluțiile viitoare ale factorilor neclimatici, importanți pentru planificarea adaptării (Capela Lourenço și colaboratorii 2014).

În cazul României, există elemente necesare planificării adaptării: proiecții climatice bazate atât pe generația de modele climatice globale CMIP 3 și scenariile SRES asociate, cât și cele realizate cu generațiile mai recente de modele climatice globale CMIP 5 și CMIP 6, folosind scenariile de tip RCP și SSP (§ 2.4, § 2.5 și § 3). În schimb, construirea și folosirea de scenarii cantitative de evoluție a factorilor neclimatici, la nivelul României, pe termen mediu și lung care să fie, mai departe, cuplate cu scenariile climatice, pentru evaluarea impacturilor și riscurilor specific viitoare necesită încă studii extensive și aprofundate. Un prim pas important în această direcție a fost proiectul «Operaționalizarea strategiei naționale privind schimbările climatice și dezvoltarea componentei climatice a Programelor Operaționale 2014-2020 – OPERA-CLIMA». Acest proiect a

fost derulat de Banca Mondială și Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor și a avut o componentă de dezvoltare a capacității analitice și a bazei de cunoștințe pentru construirea unei economii competitive, decuplată de carbon și adaptată la schimbarea climatică prin dezvoltarea unor modele microeconomice și macroeconomice de impact pentru politici climatice. Aceste modele funcționează pentru orizonturile de timp 2020, 2030 și 2050 (www.worldbank.org/ro/country/romania/brief/romania-climate-change-and-low-carbon-green-growth-program). De asemenea, dincolo de nivelul național, care are rol de armonizare și structurare coerentă a adaptării, în România e nevoie de un efort pe scară largă pentru elaborarea, operaționalizarea și punerea în practică a măsurilor de adaptare la nivel local.

7.3. Soluțiile inteligente climatic

Viziunea pe termen lung proiectează pentru 2050 o societate europeană rezilientă la schimbarea climatică și pe deplin adaptată la efectele inevitabile ale schimbării climatice. Aceasta înseamnă că, până în 2050, când Uniunea Europeană își propune să ajungă la neutralitatea climatică, vom avea o capacitate de adaptare consolidată și o vulnerabilitate minimă la impactul climei, în conformitate cu Acordul de la Paris și cu legea europeană climatică (EU REGULATION 2021). Adaptarea la schimbarea climatică și atenuarea efectelor acesteia (prin reducerea emisiilor GES) presupun acțiuni climatic inteligente, definite ca fiind cele ce aduc simultan beneficii pentru adaptare, atenuare, mediu (prin păstrarea/refacerea biodiversității) și economie (figura 92).

O mai bună înțelegere a riscurilor legate de climă poate deschide o gamă mai largă de răspunsuri și soluții adaptive. Consolidarea capacităților instituționale și educația sunt măsuri importante pentru atenuarea și adaptarea la schimbările climatice. Dar chiar cu îmbunătățirea cunoștințelor, incertitudinea va rămâne inerentă în timpul proceselor decizionale privind adaptare și atenuarea și ar trebui luată în considerare atât de furnizorii de cunoștințe științifice, cât și de factorii de decizie.

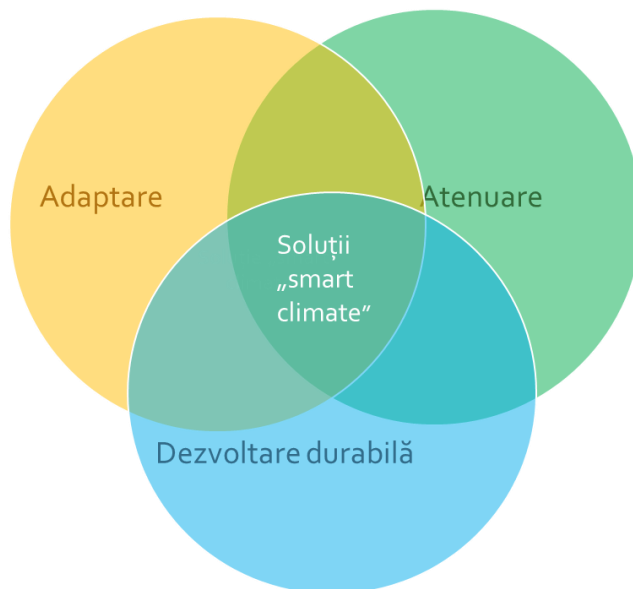


Figura 92. Reprezentarea schematică a procesului de identificare a soluțiilor “climatic inteligente”.

7.4. Serviciile climatice pentru dezvoltare durabilă

Pentru a facilita evaluarea și dezvoltarea strategiilor de adaptare, serviciile climatice sunt cele care transferă eficient către cetățeni și societate cunoașterea climatică disponibilă la un moment dat. Un serviciu climatic este furnizor de informații climatice pentru a ajuta la luarea deciziilor sociale, economice și politice. Serviciul climatic trebuie să răspundă nevoilor utilizatorilor de informații climatice pe baza expertizei științifice și este cogenerat printr-un dialog continuu între utilizatori și furnizori.

Serviciile climatice pot asigura cea mai bună cunoaștere climatică disponibilă la un moment dat pentru a dezvolta și evalua strategii de adaptare în sectoare ca gestionarea resurselor de apă, generarea de energie, agricultura, sănătatea publică, transportul, turismul. Cetățeanul poate și trebuie și el să fie beneficiar al serviciilor climatice.

Serviciile climatice au apărut ca domeniu de cercetare, dar și ca activitate operațională relativ recent, în ultimii. Dezvoltarea lor a fost facilitată și susținută prin eforturi internaționale, cum ar fi Cadrul global pentru servicii climatice (Global Framework for Climate Services – GFCS), sub umbrela Organizației Mondiale a Meteorologiei (OMM) (WMO 2017). La nivel European, dezvoltarea serviciilor climatice a fost impulsionată prin Foia de parcurs pentru serviciile climatice (Roadmap for Climate Services) (EC 2015, Street 2016) și programul Serviciul Copernicus pentru schimbarea climatică (Copernicus Climate Change Service) (Bruno Soares și Buontempo 2019). Ritmul rapid în care se dezvoltă acest domeniu ridică o serie de provocări cheie care trebuie examinate și abordate critic pentru a asigura dezvoltarea viitoare și durabilitatea serviciilor climatice în Europa. Bruno Soares și Buontempo (2019) identifică mai multe provocări legate de dezvoltarea și operaționalizarea serviciilor climatice: complexitatea conceptului; peisajul complex al domeniilor complementare de cercetare și dezvoltare relevante; drepturile existente de acces liber și utilizare a serviciilor climatice; limitările structurilor și mecanismelor de finanțare; accentul pe coproducție ca o condiție prealabilă pentru dezvoltarea serviciilor climatice; rolul încă limitat al științelor sociale în cercetare și domeniul operațional al serviciilor climatice.

Cunoașterea științifică care stă la baza Acordului verde european a arătat care sunt impacturile schimbării climatice și necesitățile de adaptare la aceasta, precum și posibilele căi de decarbonizare a economiei, astfel încât să ajungem la emisii nete zero. Cu toate acestea, provocările legate de atenuare și adaptarea vor fi depășite, în cele din urmă, prin acțiunile concrete ale administrației centrale și locale, mediului de afaceri, investitorilor și cetățenilor. Prin urmare, toți aceștia trebuie să participe, împreună cu cercetătorii, la gasirea de soluții de tipul serviciilor climatice care să corespundă provocărilor specifice.

În cadrul proiectului IMDROFLOOD, echipa Administrației Naționale de Meteorologie a realizat un serviciu climatic sub forma geoportalului IMDROFLOOD (<http://imdroflood.meteoromania.ro/geoportal/>). Geoportalul a fost special construit ca un prototip dedicat gestionării și comunicării indicatorilor hidroclimatici pentru a contribui la îmbunătățirea

avertizărilor timpurii și a estimărilor prognostice, astfel încât să ajute la atenirea efectelor secetelor și inundațiilor, la nivel de bazin hidrografic. Baza de date de tip Sistem Informațional Geografic (SIG) a geoportalului este conformă cu specificațiile directivei INSPIRE. Accesul utilizatorilor la resursele geospațiale oferite de geoportalul IMDROFLOOD se realizează prin intermediul unei aplicații client ce rulează în navigatorul web. Prin intermediul acestei aplicații, utilizatorii trimit cereri către serviciul de webmapping și tot aici se vizualizează rezultatele. Geoportalul are înglobate funcții ce vizează actualizarea câmpului de temperaturi și precipitații zilnice, pentru bazinul Prutului (cu rezoluția de 1 km x 1km), folosind datele de la stațiile meteorologice și datele radar din regiunea românească a bazinului Prut, date obținute în flux operativ, prin convenții bilaterale, cu Ucraina și Republica Moldova și produse de tip Digital Elevation Model - DEM). De asemenea, geoportalul are funcții ce vizează exportul de date de către utilizator sub formă numerică, nu doar vizualizarea lor (inclusiv a indicilor satelitari relevanți pentru impactul secetei asupra vegetației) în diverse formate (KML, Geo Tiff și netCDF). De asemenea, cercetătorii de la Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor (INHGA), colaboratori în proiectul IMDRFLOOD, au realizat, împreună cu echipa de la Administrația Națională de Meteorologie, procedura operativă ce poate afișa pe geoportalul IMDROFLOOD prognoza hidrologică probabilistă de media-durată, la secțiunea Rădăuți-Prut (în amonte de Stânca Costești). Această procedură folosește ca date de intrare câmpurile meteorologice de la 51 membri ai ansamblui prognostic de la Centrul European pentru Prognoză de Medie Durată (ECMWF).

Un alt exemplu de serviciu climatic dezvoltat la Administrația Națională de Meteorologie este geoportalul dedicat furnizării de informații de vreme și climatice pentru turism (<http://wectou.meteoromania.ro/>), realizat în cadrul programului Copernicus Climate Change Service (C3S). WeCTOU oferă gratuit informații climatice și de mediu adaptate turismului pentru 160 de localități din România. Informațiile disponibile pe WeCTOU la scară climatică sunt derivate din seturi de date de reanaliză regionale și globale produse de ECMWF și disponibile prin Climate Data Store

(<https://cds.climate.copernicus.eu/>). Datele din categoria observații recente provin de la produsele satelitare ce folosesc observații din ultimele 1-10 zile. Datele satelitare sunt disponibile prin Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) (<https://land.copernicus.eu/>) și Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) (<https://marine.copernicus.eu/>). Datele prognozate cu interval de anticipație de o zi sunt disponibile de la Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) (<https://atmosphere.copernicus.eu/>) și sunt produse ce utilizează modele numerice la scară regională sau globală.

8. Concluzii

Conform estimărilor realizate pe baza rezultatelor mai multor experimente numerice, prezentate în Raportul al V-lea al Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC 2013), temperatura medie globală va crește până la sfârșitul secolului XXI, față de perioada 1850-1900, probabil, cu peste 1,5°C în toate scenariile RCP de concentrații atmosferice ale gazelor cu efect de seră (§ 2.5; figura 28), cu excepția scenariului RCP 2.6. În cazul scenariilor RCP 6.0 și RCP 8.5 probabil că această creștere va depăși 2°C (IPCC 2013). Cantitatea de precipitații și configurațiile sale, la nivel global, se așteaptă să se modifice până la sfârșitul acestui secol, cu mari diferențieri regionale care vor accentua contrastele între regiunile umede și aride. Schimbările observate deja în criosferă vor continua și se vor amplifica în viitoarele decenii. Proiecțiile privind nivelul oceanului planetar sugerează creșteri depinzând de scenariul climatic (§ 2.5), cuprinse între 0,2 m și 0,55 m pentru RCP 2.6, între 0,32 m și 0,63 m pentru RCP 4.5, între 0,33 m și 0,63 m pentru RCP 6.0 și între 0,45 m și 0,82 m pentru RCP 8.5, experții neexcluzând însă valori care să depășească aceste estimări (datorită incertitudinilor legate de mecanismele ce afectează învelișurile de gheață ale Groenlandei și Antarcticii) (IPCC 2013).

