



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN
CLUJ



UNIVERSITATEA „BABEȘ-BOLYAI”
CLUJ-NAPOCA

Facultatea de Știința și Ingineria Mediului



STUDII PRIVIND SCHIMBĂRILE CLIMATICE RECENTE DIN NORD-ESTUL ROMÂNIEI

- REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT -

Conducător de doctorat:
Prof. univ. dr. Dumitru Ristoiu

Doctorand:
Adrian Piticar

CLUJ-NAPOCA - 2013



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI
MINISTERUL MUNCII, FAMILIEI,
PROTECȚIEI SOCIALE ȘI
PERSOANELOR VÂRSTNICE
AMPOSDRU



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE
OIPOSDRU



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
"GHEORGHE ASACHI" DIN
IASI

Teza de doctorat a fost realizată cu sprijinul financiar al proiectului **“STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)”** POSDRU/107/1.5/S/79407.

Proiectul **“STUDII DOCTORALE PENTRU PERFORMANȚE EUROPENE ÎN CERCETARE ȘI INOVARE (CUANTUMDOC)”** POSDRU/107/1.5/S/79407, este un proiect strategic care are ca obiectiv general *„Aplicarea de strategii manageriale, de cercetare și didactice destinate îmbunătățirii formării inițiale a viitorilor cercetători prin programul de studii universitare de doctorat, conform procesului de la Bologna, prin dezvoltarea unor competențe specifice cercetării științifice, dar și a unor competențe generale: managementul cercetării, competențe lingvistice și de comunicare, abilități de documentare, redactare, publicare și comunicare științifică, utilizarea mijloacelor moderne oferite de TIC, spiritul antreprenorial de transfer al rezultatelor cercetării. Dezvoltarea capitalului uman pentru cercetare și inovare va contribui pe termen lung la formarea doctoranzilor la nivel european cu preocupări interdisciplinare. Sprijinul financiar oferit doctoranzilor va asigura participarea la programe doctorale în țara și la stagii de cercetare în centre de cercetare sau universități din UE. Misiunea proiectului este formarea unui tânăr cercetător adaptat economiei de piață și noilor tehnologii, având cunoștințe teoretice, practice, economice și manageriale la nivel internațional, ce va promova principiile dezvoltării durabile și de protecție a mediului înconjurător.”*

Proiect finanțat în perioada 2010 - 2013

Finanțare proiect: **16.810.100,00 RON**

Beneficiar: Universitatea Tehnică “Gheorghe Asachi” din Iași

Partener: Universitatea „Babeș Bolyai” din Cluj-Napoca

Director proiect: Prof. univ. dr. ing. Mihai BUDESCU

Responsabil proiect partener: Prof. univ. dr. ing. Alexandru OZUNU

CUPRINS

Introducere	5
1. Așezarea geografică și limitele ariei studiate	7
2. Date și metode	8
2.1. Datele utilizate	8
2.2. Metode	9
3. Schimbările survenite în evoluția elementelor climatice	11
3.1. Schimbări observate în temperaturile medii ale aerului	11
3.1.1. Testele de omogenitate	11
3.1.2. Tendința temperaturii aerului	13
3.1.3. Influența schimbărilor din indicii de teleconexiune ai circulației generale a atmosferei asupra schimbărilor din temperaturile medii ale aerului	14
3.1.4. Schimbări observate în indicii extremelor termice	16
3.1.4.1. Metode	16
3.1.4.2. Rezultate și discuții	16
3.1.4.2.1. Schimbări produse în indicii extremelor termice superioare	17
3.1.4.2.2. Schimbări observate în indicii extremelor termice inferioare	19
3.1.4.2.3. Schimbări observate în indicii de variabilitate	21
3.2. Schimbări observate în precipitațiile atmosferice	23
3.2.1. Testele de omogenitate	23
3.2.2. Tendința precipitațiilor atmosferice	24
3.2.3. Influența schimbărilor din indicii de teleconexiune ai circulației generale a atmosferei asupra schimbărilor din cantitățile de precipitații atmosferice	25
3.2.4. Schimbări observate în indicii extremelor pluviometrice	26
3.2.4.1. Metode	26
3.2.4.1.1. Indicii extremelor pluviometrice	26
3.2.4.1.2. Calculul tendințelor	28
3.2.4.2. Rezultate și discuții	28
3.2.5. Schimbări observate în numărul de zile cu ninsoare și în caracteristicile stratului de zăpadă	32
3.2.5.1. Tendințele numărului de zile cu ninsoare și strat de zăpadă	32
3.2.5.2. Schimbări observate în grosimea stratului de zăpadă	34
3.3. Schimbări observate în nebulozitatea atmosferică	35
3.4. Schimbări survenite în durata de strălucire a Soarelui	36
3.5. Schimbări observate în umezeala relativă	38
3.6. Schimbări observate în temperatura la suprafața solului	39
3.7. Schimbări survenite în presiunea atmosferică	40
3.8. Schimbări observate în regimul eolian	41

4. Schimbările survenite în evoluția fenomenelor climatice periculoase	43
4.1. Fenomene climatice periculoase specifice intervalului rece al anului	43
4.1.1. Schimbări survenite în numărul de zile cu brumă.....	43
4.1.2. Schimbări observate în numărul de zile cu polei	44
4.1.3. Schimbări observate în numărul zilelor cu ceață.....	45
4.1.4. Schimbări survenite în numărul zilelor cu viscol.....	46
4.2. Fenomene climatice periculoase specifice intervalului cald al anului	47
4.2.1. Schimbări survenite în numărul anual al zilelor cu grindină.....	47
4.2.2. Schimbări observate în numărul zilelor cu fenomene orajoase.....	48
5. Ariditatea.....	50
5.1. Metode	50
5.2. Tendința IDM.....	51
6. Evapotranspirația de referință	53
6.1. Metode	53
6.2. Schimbări survenite în ET_0.....	55
Concluzii	57
Bibliografie.....	61
Lista publicațiilor științifice incluse tematicii tezei de doctorat (2010-2013).....	66

Cuvinte cheie: schimbări climatice, temperatura aerului, precipitațiile atmosferice, indicii de teleconexiune, indicii extremelor termice, indicii extremelor pluviometrice, testele de omogenitate, testul Mann-Kendall, panta Sen, ariditatea, evapotranspirația de referință, nord-estul României.

Introducere

În ultimii ani studiarea schimbărilor climatice a devenit un subiect intens cercetat și dezbătut în multe părți ale lumii. Importanța acordată schimbărilor climatice recente este dată de faptul că acestea au numeroase efecte negative asupra ecosistemelor naturale și asupra societății. Creșterea temperaturilor medii și extreme ale aerului din ultimul secol a fost demonstrată în numeroase studii efectuate în diferite regiuni ale lumii (Frich et al., 2002; Klein Tank și Konnen, 2003; Vinnikov și Grody, 2003; del Rio et al., 2005; Vincent et al., 2005; Moberg et al., 2006; IPCC 2007; El Kenawy et al., 2011; del Rio et al., 2012). Una dintre cele mai semnificative consecințe ale creșterii temperaturilor aerului este creșterea magnitudinii și frecvenței evenimentelor negative legate de precipitațiile extreme generate de creșterea nivelului de umezeală al atmosferei (Sen Roy și Balling, 2004). Încălzirea globală, alături de schimbările survenite în cantitățile de precipitații sunt realități care au numeroase efecte negative asupra multelor aspecte ale societății și ecosistemelor naturale. Printre efectele adverse provocate de schimbările în aceste două elemente climatice se numără: stresul termic de o intensitate mai crescută care va duce la o frecvență mai ridicată a deceselor și afecțiunilor specifice cauzate de temperaturile înalte și la o vulnerabilitate crescută a plantelor, creșterea frecvenței evenimentelor hidrologice extreme, cum sunt inundațiile și secetele, evenimente care au un impact profund asupra economiei, mai ales a țărilor în curs de dezvoltare, unde agricultura ocupă un loc major între domeniile de activitate (Choi et al., 2009; Radinović și Ćurić, 2012; Wang et al., 2012), cum este și cazul României.

Pentru o înțelegere mai profundă a schimbărilor climatice, în rândurile următoare vom da definițiile climei și a schimbărilor climatice așa cum au fost ele formulate de către Organizația Meteorologică Mondială (OMM, 2002).

Clima reprezintă caracteristica stărilor de vreme pe o perioadă îndelungată de timp specifică unui anumit teritoriu, a cărui extindere poate varia în suprafață – de la un anumit loc, până la întregul glob terestru, iar pe verticală de la adâncimea straturilor de uscat și acvatic, la care nu se mai resimt oscilațiile ciclurilor anuale ale unor elemente meteorologice, până la înălțimi la care se produc majoritatea fenomenelor atmosferice, corespunzând aproximativ cu limita superioară a troposferei, primul strat al atmosferei (OMM, 2002; Sandu et al., 2008).

Schimbarea climei reprezintă o modificare semnificativă din punct de vedere statistic în starea climei care poate fi identificată de schimbările în media și/sau variabilitatea principalelor variabile climatice și care persistă pentru o perioadă lungă de timp, de regulă de ordinul deceniilor sau mai mult. Aceste schimbări sunt determinate atât de factori naturali, cât și antropici (OMM, 2002).

Definiția adoptată de către Convenția Cadru a Națiunilor Unite asupra Schimbărilor Climatice (UNFCCC) se referă numai la cauzele determinate de activitățile antropice care alterează compoziția atmosferei excluzând alte efecte ale activității umane cum sunt modificările produse în utilizarea terenurilor etc.

De multe ori, termenul de „schimbări climatice” se folosește pentru a include toate variațiile climatice, lucru care poate conduce la confuzii majore. Clima cunoaște variații la toate scările de timp și spațiu și va fi într-o continuă modificare, însă ceea ce face diferența între variabilitatea climatică și schimbarea climatică este persistența condițiilor de anormalitate. Cu alte cuvinte, evenimentele de natură climatică ce obișnuiau să se producă numai arareori au devenit mai frecvente (temperatura maximă a aerului din timpul verii în continuă creștere doboară recorduri an de an sau la intervale de numai câțiva ani). În termeni statistici, curba frecvenței distribuției ce reprezintă probabilitatea producerii unui eveniment meteorologic este schimbată. Schimbarea poate surveni fie în amplitudinea curbei, fie curba este deplasată pe o nouă medie, fie ambele (OMM, 2002).

Pe de altă parte, nu se poate vorbi de schimbare climatică indusă de activitățile umane atunci când are loc un eveniment singular de o severitate nemaiîntâlnită. Chiar dacă într-o anumită regiune se surprinde un eveniment sau o succesiune de evenimente care nu au mai fost înregistrate până atunci (tornade, uragane, secete extrem de intense etc.), dacă aceste episoade nu se vor mai manifesta în următorii 30 ani ele pot fi considerate ca făcând parte din variabilitatea naturală a climei.

Înregistrările geologice au demonstrat că istoria pe termen lung a Pământului este punctată de numeroase schimbări de climă produse cu o rapiditate de câteva decenii cauzând impacturi ce au durat sute de ani până la un mileniu. Aceste schimbări nu sunt omogene, astfel că unele regiuni se încălzesc în timp ce alte zone se răcesc, devin aride sau umede.

În multe regiuni ale lumii variațiile climatice sunt mult mai ample decât în altele, ce este normal pentru o locație poate prezenta caracter de anormalitate pentru alta. În unele zone pentru anumite sezoane sau perioade de timp, variabilitatea poate fi slabă, dar în altele, condițiile pot oscila pe un ecart mare, de la perioade cu îngheț la perioade foarte călduroase sau de la perioade foarte umede la perioade foarte uscate manifestând variații puternice imprimând schimbărilor climatice particularități specifice, astfel că studierea schimbărilor la nivel regional și chiar local este foarte importantă.

Scopul principal al studiului de față este identificarea schimbărilor climatice recente din nord-estul României pe un interval de 50 de ani (1961-2010).

1. Așezarea geografică și limitele ariei studiate

Aria aflată în studiu se localizează în partea de nord-est a României, acoperind jumătatea nordică a Regiunii Moldovei. Este amplasată între limitele geografice date de meridianele de $25^{\circ} 02'$ și $28^{\circ} 07'$ longitudine estică și de paralelele de $46^{\circ} 37'$ și $48^{\circ} 15'$ latitudine nordică. Ea se desfășoară pe teritoriul administrativ a 4 județe: Botoșani, Iași, Neamț și Suceava (Figura 1). Suprafața pe care o ocupă această arie este de 24911 km^2 întinzându-se pe aproximativ 2° latitudine și 3° longitudine.

Se învecinează la nord cu Ucraina, la est cu Republica Moldova, la sud cu județele Bacău și Vaslui, iar în partea de vest cu județele Maramureș, Bistrița-Năsăud, Mureș și Harghita.

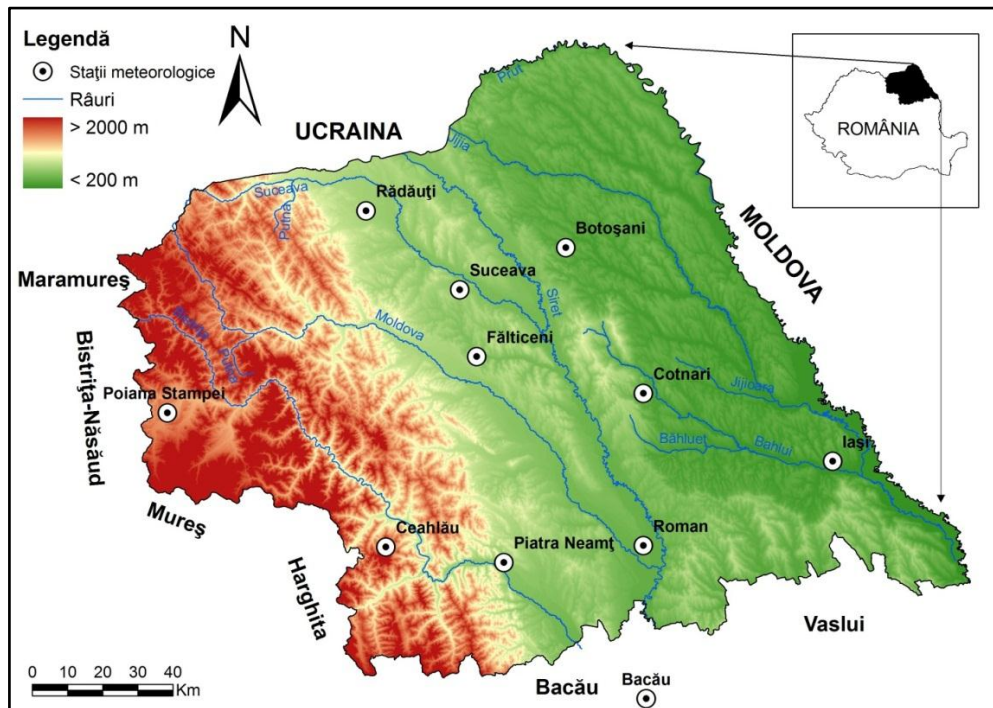


Figura 1. Așezarea geografică, limitele ariei studiate și stațiile meteorologice luate în considerare

2. Date și metode

2.1. Datele utilizate

Pentru întocmirea studiului de față s-au utilizat datele rezultate din măsurătorile efectuate la 10 stații meteorologice uniform distribuite în aria de interes. Două stații sunt localizate în aria montană (Ceahlău și Poiana Stampei), cinci în regiunile de deal și podiș (Fălticeni, Piatra Neamț, Rădăuți, Roman și Suceava) și trei în zona de câmpie (Botoșani, Cotnari și Iași). Pentru efectuarea unor analize mai detaliate cu privire la indicii extremelor termice și pluviometrice s-au folosit și datele de la o a 11-a stație (Bacău), ca stație de sprijin, situată în afara teritoriului analizat, la aproximativ 17 km sud de acesta. Coordonatele geografice și localizarea stațiilor de la care s-au utilizat datele în lucrarea de față sunt ilustrate în Tabelul 1 și Figura 1.