Rezultatele modelelor numerice, prezentate în același Raport al IPCC (2013), sugerează și o altă posibilă consecință a schimbării globale: intensificarea ciclului hidrologic. Această intensificare poate determina creșterea intensității și / sau a frecvenței unor evenimente extreme (secete, inundații, cicloni de la latitudinile medii, furtuni tropicale) în multe din regiunile globului. Alte fenomene extreme, precum valurile de căldură se vor produce cu frecvență sporită, vor fi mai persistente și mai intense pe continente (IPCC 2013).

Semnalul global al schimbării climei se proiectează la scări regionale și locale foarte diferit. Din punct de vedere socio-economic, sunt importante tocmai aceste proiecții climatice regionale ale schimbării climei (§ 2.4, figura 27). Încălzirea globală nu e uniformă în spațiu și timp

pentru că factorii locali și variabilitatea naturală nuanțează semnalul global. În cazul României, problema regionalizării semnalului global al schimbării climei este cu atât mai complexă cu cât factorii locali sunt mai diverși. Prezența arcului carpatic, vecinătatea Mării Negre, diversitatea foarte mare a tipurilor de soluri, toate aceste caracteristici locale și încă multe altele modulează răspunsul climatic la încălzirea globală (Bojariu și colab. 2015).

Pentru viitorul apropiat (2021-2050), la nivelul României, rezultatele modelelor climatice analizate indică o creștere medie a temperaturii lunare în cea mai caldă luna a anului cu peste 3 ° C (§ 3.1.1). Diferențele legate de scenariu sunt relativ mici în primele decenii ale secolului XXI. Diferențe climatice mari sunt așteptate de la mijlocul secolului XXI către sfârșitul său. Pentru scenariul pesimist (SSP5 RCP 8.5), creșterea medie lunară a temperaturii pentru România poate atinge aproape 7 ° C în lunile de vară, iar reducerea medie a cantității lunare de precipitații ajunge până la 30 %, în intervalul 2061-2090, comparativ cu intervalul 1961-1990 (§ 3.1.2). Spre sfârșitul secolului XXI (2071-2100), în sezonul rece, există un semnal de creștere a cantității de precipitații în regiunile din vestul, nordul și centrul României, în timp ce în sud-estul țării fluctuațiile sunt mici, comparativ cu intervalul de referință 1971-2000. La nivelul României, această creștere medie lunară poate ajunge la valori de peste 20%.

Iarna, se anticipează că va avea loc o scădere a grosimii stratului de zăpadă (§ 3.1.4), o modificare a raportului dintre precipitațiile solide și lichide, și o creștere a debitelor râurilor. Reducerea stratului de zăpadă, primăvara, ar putea favoriza incendiile forestiere în vara ce urmează. În același timp, debitele minime de vară vor avea o tendință de reducere. În concluzie, pe măsură ce în bazinele hidrografice devin dominante precipitațiile lichide, se estimează că debitele de apă vor crește iarna și vor scădea în primăvară și vară. Modificările ciclului anual al debitelor râurilor va avea impact asupra agriculturii și generării de energie electrică prin hidrocentrale. Schimbarea climatică reduce resursa de apă de pe teritoriul României, mai ales în regiuni din sud și sud-est și est (§ 4.2 și § 5.3). Bazinul

Argeşului, cel ce alimentează cu apă capitala ţării, va suporta tendinţe accelerate de aridizare, spre sfârşitul acestui secol, în condiţiile scenariului cel mai pesimist al schimbării climatice (§ 4.2, tabelul 10).

Frecvenţa valurilor de căldură a crescut şi va continua să crească în deceniile următoare – pentru cele definite de valori absolute ale temperaturii, mai pronunţat în regiunile sud-estice, sudice şi vestice ce înconjoară lanţul carpatic (§ 3.4). Aglomerările urbane vor resimţi şi mai puternic stresul termic crescut, datorită efectului de insulă urbană de căldură (§ 3.1.5; § 4.1.1; § 4.3; § 5.2; § 6.3). Pe de altă parte, rezultatele experimentelor numerice ne sugerează că episoade cu cantităţi mari de precipitaţii vor fi din ce în ce mai frecvente mai ales în zonele de munte (§ 3.1.5). În contextul deforestării accelerate, această creştere a frecvenţei episoadelor cu o cantitate mare de precipitaţii ar putea provoca o incidenţă crescută a inundaţiilor rapide (§ 4.2; § 5.3.). Acestea sunt doar câteva exemple ale fenomenelor meteorologice ce e posibil să se transforme în hazarduri cărora societatea va trebui să le facă faţă. Precizările cantitative în legătură cu schimbările în frecvenţa şi intensitatea unor tipuri de fenomene extreme ce se pot transforma în hazarduri, în condiţiile schimbării climatice, trebuie luate în considerare ţinând cont de incertitudinile ce însoţesc proiecţiile viitoare ce folosesc modelarea climatică.

Mai departe, impacturile acestor hazarduri asupra sistemelor umane trebuie şi ele evaluate şi modelate. Analiza impactul creşterii temperaturii în România asupra sănătăţii publice sugerează că, în viitor, mortalitatea cauzată de temperaturile scăzute se va reduce odată cu creşterea temperaturilor şi în sezonul rece (§ 5.2). În acelaşi timp, o creştere accentuată a mortalităţii cauzate de temperaturile ridicate este estimată în condiţiile scenariilor cu emisii ridicate, când mortalitatea legată de temperaturile ridicate ar putea depăşi mortalitatea legată de temperaturile scăzute, în marile aglomerări urbane (§ 5.2). În prezent, mortalitatea asociată cu temperaturile scăzute este preponderentă în România, ca în multe din regiunile cu climă temperat continental (§ 5.2).

Alte impacturi analizate, relevante pentru România, sunt cele legate de efectele schimbării climei asupra rezervelor de apă și agriculturii. Tendința de reducere a rezervelor de apă, vara, mai ales în bazinele râurilor din sudul și estul României (§ 4.1.2; § 4.2; § 5.3) din cauza creșterii evapotranspirației, tendinței de reducere a cantității de precipitații (§ 3.1.2; § 5.3), coroborate cu schimbările în ciclul sezonier al debitelor râurilor, reducerea grosimii stratului de zăpadă din sezonul rece (§ 3.1.4; § 5.3) și schimbarea raportului între precipitațiile solide și cele lichide, iarna ar putea intensifica concurența între diferiți utilizatori de apă, cum ar fi cei din generarea de energie electrică, agricultură, industrie, turism și utilizatorii casnici. Cuantificarea tuturor acestor impacturi vine cu incertitudini asociate ce contribuie și ele, pe lângă incertitudinile asociate cuantificării hazardurilor, la incertitudinile asociate evaluării riscurilor climatice. În lucrarea de față au fost analizate doar riscuri prezente – mai precis, cele legate de stresul termic, cu impact asupra sănătății publice, vara, în marile aglomerări urbane (§ 6.3.1 și § 6.3.2). Riscurile viitoare și riscurile climatice în cascadă sunt teme de maxim interes pentru România.

Studii de regionalizare a semnalului încălzirii globale pentru teritoriul României și a riscurilor climatice asociate se află în desfășurare; este însă necesară o extindere și o aprofundare a lor, astfel încât să furnizeze un cadru teoretic coerent privitor la schimbările climatice cu impact direct asupra dezvoltării regionale durabile în România (Bojariu și colab. 2015).

Societatea are trei abordări diferite de răspuns la schimbările climatice: de atenuare, de adaptare și de acceptare a daunelor climatice inevitabile. Cea mai bună soluție pare a fi o combinație a acestor abordări. Pentru elaborarea politicilor privind schimbările climatice este necesar să se prezinte informații cu privire la: (1) ce acțiuni de atenuare ar putea fi necesare pentru a produce un rezultat climatic; (2) care va fi potențialul de adaptare; (3) ce impact inevitabil s-ar putea să apară pentru o serie de proiecții ale schimbărilor climatice. Procesul de elaborare a politicilor necesită realizarea unui compromis între costurile relative, beneficiile,

riscurile și efectele secundare neașteptate ale diferitelor niveluri ale schimbărilor climatice (Bojariu și colab. 2015).

În contextul evaluării riscurilor climatice, distincția între necesitățile pe termen lung și scurt pentru a răspunde impactului climei nu este de obicei foarte clară. Variabilitatea climatică este importantă pentru intervalele scurte de timp (de obicei, pe scări intra-anuale și inter-anuale), în timp ce schimbările climatice acționează pe termen lung, dincolo de scara decenală. Politicile elaborate pentru a funcționa pe intervale de timp de mai multe decenii sunt relativ puține, pentru că, pe de-o parte, decidenții evită o repartizare de resurse pentru care nu există efecte în societate pe termen scurt, iar pe de altă parte, există incertitudini asociate proiecțiilor climatice viitoare. Deși tendințele observate în schimbările climatice sunt de așteptat să continue, există incertitudini semnificative cu privire la rata exactă a schimbării și impactul său concret. De exemplu, există incertitudini asociate cu folosirea diferitelor modele, scenarii și metode de proiectare la scară mai fină, precum și incertitudini legate de diferențele dintre scările temporale, intervalele de proiecție și domeniile de interes unde sunt aplicate (Capela Lourenço și colaboratorii 2014).

România va trebui să se adapteze unei noi ordini climatice, odată cu întreaga lume. Este o provocare, dar și o șansă. În acest punct de inflexiune al istoriei, societatea noastră ar putea să facă saltul care să ne iuțească evoluția, recuperând rămănerile în urmă. Dezvoltarea economică durabilă, condiție a armoniei sociale și a evoluției civilizaționale, este cea bazată pe cunoaștere.

Care este soarta speciei noastre în condițiile noii schimbări climatice? Conform unor studii, schimbările climatice care au afectat Africa acum câteva milioane de ani e posibil să fi influențat evoluția strămoșilor speciei noastre. Cercetătorii au identificat, în sedimentele aflate în lacurile africane din estul continentului, dovezi ale unor episoade foarte ploioase, ce punctează o tendință generală de aridizare a zonei subtropicale africane. Aceste episoade, care au avut loc acum aproximativ 2,6, 1,8 și 1 milion de ani, coincid cu etape cheie în evoluția hominidelor: apariția

Australopitecului, cel mai vechi strămoș direct al speciei umane, apariția lui Homo Erectus și a primei sale migrații în afara Africii și, respectiv, a doua sa migrație importantă. Noua teorie sugerează că alternanța perioadelor secetoase cu cele ploioase a constituit factorul esențial în diferențierea hominidelor, strămoșii speciei noastre fiind nevoiți să se adapteze la condiții foarte diferite, de-a lungul timpului. Rămân încă multe întrebări legate de evoluția speciei umane și legătura sa cu schimbările climatice. Se știe, de exemplu, că acum 71 000 de ani a avut loc o erupție vulcanică foarte puternică, în regiunea Sumatrei. Cantitatea mare de cenușă vulcanică, injectată în păturile înalte ale atmosferei, e posibil să fi determinat apariția unei perioade foarte reci, de aproape 1000 de ani. Se presupune că, în aceste condiții, populația umană s-ar fi putut reduce semnificativ, accelerând, pe de-o parte, diferențierea grupurilor izolate, iar pe de altă parte, favorizând comunicarea și cooperarea umană. Comportamentele sociale de tipul comunicării și cooperării, capabile să asigure supraviețuirea în condițiile grele, în care indivizii izolați nu au multe șanse, constituie avantaje evolutive. Nu de puține ori în istoria modernă, geosistemul, a cărui parte suntem, a fost privit din perspectiva mioapă a ciclurilor politice, pe termen scurt, atunci când n-a fost amendat și luat într-o iluzorie stăpânire, prin ideologie. Privind însă în trecutul speciei noastre, vom intui mai bine căile succesului în viitor: comunicarea și cooperarea sunt mecanisme adaptive care ne pot asigura evoluția și în condițiile unei noi schimbări climatice. Dincolo de aspectele științifice și tehnice, o mutație culturală, pe plan mai larg, este necesară pentru a ne reintegra în mediul din care pare că ne-am smuls atât de spectaculos, în ultimele secole.

Summary

The book aims to serve as a guidance tool for users of climate services and decision makers involved in planning sustainable adaptation to climate change. Also, we hope to provide a source of information on climate change and related risks for general public to raise the awareness on the need to mitigate and adapt to climate impacts. In *Chapter 1* we introduce weather and climate phenomena, describing the components of the climate system and their associated time scales, which shape climate evolution under internal feedbacks and external forcings. Observed climate change is briefly described at global level and for Romanian territory. Significant upward trends in air temperature are present in summer, spring, winter and, to some extent, in autumn (1961-2020) over Romania (§ 1.9.1, figures 15,16, 17 and 18). Increasing trends of some extreme indices (e.g., number of days with maximum temperature larger than 35°C, number of days with minimum temperature larger than 20°C) are coming along the seasonal and annual temperature trends (§ 1.9.1, figures 19 and 20). As for precipitation, the signal is not as clear as in the temperature field. In the period 1961-2020, there are some signs of increasing precipitations in autumn (§ 1.9.1, figure 21). Also, there are some signs of an increase in precipitation intensity, especially for subdaily amounts (Busuioc și colab., 2016). The number of days with rain showers is increasing at the majority of weather stations in the interval 1991-2017 compared with the interval 1961-1990 (§ 1.9.1, figure 22). The same holds for the number of days with precipitation amount larger than 20 mm (except values at some mountain and Danube Delta stations) in the interval 1991-2020 compared with the interval 1961-1990 (§ 1.9.1). Mean snow depths for October to April are generally decreasing (except the values at some mountain stations), during the same interval (§ 1.9.1, figures 23 and 24). However, an intraseasonal behaviour is revealed by the observations: snow depths in October-November have an upward trend (especially for the mountain stations) in contrast with the tendency towards reduction in the December to April months. *Chapter 1* ends with a section on climate predictability.

Chapter 2 introduces climate data and analysis tools such as statistical methods and climate modeling under various climate scenarios (SRES, RCPs and SSPs) which are also briefly described. In *Chapter 3* we present climate projections for Romanian territory under present (historical) and future conditions. We use available CMIP3, CMIP5, CMIP6 and EURO - CORDEX results in order to project the mean evolution in temperature, precipitation, potential evapotranspiration and snow depth. Future projections for some extreme indices have been also analyzed for the Romanian territory. Climate simulations for historical periods have been compared with relevant observations to understand how climate models capture the basic elements of climate over Romania. Generally, global and regional models reproduce the main features of mean climate over Romania, with better results for temperature and temperature-related variables than for precipitation.

The climate change signal is clear in temperature rise over all Romanian territory, spatially modulated by local factors and depending on the scenarios and time horizon (§ 3.1.1, figures 35, 36, 37 and 38). The number of days with heat waves and the number of tropical nights will increase, too, especially over South-Eastern, Southern and Western Romanian regions (§ 3.1.5, figures 56 and 57) resembling the spatial configuration of the present signal (§ 1.9.1, figure 20). In general, future-projected precipitation amounts will decrease (increase) in the warm (cold) season (§ 3.1.2, figures 43, 44, 45 and 46). In the warm season, the future-projected precipitation decreases (§ 3.1.2, figures 43, 44 and 45) and potential evapotranspiration increases (§ 3.1.3, figure 50) are also related to the tendency toward droughty conditions, especially in the Southern and Eastern regions of Romania (§ 4.1.2, figures 62 and 63). Extreme precipitation episodes (daily amount greater than 20 mm) will be slightly more frequent, especially in mountain areas which have the potential to make the associated river basins prone to more flash floods, in the next decades (§ 3.1.5, figure 58). Future-projected seasonal snow depths (October to April) show a strong downward trend all over Romania

with magnitude depending on time horizon, scenario, altitude and other local factors (§ 3.1.4, figures 54 and 55).

In *Chapter 4* we present some trends in extreme weather phenomena which can act as climate hazards, causing damages and even casualties in Romania. Increased trend in the present and future frequency of episodes with extreme precipitation can lead to flash floods and urban floods. Future - projected tendency towards droughty conditions in the warm season, especially in Southern and Eastern regions of Romania as IMDROFLOOD project results show (§ 4.2, table 10) can affect agriculture, hydropower generation, households. Increased trend in the present and future - projected frequency of heatwaves (§ 4.2 figure 67) can have a significant impact on public health, especially in urban environment.

Understanding the basic processes of weather and climate, the associated spatio-temporal scales, and the extreme weather and climate events are of utmost importance. Consequently, one needs to consider all these aspects within the current and future socio-economic context, and to evaluate the associated impact and risks in order to adapt to them and limit their effects. The latter issues are treated in the last part of the book (*Chapters 5–7*), where climatic impact, risks assessment methodologies, and climate change adaptation information are presented.

In *Chapter 5* we firstly show the present socioeconomic context and some considerations about future regional scenarios for socioeconomic development together with local factors which might shape it, such as changes in land use (soil sealing and urbanization). Urban heat island effect is also introduced in this subsection. Changes in demography is another factor discussed in the context of future development of the society. Examples of present and future climate impact in Romania are also introduced in *Chapter 5*. Climate impact on public health is due to many types of climate hazards: heatwaves coupled with pollution affecting mortality and morbidity of vulnerable population in large urban agglomeration; changes in temperature and precipitation averages with effects on ecology of pathogens' vectors (e.g., West Nile) (§ 5.2, figure 75);

flash floods and coastal floods with problems for water quality favouring cholera and leptospirosis; increased growth season causing higher amounts of allergens; climate-related changes in food security and malnutrition.

We discussed in detail the the impact of low and high temperatures on daily mortality in Bucharest (§ 5.2). The daily temperature / daily mortality association is nonlinear, with an almost immediate response and a rapid increase in mortality above an optimal temperature (§ 5.2, figure 73). For temperatures lower than optimal, mortality generally has a slower increase, which accumulates delayed effects that extend over a period of several weeks. The optimal temperature is defined as corresponding to the minimum mortality and is determined by the same nonlinear methodology that statistically models the association of exposure to heat stress / response to excess mortality (Gasparrini and Leone 2014). The analyzes carried out within the URCLIM and EXHAUSTION projects by the team of the National Meteorological Administration showed that, in the case of Bucharest, the elderly population and women with chronic diseases (cardiovascular and respiratory) are the most vulnerable categories to thermal stress (§ 5.2, figure 74). In Romania, a net increase in thermal-related mortality, caused by the sharp increase in mortality associated with high temperatures, is identified under the pessimistic scenario RCP 8.5, by the end of the century.

Another impact of climate change discussed in *Chapter 5* is on water supply/demand and agriculture. The increased evapotranspiration and the downward trend of precipitation amount in summer (§ 3.1.2, figure 45), corroborated with the reduction of snow depths in the cold season (§ 3.1.4, figure 55), the change of liquid/solid precipitation ratio in winter and changes in the seasonal cycle of river flows will favor a tendency towards reduced water supply, especially in warm season in river basins from Southern and Eastern Romania (§ 4.1.2 and § 4.2), where this could intensify competition between different water users, such as those in electricity generation, agriculture, industry, tourism and households. On

the other hand, the impact of climate change could lead to reduced crop productivity in some regions of Europe and increase in others (EEA 2019). Other factors, such as pests and diseases, increase the vulnerability of the agricultural sector to climate impacts in the absence of adaptation measures (IPCC 2014).

The impact of snow depth reduction (§ 3.1.4) on ski-related tourism, in the Romanian Carpathians is illustrated in § 5.3 as changes in number of days with ski conditions and in number of months with adequate conditions for artificial snow production during the ski season (from 1 December to 15 April next year) using the climate scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 and historical simulations for present climate.

Climate risks have been defined as the superposition of probability of hazards' occurrence with the associated impact on human systems. In *Chapter 6* we present a methodology for risk assessment developed in the project SEERISK together with two case studies of mapping present risks on public health due to heat stress, in two urban areas (Arad and Bucharest). In both cases we used number of paramedic interventions during daytime and nighttime as a public health index. For hazard component of risk, we have used land surface temperature (LST) from MODIS satellite products. Hazard, impact and risk maps are illustrated in § 6.3.1 and § 6.3.2. Risk matrices are used to distinguish between acceptable and unacceptable levels of risk. The uncertainties associated with the risk assessment are cumulated from both the hazard and the impact component. There are also uncertainties directly associated with the risks, such as the situation of multi-risks and cascading risks. Assessing current and future risks requires interdisciplinary and transdisciplinary approaches that combine climate and socio-economic modeling.

Chapter 7 presents the policy cycle of adaptation and information on adaptation to climate change in Europe and Romania. The long-term vision projects for 2050 a European society resilient to climate change and fully adapted to the inevitable effects of climate change. This means that by 2050, when the European Union aims to achieve climate neutrality, we will

have a strong capacity to adapt and a minimum vulnerability to climate impact, in accordance with the Paris Agreement and European Climate Law (EU REGULATION 2021). Adapting to climate change and mitigating its effects (by reducing GHG emissions) involve smart climate actions, defined as those that simultaneously bring benefits to adaptation, mitigation, the environment (by preserving / restoring biodiversity) and the economy. A better understanding of climate risks can open up a wider range of responses and adaptive solutions. Institutional capacity building and education are important measures for climate change mitigation and adaptation. But even with the improvement of knowledge, uncertainty will remain inherent during decision-making processes related to adaptation and mitigation and should be taken into account by both providers of scientific knowledge and decision-makers.

Climate services are those that effectively transfer to citizens and society the best climate knowledge available at a given time to facilitate the assessment and development of adaptation and mitigation strategies. The climate services must respond to the needs of climate information users on the basis of scientific expertise and have to be cogenerated through a continuous dialogue between users and providers. Two examples of climate services developed at the National Meteorological Administration are presented (§ 7.4).

The conclusions are presented in *Chapter 8*. The geosystem, which includes us, has been viewed from the short-sighted perspective as an endless source to cover all sorts of human needs, neglecting the environment costs and these have led the humanity into the climate crisis. But looking in the past, we understand better which are the paths to success in the future: communication and cooperation are the best adaptive mechanisms that can ensure our evolution as species under the conditions of a new climate change. Beyond the scientific and technical aspects, a cultural mutation, on a large scale, is necessary to reintegrate ourselves into the environment from which it seems that we have snatched ourselves so spectacularly, in the last couple of centuries.

Glosar de termeni

Adaptabilitate (flexibilitate, reziliență) (Resilience): Capacitatea sistemelor sociale, economice și de mediu, de a face față unor evenimente, tendințe sau perturbări periculoase, răspunzând sau reorganizându-se în moduri care mențin funcția, identitatea și structura lor esențială, păstrându-și în același timp și capacitatea de adaptare, de a învăța și de a se transforma.

Adaptare (adaptation): Procesul de ajustare la clima actuală sau prognozată și la efectele ei. În sistemele umane, adaptarea urmărește să modereze sau să evite efectul nociv, sau să exploateze oportunitățile. În unele sisteme naturale, intervenția umană poate facilita adaptarea la clima așteptată și la efectele ei.

Aerosoli (aerosols): Particule solide sau lichide aflate în suspensie în atmosferă, cu dimensiuni tipice cuprinse între 0,01 μm și 10 μm , și al căror timp de viață în atmosferă este de cel puțin câteva ore. Aerosolii pot fi de origine naturală sau rezultați în urma activității umane (de origine antropică). Aerosolii pot influența clima fie în mod direct, prin absorbția și împrăștierea radiației, fie indirect, acționând ca nuclee de condensare sau modificând proprietățile optice și durata de viață a norilor.