Tabelul 1. Coordonatele geografice ale stațiilor meteorologice din nord-estul României

Stația meteorologică ^a	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m)
<i>Bacău</i>	46°31'	26°54'	184
<i>Botoșani</i>	47°44'	26°39'	161
<i>Ceahlău</i>	46°59'	25°57'	1897
<i>Cotnari</i>	47°22'	26°56'	289
<i>Fălticeni</i>	47°28'	26°18'	348
<i>Iași</i>	47°10'	27°38'	102
<i>Piatra Neamț</i>	46°55'	26°24'	314
<i>Poiana Stampei</i>	47°20'	25°08'	923
<i>Rădăuți</i>	47°50'	25°54'	389
<i>Roman</i>	46°58'	26°55'	216
<i>Suceava</i>	47°38'	26°15'	350

^aStațiile meteorologice sunt aranjate în ordine alfabetică

Datele climatice utilizate în analiza climatologică a studiului de față provin din Arhiva Administrației Naționale de Meteorologie. Acestea au fost extrase din buletinele meteorologice, tabelele meteorologice TM-1 și TM-11, anuarele meteorologice și din baza de date a proiectului ECA&D (Klein Tank et al., 2002). Unele lipsuri din șirurile de observații au fost completate cu date obținute prin corelație cu datele de la cea mai apropiată stație.

Perioada de analiză aleasă a fost de 50 de ani: 1961-2010, fiind suficient de lungă pentru a se putea evidenția schimbările produse în parametrii climatici analizați și a se putea trage concluzii cât mai valide. Intervalul ales de 50 ani a mai avut ca raționament și evitarea, cât mai mult posibil, a neomogenităților și lipsurilor din date determinate de factorii nonclimatici.

Distribuția spațială a unor elemente și fenomene climatice este puternic influențată de altitudine și latitudine. Astfel că, în realizarea hărților cu repartitia teritorială a valorilor medii ale unor elemente și fenomene climatice am utilizat Modelul Digital de Elevație (DEM) la o

rezoluție spațială de 80 metri pentru teritoriul studiat. Datele spațiale au fost furnizate de către proiectul geo-spatial și au fost descărcate din secțiunea *Download* a site-ului www.geo-spatial.org (<http://earth.unibuc.ro/download/datele-srtm90-reproiectate-in-stereo70>) având la bază modelul SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), model care reprezintă cea mai bună sursă globală de date altimetrice de teren.

Pentru a identifica schimbările produse în indicii de teleconexiune ai circulației atmosferice ce influențează tendințele principalelor elemente ale climatului regiunii studiate am utilizat datele lunare a cinci indici: Oscilația Nord-Atlantică (NAO), indicele Atlanticului de Est (EA), indicele anomaliei Atlanticului de Est - Rusia de Vest (EW), indicele Circulației Scandinave (SC) și indicele Circulației Polare - Eurasiatice (PO). Datele au fost selectate în acord cu intervalul de referință (1961-2010). Acestea au fost furnizate de către Administrația Americană a Oceanelor și Atmosferei (NOAA), secția Centrului de Predicții Climatice (CPC - <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>).

2.2. Metode

Studierea climei și a schimbărilor climatice din nord-estul României a fost realizată prin mijloace moderne de lucru, utilizând metode și teste statistice, precum și tehnici SIG (Sistem Informatic Geografic).

Pentru ilustrarea repartiției spațiale a elementelor și fenomenelor climatice a căror variație teritorială este în foarte strânsă legătură cu altitudinea am utilizat o metoda foarte cunoscută în literatura de specialitate – Detrended Kriging, fiind considerată cea mai adecvată în interpolarea climatologică (Patriche, 2009).

La acei parametri la care coeficientul de corelație în raport cu altitudinea nu a avut valori suficient de mari, realizarea distribuției spațiale s-a realizat prin interpolarea valorilor utilizând metoda Ordinary Kriging.

Ca regulă generală, pentru testarea neomogenităților trebuie să fie utilizate mai mult de o metodă (Vezzoli et al., 2012), prin urmare identificarea punctelor de schimbare (neomogenităților) din seriile de timp a fost efectuată cu patru teste de omogenitate: Standard Normal Homogeneity Test – SNH – (Alexandersson, 1986), Buishand Range test – BHR – (Buishand, 1982), Pettitt test – PET – (Pettitt, 1979), Von Neumann Ratio test – VON (von Neumann, 1941).

De asemenea, înainte de a efectua o analiză detaliată asupra indicilor de temperaturi și precipitații extreme, datele au fost testate privind omogenitatea lor utilizându-se cinci teste de omogenitate: SNH (Alexandersson, 1986), BHR (Buishand, 1982), PET (Pettitt, 1979), VON (von Neumann, 1941) și Penalized Maximal F - PMF test (Wang, 2008). Acestea au fost realizate cu programele XLSTAT și RHtestV3.

Testul Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) combinat cu panta Sen (Gilbert 1987) a fost utilizat pentru determinarea tendinței în seriile de timp lunare, sezonale, anuale și a altor serii de timp specifice. Calculele după cele două metode au fost realizate utilizând programul de

calcul automat MAKESENS (Mann-Kendall test for trend and Sen's slope estimates), creat de către cercetătorii Institutului Meteorologic Finlandez (Salmi et al, 2002). În România, aceleași metode și același program au fost, de asemenea, utilizate cu rezultate bune pentru a detecta tendințele unor șiruri de date (temperatură, precipitații, ceață, strat de zăpadă, durată de strălucire a Soarelui) (Micu și Micu, 2006; Micu, 2009; Croitoru et al., 2012b; Piticar și Ristoiu, 2012).

Estimarea influenței pe care o au tendințele indicilor de teleconexiune ai circulației atmosferice asupra tendințelor temperaturii și cantităților de precipitații s-a realizat prin metoda testului condițional (sau parțial) Mann-Kendall (Libiseller și Grimvall, 2002).

În vederea cuantificării schimbărilor climatice privind ariditatea și evapotranspirația în aria de studiu s-a utilizat indicele de ariditate de Martonne bazat pe temperatură și precipitații și metoda Penman-Monteith (Allen et al., 1998) pentru calcularea evapotranspirația de referință.

Alte metode statistice utilizate au fost: frecvența absolută și relativă, coeficientul de corelație etc.

3. Schimbările survenite în evoluția elementelor climatice

3.1. Schimbări observate în temperaturile medii ale aerului

3.1.1. Testele de omogenitate

În Tabelul 2 și Figura 2a-d sunt reprezentate rezultatele celor patru teste de omogenitate (PET, SNH, BHR și VON) aplicate pe seriile de timp anuale pentru perioada 1961-2010. Rezultatele testelor arată că rupturile din seriile de timp sunt caracteristice sfârșitului anilor '80 și '90 (Tabelul 2 și Figura 2a-d).

Tabelul 2. Rezultatele testelor de omogenitate pentru temperaturile medii anuale în nord-estul României (1961-2010)

Stația	PET	SNH	BHR	VON
Botoșani	391*** 1988 ¹	14.587*** 1988	13.542*** 1988	1.406*
Ceahlău	329** 1995	11.869** 1995	11.277** 1995	1.65
Cotnari	354** 1988	14.266*** 1998	12.681*** 1988	1.343**
Fălticeni	385*** 1988	16.542*** 1998	14.101*** 1988	1.160***
Iași	356** 1988	13.146** 1988	12.856*** 1988	1.432*
Piatra Neamț	317** 1988	10.747** 1998	11.086** 1988	1.527*
Poiana Stampei	460*** 1988	19.920** 1998	14.249*** 1988	1.322*
Rădăuți	412*** 1988	16.703*** 1988	14.491*** 1988	1.183***
Roman	370*** 1988	15.426*** 1998	13.087*** 1988	1.381*
Suceava	414*** 1988	16.992*** 1988	14.615*** 1988	1.239**

*Semnificativ la nivelul 0.05, **semnificativ la nivelul 0.01, ***semnificativ la nivelul 0.001.

¹Anul în care s-a produs schimbarea (punctul de schimbare)

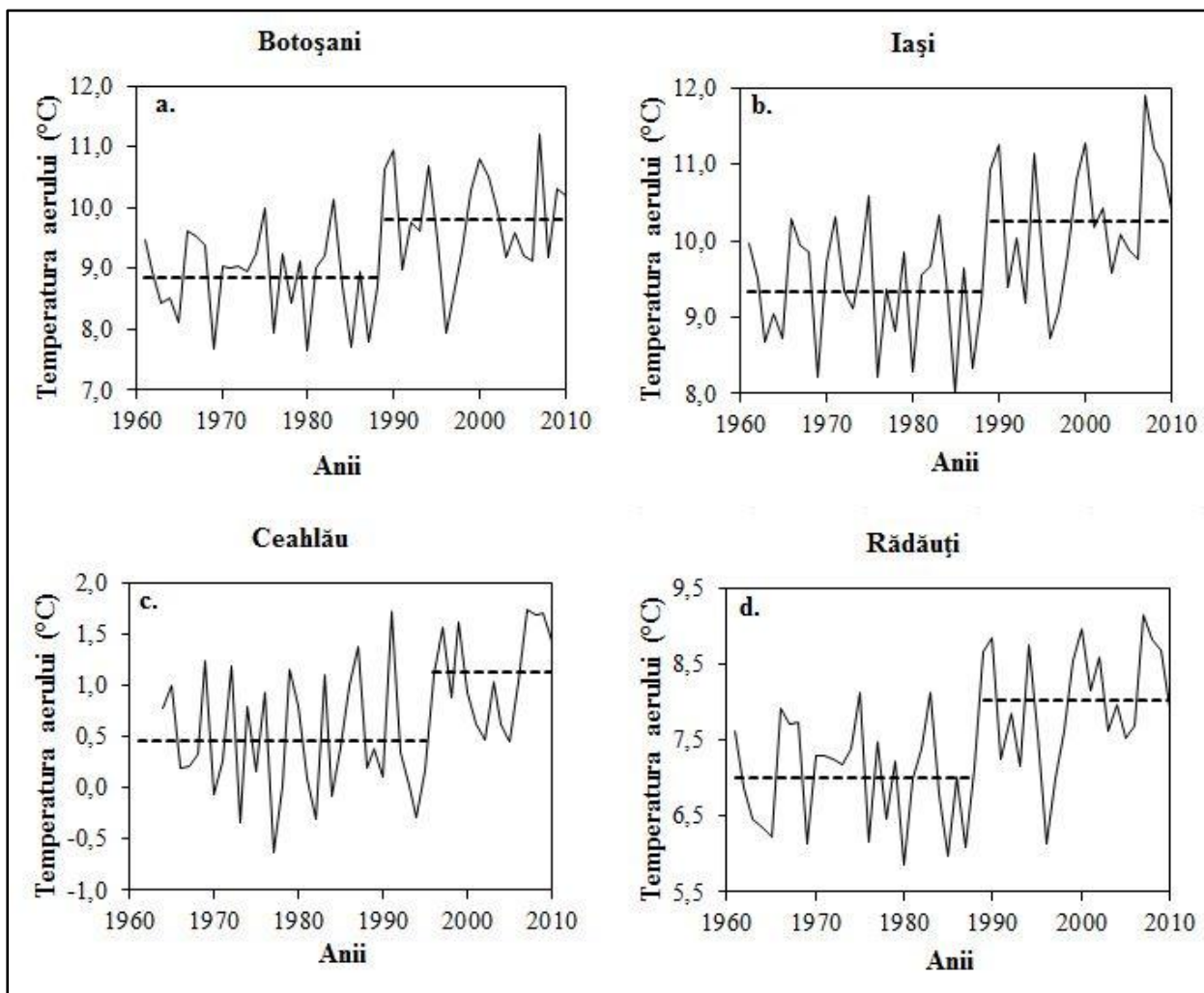


Figura 2. Mediile anuale ale temperaturii aerului a celor două subintervale și punctul de schimbare detectat ce le separă în nord-estul României (1961-2010)

Din cele patru teste de omogenitate aplicate pe seriile anuale de temperatură (Tabelul 2 și Figura 2a-d) reiese că anul 1988 reprezintă anul în care punctul de schimbare s-a produs la cele mai multe stații de pe teritoriul analizat. Acest an coincide cu anul în care s-a identificat un punct de schimbare semnificativ statistic în temperatura aerului din Europa Centrală și Nordică (Donnelly et al., 2009).

Hari et al. (2006), au descoperit că un punct de schimbare a fost raportat, de asemenea, în anul 1988 în temperatura aerului și apei din regiunea alpină. Aceste puncte de schimbare au fost atribuite unei schimbări bruște în Oscilația Nord - Atlantică (NAO) dintr-o fază negativă într-o fază pozitivă extinsă ce continuă și astăzi (Hari et al., 2006; Donnelly et al., 2009). Aceleași surse precizează că în jurul momentului respectiv s-a petrecut o schimbare majoră în variabilitatea circulației atmosferice de deasupra regiunii nord-atlantice, schimbare ce a fost asociată cu o creștere bruscă a temperaturii aerului și o ocurență crescută a vânturilor vestice.