Albedou (albedo): Cantitatea de radiație solară reflectată de o suprafață sau de un obiect, exprimată de obicei în procente. Suprafețele acoperite cu zăpadă au un albedo ridicat (reflectă o mare parte din radiația solară primită); albedoul solului variază de la scăzut la ridicat, în funcție de tipul solului și de tipul de acoperire (nisip, iarbă, asfalt etc.) iar suprafețele acoperite cu vegetație și oceanele au un albedo scăzut. Albedoul planetar al Pământului variază în funcție de nebulozitate, gradul de acoperire cu zăpadă sau gheață, suprafața acoperită cu vegetație și schimbări în acoperirea solului.

Ansamblu (de model) (model ensemble): Grup de simulări numerice paralele folosite în proiecțiile climatice. Variația rezultatelor între membrii

ansamblului permite estimarea incertitudinii. Ansamblurile ce utilizează același model dar cu condiții inițiale diferite caracterizează numai incertitudinea asociată cu variabilitatea internă a sistemului climatic, în timp ce ansamblurile multi-model, incluzând simulări realizate cu modele diferite, conțin și efectele diferențelor dintre modele. Ansamblurile cu parametrii perturbați, în care parametrii modelelor sunt variați într-o manieră sistematică, își propun să producă o estimare mai obiectivă a incertitudinii asociate cu modelarea (climatică) decât este posibil cu ansamblurile multi-model tradiționale.

Asocierea epidemiologică (epidemiological association): Reprezintă relația ce se poate stabili între două categorii distincte: expunere la factori de risc pentru boală și urmările bolii pe de o parte și boala și urmările bolii pe de altă parte. Asocierea între expunere (e.g., condiții de mediu) și răspuns (e.g., deces) se măsoară prin riscul relativ (RR).

Atmosferă (atmosphere): Învelișul gazos al Pământului.

Atmosfera uscată este alcătuită aproape exclusiv din azot (78,1 %) și oxigen (20,9%), alături de alte gaze în proporție mult mai mică (sub 1%), precum argon (0,93%), heliu, gaze active din punct de vedere radiativ precum dioxidul de carbon (0,035%) și ozon. În plus, atmosfera conține și vapori de apă, a căror cantitate și distribuție spațială este variabilă, dar în general vaporii de apă reprezintă 1% din volumul atmosferei. Pe lângă componentele gazoase, în atmosferă sunt prezente și componente lichide (picături de apă, aerosoli) și componente solide (particule de gheață, aerosoli).

Biosferă (biosphere): Componentă a geosistemului ce cuprinde toate ecosistemele și organismele vii din atmosferă, de pe uscat (biosfera terestră) și din oceane (biosfera marină), inclusiv materia organică moartă derivată din acestea.

Circulație termosalină (thermohaline circulation - THC): Circulație oceanică de scară mare, determinată de gradientii de densitate cauzăți de diferențele în temperatură și salinitate. În Atlanticul de Nord, circulația termosalină constă în curgerea către nord a apei calde la suprafață și

curgerea către sud a apei reci, în adâncime, rezultând un transport net de căldură către pol.

Climă (climate): Clima reprezintă media caracteristicilor de vreme sau, definită într-un mod mai riguros, reprezintă descrierea statistică în termeni de valori medii și variabilitate a mărimilor fizice relevante legate de vreme pe o perioadă ce poate varia de la luni la mii sau milioane de ani. Perioada clasică de mediere a acestor variabile este de 30 ani, conform definiției Organizației Mondiale a Meteorologiei. Mărimile fizice relevante se referă cel mai adesea la variabile de suprafață precum temperatură, precipitații și vânt. Într-un sens mai larg, clima reprezintă starea fizică medie a sistemului climatic.

Criosferă (cryosphere): Componentă a sistemului climatic alcătuită din apă în stare solidă (zăpadă, gheață), care se află pe sau sub suprafața Pământului și oceanelor, inclusiv cea din solul permanent înghețat (permafrost).

Deforestare (deforestation): Proces natural sau antropic ce transformă zonele acoperite de păduri în zone cu alt tip de acoperire a suprafeței.

Deșertificare (desertification): Degradarea terenului din zonele cu climat arid, semi-arid și uscat ca rezultat al unor factori diverși, incluzând variații climatice și activități umane. În cadrul Convenției Națiunilor Unite pentru Combaterea Deșertificării, degradarea terenului se definește ca pierderea sau reducerea, în zonele cu climat arid, semi-arid și uscat, a productivității biologice sau economice și a complexității recoltelor irigate sau neirigate, a pășunilor și zonelor împădurite, ca rezultat al exploatării terenului sau ca urmare a unui proces sau combinații de procese incluzând cele generate de activități umane, precum: eroziunea solului cauzată de vânt sau/și apă; (ii) deteriorarea proprietăților fizice, chimice și biologice sau economice ale solului și (iii) pierderea pe termen lung a vegetației.

Dezvoltare durabilă (sustainable development): Dezvoltare ce răspunde necesităților prezente, fără a compromite capacitatea și oportunitățile generațiilor viitoare de a răspunde propriilor necesități.

Ecosistem (ecosystem): Sistemul interactiv format din toate organismele vii și mediul lor abiotic (fizic și chimic) dintr-o anumită zonă. Ecosistemele acoperă o întreagă ierarhie de scări spațiale, de la scara globală la biomi continentali sau sisteme de scară mai mică, bine definite în spațiu, precum un mic iaz.

El Niño-Oscilația Sudică (ENSO – El Niño Southern Oscillation): Manifestare a cuplajului ocean-atmosferă în zona ecuatorială a Oceanului Pacific. Termenul El Niño a fost utilizat inițial pentru a descrie un curent oceanic cald ce apare periodic de-a lungul coastelor statelor Ecuador și Peru, cu impact negativ asupra activității de pescuit locale. De atunci a fost folosit pentru a desemna încălzirea întregului bazin al Oceanului Pacific în zona tropicală. Acest eveniment oceanic este asociat cu o fluctuație la scară globală a presiunii la suprafață în zona tropicală și subtropicală denumită Oscilația Sudică. Acest fenomen de cuplaj atmosferă-ocean, cu scări de timp de la 2 la 7 ani, este cunoscut sub numele de El Niño – Oscilația Sudică. Este adesea măsurat prin diferența între anomaliile presiunii la suprafață în insulele Darwin și Tahiti și temperatura apei mării în regiunile centrală și estică ale Oceanului Pacific. În timpul unui eveniment ENSO, alizeul scade ca intensitate, ducând la alterarea curenților oceanici astfel încât temperatura apei mării crește, ceea ce amplifică scăderea în intensitate a alizeului. Acest fenomen are un impact important asupra caracteristicilor vântului, temperaturii apei mării și precipitațiilor din zona tropicală a Pacificului și are efecte climatice în întreaga regiune a Pacificului precum și în alte părți ale lumii. Faza rece a ENSO se numește La Niña.

Evaporație (evaporation): Procesul de tranziție de la starea lichidă la starea gazoasă (evaporare).

Evapotranspirație (evapotranspiration): Procesul combinat de evaporare al apei de la suprafața Pământului și de transpirație al vegetației.

Excesul de mortalitate (excess mortality): O creștere neobișnuită a mortalității într-o anumită perioadă, într-o anumită populație. Indicatorul de mortalitate excesivă al Eurostat este exprimat ca procent de decese

suplimentare într-o lună, comparativ cu o perioadă de referință. În 2020, linia de bază este dată de decesele lunare medii în perioada 2016-2019. Cu cât valoarea este mai mare, cu atât au apărut mai multe decese suplimentare comparativ cu valoarea inițială. O valoare negativă înseamnă că au avut loc mai puține decese într-o anumită lună, comparativ cu perioada de referință.

Expunere (exposure): Prezența oamenilor, a mijloacelor de trai, a speciilor sau a ecosistemelor, a funcțiilor mediului, serviciilor și a resurselor, a infrastructurii sau a activelor economice, sociale, culturale în locuri și situații care ar putea fi afectate în mod negativ de evenimente/fenomene fizice.

Feedback climatic (climate feedback): Un mecanism de interacțiune între procesele din sistemul climatic se numește feedback climatic dacă rezultatul unui proces inițial generează modificări într-un al doilea proces, modificări ce apoi influențează primul proces. Un feedback pozitiv intensifică procesul inițial, iar un feedback negativ îl reduce.

Fenomene (meteorologice, climatice) extreme (extreme events): Apariția unei valori a unei variabile climatice sau de vreme peste/sub o valoare limită ce se situează către capătul superior/inferior al intervalului de valori observate pentru acea variabilă.

Forțaj climatic (climate forcing): Factor, proces ce poate modula sistemul climatic. Exemple de astfel de procese sunt variația cantității de radiație solară datorită variației în orbita Pământului, modificări în reflectivitatea (albedoul) continentelor și oceanelor, modificări în concentrația gazelor cu efect de seră.

Forțaj radiativ (radiative forcing): Schimbarea în radiația netă (radiația primită de la Soare minus radiația emisă de Pământ, exprimată în W/m^2) la nivelul tropopauzei datorită modificării unui factor climatic extern ca spre exemplu modificări în concentrația gazelor cu efect de seră sau a cantității de radiație solară. În raportul special al Comisiei Interguvernamentale pentru Schimbări Climatice (IPCC, 2012), forțajul

radiativ se definește în raport cu anul 1750 (condiții preindustriale) și se referă la valori medii globale și anuale. Forțajul radiativ este diferit de forțajul radiativ al norilor (cloud radiative forcing) ce desemnează, cu o terminologie similară, o mărime total diferită, legată de impactul norilor asupra radiației emise de Pământ și măsurată la limita superioară a atmosferei.

Fracțiunea atribuibilă sau riscul atribuibil (attributable fraction or attributable risk) : Termenul este folosit în epidemiologie și reprezintă proporția cazurilor care nu ar fi apărut în absența expunerii fie în rândul populației expuse fie în rândul populației totale.

Gaze cu efect de seră (greenhouse gases): Constituenți atmosferici, atât naturali cât și rezultați din activitatea umană, care absorb și emit radiație cu lungimi de undă specifice conținute în spectrul radiației termice infraroșii emisă de suprafața Pământului, de atmosferă și de nori. Această proprietate produce efectul de seră. Vaporii de apă (H₂O), dioxidul de carbon (CO₂), protoxidul de azot (N₂O), metanul (CH₄) și ozonul (O₃) sunt principalele gaze cu efect de seră din atmosferă. În plus, în atmosferă mai sunt prezente și o serie de gaze cu efect de seră produse exclusiv ca urmare a activităților umane, precum compușii halogenați (hidrofluorcarburile, perfluorcarburile, hexafluorura de sulf), substanțe conținând clor și brom.

Hazard (hazard): Potențialul producerii unor fenomene, tendințe, sau impacturi fizice, fie ele produse în mod natural sau provocate de oameni, care pot genera pierderi de vieți omenești sau efecte nedorite asupra sănătății, prejudicii, daune și pierderi de bunuri, efecte negative asupra mijloacelor de trai, infrastructurii, furnizării de servicii și influențe negative asupra ecosistemelor și resurselor naturale. În contextul schimbărilor climatice, termenul de «hazard» se referă la fenomene sau tendințe legate de climă sau impactul lor fizic.

Hidrosferă (hydrosphere): Învelișul de apă al globului terestru, alcătuit din oceane, mări, lacuri, ghețari, ape curgătoare, ape subterane, zăpezi și ghețuri.

Impact (impacts): Efectele asupra sistemelor naturale și antropice. Aici, termenul «impact» este utilizat, în primul rând, pentru a face referire la efectele fenomenelor meteorologice extreme și schimbărilor climatice asupra sistemelor naturale și antropice. Termenul «impact» se referă în general la efectele asupra vieții, mijloacelor de trai, sănătății, ecosistemelor, economiei, societății, culturii, serviciilor și infrastructurii datorită interacțiunii schimbărilor climatice sau a fenomenelor climatice periculoase care apar într-o anumită perioadă de timp și vulnerabilitatea unei societăți expuse sau a unui sistem expus. Impactul se referă, de asemenea, la consecințe și rezultate. Impactul schimbărilor climatice asupra sistemelor de geofizică, inclusiv inundații, secetă, și creșterea nivelului mării, sunt un subset de impacturi numite impacturi fizice.

Încălzire globală (global warming): Creșterea graduală a temperaturii medii a atmosferei Pământului atribuită în general efectului de seră cauzat de creșterea nivelelor de dioxid de carbon, clorofluorocarburi (CFC) și alți poluanți din atmosferă.

Incertitudine (uncertainty): Expresie a gradului de necunoaștere a unei valori sau a unei relații. Incertitudinea poate rezulta din lipsa informațiilor sau din lipsa de acord privind ceea ce este cunoscut sau posibil a fi cunoscut. În contextul schimbărilor climatice, incertitudinea poate proveni din multe surse, precum erori cuantificabile ale datelor, concepte sau terminologii definite ambiguu sau proiecții imprecise ale comportamentului uman. Incertitudinea poate fi reprezentată prin mărimi cantitative, ca spre exemplu printr-un interval de valori obținut din modele diferite, sau prin mărimi / exprimări calitative, precum concluziile unui grup de experți.

Insulă de căldură urbană (urban heat island – UHI): Încălzirea relativă a zonei urbane în comparație cu zonele rurale înconjurătoare, asociată cu schimbări în scurgerea apei la suprafață, efectul de retenție de căldură, schimbări în capacitatea suprafeței de reflexie a radiației solare (albedoul), poluare, efecte asupra concentrației de aerosoli etc.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – Comisia Interguvernamentală pentru Schimbări Climatice: Organism științific însărcinat cu evaluarea riscurilor asupra încălzirii globale datorită efectelor activității umane. Grupul a fost constituit în 1988 de către Organizația Meteorologică Mondială și de Programul Națiunilor Unite pentru mediul înconjurător. IPCC nu face cercetări proprii și nu monitorizează clima sau fenomenele care o influențează. Rolul organizației este publicarea unor rapoarte cu privire la implementarea Convenției Cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), un tratat internațional care recunoaște posibilitățile modificărilor climatice dăunătoare.

Litosferă (lithosphere): Învelișul exterior solid al Pământului.

Matrice de risc (risk matrix): metodă de analiză în evaluarea și gestionarea riscurilor, folosită pentru definirea nivelelor de risc ca produs între categorii de probabilitate de apariție a hazardului și categorii de severitate a impactului.

Model climatic (climate model): O reprezentare numerică a sistemului climatic ce se bazează pe proprietăți fizice, chimice și biologice ale componentelor sale, pe interacțiunile dintre acestea și pe procesele de feedback corespunzătoare și care ia în considerare toate sau o parte din proprietățile cunoscute ale acestuia. Sistemul climatic poate fi reprezentat prin modele cu grad diferit de complexitate, astfel că pentru oricare din componentele sale sau pentru o combinație a acestora, pot fi identificate un întreg spectru sau ierarhii de modele, ce diferă prin aspecte precum numărul dimensiunilor spațiale, măsura în care procesele fizice, chimice sau biologice sunt reprezentate explicit sau gradul de utilizare a parametrizărilor empirice. Modelele globale cuplate atmosferă-ocean (Coupled Atmosphere-Ocean Global Climate Models –AOGCM), denumite și modele de circulație generală atmosferă-ocean, permit reprezentarea aproape cea mai cuprinzătoare a sistemului climatic disponibilă în prezent. Se observă în același timp o evoluție către modele mai complexe, cu module interactive de chimie și biologie. Modelele climatice sunt aplicate ca instrument de cercetare în studiul și simularea climatului, precum și

pentru scopuri operaționale, inclusiv pentru predicțiile climatice lunare, sezoniere și interanuale.

Oscilația nord-atlantică (North Atlantic Oscillation – NAO): Un mod de variabilitate climatică, dominant în sezonul de iarnă în regiunea Nord-Atlantică, ce constă în variații opuse ale presiunii aerului la nivelul mării în zona Islandei și în apropierea Insulelor Azore.

Percentilă (percentile): Termen folosit în statistică care definește fiecare dintre cele 99 de valori intermediare ale unei variabile aleatorii care împart o distribuție a frecvenței în 100 de astfel de grupuri.

Permafrost (permafrost): Stratul de la suprafața terestră, incluzând solul, rocile și materialele organice cuprinse în acestea, în care temperatura este de cel mult 0°C pentru cel puțin doi ani consecutivi.

Proiecție climatică (climate projection): O proiecție a răspunsului sistemului climatic la emisiile sau concentrațiile gazelor cu efect de seră și aerosolilor descrise de scenariile de emisie sau de forțaj radiativ, adeseori bazate pe simulări numerice realizate cu modele climatice. Proiecțiile climatice depind de un scenariu de emisii/concentrații/forțaj radiativ, care este bazat pe ipoteze privind, spre exemplu, dezvoltarea socio-economică și tehnologică viitoare, și care se pot sau nu realiza. Ca urmare, proiecțiile climatice sunt asociate cu un grad substanțial de incertitudine.

Radiație solară (solar radiation): radiația electromagnetică emisă de Soare având lungimi de undă din întregul spectru al undelor electromagnetice. Trecând prin atmosfera Pământului, o parte a radiației solare este absorbită, încălzind aerul, o altă parte este împrăștiată de moleculele prezente în atmosferă (constituind radiația solară difuză), dar cea mai mare parte ajunge pe suprafața Pământului (constituind radiația solară directă).

Radiație termică (thermal radiation): radiația electromagnetică emisă de toate corpurile cu temperaturi mai mari de zero absolut. Radiația termică

emisă de Pământ, alături de radiația solară absorbită, sunt doi din cei mai importanți factori ce determină temperatura și clima Pământului.

Risc (risk): Potențialul consecințelor în care ceva valoros este pus în pericol, iar urmările sunt incerte, recunoscându-se diversitatea factorilor ce pot provoca respectivele consecințe. Riscul este adesea definit ca probabilitatea de apariție a evenimentelor sau tendințelor periculoase, multiplicată cu impactul acestora în cazul în care survin. Riscul rezultă din interacțiunea vulnerabilității, expunerii și hazardului. Aici, termenul risc se referă în primul rând la riscul de impact al schimbărilor climatice.

Riscul relativ (relative risk): Termenul este folosit în epidemiologie și reprezintă raportul între frecvența de apariție a unui eveniment (deces/boala) în rândul grupurilor de expuși și neexpuși la un factor de risc suspectat. Acesta poate lua valori: = 1: nu există nicio asociere între factorul de risc și deces; > 1: există asociere între factorul de risc și deces; cu cât RR este mai mare cu atât asocierea este mai puternică; < 1: factorul studiat nu este un factor de risc. Pentru ca asocierea epidemiologică dintre factorul de risc și decese să fie dovedită, riscul trebuie să fie mai mare decât 1 și semnificativ statistic (se aplică un test de semnificație statistică sau se determină intervalul de încredere).

Scenariu climatic (climate scenario): O reprezentare plauzibilă și adeseori simplificată a climatului viitor, bazată pe un set de relații climatice consistente, care a fost construită cu scopul explicit de a investiga potențialele consecințe ale schimbărilor climatice induse de activitatea umană și adesea servind ca date de intrare pentru modelele de impact. Proiecțiile climatice pot fi folosite ca material de bază pentru construirea scenariilor climatice, dar scenariile climatice de obicei necesită informații adiționale precum informații despre climatul curent observat.

Scenariu de emisii (emissions scenario): O reprezentare plauzibilă a evoluției viitoare a emisiilor de gaze care sunt potențial active radiativ (spre exemplu gaze cu efect de seră, aerosoli), bazat pe un set de ipoteze coerente și consistente privind factorii determinanți (schimbări tehnologice, evoluția demografică și dezvoltarea socio- economică) și

principalele interacțiuni dintre acestea. Scenariile de concentrații, derivate din scenariile de emisie, sunt folosite ca date de intrare în modelele climatice utilizate pentru calculul proiecțiilor climatice.

Schimbare climatică (climate change): Schimbările climatice se referă la modificările climei care pot fi identificate (de exemplu, prin utilizarea datelor statistice) prin schimbarea valorii medii și/sau variabilitatea proprietăților ei și care persistă pentru o perioadă îndelungată, de obicei, zeci de ani sau mai mult. Schimbările climatice pot fi puse pe seama proceselor naturale interne sau a factorilor externi, cum ar fi modulații ale ciclurilor solare, erupții vulcanice și modificări antropogene persistente în compoziția atmosferei sau în utilizarea terenurilor. În Convenția-Cadru privind Schimbările Climatice (UNFCCC), la articolul 1, schimbările climatice sunt definite ca «schimbări de climat care sunt atribuite direct sau indirect unei activități omenești ce alterează compoziția atmosferei la nivel global și care se adaugă variabilității naturale a climatului observat în cursul unor perioade comparabile». UNFCCC face, așadar, o distincție între schimbările climatice imputabile activităților umane în modificarea compoziției atmosferice și variabilitatea climatică atribuită cauzelor naturale.

Sistem climatic (climate system): Un sistem complex alcătuit din cinci componente majore – atmosfera, oceanele, criosfera, suprafața de uscat și biosfera – și interacțiunile dintre ele. Sistemul climatic evoluează în timp sub influența dinamicii sale interne și datorită forțărilor externe precum erupțiile vulcanice, variațiile cantității de radiație solară și datorită forțărilor de origine antropică, precum modificări în compoziția atmosferei și schimbări în folosirea terenurilor.

Temperatura apei la suprafața mării (SST – *Sea Surface Temperature*): Temperatura medie a apei mării în primii câțiva metri de la suprafață, măsurată de nave și balize. Sunt folosite de asemenea măsurătorile satelitare ale temperaturii suprafeței mării, fie în stratul situat imediat sub suprafață, cu o grosime de fracțiune de milimetru, cum sunt măsurătorile în domeniul spectral infraroșu sau în primii centimetri de la suprafață, în

cazul măsurătorilor realizate în domeniul microundelor, dar acestea trebuie ajustate pentru a fi compatibile cu măsurătorile clasice.

Tendință (trend): Evoluția pe termen lung a unei serii de date către valori în general mai mari (tendință de creștere) sau mai mici (tendință de scădere) decât cele precedente. Estimarea tendinței se face prin tehnici statistice, precum testul Mann-Kendall (§ 3.2.1).

Transformare (transformation): O schimbare în atributele fundamentale ale sistemelor naturale și umane. În acest document, transformarea poate reflecta consolidarea, alterarea sau alinierea paradigmatelor, scopurilor sau valorilor pentru promovarea adaptării pentru dezvoltare durabilă, inclusiv reducerea sărăciei.

Troposferă (troposphere): stratul atmosferic ce se întinde de la suprafața terestră până la o înălțime de aproximativ 10km în zonele situate la latitudini medii sau până la 16km, în medie, în zona tropicelor, și unde se manifestă fenomenele de vreme.

Utilizarea terenurilor și schimbări ale acesteia (land use and land use change): Utilizarea terenurilor (*land use*) se referă la ansamblul aranjamentelor, activităților și acțiunilor referitoare la un anumit tip de acoperire a terenului. Termenul de utilizare a terenurilor este de asemenea folosit pentru desemnarea scopurilor sociale și economice care stau la baza gestionării terenului (spre exemplu pășunat, producția de cherestea). Schimbarea în utilizarea terenurilor (*land use change*) se referă la modificări în folosirea sau gestionarea terenului de către oameni, ce pot duce la modificări în tipul de acoperire a terenurilor (*land cover*). Tipul de acoperire a terenurilor și schimbările în utilizarea terenurilor pot avea un impact semnificativ asupra albedoului suprafeței, evapotranspirației, emisia și absorbția gazelor cu efect de seră sau asupra altor proprietăți ale sistemului climatic și astfel pot influența forța radiativă și/sau duce la alte tipuri de impact asupra climatului, la scară locală sau globală.

Val de căldură (heat wave): O perioadă cu vreme anormal de caldă. Definiția exactă în termeni de durată și valori limită pentru temperatură

variază de la o țară la alta, în funcție de condițiile climatice normale reprezentative pentru acea zonă. În România, valul de căldură este definit ca o perioadă de minim două zile consecutive cu temperaturi maxime cel puțin egale cu 37°C.