3.1.2. Tendința temperaturii aerului

Temperatura medie anuală a crescut în nord-estul României de-a lungul perioadei de analiză (1961-2010) cu 0,16 – 0,33°C/deceniu (Tabelul 3 și Figura 3a). Conform testului Mann-Kendall, această tendință este semnificativă din punct de vedere statistic la nivelul $\alpha = 0,05$ pentru toate stațiile analizate.

Creșterea valorilor temperaturii aerului nu a fost egală pe parcursul unui an. Cea mai mare creștere a temperaturii aerului s-a înregistrat în anotimpul de vară (0,18 – 0,49°C/deceniu), valorile fiind semnificative statistic la toate stațiile analizate (Tabelul 3 și Figura 3d). De asemenea, o încălzire accentuată s-a înregistrat și în anotimpul de iarnă (0,01 – 0,66°C/deceniu), fiind statistic semnificativă pentru șapte stații dintre cele zece analizate (Tabelul 3 și Figura 3b). Pentru anotimpul de primăvară a fost înregistrată o încălzire moderată cu valori cuprinse între 0,10 – 0,39°C/deceniu, fiind statistic semnificativă pentru șase stații meteorologice (Tabelul 3 și Figura 3c). Contrar creșterilor generalizate ale temperaturilor din anotimpurile de vară, iarnă și primăvară, în anotimpul de toamnă tendințele la stațiile analizate au fost, în mare parte, staționare sau ușor negative (Tabelul 3 și Figura 3e), însă nefiind statistic semnificative (Piticar și Ristoiu, 2012). Aceste rezultate sunt în acord cu cele obținute la scara României (Busuioc et al., 2010, Croitoru et al., 2012b).

Tabelul 3. Tendințele temperaturilor aerului (°C/deceniu) în nord-estul României (1961-2010).

Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$.

Perioada	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	0,93	0,06	0,87	0,80	0,50	0,88	0,64	0,80	0,64	0,79
F	0,56	-0,04	0,72	0,68	0,43	0,50	0,44	0,63	0,55	0,59
M	0,45	-0,15	0,62	0,64	0,43	0,58	0,40	0,54	0,55	0,50
A	0,00	0,17	0,16	0,18	0,04	-0,03	0,27	0,21	0,14	0,20
M	0,23	0,20	0,25	0,30	0,17	0,18	0,31	0,27	0,27	0,25
I	0,24	0,33	0,29	0,38	0,21	0,14	0,50	0,33	0,33	0,33
I	0,44	0,57	0,49	0,52	0,41	0,24	0,52	0,51	0,49	0,50
A	0,23	0,50	0,34	0,43	0,25	0,25	0,53	0,45	0,38	0,44
S	-0,18	0,00	-0,12	-0,01	-0,10	-0,27	0,00	-0,04	-0,05	-0,05
O	0,00	0,17	0,09	0,15	0,06	-0,06	0,26	0,07	0,06	0,08
N	-0,25	0,20	-0,17	-0,20	-0,26	-0,29	-0,05	-0,08	-0,09	-0,09
D	0,21	0,00	0,21	0,24	0,13	0,23	0,27	0,20	0,08	0,23
Iarna	0,45	0,01	0,66	0,52	0,33	0,47	0,30	0,53	0,44	0,54
Primăvara	0,23	0,10	0,33	0,39	0,22	0,29	0,33	0,36	0,33	0,33
Vara	0,27	0,44	0,36	0,42	0,28	0,18	0,49	0,40	0,36	0,39
Toamna	-0,08	0,09	-0,04	-0,02	-0,07	-0,18	0,07	0,00	0,00	0,03
Anual	0,23	0,16	0,27	0,30	0,25	0,20	0,33	0,29	0,23	0,27

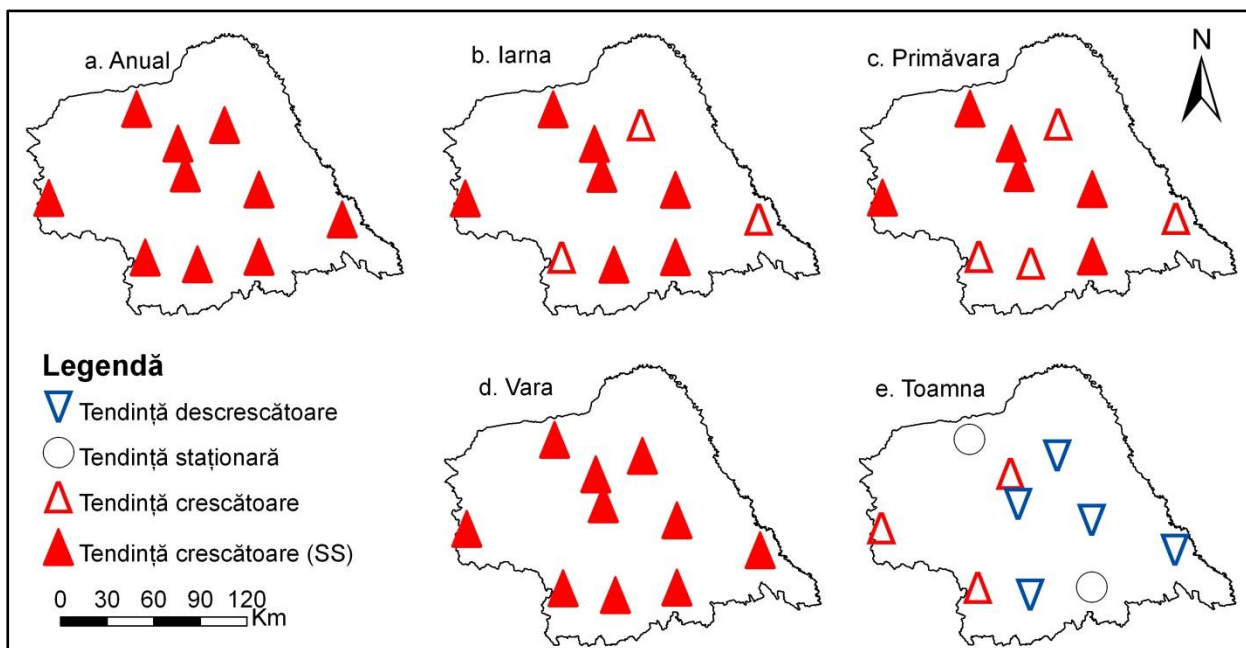


Figura 3. Repartiția teritorială a tendințelor temperaturii aerului în nord-estul României (1961-2010)

3.1.3. Influența schimbărilor din indicii de teleconexiune ai circulației generale a atmosferei asupra schimbărilor din temperaturile medii ale aerului

În Tabelul 4 sunt listați indicii de teleconexiune ale căror tendințe sunt semnificative din punct de vedere statistic corelate cu tendințele temperaturii aerului calculate pentru perioada corespunzătoare.

Rezultatele testului condițional Mann-Kendall indică faptul că creșterea temperaturii aerului din luna ianuarie este explicată în totalitate de indicii EA și NAO. Coeficientul de corelație dintre acești indici și temperatura aerului pentru luna ianuarie este mai mare pentru indicele NAO (0,58), decât pentru EA, care este de numai 0,39, ceea ce sugerează că indicele NAO exercită o influență mai mare asupra temperaturii aerului din această lună (Piticar și Ristoiu, 2013b).

Tendințele negative ale indicelui de teleconexiune PO din lunile februarie, martie și mai arată o influență semnificativă asupra încălzirii aerului din aceste luni.

Încălzirea puternică din lunile de vară (iunie, iulie și august) poate fi explicată de tendințele negative ale indicilor EW și SC (în iulie și august) și a indicelui NAO (în iunie), precum și de tendințele pozitive ale indicelui EA (în iulie și august). Cel mai mare coeficient de corelație dintre indicii de teleconexiune ai circulației atmosferice și temperatura aerului din lunile de vară a fost detectat la indicele EA (0,52). Aceste rezultate sunt în concordanță cu rezultatele altor studii făcute pentru teritoriul României (Tomozeiu et al., 2002; Croitoru et al., 2012a).

Tabelul 4. Influența tendințelor indicilor de teleconexiune asupra tendințelor temperaturilor aerului în nord-estul României (1961-2010)

Perioada	Temperatura aerului
I	EA, NAO
F	PO-
M	PO-
A	
M	PO-
I	EW*-, SC*-, NAO-
I	EA*
A	EA* , EW*-, SC*-
S	
O	
N	
D	
Iarna	EA, NAO, PO*-
Primăvara	EA, PO*-
Vara	EA* , EW*-,
Toamna	
Anual	EA* , EW*-, PO*-, SC*-

Notă: cu bold – tendință statistic semnificativă la toate stațiile; „-” relație inversă; * - indicele explică statistic semnificativ numai parțial tendința

Analiza influenței indicilor de teleconexiune ai circulației atmosferice asupra temperaturii aerului ne arată că la nivel de anotimpuri încălzirea din timpul iernii are legătură cu tendințele pozitive ale indicilor EA și NAO și cu tendințele negative ale indicelui PO din această perioadă.

Creșterea temperaturii aerului din anotimpul de primăvară a fost influențată de tendința pozitivă a indicelui EA și tendința negativă a indicelui de teleconexiune PO.

Creșterea semnificativă a temperaturii aerului din timpul verii a fost influențată de tendința pozitivă a indicelui EA și tendința negativă a indicelui EW, dar procesul de încălzire din perioada de vară este explicat doar parțial de tendințele acestor doi indici.

Indicii de teleconexiune EA, EW, PO și SC manifestă tendințe semnificative statistic chiar și la nivel de serii de date anuale, aceste tendințe fiind răspunzătoare de tendințele pozitive ale temperaturii medii anuale a aerului.

3.1.4. Schimbări observate în indicii extremelor termice

În contextul general al modificărilor climatice se consideră că unii dintre cei mai sensibili parametri climatici sunt temperaturile extreme. În ultimii ani s-au făcut eforturi susținute pentru determinarea schimbărilor nu numai în mediile termice, ci și în frecvența, intensitatea și durata temperaturilor extreme, deoarece acestea pot avea consecințe deosebit de profunde asupra ecosistemelor, sectorului economic și societății (El Kenawy et al., 2011, Croitoru și Piticar, 2013).

Pe teritoriul României cea mai mare parte a studiilor s-a axat mai degrabă pe observarea schimbărilor în temperaturile medii ale aerului decât pe temperaturile extreme (Micu și Micu, 2006; Micu, 2009, Busuioc et al., 2010; Croitoru et al., 2012a, Croitoru et al., 2012b, Piticar și Ristoiu, 2012).

3.1.4.1. Metode

În această lucrare am utilizat un set de 20 de indici cu privire la temperaturile extreme folosind date zilnice de temperatură de la 4 stații meteorologice pentru perioada 1961-2010.

Calculul indicilor a fost efectuat cu programul de calcul automat RCLimDex dezvoltat de către Byron Gleason la NCDC (National Climate Data Center) a NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Zhang și Yang; 2004). Descrierea acestora pe scurt se poate observa în Tabelul 5.

3.1.4.2. Rezultate și discuții

Când s-a analizat intensitatea tendințelor din indicii extremelor termice au fost definite trei grade de intensitate:

- creștere/descrescere pronunțată (triunghiurile mari din figurile 5, 7 și 8): $>/< 4,000$ zile/deceniu pentru indicii SU25, TR30, TRD35, TR20, TN90p, TX90p, ID0, FD0, FN-10, TN10p, TX10p, GSL și de la $\pm 0,601$ până la $\pm 0,900$ °C/deceniu pentru indicii TXn, TXx, TNx, TNn, TXmean, TNmean, DTR și ETR;
- creștere/descrescere moderată (triunghiurile medii din figurile 5, 7 și 8): de la $\pm 2,001$ până la $\pm 4,000$ zile/deceniu pentru indicii SU25, TR30, TRD35, TR20, TN90p, TX90p, ID0, FD0, FN-10, TN10p, TX10p, GSL și de la $\pm 0,301$ până la $0,600$ °C/deceniu pentru indicii TXn, TXx, TNx, TNn, TXmean, TNmean, DTR și ETR;
- creștere/descrescere scăzută (triunghiurile mici din figurile 5, 7 și 8): de la $\pm 0,001$ până la $\pm 2,000$ zile/deceniu pentru indicii SU25, TR30, TRD35, TR20, TN90p, TX90p, ID0, FD0, FN-10, TN10p, TX10p, GSL și de la $\pm 0,001$ până la $0,300$ °C/deceniu pentru indicii TXn, TXx, TNx, TNn, TXmean, TNmean, DTR și ETR.

Tabelul 5. Lista indicilor climatici definiți de către ETCCDMI (după Zhang și Yang, 2004)

Abrev.	Denumire indice	Definiție	UM
Extreme termice superioare			
SU25	Zile de vară	Numărul de zile anual când temperatura maximă > 25°C	Zile
TR20	Noapți tropicale	Numărul de zile anual când temperatura minimă > 20°C	Zile
TR30	Zile tropicale	Numărul de zile anual când temperatura maximă > 30°C	Zile
HD35	Zile caniculare	Numărul de zile anual când temperatura maximă > 35°C	Zile
TN90p	Noapți călduroase	Procentajul de zile când temperatura minimă > percentila 90	Zile
TX90p	Zile călduroase	Numărul de zile anual când temperatura maximă > percentila 90	Zile
TXx	Maxima lunară absolută	Valoarea maximă lunară a maximelor zilnice	°C
TXn	Minima maximelor	Valoarea minimă lunară a maximelor zilnice	°C
TXmean	Media maximelor	Valoarea medie lunară a maximelor zilnice	°C
Extreme termice inferioare			
FD0	Zile cu îngheț	Numărul de zile anual când temperatura minimă < 0°C	Zile
ID0	Zile de iarnă	Numărul de zile anual când temperatura maximă < 0°C	Zile
FN-10	Noapți geroase	Numărul de zile anual când temperatura minimă < -10°C	Zile
TN10p	Noapți reci	Procentajul de zile când temperatura minimă < percentila 10	Zile
TX10p	Zile reci	Procentajul de zile când temperatura maximă < percentila 10	Zile
TNx	Maxima minimelor	Valoarea maximă lunară a minimelor zilnice	°C
TNn	Minima lunară absolută	Valoarea minimă lunară a minimelor zilnice	°C
TNmean	Media minimelor	Valoarea medie lunară a minimelor zilnice	°C
Indici de variabilitate			
DTR	Amplitudinea termică zilnică	Diferența medie lunară dintre maximele și minimele zilnice	°C
ETR	Amplitudinea termică anuală	Diferența dintre maxima și minima anuală	°C
GSL	Perioada de vegetație	Numărul de zile anual dintre primul interval de timp de cel puțin 6 zile cu temperatura medie > 5°C și primul interval de timp (după 1 iulie) de cel puțin 6 zile consecutive cu temperatura medie < 5°C	Zile

3.1.4.2.1. Schimbări produse în indicii extremelor termice superioare

Indicii extremelor termice superioare, care sunt calculați în principal pe baza datelor zilnice de temperaturi maxime, au în cea mai mare parte tendințe pozitive pe teritoriul analizat (Tabelul 4 și Figura 6). Aceste rezultate demonstrează că temperaturile din lunile de vară au crescut mai mult pe perioada din zi cu iluminare solară decât pe perioada nopții.