Variabilitate climatică (climate variability): Variația stării medii sau a altor mărimi statistice (ca spre exemplu deviația standard, valori extreme etc.) a climei la toate scările temporale și spațiale mai mari decât cea a evenimentelor individuale de vreme. Variabilitatea poate fi determinată de procese interne ale sistemului climatic (variabilitate internă) sau de variații naturale sau de origine antropică a forțărilor externe (variabilitate externă).

Vreme (weather): starea atmosferei la un moment de timp dat și într-un anumit loc.

Vulnerabilitate (vulnerability): Înclinația sau predispoziția de a fi afectat în mod negativ. Vulnerabilitatea cuprinde o varietate de concepte și elemente, inclusiv sensibilitatea sau susceptibilitatea de a face rău (a dăuna) și lipsa de capacitate de a face față și de a se adapta.

Zgomot / raport semnal-zgomot (noise / noise-signal ratio): Într-o serie de date climatice, semnalul reprezintă comportamentul așteptat sau explicabil printr-un proces sau mecanism fizic, în timp ce variația aleatoare a datelor reprezintă zgomotul. Un exemplu de semnal climatic este nivelul izotopilor de oxigen prezenți în calotele glaciare, indicând variația temperaturii aerului (nivel mai scăzut al izotopului ^{18}O în perioadele reci).

Referințe bibliografice

- Alley WM (1984) The Palmer Drought Severity Index: limitations and applications. *J Clim Appl Meteorol* 23:1100-1109.
- Antonescu B, Bell A (2014) Tornadoes in Romania. *Mon Wea Rev.* doi: 10.1175/MWR-D-14-00181.1.
- APCC (2014) Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Viena. 1096 p.
- Apostol L (2004), *Clima Subcarpaților Moldovei*, Editura Univ. Suceava.
- Apostol L, (2008) The Mediterranean cyclones – The role in ensuring water resources and their potential of climatic risk, in the East of Romania, „Present Environment and Sustainable Development”, vol. 2, Editura Universității, Alexandru Ioan Cuza”, Iași.
- Apostol L & Ilie N (2015) Thermal hazards in cold semester of the year in the mountain area of Moldova river (sector between Vama and the springs of Moldova river). *PESD, VOL. 9, no. 1.* DOI 10.1515/pesd-2015-0019
- Arnbjerg-Nielsen K (2012) Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design, *Urban Water Journal*, 9 (2), pp 57-65, doi: 10.1080/1573062X.2011.630091
- Arnell NW, Livermore MJL, Kovats S, Levy PE et al. (2004) Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environ Chang* 14: 3–20. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2003.10.004
- Barbu I, Popa I (2011) Monitorizarea riscului de apariție a secetei în pădurile din România. *Bucovina Forestieră IX (1-2):* 37-51.
- Bălțeanu D., Dragotă C.S., Popovici A., Dumitrașcu M., Kucsicsa G., Grigorescu I., 2013. Land use and crop dynamics related to climate change signals during the postcommunist period in the south Oltenia, Romania. *Proc. Rom. Acad* 15, 265–278.
- Birsan MV, Zaharia L, Chendes V, Branescu E (2012) Recent trends in streamflow in Romania (1976–2005). *Rom Rep Phys* 64(1): 275-280.
- Birsan MV, Zaharia L, Chendes V, Branescu E (2014) Seasonal trends in Romanian streamflow. *Hydrol Process* 28(15): 4496-4505. doi: 10.1002/hyp.9961
- Birsan MV, Dumitrescu A (2014a) Snow variability in Romania in connection to large-scale atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 34: 134-144. doi: 10.1002/joc.3671.
- Birsan MV, Dumitrescu A (2014b) ROCADA: Romanian daily gridded climatic dataset (1961-2013) V1.0. Administratia Nationala de Meteorologie, Bucuresti, Romania, doi:10.1594/PANGAEA.833627
- Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Jacobs, C., Adamovic, M., Mentaschi, L., Lavallo, C. and De Roo, A., Impact of a changing climate, land use, and water usage on water resources in the Danube River basin, EUR 29228 EN, Publications Office of the

- European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-85888-8 (print),978-92-79-85889-5 (pdf), doi:10.2760/89828 (online),10.2760/561327 (print), JRC11181
- Black EM et al. (2004) Factors contributing to the summer 2003 European heatwave. *Weather* 59: 217-223.
- Bogdan, Octavia, Niculescu, Elena (1999), *Riscurile climatice din România*, Edit. Academiei Române, București.
- Bogdan, Octavia (2005) Caracteristici ale hazardurilor/riscurilor climatice pe teritoriul României. *Mediul Ambient* nr.5(23), Chișinău, p.26-36.
- Bojariu R (1997) Climate variability modes due to ocean-atmosphere interaction in the central Atlantic. *Tellus* 49A: 362-370.
- Bojariu R, Paliu D (2001) North Atlantic Oscillation projection on Romanian climate fluctuations in the cold season. In M. Brunet and D. Lopez (Eds) *Detecting and Modelling Regional Climate Change and Associated Impacts*. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, pp 345-356.
- Bojariu R, Reverdin G (2002) Large-scale variability modes of freshwater flux and precipitation over the Atlantic. *Clim Dynam* 18(5): 369-381. doi: 10.1007/s003820100182
- Bojariu R, Gimeno L (2003a) Predictability and numerical modelling of the North Atlantic Oscillation. *Earth-Sci Rev* 63(1-2): 145-168. doi:10.1016/S0012-8252(03)00036-9
- Bojariu R, Gimeno L (2003b) The role of snow cover fluctuations in multiannual NAO persistence. *Geophys Res Lett* 30(4): 1156. doi: 10.1029/2002GL015651
- Bojariu R, Giorgi F (2005) North Atlantic Oscillation signal in a regional climate simulation for the European region. *Tellus A* 57(4): 641-653. DOI: 10.3402/tellusa.v57i4.14709
- Bojariu R, Dinu M (2007) Snow variability and change in Romania, in: Strasser U, Vogel M (eds) *Proceedings of the Alpine Snow Workshop*, Munich, 5-6.10.2006. Berchtesgaden National Park Report. 52: 64-68.
- Bojariu R., M. Papathoma-Köhle, V. Wendlová, R-D Cică, (2014): Changing risks in changing climate. *SEERISK Report*. 55 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.3710.9287.
- Bojariu R, Bîrsan MV, Cică R, Velea L, Burcea S, Dumitrescu A, Dascălu SI, Gothard M, Dobrinescu A, Cărbunaru F, Marin L, (2015): *Schimbările climatice – de la bazele fizice la impact și adaptare* Editura Printech, București, 200 p, ISBN: 978606-23-0363-1, DOI: 10.13140/RG.2.1.1341.0729
- Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature* 573, 108–111 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
- Bruno Soares M, Buontempo C. (2019) Challenges to the sustainability of climate services in Europe. *WIREs Clim Change*. ; 10:e587. <https://doi.org/10.1002/wcc.587>
- Burcea, S., Cică, R. și R. Bojariu, (2016): Hail climatology and trends in Romania: 1961-2014, *Monthly Weather Review* 144(11):4289-4299, DOI: 10.1175/MWR-D-16-0126.1

- Busuioc A, Dobrinescu A, Birsan MV, Dumitrescu A, Orzan A (2014) Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms. *Int J Climatol*. doi: 10.1002/joc.4054
- Busuioc A, Birsan M-V, Carbutaru D, Baciu M, Orzan A (2016) Changes in the large-scale thermodynamic instability and connection with rain shower frequency over Romania: verification of the Clausius–Clapeyron scaling. *Int. J. Climatol*. 36: 2015–2034. DOI: 10.1002/joc.4477.
- Busuioc A, Caian M. Cheval S, Bojariu R, Boroneant C, Baciu M, Dumitrescu A (2010) Variabilitatea și schimbarea climei în România, Editura Pro Universitaria, București, 228 p.
- Byun H-R, Wilhite DA (1999) Objective Quantification of Drought Severity and Duration. *Journal of Climate*, 12: 2747-2757.
- Capela Lourenço T, Rovisco A, Groot A, Nilsson C, Füssel H-M, Van Bree L, Street RB (Eds.) (2014) *Adapting to an Uncertain Climate. Lessons From Practice*, Springer, 182 pp. ISBN 978-3-319-04876-5
- Cazacioc L, Cazacioc A (2005) Impact of the macro-scale atmospheric circulation on snow cover duration in Romania. *Croatian Meteorological Journal* 40: 495-498.
- Cheval, S., Dumitrescu, A. The summer surface urban heat island of Bucharest (Romania) retrieved from MODIS images. *Theor Appl Climatol* 121, 631–640 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1250-8>
- Chitu Z., Bojariu R., Velea L., van Schaeybroeck B. (2021) Climate Change Impacts on circulatory system diseases in Bucharest Municipality and its rural surroundings, (trimis spre publicare).
- Changnon SA (1999) Data and approaches for determining hail risk in the contiguous United States. *J Appl Meteorol* 38: 1730-1739.
- Cook ER, Meko DM, Stahle DW, Cleaveland MK (1999) Drought reconstructions for the continental United States. *Journal of Climate* 12(4): 1145-1162.
- Croitoru AE, Piticar A. (2012). Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania. *Int. J. Climatol*. DOI:10.1002/joc.3567
- Croitoru A.-E., Piticar A., Ciupertea A.F., Roșca C.F. (2016) Changes in heat waves indices in Romania over the period 1961–2015. *Glob. Planet. Change*. 146, 109–121.
- Croitoru A-E, A Piticar, L Sfiică, G-Vi Harpa, C- Roșca, T Tudose, C Horvath, I Minea, F-A Ciupertea, A-S Scripcă, (2018) Extreme Temperature and Precipitation Events in Romania, Editura Academiei Române, 359 pp. ISBN: 978-973-27-2833-8
- Report for 2019, Copernicus Climate Change Service <https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019>
- Diaz HF (1983) Some aspects of major dry and wet periods in the contiguous United States, 1895-1981. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 22:3-16.
- Dobri R.-V., Sfiică L., Amihăesei V.-A., Apostol L., Țîmpu S. (2021) Drought Extent and Severity on Arable Lands in Romania Derived from Normalized Difference

- DroughtIndex (2001–2020). Remote Sens.,13, 1478.
<https://doi.org/10.3390/rs13081478>
- Dumitrescu A, Bojariu R, Birsan MV, Marin L, Manea A (2014) Recent climatic changes in Romania from observational data (1961–2013). *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-014-1290-0
- Dumitrescu, A., Birsan, M.V., 2015. ROCADA: a gridded daily climatic dataset over Romania (1961–2013) for nine meteorological variables. *Nat Hazards* 78(2), 1045-1063. DOI: 10.1007/s11069-015-1757-z
- EASAC (European Academies’ Science Advisory Council) (2018). Extreme Weather Events in Europe. Report No. 22 <https://easac.eu/publications/details/extreme-weather-events-in-europe/>.
- EC (European Commission), Environment, Water Scarcity & Droughts in the European Union (2011) <http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/about.htm>
- EC (European Commission). (2015). A european research and innovation roadmap for climate services. Luxembourg: European Commission.
- EEA (European Environment Agency) (2012) Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012, EEA report 12/2012, www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012
- EEA (European Environment Agency), (2013): *Adaptation in Europe Addressing risks and opportunities from climate change in the context of socio-economic developments*, report 3/2013, 132 pp. ISBN 978-92-9213-385-6 doi:10.2800/50924 3.
- EEA, (2017), Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 - An indicator-based report, EEA Report No 1/2017, European Environment Agency <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>
- EEA, (2019), Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe, EEA Report No 04/2019, European Environment Agency (<https://www.eea.europa.eu/publications/cc-adaptation-agriculture>)
- Eliasson I, Svensson MK (2003) Spatial air temperature variations and urban land use – a statistical approach. *Meteorological Applications* 10, 135–149
- ESPON (2013) *Territorial Dynamics in Europe. Natural Hazards and Climate Change in European Regions*.
- European Exchange Circle on Flood Mapping (EXCIMAP) (2007) *Handbook on good practices for flood mapping in Europe*. Brussels: European Exchange Circle on Flood Mapping
- ESPON, 2013 : Third ESPON Synthesis Report. Territories finding a New Momentum: Evidence for Policy Development, Growth and Investment. Pp 67, ISBN: 978-2-919777-79-2.
[www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Publications/SynthesisReport/ThirdSeptember2014/ESPON SYNTHESIS REPORT 3.pdf](http://www.espon.eu/export/sites/default/Documents/Publications/SynthesisReport/ThirdSeptember2014/ESPON_SYNTHESIS_REPORT_3.pdf)

Eurostat (2008) Population projections 2008–2060: From 2015, deaths projected to outnumber births in the EU-27 — Almost three times as many people aged 80 or more in 2060 (STAT/08/119). Eurostat, Luxembourg. <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/08/119>.

1

Foley JA, Levis S, Prentice IC, Pollard D, Thompson SL (1998) Coupling dynamic models of climate and vegetation. *Global Change Biology* 4, pp 561-580.

Foukal P, North G, Wigley T (2004) A Stellar View on Solar Variations and Climate. *Science* 306: 68-69. doi: 10.1126/science.1101694

Gaffin SR, Rosenzweig C, Xing X, Yetman G (2004) Downscaling and geo-spatial gridding of socio-economic projections from the IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES). *Global Environ. Change A*, 14, 105-123, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2004.02.004.

Gasparrini A and Leone M. (2014). Attributable risk from distributed lag models. *BMC Med Res Methodol.* Apr 23; 14:55. PMID: 24758509; PMCID: PMC4021419. doi: 10.1186/1471-2288-14-55

Gasparrini A., Y. Guo, F. Sera, A.M. Vicedo-Cabrera, V. Huber, S. Tong, et al., (2017): Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *Lancet Planet Health*, 1, pp. e360-e367. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)

Gilbert R O (1987) *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Global Commission on Adaptation (2019) *Adapt Now: A Global Call for Leadership on Climate Resilience*. (https://gca.org/wp-content/uploads/2019/09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf)

Grigorescu, I., Mocanu, I., Mitrică, B., Dumitrașcu, M., Dumitrică, C., Dragotă, C., Socio-economic and environmental vulnerability to heat-related phenomena in Bucharest metropolitan area, *Environmental Research*, Volume 192, 2021, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110268>.

Groenemeijer P, and Kühne T (2014) A Climatology of Tornadoes in Europe: Results from the European Severe Weather Database. *Mon Wea Rev* 142: 4775-4790. doi: 10.1175/MWR-D-14-00107.1

Groves DG, Lempert RJ (2007) A new analytic method for finding policy-relevant scenarios. *Glob Environ Change*, 17, pp 17–85.

Grübler A, O'Neill, B, Riahi, K, Chirkov, V, Goujon, A, et al. (2007) Regional, national, and spatially explicit scenarios of demographic and economic change based on SRES. *Technol Forecast Soc*, 74, pp 980–1029.

Guidance document No.24 – River Basin Management in a changing climate, European Communities, (2009). http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_risk.htm

Guttman NB (1991) A sensitivity analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index. *Water Resources Bulletin* 27:797-807.

- Guttman NB, Wallis JR, Hosking JRM (1992) Spatial comparability of the Palmer drought severity index. *Water Resources Bulletin* 28(6): 1111-1119.
- GWP CEE, Interception report, part of WMO/GWP Integrated Drought Management Programme, 2012
- Hallegatte S et al. (2010) Flood Risks, Climate Change Impacts and Adaptation Benefits in Mumbai: An Initial Assessment of Socio-Economic Consequences of Present and Climate Change Induced Flood Risks and of Possible Adaptation Options, OECD Environment Working Papers, No. 27, OECD Publishing. doi: 10.1787/5km4hv6wb434-en
- Harris I., P.D. Jones, T.J. Osborn and D.H. Lister (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset *International Journal of Climatology*, Volume 34, Issue 3, pages 623–642 doi:10.1002/joc.3711
- Herbel, I., Croitoru, AE., Rus, A.V. et al. (2018) The impact of heat waves on surface urban heat island and local economy in Cluj-Napoca city, Romania. *Theor Appl Climatol* 133, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2196-4>
- IMDROFLOOD (2019) Raportul științifico-tehnic (ianuarie – iunie 2019) (http://imdروفlood.meteoromania.ro/file_download/8)
- IMDROFLOOD (2018) Raport privind indicatori integrați ai secetei în bazinul Prut (http://imdروفlood.meteoromania.ro/file_download/10)
- Ion-Bordei E., (1983) Rolul lantului alpino-carpatic in evolutia ciclonilor mediteraneeni. Editura Academiei, București, 136 pp.
- Ionita M, Chelcea S, Rimbu N, Adler MJ (2014) Spatial and temporal variability of winter streamflow over Romania and its relationship to large-scale atmospheric circulation. *J Hydrol*. doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.09.024
- IPCC (2001) Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (Eds) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. ISBN 0-521-80767-0. (pb: 0-521-01495-6)
- IPCC (2007) Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (Eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88009-1. (pb: 978-0-521-70596-7)
- IPCC (2013) *The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. In: Stocker TF et al., editors. *Climate change 2013*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013.
- IPCC (2014) Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M.

- IPCC (2018): Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- Jacob D et al. (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, Volume 14, Issue 2, pp 563-578.
- Jaagus J, Aasa A, Aniskevich S, Boincean B, Bojariu B, Briede A, Danilovich I, Domínguez Castro F, Dumitrescu A, Labuda M, Labudová L, Löhmus K, Melnik V, Mõisja K, Pongracz R, Potopová, V, Řezníčková L, Rimkus E, Semenova I, Stonevičius E, Štěpánek P, Trnka M, Vicente-Serrano S M, Wibig J, Zahradníček P, (2021) Long-term changes in drought indices in eastern and central Europe. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.7241>.
- Johnson et al. (2013) Method of modeling the socio-spatial dynamics of extreme urban heat events', US008566067B2
- Karl TR (1986) The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25:77-86.
- Karl TR, Knight RW, Easterling DR, Quayle RG (1996) Indices of Climate Change for the United States. *B Am Meteorol Soc* 77: 279-292.
- Karl TR, Nicholls N, Ghazi A (1999) CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change* 42: 3-7.
- Kendall MG (1938) A new measure of rank correlation. *Biometrika* 30: 81-93.
- Kendall MG (1975) Rank correlation methods, 4th ed. Charles Griffin, London.
- Kodera K (1994) Influence of volcanic eruptions on the troposphere through stratospheric dynamical processes in the Northern Hemisphere winter. *J Geophys Res* 99: 1273-1282.
- Kriegler E, O'Neill BC, Hallegatte S, Kram T, Lempert R, Moss RH, Wilbanks TJ (2010) Socio - economic Scenario Development for Climate Change Analysis. CIRED Working Paper DT/WP N° 2010, 23
- Kundzewicz, Z. et al. Differences in flood hazard projections in Europe – their causes and consequences for decision making. *Hydrol. Sci. J.* 62, 1–14 (2017).
- Lempert RJ, Groves DG et al. (2006) A general analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. *Management Science*, 52(4): 541-528.

- Lorenz E (1975) Climate predictability: The physical basis of climate modeling. GARP Publication Series, Vol. 16, WMO, 132-136.
- Luterbacher J et al. (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science* 303: 1499-1503.
- Mann HB (1945) Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica* 13: 245-259.
- Marin L, Birsan MV, Bojariu R, Dumitrescu A, Micu DM, Manea A (2014) An overview of annual climatic changes in Romania: trends in air temperature, precipitation, sunshine hours, cloud cover, relative humidity and wind speed during the 1961–2013 period. *Carpath J Earth Env* 9(4): 253-258.
- Mehta, L., Adam, H.N. & Srivastava, S. (2019) Unpacking uncertainty and climate change from ‘above’ and ‘below’. *Reg Environ Change* 19, 1529–1532. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01539-y>
- Micu DM, Dumitrescu A, Cheval S, Birsan MV (2015) Climate of the Romanian Carpathians. Variability and trends. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. DOI: 10.1007/978-3-319-02886-6
- Milankovitch M (1941) Kanon der Erdbestrahlungen und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem Belgrade. (New English Translation, 1998, Canon of Insolation and the Ice Age Problem. 636 pp. Alven Global. ISBN 86-17-06619-9.)
- Monitorul Oficial, Partea I nr.315 din 07/07/2000. ANEXA NORME METODOLOGICE de aplicare a prevederilor Ordonantei de urgenta a Guvernului nr 99/2000 privind masurile ce pot fi aplicate in perioadele cu temperaturi extreme pentru protectia persoanelor incadrate in munca, Bucuresti.
- Moss RH, Babiker M, Brinkman S, Calvo E, Carter T, Edmonds J, Elgizouli I, Emori S, Erda L, Hibbard K, Roger Jones, Mikiko Kainuma, Jessica Kelleher, Jean Francois Lamarque, Martin Manning, Matthews B, Meehl J, Meyer L, Mitchell J, Nakicenovic N, O'Neill B, Pichs R, Riahi K, Rose S, Runci P, Stouffer R, van Vuuren D, Weyant J, Wilbanks T, van Ypersele VP, Zurek M (2008) *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp. www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-report-scenarios.pdf
- Nedealcov, M. (2012) Resursele agroclimatice în contextul schimbărilor de climă. Tipografia” Alina Scorohodova”, Chişinău, 306 p. ISBN 978-9975-4284-8-4.
- Nakicenovic N, Alcamo J, Davis G, de Vries B, Fenhann J, Gaffin S, Gregory K, Grübler A, Yong Jung T, Kram T, Lebre La Rovere E, Michaelis L, Mori S, Morita T, Pepper W, Pitcher H, Price L, Riahi K, Roehrl A, Rogner HH, Sankovski A, Schlesinger M, Shukla P, Smith S, Swart R, van Rooijen S, Victor N, Dadi Z (2000) *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. www.ipcc.ch/ipccreports/sres/

- NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Tropical Cyclones for Annual 2020, published online January 2021, retrieved on June 26, (2021) from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/tropical-cyclones/202013>.
- OECD/European Observatory on Health Systems and Policies. (2019). Romania: Country Health Profile 2019, State of Health in the EU, OECD Publishing, Paris/European Observatory on Health Systems and Policies, Brussels, <https://doi.org/10.1787/f345b1db-en>.
- Oke TR (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology* 1, pp 237–254
- Oke TR (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Q J R Meteorol Soc* 108:1–24. <https://doi.org/10.1002/qj.49710845502>
- Palmer WC (1965) Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C. 12.
- Papathoma-Koehle M,, Promper C, Bojariu R, Cica R, Sik A, Perge K, Laszlo P, Czikora EB, Dumitrescu A, Turcus C, Birsan MV, Velea L, Glade T., (2016): A common methodology for risk assessment and mapping for south-east Europe: an application for heat wave risk in Romania, *Nat Hazards*, 82, pp. 89-109, doi 10.1007/s11069-016-2291-3.
- Páscoa P., Gouveia C., Russo A., Bojariu R., Vicente-Serrano S., Trigo R. (2020) Drought Impacts on Vegetation in Southeastern Europe. *Remote Sens.* 2020, 12, 2156. <https://doi.org/10.3390/rs12132156>
- Peixoto JP, Oort AH (1992) *Physics of Climate*, American Institute of Physics, New York, 520 pp.
- Pielke, R. A., and D. Niyogi, (2009): The role of landscape processes within the climate system. *Landform—Structure, Evolution, Process Control*, J. C. Otto and R. Dikau, Eds., *Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol. 115, Springer, 67–86.
- Rimbu N, Stefan S, Necula C (2014): The variability of winter high temperature extremes in Romania and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Theor Appl Climatol*. doi: 10.1007/s00704-014-1219-7
- Rounsevell MDA, Reginster I, Araújo MB, Carter TR et al. (2006) A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agric Ecosyst Environ* 114: 57-68 doi: 10.1016/j.agee.2005.11.027
- Russo, S., Sillmann, J. and Fischer, E. M., (2015). Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades, *Environmental Research Letters* 10(12), 124003 (doi: 10.1088/1748-9326/10/12/124003).
- Schneider SH, Kuntz-Duriseti K (2002) Uncertainty and climate change policy. In: Schneider SH, Rosencranz A, Niles JO (eds) *Climate change policy: a survey*. Island Press, Washington DC, pp 53–87
- SEERISK Consortium (2014). *Guideline on Climate Change Adaptation and Risk Assessment in the Danube Macro-region*, pp. 106. http://rsoe.hu/projectfiles/seeriskOther/download/climate_change_adaptation.pdf