Cele mai mari pante ale tendințelor indicilor extremelor termice superioare au fost înregistrate pentru zilele de vară (SU25) și zilele tropicale (TR30) cu valori medii de 3,9, respectiv 2,9 zile/deceniu (Tabelul 4 și Figura 5).

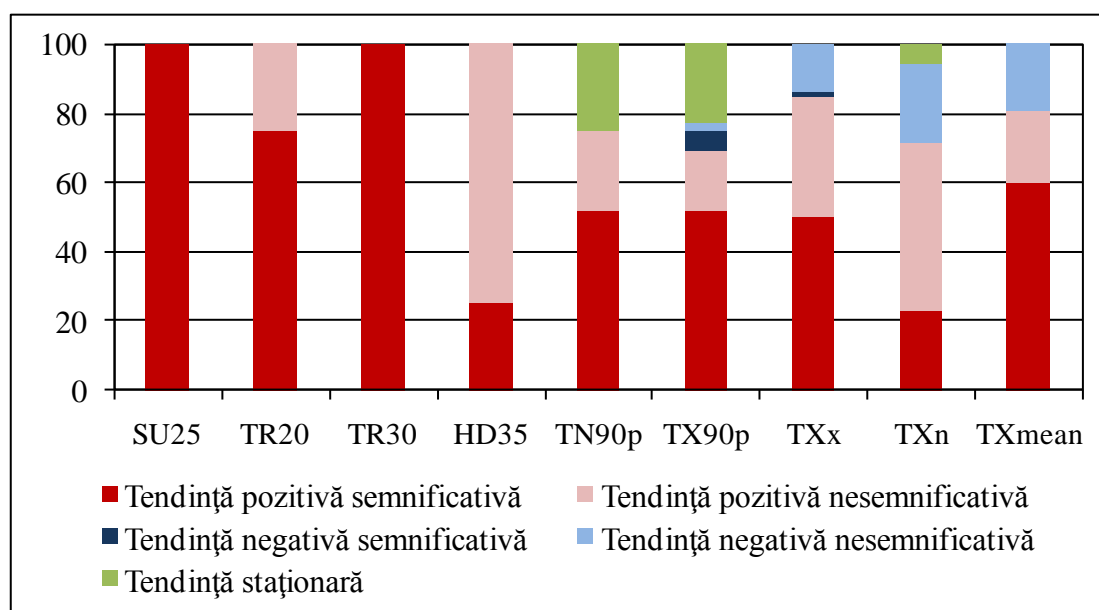


Figura 4. Frecvența tipurilor de tendințe a indicilor extremelor termice superioare în nord-estul României (1961-2010)

Tabelul 6. Pantele indicilor extremelor termice superioare calculate pentru seriile de date anuale în nord-estul României (1961-2010). În cazul indicilor calculați pentru fiecare lună și la nivel anual, numai valorile anuale sunt prezentate în tabel.

Stația	SU25	TR20	TR30	HD35	TN90p	TX90p	TXx	TXn	TXmean
	Panta								
	Zile/deceniu				% din zile/deceniu		°C/deceniu		
Suceava	3,261^a	0,050	1,538	0,110	2,407	1,539	0,375	-0,133	0,296
Botoșani	3,571	0,260	2,857	0,410	1,300	1,257	0,462	-0,282	0,290
Iași	3,571	0,580	3,514	0,910	1,509	1,232	0,583	-0,133	0,239
Bacău	5,000	0,260	3,784	0,500	1,380	1,646	0,605	0,000	0,308
Media	3,851	0,288	2,923	0,483	1,649	1,419	0,506	-0,137	0,283

^aValorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,1$

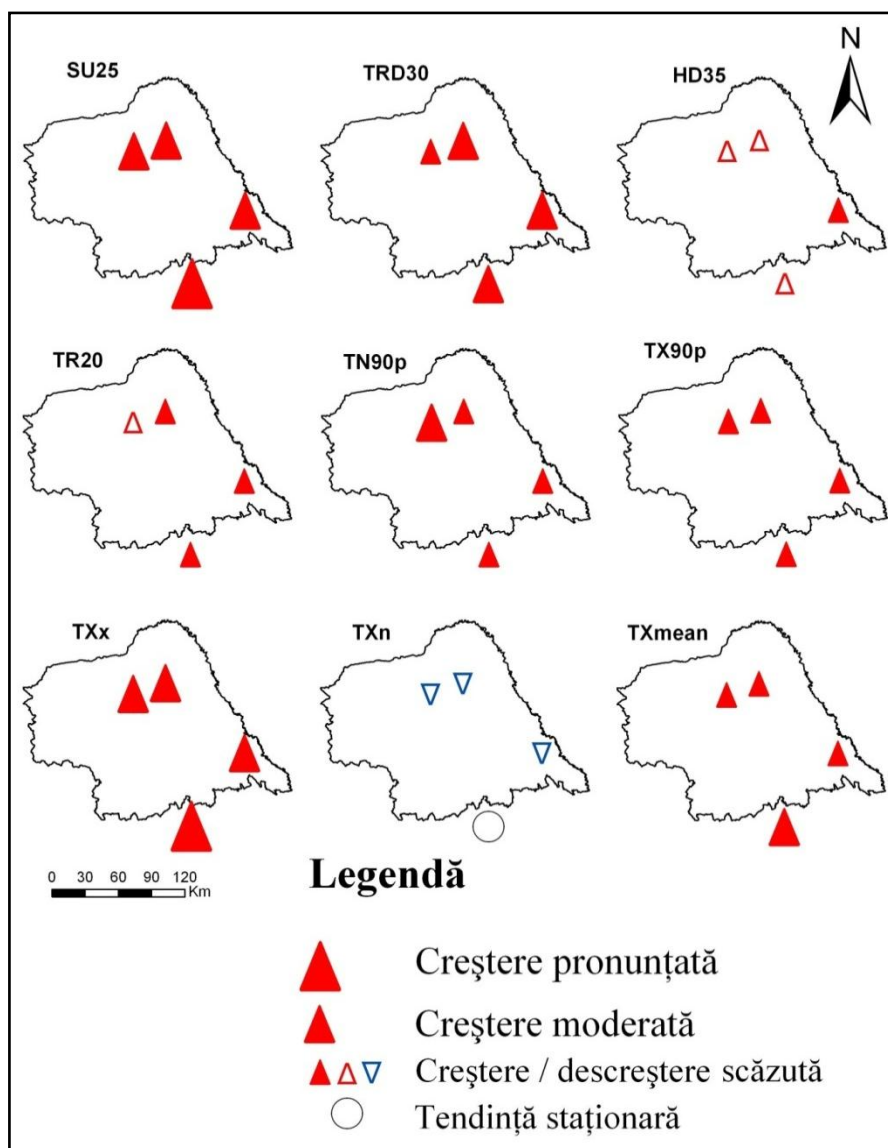


Figura 5. Distribuția spațială și intensitatea tendințelor indicilor extremelor termice superioare în nord-estul României (1961-2010)

3.1.4.2.2. Schimbări observate în indicii extremelor termice inferioare

Pentru acest tip de indici, tendințele specifice sunt cele negative, în special acelea calculate pentru indicii bazați pe praguri fixe și de percentilă: FD0, ID0, FN-10, TN10p și TX10p (Tabelul 7 și Figura 6). Tendințele pozitive au o frecvență foarte scăzută pentru acești indici, ceea ce este o dovadă importantă a procesului de încălzire din timpul iernii. Indicii bazați pe valorile absolute ale temperaturilor minime zilnice (TNx, TNn și TNmean), prin frecvența mare a tendințelor pozitive, indică, de asemenea, intensificarea procesului de încălzire de-a lungul perioadei analizate de 50 de ani.

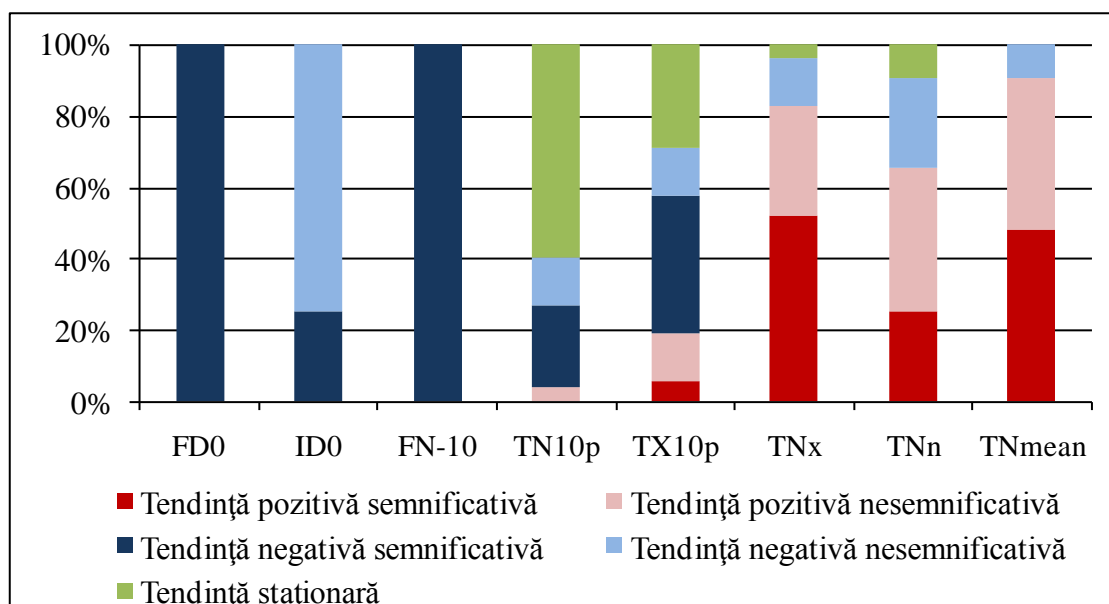


Figura 6. Frecvența tipurilor de tendințe a indicilor extremelor termice inferioare în nord-estul României (1961-2010)

Tabelul 7. Pantele indicilor extremelor termice inferioare calculate pentru seriile de date anuale în nord-estul României (1961-2010). În cazul indicilor calculați pentru fiecare lună și la nivel anual, numai valorile anuale sunt prezentate în tabel.

Stația	FD0	ID0	FN-10	TN10p	TX10p	TNx	TNn	TNmean
	Panta							
	Zile/deceniu			% din zile/deceniu		°C/deceniu		
Suceava	-4,762^a	-3,333	-3,333	-1,172	-0,630	0,379	-0,056	0,314
Botoșani	-2,778	-2,121	-2,000	-0,605	-0,781	0,286	-0,333	0,172
Iași	-3,274	-1,111	-2,069	-0,887	-0,910	0,351	0,060	0,226
Bacău	-3,571	-1,765	-2,083	-0,806	-0,752	0,243	0,000	0,220
Media	-3,596	-2,083	-2,371	-0,868	-0,768	0,315	-0,082	0,233

^aValorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,1$

Repartiția spațială ne relevă faptul că toți indicii bazați pe praguri fixe și de percentilă au înregistrat, în general, scăderi semnificative statistic în numărul de zile la toate stațiile analizate (Figura 7).

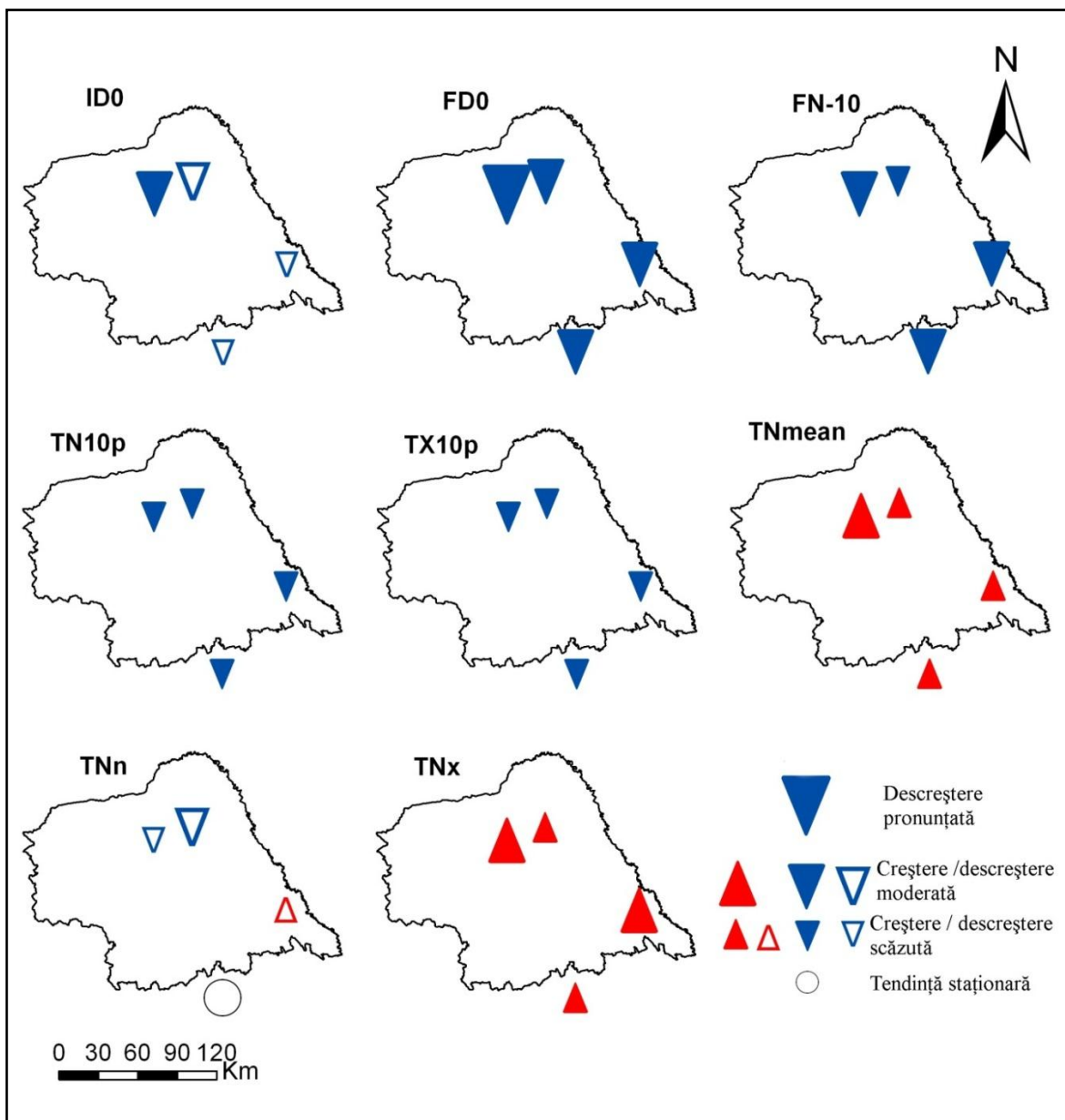


Figura 7. Distribuția spațială și intensitatea tendințelor indicilor extremelor termice inferioare în nord-estul României (1961-2010)

Comparativ cu restul regiunilor extracarpatiche pentru care s-au analizat tendințele aceluiași indici pe același interval (1961-2010) rezultatele sunt asemănătoare (Croitoru și Piticar, 2013). Singura diferență notabilă este faptul că numărul de nopți geroase a înregistrat pante descrescătoare semnificative din punct de vedere statistic numai în nord-estul României, în timp ce în restul regiunilor extracarpatiche acestea au fost ne semnificative sau au avut tendință staționară (Croitoru și Piticar, 2013).

3.1.4.2.3. Schimbări observate în indicii de variabilitate

Intensitatea creșterii amplitudinii termice este mai importantă pentru valorile zilnice decât pentru cele anuale în regiunea de nord-est a României (Tabelul 8 și Figura 8). Tendința

perioadei de vegetație (GSL) este în creștere, având, în medie, valoarea de 3 zile/deceniu, cea mai importantă creștere înregistrându-se la Botoșani (4 zile/deceniu). Deoarece regiunile extracarpatiche ale nord-estului României cuprind suprafețe agricole însemnate, evoluția acestui indice este foarte importantă pentru agricultori în vederea adoptării măsurilor corespunzătoare pentru atenuarea impactului încălzirii globale asupra culturilor agricole și pentru a asigura necesitățile alimentare ale acestei regiuni.

Tabelul 8. Pantele indicilor de variabilitate calculate pentru seriile de date anuale (1961-2010). În cazul indicilor calculați pentru fiecare lună și la nivel anual, numai valorile anuale sunt prezentate în tabel

Stația	DTR	ETR	GSL
	Panta		
	°C/deceniu		Zile/deceniu
Suceava	0,020	0,033	2,308
Botoșani	0,137^a	0,081	4,000
Iași	0,061	0,075	3,015
Bacău	0,104	0,062	2,500
Media	0,081	0,063	2,956

^aValorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,1$

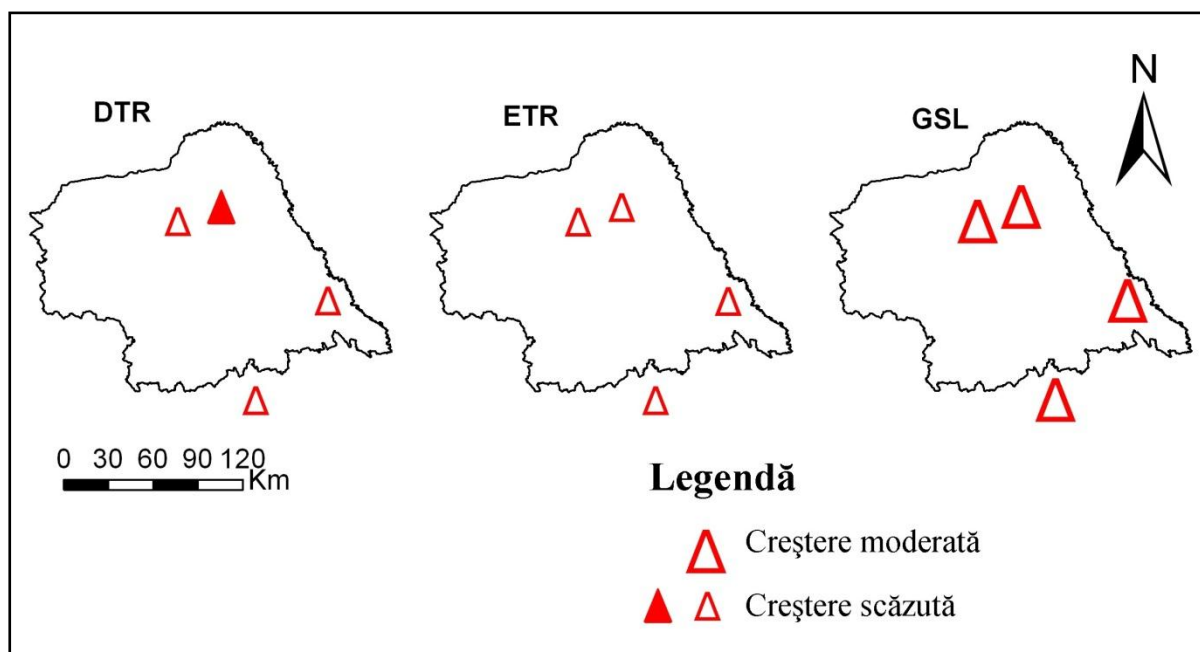


Figura 8. Distribuția spațială și intensitatea tendințelor indicilor de variabilitate în nord-estul României (1961-2010)

3.2. Schimbări observate în precipitațiile atmosferice

3.2.1. Testele de omogenitate

Rezultatele testelor de omogenitate aplicate pe datele de precipitații indică faptul că acestea sunt omogene în cea mai mare parte a lor. Au fost identificate numai câteva puncte de schimbare semnificative din punct de vedere statistic acestea regăsindu-se în datele de la stațiile Ceahlău, Rădăuți și Suceava (Figura 9). Întrucât aceste stații nu au fost relocate și nu s-a făcut nicio schimbare în programul de observație de-a lungul perioadei studiate (1961-2010), am considerat că acele puncte de schimbare au mai degrabă cauze naturale (Piticar și Ristoiu, 2013a).

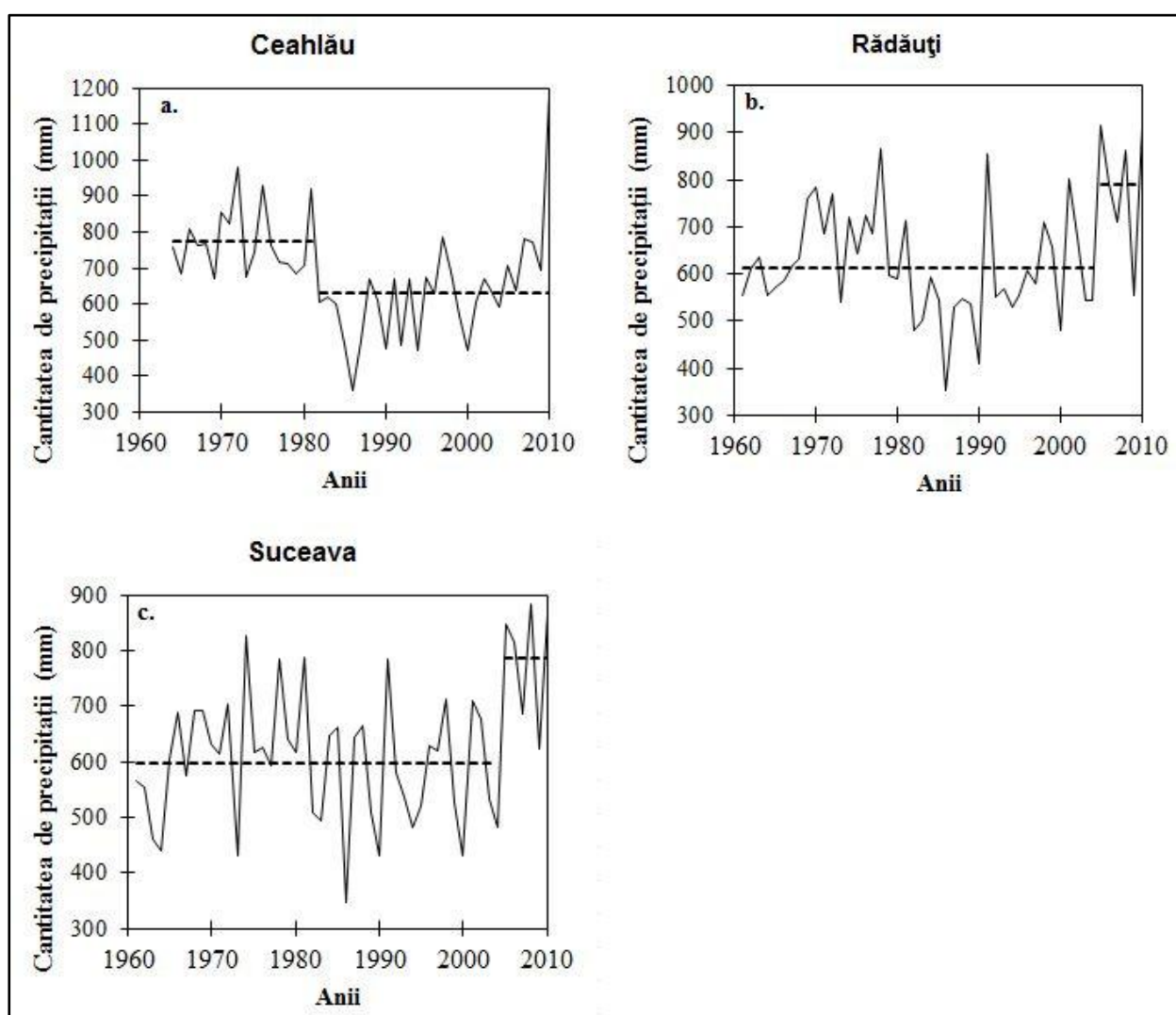


Figura 9. Mediile anuale ale cantităților de precipitații ale celor două subintervale și punctul de schimbare detectat ce le separă în nord-estul României (1961-2010)

3.2.2. Tendința precipitațiilor atmosferice

Conform testului Mann-Kendall combinat cu panta Sen, seriile de date anuale indică o tendință crescătoare a cantităților de precipitații la opt stații meteorologice (5,40 - 18,21 mm/deceniu), acestea nefiind însă semnificative statistic (Tabelul 9 și Figura 10a). Numai la stațiile Iași și Ceahlău s-a înregistrat o scădere a cantității anuale de precipitații, la stația de munte Ceahlău aceasta fiind foarte pronunțată (-27,23 mm/deceniu) și, de asemenea, semnificativă statistic.

Din punct de vedere sezonier, vara și toamna tendința cantităților de precipitații este crescătoare pentru majoritatea stațiilor luate în considerare, aceste tendințe nefiind semnificative din punct de vedere statistic, cu excepția celei de la stația Roman în anotimpul de toamnă (Tabelul 9 și Figura 10d, e).

Cea mai importantă scădere a cantităților de precipitații a avut loc iarna și primăvara, însă aceasta este semnificativă din punct de vedere statistic numai în cazul stației Ceahlău (Tabelul 9 și Figura 10b, c).

Tabelul 9. Tendințele cantităților de precipitații (mm/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$.

Perioada	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra-Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	-1,07	-5,05	-0,43	-1,67	-0,50	-0,19	-0,68	-0,94	-0,73	-0,43
F	-0,67	-8,52	-0,71	-0,69	-2,59	0,62	-0,30	0,11	0,14	-0,03
M	-1,18	-2,17	-0,14	0,00	-0,35	1,56	1,42	-1,55	-0,29	-0,25
A	-0,56	-2,91	0,23	0,86	-2,77	0,32	-0,33	-1,10	0,63	0,02
M	-1,18	-4,57	-2,17	-4,82	-3,13	-3,13	-0,54	-2,43	1,18	-3,40
I	-5,31	0,28	3,60	0,76	-4,88	-3,58	-2,73	-0,56	-0,39	-0,85
I	4,58	1,45	0,59	3,42	-1,03	2,85	-3,76	0,52	4,87	6,09
A	1,83	8,14	1,97	2,30	1,07	1,00	2,59	4,00	2,56	4,08
S	5,00	2,16	3,40	2,99	1,67	5,19	5,55	4,43	4,81	3,76
O	5,64	0,33	5,08	4,34	5,43	4,27	1,61	4,00	5,46	5,00
N	-0,36	-4,19	0,46	-1,93	-0,20	-1,38	-1,08	-0,81	0,63	-1,08
D	0,00	-4,86	0,99	0,30	0,43	1,89	-1,63	0,21	1,13	0,56
Iarna	-3,43	-20,71	-2,53	-3,08	-5,42	2,56	-4,45	-1,27	-1,06	-1,26
Primăvara	-3,92	-11,25	-2,33	-4,99	-6,83	-1,37	2,28	-3,59	0,96	-2,00
Vara	8,77	11,90	6,00	15,03	-6,47	0,59	-1,65	6,26	10,71	12,30
Toamna	10,68	-1,13	9,56	5,93	7,95	6,87	4,51	8,15	10,40	6,42
Anual	12,32	-27,23	14,53	11,69	-11,02	11,42	7,26	5,40	14,79	18,21

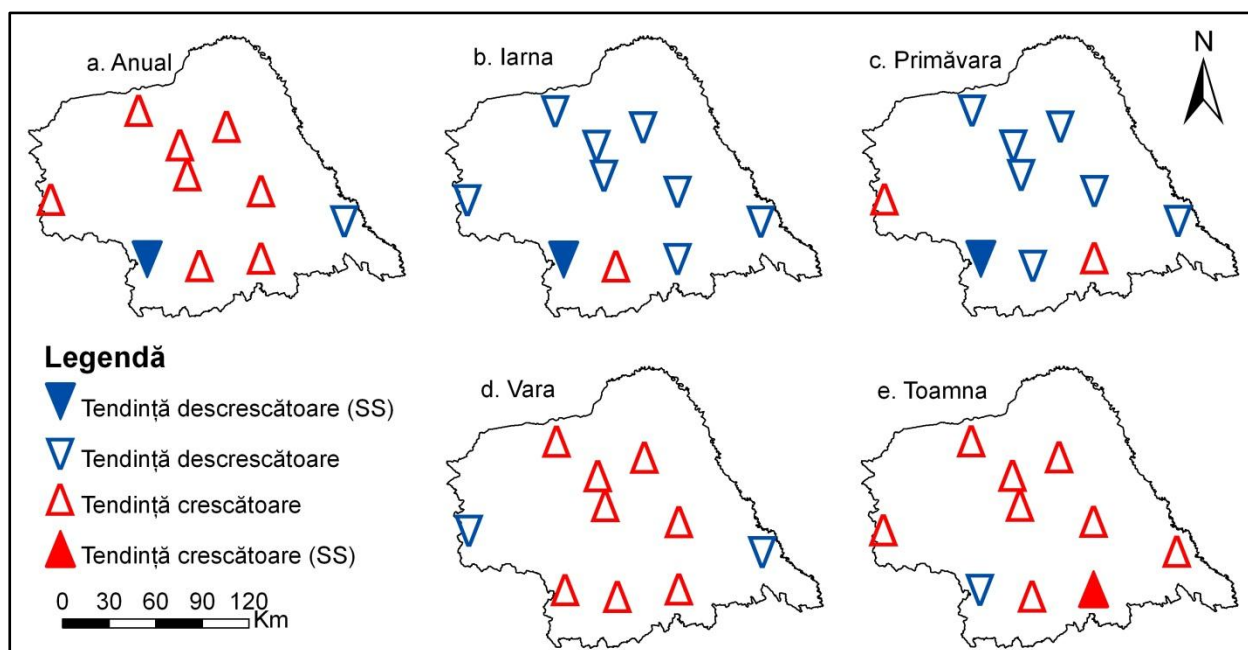


Figura 10. Repartiția spațială a tendințelor cantităților de precipitații în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$.

3.2.3. Influența schimbărilor din indicii de teleconexiune ai circulației generale a atmosferei asupra schimbărilor din cantitățile de precipitații atmosferice

În Tabelul 10 sunt listați indicii de teleconexiune ale căror tendințe sunt semnificative din punct de vedere statistic corelate cu tendințele cantităților de precipitații atmosferice ale perioadei corespunzătoare.

Rezultatele ne indică o conexiune foarte scăzută între tendințele indicilor circulației atmosferice și cele ale cantităților de precipitații. Acest lucru se datorează influenței puternice a factorilor climatici locali asupra cantităților de precipitații (Jaagus, 2006). Totuși, câteva conexiuni s-au identificat. Scăderea cantităților de precipitații din luna ianuarie de la stația Ceahlău este legată de tendințele pozitive ale indicelui NAO care cauzează cantități scăzute de precipitații de-a lungul Europei Sudice și Centrale. Tendința pozitivă a cantităților de precipitații din luna octombrie este influențată semnificativ de tendințele negative a indicilor EW și NAO, însă aceștia pot explica doar parțial tendințele crescătoare ale cantităților de precipitații din octombrie. Tendința pozitivă a indicelui de teleconexiune EA din decembrie a cauzat o scădere semnificativă a cantităților de precipitații de la stația Ceahlău, localizată la o altitudine ridicată (1987 m), ceea ce face ca aceasta să fie mai expusă influenței directe a circulației generale a atmosferei comparativ cu celelalte stații. Influența indicelui de teleconexiune EA a fost identificată și în seriile de date anuale și ale anotimpului de primăvară.

Tabelul 10. Influența tendințelor indicilor de teleconexiune asupra tendințelor cantităților de precipitații în nord-estul României. Abrevierile cu bold – tendința statistic semnificativă la toate stațiile; „-“ corelație inversă; * - indicele explică statistic semnificativ numai parțial tendința

Perioada	Precipitații
I	NAO-
F	
M	
A	
M	
I	
I	
A	
S	
O	EW-*, NAO-*
N	
D	EA-
Iarna	
Primăvara	EA-, PO
Vara	
Toamna	EW-
Anual	EA-, PO, SC

3.2.4. Schimbări observate în indicii extremelor pluviometrice

Cantitățile extreme de precipitații generează, de obicei, evenimente hidrologice extreme precum inundațiile sau secetele, fenomene care au un impact profund asupra economiei, în special asupra economiei țărilor în curs de dezvoltare și în care agricultura este principalul sector (Radinović și Ćurić, 2012; Wang et al., 2012).

Scopul investigării schimbărilor din indicii extremelor pluviometrice este de a oferi o analiză cuprinzătoare a schimbărilor observate în extremele pluviometrice de pe teritoriul din nord-estul României și de a stabili dacă, din punct de vedere al precipitațiilor, climatul devine mai extrem.

3.2.4.1. Metode

3.2.4.1.1. Indicii extremelor pluviometrice

Pentru analizarea schimbărilor din precipitațiile zilnice extreme s-a utilizat un set de treisprezece indici (Tabelul 11). Aceștia au fost aleși, în primul rând, pentru evaluarea aspectelor ce țin de schimbarea climatului regional, incluzând schimbări în intensitatea și frecvența

evenimentelor legate de precipitațiile atmosferice. Astfel, ei pot reprezenta evenimente care au loc de câteva ori pe sezon sau an oferind o analiză statistică mult mai robustă decât cantitățile extreme propriu-zise (Alexander et al., 2006).

Tabelul 11. Lista indicilor extremelor pluviometrice definiți de către ETCCDMI (după Zhang și Feng, 2004)

Abrev.	Denumire indice	Definiție	UM
R0.1	Numărul absolut de zile cu precipitații	Numărul anual de zile cu cantitatea de precipitații > 0,1 mm	zile
R5	Numărul de zile cu precipitații moderate	Numărul anual de zile cu cantitatea de precipitații > 5 mm	zile
R10	Numărul de zile cu precipitații abundente	Numărul anual de zile cu precipitații > 10 mm	zile
R20	Numărul de zile cu precipitații foarte abundente	Numărul anual de zile cu precipitații > 20 mm	zile
R30	Numărul de zile cu precipitații extrem de abundente	Numărul anual de zile cu precipitații > 30 mm	zile
CDD	Numărul de zile consecutive fără precipitații	Numărul anual maxim de zile consecutive fără precipitații ^a	zile
CWD	Numărul de zile consecutive cu precipitații	Numărul anual maxim de zile consecutive cu precipitații ^b	zile
R95p	Zile foarte umede	Cantitatea anuală de precipitații cumulată în zile când aceasta a fost > percentila 95	mm
R99p	Zile extrem de umede	Cantitatea anuală de precipitații cumulată în zile când aceasta a fost > percentila 99	mm
Rx1day	Cantitatea maximă de precipitații produsă într-o singură zi	Cea mai mare cantitate de precipitații produsă într-o singură zi din lună	mm
Rx5day	Cantitatea maximă de precipitații produse în 5 zile	Cea mai mare cantitate de precipitații produsă în 5 zile consecutive dintr-o lună	mm
SDII	Indicele simplu de intensitate zilnică	Raportul dintre cantitatea totală anuală de precipitații și numărul de zile cu precipitații din an	mm
PRCPTOT	Cantitatea anuală de precipitații	Cantitatea anuală de precipitații cumulată din zile cu precipitații (> 1.0 mm)	mm

^azilele fără precipitații sunt acelea în care cantitatea înregistrată < 1 mm; ^bzilele cu precipitații sunt acelea în care cantitatea înregistrată ≥ 1 mm

Toți indicii au fost calculați utilizându-se programul RCLimDex (Zhang și Feng, 2004; Wang și Feng, 2010) după metodologia stabilită de Zhang și Feng (2004). Apoi seriile de date rezultate au fost supuse analizei tendinței.

3.2.4.1.2. Calculul tendințelor

Pantele tendințelor lunare și anuale a indicilor climatici au fost calculate prin metoda celor mai mici pătrate. Această procedură este implementată în programul de calcul RCLimDex alături de semnificația statistică (valoarea lui P).

Chiar dacă testul Mann-Kendall combinat cu panta Sen este foarte frecvent utilizat în studiile climatice (Zhang et al., 2005; Choi et al., 2009, Croitoru et al., 2013b, Piticar și Ristoiu, 2012), în cazul indicilor extremelor pluviometrice, am preferat să utilizăm metoda celor mai mici pătrate deoarece metoda Sen, din cauza modului de calculare a pantei, este foarte sensibilă la seturile de date cu multe valori similare obținându-se prea multe tendințe staționare (Croitoru et al., 2013a).

Am utilizat nivelul de semnificație statistică $\alpha = 0,1$, astfel rezultatele tendințelor obținute la acest nivel vor fi considerate semnificative statistic. Am utilizat, de asemenea, și nivelul $\alpha = 0,05$, pantele aflate la acest nivel, în cazul indicilor extremelor pluviometrice, fiind considerate puternic semnificative.

3.2.4.2. Rezultate și discuții

Figurile 11 și 12 oferă o imagine generală a rezultatelor tendințelor în indicii extremelor pluviometrice. Tendințelor semnificative statistic sunt exprimate prin valori procentuale dintre toate cazurile examinate.

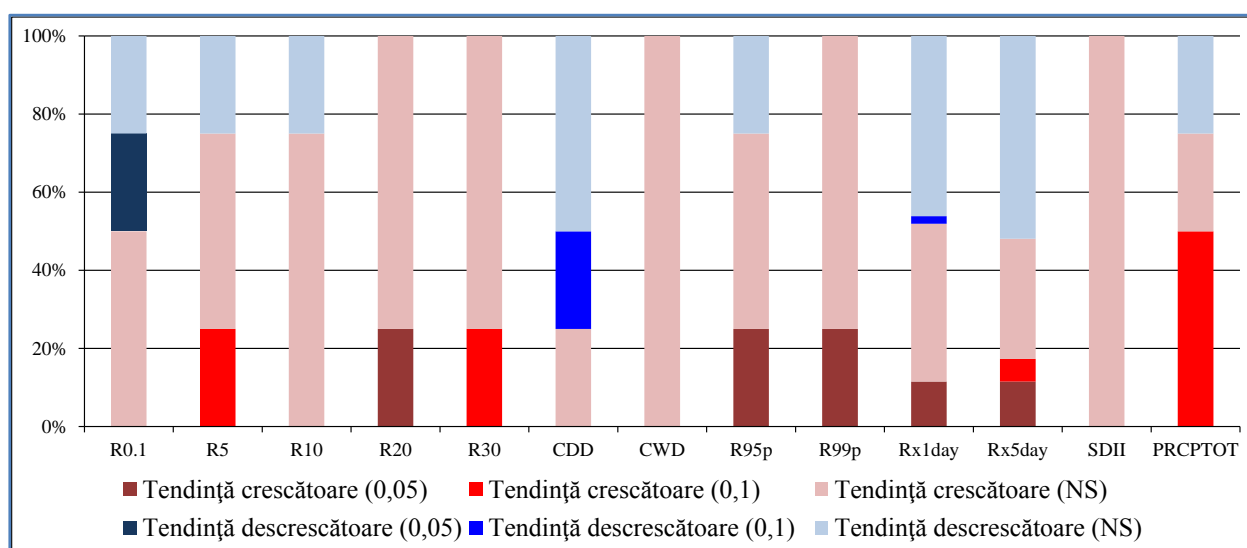


Figura 11. Frecvența tipurilor de tendințe ale indicilor extremelor pluviometrice în nord-estul României (1961-2010). NS – nesemnificativ statistic; 0,1 – semnificativ statistic la nivelul $\alpha = 0,1$; 0,05 – semnificativ statistic la nivelul $\alpha = 0,05$.

Rezultatele indică o creștere generalizată în valorile indicilor de precipitații. Aceste rezultate sunt similare cu cele din alte studii care au afirmat o creștere în valorile indicilor extremelor pluviometrice la scară globală sau regională (Alexander et al., 2006).

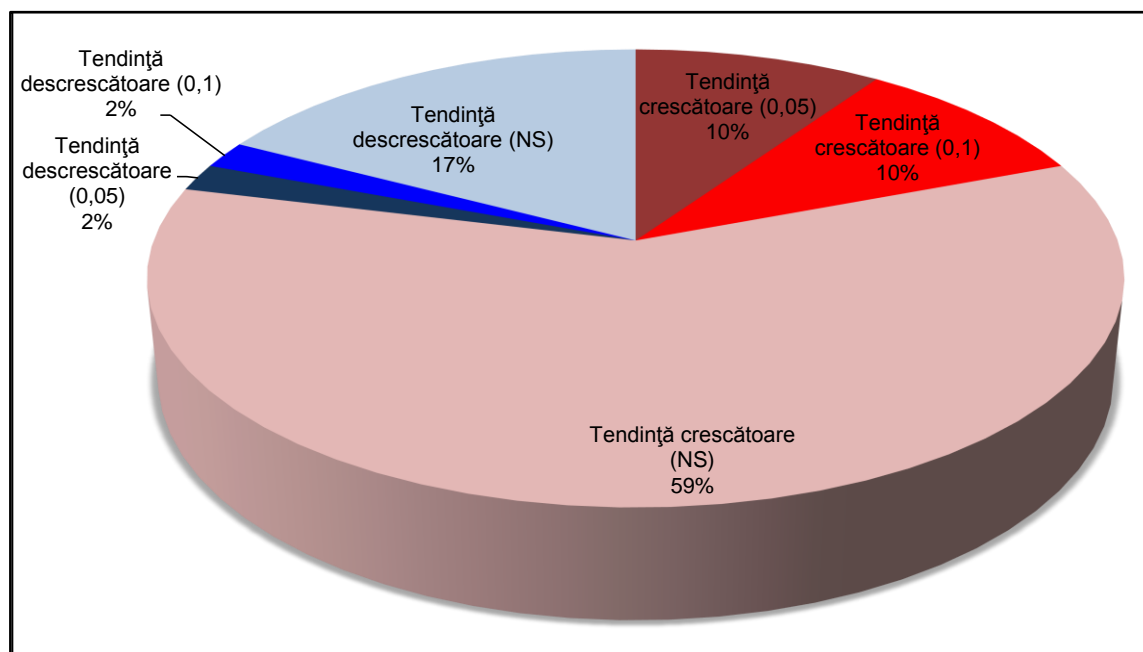


Figura 12. Tabloul general al tendințelor indicilor extremelor pluviometrice în nord-estul României (1961-2010). NS – ne semnificativ statistic; 0,1 – semnificativ statistic la nivelul $\alpha = 0,1$; 0,05 – semnificativ statistic la nivelul $\alpha = 0,05$.

În aria analizată, pentru majoritatea indicilor, tendințele descrescătoare sunt specifice regiunii estice, în timp ce pentru restul teritoriului predomină tendințele pozitive (figurile 13-15).

Din punct de vedere al semnificației statistice, rezultatele obținute pentru indicii extremelor pluviometrice sunt similare cu cele obținute pentru alte regiuni din centrul și estul Europei, cum sunt sudul Poloniei și centrul și estul Germaniei (Lupikasza et al., 2011), unde, în general, mai puțin de 20% din tendințe au fost semnificative statistic ($\alpha = 0,1$).

Creșterea observată atât în frecvența, cât și în intensitatea cantităților de precipitații căzute în intervale scurte de timp ar putea fi atribuită încălzirii globale care contribuie la creșterea evaporației apei de la suprafața terestră, ceea ce conduce la creșterea probabilității producerii cantităților mari sau excepționale de precipitații (IPCC, 2007; Croitoru et al., 2013a).

Valorile pantelor indicilor extremelor pluviometrice sunt prezentate în Tabelul 12.

Explicația majorității tendințelor crescătoare din indicii extremelor pluviometrice ar putea fi dată de situarea tuturor stațiilor analizate în apropierea a patru mari orașe (Bacău, Botoșani, Iași, Suceava), dacă luăm în considerare faptul că urbanizarea poate influența schimbările din cantitățile de precipitații (Wong et al., 2011). Câteva studii anterioare au sugerat că efectul „insulei de căldură” poate induce cantități mai mari de precipitații în ariile urbane (Chow, 1986; Sheperd et al., 2002; Dixon și Mote, 2003).

Atribuirea schimbărilor din indicii extremelor pluviometrice urbanizării locale este susținută și de tendințele descrescătoare a cantităților anuale de precipitații de la stația Ceahlău, stație situată la mare distanță față de orașele mari (Piticar și Ristoiu, 2013a).

Tabelul 12. Pantele tendințelor indicilor extremelor pluviometrice în nord-estul României (1961-2010). Pantele sunt calculate pe deceniu.

Indice	Bacău	Botoșani	Iași	Suceava
R0.1	1,91	1,91	-2,96**	-0,03
R5	0,28	0,23	-0,41	1,34*
R10	0,8	0,62	-0,41	0,6
R20	0,55**	0,28	0,12	0,4
R30	0,22	0,2	0,06	0,30*
CDD	-1,39*	0,24	-1,14	-0,15
CDW	0,21	0,24	0,12	0,1
R95p	15,93**	4,82	-0,28	13,44
R99p	10,92**	0,37	0,6	3,44
Rx1d	4,55**	2,38	-3,5	1,78
Rx5d	6,29**	3,78*	-2,71	4,03
SDII	0,11	0,06	0,04	0,13
PRECPTOT	22,60*	12,82	-10,23	20,72*

*Tendință semnificativă statistic;

**Tendință puternic semnificativă statistic

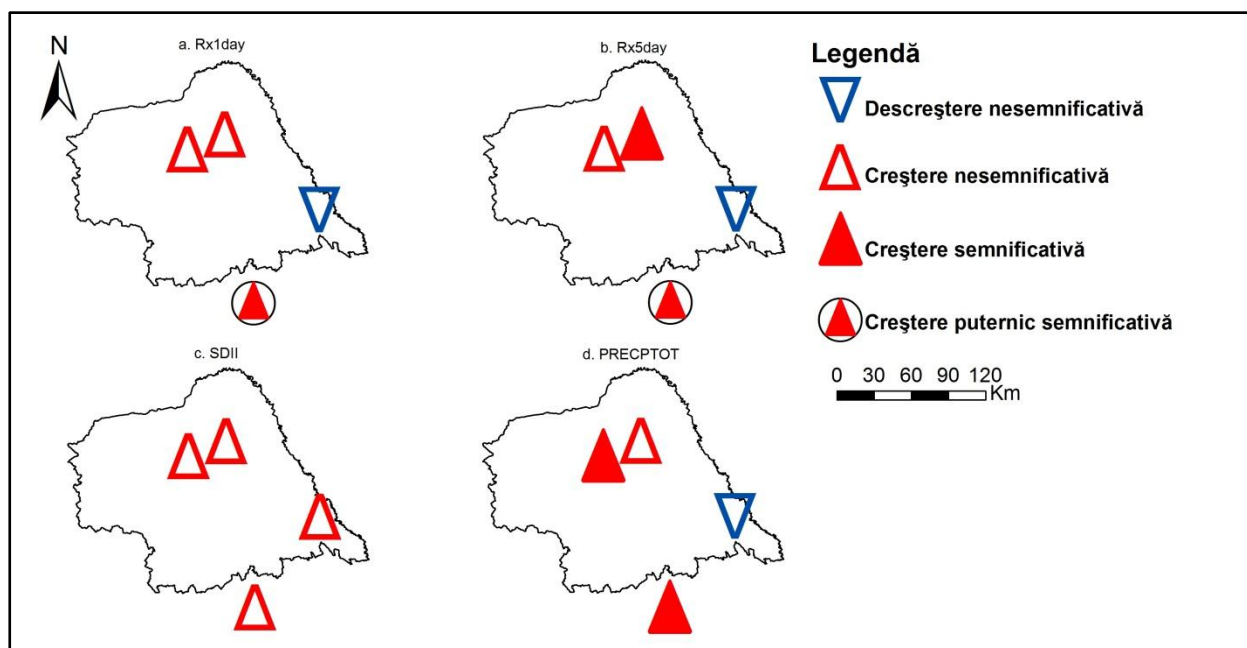


Figura 13. Repartiția spațială a tendințelor indicilor micști în nord-estul României (1961-2010)

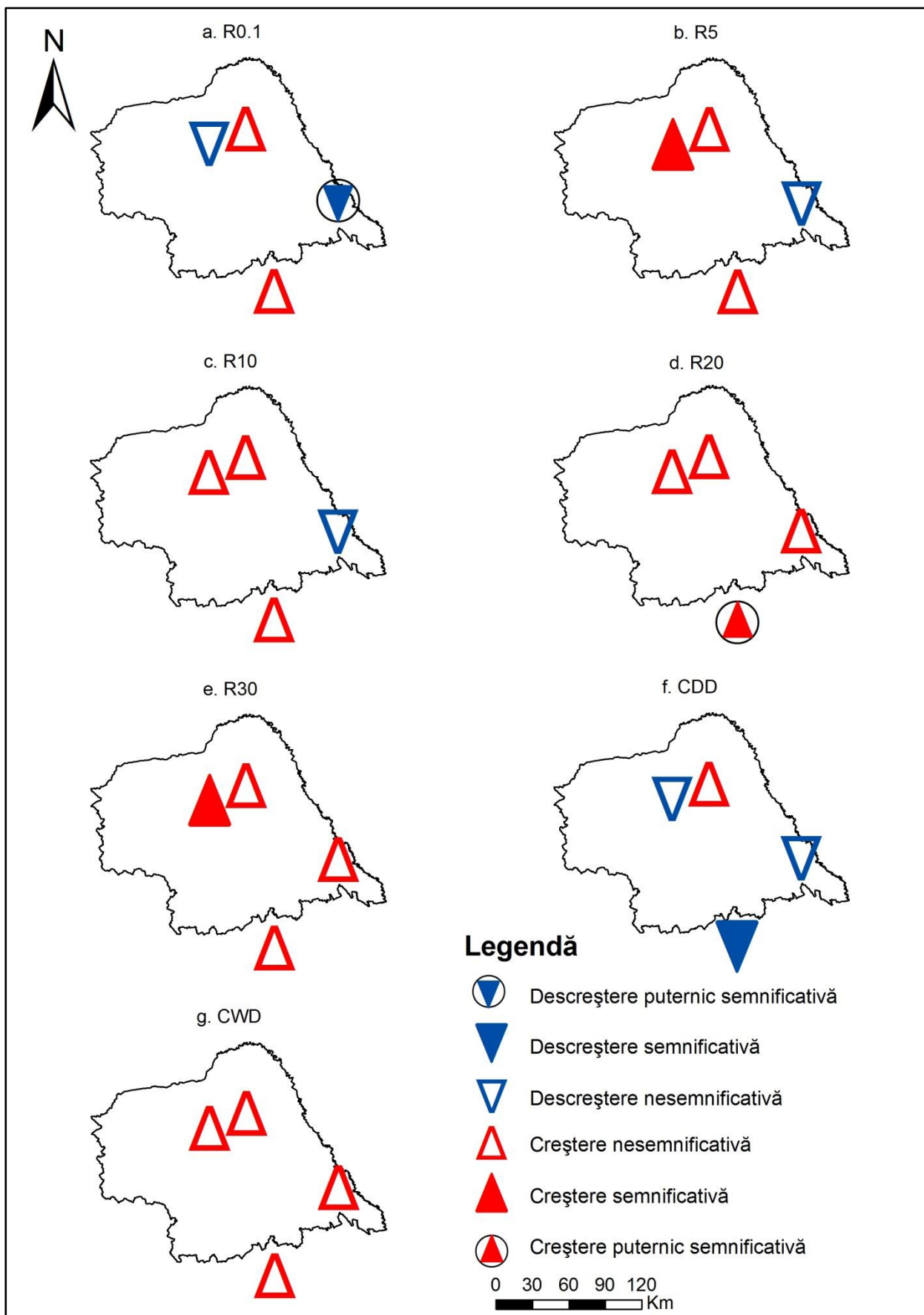


Figura 14. Repartiția spațială a tendințelor indicilor extremelor pluviometrice bazați pe praguri fixe în nord-estul României (1961-2010)

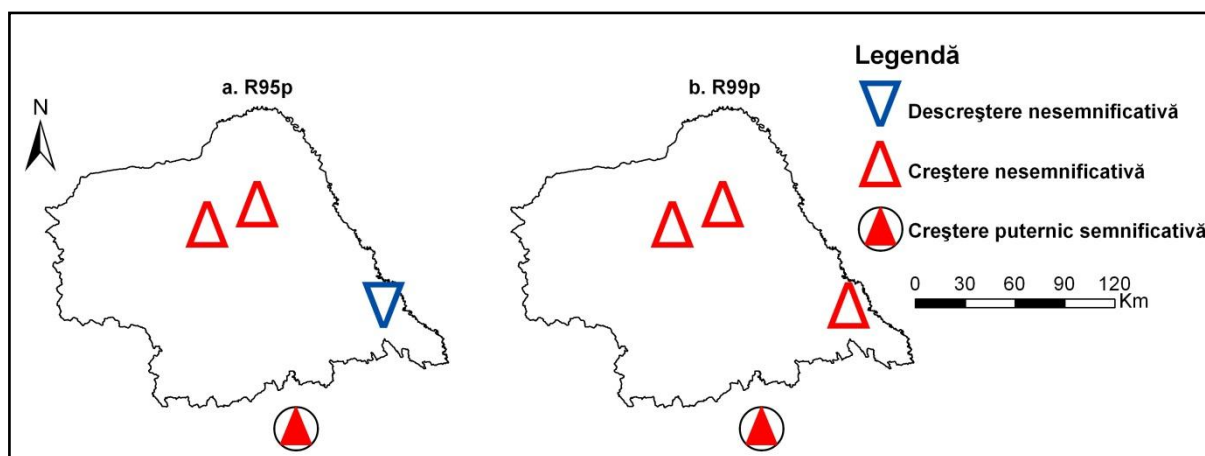


Figura 15. Repartiția spațială a tendințelor indicilor extremelor pluviometrice bazați pe praguri de percentile în nord-estul României (1961-2010)

3.2.5. Schimbări observate în numărul de zile cu ninsoare și în caracteristicile stratului de zăpadă

3.2.5.1. Tendințele numărului de zile cu ninsoare și strat de zăpadă

Tabelul 13. Tendințele numărului de zile cu ninsoare (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	0,29	-0,50	0,33	0,00	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
D	-0,65	-0,87	0,00	-0,53	0,00	0,00	-2,22	-1,11	-1,03	-1,00
I	-1,11	-0,77	0,00	-1,33	-0,53	-0,48	-1,20	-1,25	-1,48	-0,65
F	-0,87	-1,20	0,00	-1,08	-0,38	-0,48	-1,92	-0,79	-1,43	-0,72
M	-0,63	-0,77	0,00	-0,83	-1,00	-0,54	-1,02	-1,11	-1,00	-0,72
Iarna	-3,60	-3,10	0,42	-3,57	-1,43	-0,30	-5,97	-3,87	-4,00	-2,62
Sem. rece	-4,12	-4,55	0,71	-3,33	-1,88	-0,32	-7,27	-4,58	-5,00	-3,10
Anual	-3,75	-7,22	0,72	-2,31	-1,79	-1,11	-7,76	-4,58	-5,00	-3,33

Tendințele anuale ale numărului de zile cu ninsoare a scăzut la toate stațiile, cu excepția stației Cotnari, fiind semnificative din punct de vedere statistic la majoritatea acestora (Tabelul 13). Din punct de vedere al repartiției teritoriale, tendințele negative semnificative statistic se concentrează, în general, în nord-vestul teritoriului studiat, iar către sud-est acestea sunt ne semnificative statistic sau chiar pozitive (Figura 16a-c).

Situația evoluției numărului de zile cu strat de zăpadă în nord-estul României este prezentată în Tabelul 14 și Figura 17a-c. Ca și în cazul numărului de zile cu ninsoare, numărul zilelor cu strat de zăpadă este în declin pe fondul creșterii temperaturilor medii ale aerului.

Din punct de vedere al semnificației statistice, acestea au fost în integralitate peste nivelul $\alpha = 0,05$, ceea ce înseamnă că tendințele au fost ne semnificative din punct de vedere statistic.

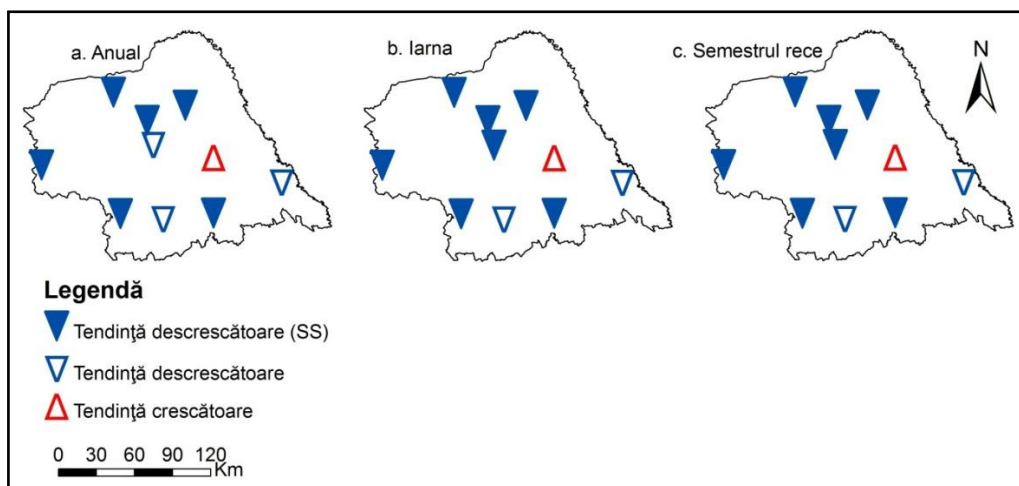


Figura 16. Repartiția spațială a tendințelor numărului de zile cu ninsoare în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

Tabelul 14. Tendințele numărului de zile cu solul acoperit de strat cu zăpadă (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
O	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	0,48	0,00	0,56	0,00	0,30	0,00	0,83	0,24	0,00	0,29
D	0,30	0,00	0,65	1,18	0,67	0,29	0,00	0,32	0,00	0,23
I	-1,48	0,00	-1,52	-2,70	-0,83	-0,91	0,01	-0,56	-1,11	-0,87
F	-0,77	0,00	-0,83	-0,65	-0,81	0,00	0,00	-0,45	-1,58	-0,34
M	0,00	0,02	0,00	-1,82	-1,00	0,00	0,00	-1,11	-1,25	-0,95
Iarna	-3,57	0,00	-2,31	-3,94	-2,50	-1,49	-1,57	-2,08	-3,64	-1,61
Sem. rece	-3,85	1,76	-2,86	-4,29	-2,50	-1,81	-1,49	-2,09	-4,86	-1,47
Anual	-3,00	4,44	-2,70	-2,00	-2,50	0,00	-2,94	-2,50	-5,00	-2,50

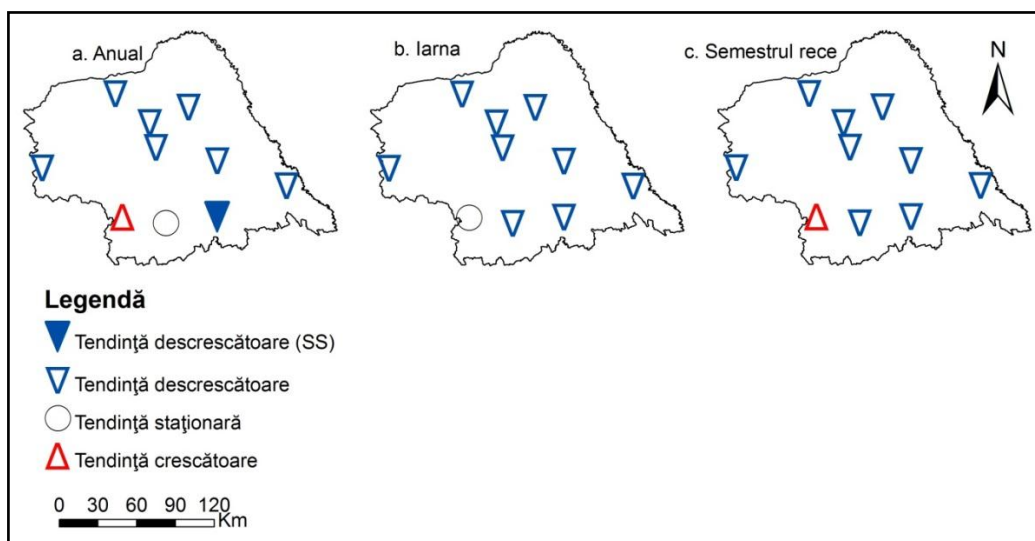


Figura 17. Repartiția spațială a tendințelor numărului de zile cu solul acoperit de strat cu zăpadă în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

3.2.5.2. Schimbări observate în grosimea stratului de zăpadă

În Tabelul 15 și Figura 18a-c sunt prezentate rezultatele tendințelor grosimii stratului de zăpadă în nord-estul României. Acestea au scăzut în aproape 70% din seriile de timp analizate, însă numai 17% dintre acestea au fost semnificative statistic.

Tabelul 15. Tendințele grosimii stratului de zăpadă (cm/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D	0,00	0,42	0,00	0,70	0,00	0,50	-1,82	0,00	0,00	0,00
I	-0,87	2,83	0,00	0,00	0,00	1,00	-2,16	-0,53	-0,47	0,00
F	-1,46	5,94	-0,59	0,00	-0,31	0,00	-2,63	-1,07	-1,25	-0,70
M	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,33	-0,56	0,00	-0,42
Iarna	-0,83	3,03	-0,12	0,58	-0,40	0,67	-1,98	-0,67	-0,80	-0,33
Sem. rece	-0,71	2,74	-0,21	0,24	-0,26	0,13	-1,10	-0,58	-0,56	-0,37
Anual	-0,31	2,50	0,00	0,10	-0,02	0,00	-0,63	-0,28	-0,27	-0,12

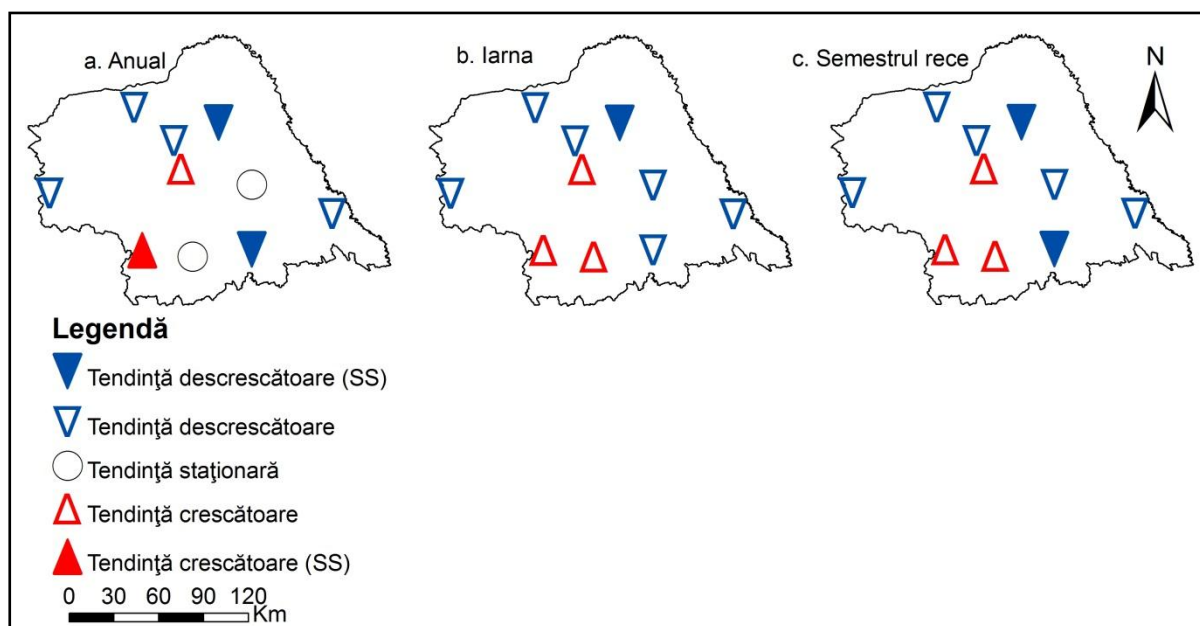


Figura 18. Repartiția teritorială a tendințelor grosimii stratului de zăpadă în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

Iarna și în semestrul rece repartiția teritorială a tendințelor grosimii stratului de zăpadă are o distribuție mai uniformă decât la nivel anual, tendințele pozitive concentrându-se în partea sud-vestică, iar cele negative în restul teritoriului (Figura 18b-c).

La nivel lunar, în luna februarie au avut loc cele mai mari scăderi ale grosimii stratului de zăpadă.

3.3. Schimbări observate în nebulozitatea atmosferică

Schimbările survenite în nebulozitatea atmosferică sunt strâns legate de schimbările climatice. Mulți autori au descris schimbările produse în acest element climatic ca fiind deosebit de importante deoarece acestea au o influență semnificativă asupra duratei de strălucire a Soarelui, temperaturii aerului, umezelii relative a aerului și asupra radiației absorbite de către suprafața activă terestră (IPCC, 2007).

Tendențele observate în alte elemente climatice decât temperatura aerului pot indica dacă schimbările temperaturii aerului se vor menține sau nu. Spre exemplu, creșterea nebulozității ar putea împiedica sau încetini procesul de încălzire (Milewska, 2004) și viceversa.

Tabelul 16. Tendențele nebulozității totale (zecimi/deceniu) în nord-estul României (1961-2010).

Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	0,12	0,12	0,15	0,10	0,12	-0,17	-0,05	0,05	0,00	0,09
F	-0,03	-0,05	0,00	-0,11	-0,18	-0,24	-0,20	-0,16	-0,21	-0,12
M	0,00	0,15	0,11	-0,06	-0,10	-0,19	-0,15	-0,08	-0,12	-0,11
A	0,08	-0,05	0,23	0,00	0,00	-0,02	-0,18	0,03	0,00	-0,07
M	-0,06	-0,18	0,13	-0,18	-0,17	-0,27	-0,27	-0,09	-0,24	-0,13
I	0,17	-0,13	0,20	0,04	0,03	-0,08	-0,35	0,06	0,00	0,00
I	0,10	-0,11	0,15	-0,07	0,00	-0,09	-0,38	0,00	-0,06	-0,05
A	0,14	-0,15	0,24	0,00	0,00	0,00	-0,38	0,05	0,00	0,00
S	0,29	0,13	0,35	0,25	0,21	0,15	-0,17	0,22	0,23	0,19
O	0,27	0,20	0,30	0,20	0,17	0,08	-0,09	0,14	0,13	0,16
N	0,00	-0,07	0,03	-0,04	-0,06	-0,25	-0,30	-0,10	-0,09	-0,16
D	0,04	-0,17	0,11	0,00	0,00	-0,17	-0,38	-0,04	-0,08	0,00
Iarna	0,00	-0,02	0,08	-0,02	-0,04	-0,21	-0,24	-0,08	-0,11	-0,04
Primăvara	0,00	-0,03	0,14	-0,06	-0,09	-0,17	-0,20	-0,06	-0,15	-0,13
Vara	0,14	-0,13	0,18	-0,01	-0,03	-0,08	-0,38	0,03	-0,02	-0,04
Toamna	0,18	0,06	0,24	0,13	0,09	0,00	-0,20	0,08	0,12	0,07
Anual	0,07	-0,02	0,16	0,02	-0,01	-0,11	-0,29	0,00	-0,03	-0,02

Din rezultatele testului Mann-Kendall combinat cu panta Sen aplicat pe seriile anuale ale nebulozității totale medii reiese că aceasta este în scădere în regiunile sudice și vestice ale teritoriului analizat și în creștere în partea central-estică (Tabelul 16 și Figura 19a).

Analiza tendințelor în seriile de timp anotimpuale au relevat faptul că iarna, primăvara și vara nebulozitatea medie totală cunoaște o scădere aproape generalizată în nord-estul României (Tabelul 16 și Figura 19b-d).

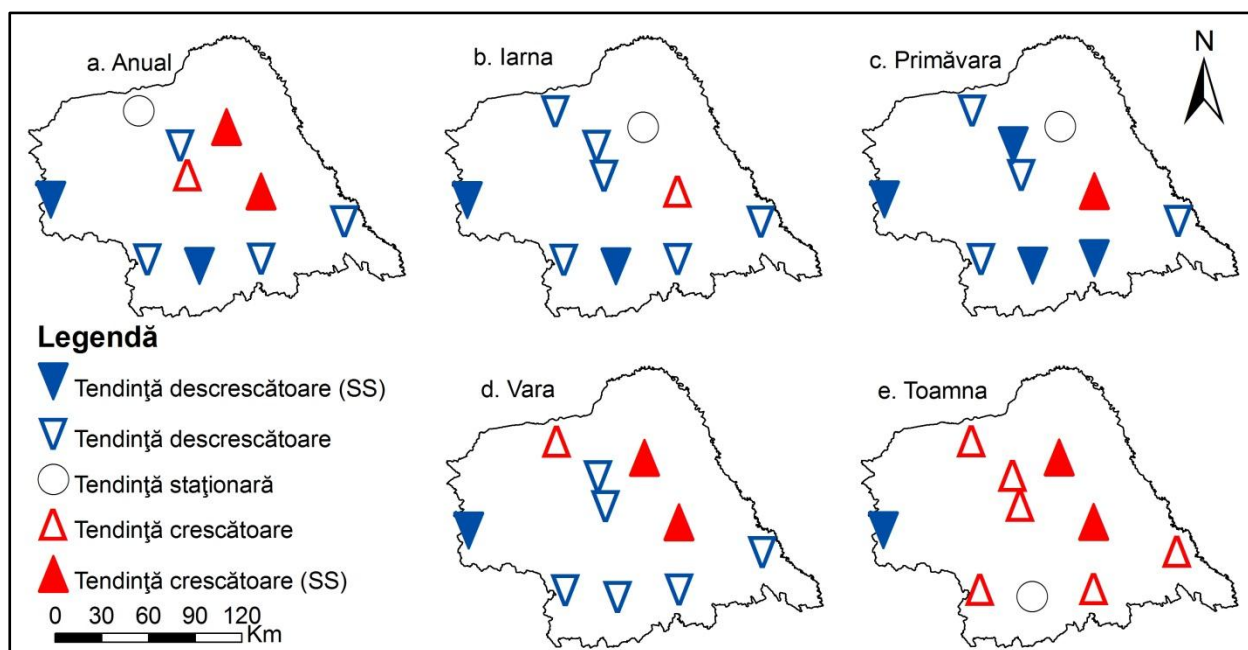


Figura 35. Repartiția spațială a tendințelor nebulozității totale în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

În anotimpul de toamnă, nebulozitatea medie totală a crescut în nord-estul României, tendința descrescătoare menținându-se numai la stația de munte Poiana Stampei (-0,20 zecimi/deceniu) (Tabelul 16 și Figura 19e).

3.4. Schimbări survenite în durata de strălucire a Soarelui

Studierea schimbărilor survenite în durata de strălucire a