- Semenza JC, Suk JE. Vector-borne diseases and climate change: a European perspective. *FEMS Microbiol Lett.* 2018 Feb 1;365(2):fnx244. doi: 10.1093/femsle/fnx244. PMID: 29149298; PMCID: PMC5812531.
- Semenza JC, Tran A, Espinosa L et al. Climate change projections of West Nile Virus infections in Europe: implications for blood safety practices. *Environ Health* (2016);15(Suppl 1):28.
- Sfîcă L, Croitoru A. E., Iordache I., & Ciupertea, A. F. (2017) Synoptic conditions generating heat waves and warm spells in Romania. *Atmosphere*, 8(3), 50.
- Sfîcă L., Ichim P, Apostol L., Ursu A (2018) The extent and intensity of the urban heat island in Iași city, Romania. *Theor Appl Climatol* 134, 777–791. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2305-4>
- Stahle DW, Cleaveland MK, Hehr JG (1985) A 450-year drought reconstruction for Arkansas, United States. *Nature* 316:530-532.
- Stefan S, Ghioca M, Rimbu N, Boroneant C (2004) Study of meteorological and hydrological drought in southern Romania from observational data. *Int J Climatol* 24: 871–881.
- Stefanescu V, Stefan S, Georgescu F (2014) Spatial distribution of heavy precipitation in Romania between 1980 and 2009. *Meteorol Appl* 21: 684-694. doi:10.1002/met.1391
- Steiger, R.; Mayer, M. (2008). Snowmaking and climate change future options for snow production in Tyrolean ski resorts. *Mt. Res. Dev.*, 28, 292–298.
- Street, R. B. (2016). Towards a leading role on climate services in Europe: A research and innovation roadmap. *Climate Services*, 1,2–5.
- Stula S, Linz K (2010) Demographic change in Europe – An Overview. Working paper no. 4 of the Observatory for Sociopolitical Developments in Europe, 16 pp. www.sociopolitical-observatory.eu
- Theobald D (2005) Landscape patterns of exurban growth in the USA from 1980 to 2020. *Ecology and Society* 10(1), 32 pp.
- Thober, S. et al. (2018) Multi-model ensemble projections of European river floods and high flows at 1.5, 2, and 3 degrees global warming. *Environ. Res. Lett.* 13, 014003.
- Tomozeiu R, Busuioc A, Stefan S (2002) Changes in seasonal mean of maximum air temperature in Romania and their connection with large-scale circulation. *International Journal of Climatology* 22, 1181-1196.
- Tomozeiu R, Stefan S, Busuioc A (2005) Spatial and temporal variability of the winter precipitation in Romania in connection with the large-scale circulation patterns. *Theoretical and Applied Climatology* 81: 193-201. doi: 10.1007/s00704-004-0082
- Tourpali K., J. Liliensten, R. Bojariu, 2015: The Earth's atmosphere: an introduction in book: *Earth's climate response to a changing Sun* Edition: Editors: Thierry Dudok de Wit, Ilaria Ermolli, Margit Haberriter, Harry Kambezidis, Mai Mai Lam, Jean Liliensten, Katja Matthes, Irina Mironova, Hauke Schmidt, Annika Seppälä, Eija Tanskanen, Kleareti Tourpali, Yoav Yair. EDP Science. DOI: 10.1051/978-2-7598-1733--7

- Trenberth KE, Hoar TJ (1997) El Niño and climate change. *Geophys Res Lett* 24(23):3057-3060.
- Trenberth KE, Jones PD, Ambenje PG, Bojariu R, Easterling DR, Klein Tank AMG, Parker DE, Renwick JA, Rahimzadeh F, Rusticucci MM, Soden BJ, Zhai PM (2007) Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. Chapter 3 of Climate Change. The science of Climate Change. Contribution of WG 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S, Qin D, Manning M (Eds). Cambridge University Press.
- Trenberth KE, Shea DJ (2006) Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophys Res Lett* 33: L12704, doi: 10.1029/2006GL026894.
- Udristoiu, MT; Velea, L; Bojariu, R; Sararu, SC., (2017): Assessment of Urban Heat Island for Craiova from Satellite-based LST. AIP Conference Proceedings. DOI: 10.1063/1.5017443
- UN (2009) *World urbanization prospects, The 2007 Revision Population Database*. <http://esa.un.org/unup/>
- UN-Habitat (2011) *United Nation Global Report on Human Settlements, Cities and Climate Change*, pp 250, ISBN Series Number: 978-92-1-131929-3, ISBN: 978-92-1-132296-5.
- United Nations International Strategy for Disaster Reduction – UNISDR (2004) *Guidelines for Reducing Flood Losses*. UNISDR, Geneva.
- van Vuuren DP, Stehfest E, den Elzen MGJ, Kram T, van Vliet J, Deetman S, Isaac M, Goldewijk KK, Hof A, Beltran AM, Oostenrijk R, van Ruijven B (2011) RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2C. *Climatic Change* 109:95-116, doi:10.1007/s10584-011-0152-3.
- Vicedo-Cabrera, A.M., Scovronick, N., Sera, F. et al. The burden of heat-related mortality attributable to recent human-induced climate change. *Nat. Clim. Chang.* 11, 492–500 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01058-x>
- Velea L. and Bojariu, R. (2018): Summer thermal discomfort conditions in Romania under climate change scenarios, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, August 2018, Vol. 13, No. 2, p. 595 - 603; DOI:10.26471/cjees/2018/013/050
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JI (2010a) A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *Journal of Climate* 23: 1696-1718
- Wallace JM, Smith C, Jiang Q (1990) Spatial patterns of atmosphere-ocean interaction in the Northern Hemisphere winter. *J Climate* 3: 991-998.
- Wells, N., Goddard, S., Hayes, M., 2004. A Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index, *J. Clim.*, 17, 2335-2351. DOI: 10.1175/1520-0442(2004)017<2335:ASPDSI>2.0.CO;2
- Wisner B, Blaikie P, Cannon T, Davis I (2003) *At Risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters* (2nd edition). London, New York: Routledge Taylor & Francis Group.

- WMO (1984) Guide to meteorological practices. WMO N° 100. Geneva, Elveția. wmo.int/pages/prog/gcos/documents/gruanmanuals/WCP_CCI/WMOno100.pdf
- WMO. (2017). Priority needs for the operationalization of the global framework for climate services (2016–2018). Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization.
- Wyrtki K (1979) The response of sea surface topography to the 1976 El Niño. *J Phys Oceanogr* 9: 1223-1231.
- Žák, M., Nita, A., Dumitrescu, A., and Cheval S. (2020): Influence of synoptic scale atmospheric circulation on the development of urban heat island in Prague and Bucharest, *Urban Climate*, 34, 100681, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100681>, 2020.
- Zebiak S, Cane MA (1987) A Model El Niño-Southern Oscillation. *Mon Wea Rev* 115: 2262-2278.

Anexă. Listă de proiecte și programe privind schimbarea climei

Nr.	Program	Acronim	Titlu	Adresa web
1	Klima und Energie Fond	APCC	Austrian Panel on Climate Change	www.apcc.ac.at
2	SEE	BE-NATURE	Better management of Natura 2000 sites	www.be-natur.it
3	SEE	CC-WARE	Integrated transnational strategy for water protection and mitigating water resources vulnerability	www.ccware.eu
4	SEE	CC-WATERS	Climate Change and Impacts on Water Supply	www.ccwaters.eu
5	FP7 Marie Curie Actions	CHANGES	Changing Hydro-meteorological Risks as Analyzed by a new generation of European Scientists	www.changes-itn.eu
6	Proiect trilateral	ChangingRISKS	Changing pattern of landslide risks as response to global changes in mountain areas	http://eost.u-strasbg.fr/omiv/ChangingRisks.html
7	FP7	CIRCLE-2	Climate Impact Research &	www.circle-era.eu

			Response Coordination for a Larger Europe	
8	SEE	DANUBE FLOODRISK	Danube Floodrisk	www.danube-floodrisk.eu
9	SEE	DMCSEE	Drought Management Centre for Southeastern Europe	www.dmcsee.org
10	FP6	ENSEMBLES	ENSEMBLE-based Predictions of Climate Changes and their Impacts	www.ensembles-eu.org
11	FP7	EUPORIAS	EUropean Provision Of Regional Impact Assessment on a Seasonal-to- decadal timescale	www.euporias.eu
12	SEE	EU.WATER	Transnational integrated management of water resources in agriculture for the EU WATER emergency control	www.eu-water.eu
13	SEE	MONITOR II	Practical Use of Monitoring in natural Disaster Management	www.monitor2.org
14	FP7	MOVE	Methods for the Improvement	www.move-fp7.eu

			of Vulnerability assessment in Europe	
15	FP6	PRUDENCE	Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects	http://prudence.dmi.dk
16	Strategie națională	OPERA-CLIMA	Operaționalizarea strategiei naționale privind schimbările climatice și dezvoltarea componentei climatice a Programelor Operaționale 2014-2020	www.worldbank.org/ro/country/romania/brief/romania-climate-change-and-low-carbon-green-growth-program
17	SEE	ORIENTGATE	A network for the integration of climate knowledge into policy and planning	www.orientgateproject.org
18	SEE	SEERISK	Joint Disaster Management risk assessment and preparedness in the Danube macro-region	www.seeriskproject.eu
19	SEE	SNAP-SEE	Sustainable Aggregates Planning in South East Europe	www.snapsee.eu

20	FP7	SPECS	Seasonal-to-decadal climate prediction for the improvement of European climate services	www.specs-fp7.eu
21	SIPOCA 30	RO-RISK	Evaluarea riscurilor de dezastre la nivel național	https://www.ro-risk.ro/SitePages/Pornire.aspx
22	JPI Water	IMDRPFLOOD	Improving Drought and Flood Early Warning, Forecasting and Mitigation using real-time hydroclimatic indicators	http://imdروفlood.meteoromania.ro/
23	JPI Climate	URCLIM	Advance on Urban Climate Services	http://www.urclim.eu/
24	JPI Climate	INDECIS	Integrated approach for the development across Europe of user oriented climate indicators for GFCS high-priority sectors: agriculture, disaster risk reduction, energy, health, water and tourism.	http://www.indecis.eu/
25	H2020	EXHAUSTION	Exposure to heat and air pollution in EUrope –	https://www.exhaustion.eu/

			cardiopulmonary impacts and benefits of mitigation and adaptation	
26	Copernicus Climate Change Service (C3S)	WECTOU	Weather and Climate for Tourism	http://wectou.meteoromania.ro/

Schimbarea climei generează riscuri pentru societate, dar și oportunități pe care societatea trebuie să le identifice atunci când își planifică viitorul. Scopul acestei cărți este să servească drept ghid utilizatorilor de informații climatice și decidenților implicați în planificarea și realizarea unei dezvoltări durabile a României, în contextul schimbării climatice. Cunoașterea înseamnă putere, atât pentru națiune, cât și pentru cetățean. Autorii speră că publicul din România va găsi o sursă accesibilă și bogată de informații privitoare la climă și la riscurile asociate ei, conștientizând astfel necesitatea, pe de-o parte, a atenuării semnalului încălzirii globale (prin reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră), iar, pe de alta, a adaptării la modificările climatice deja produse.

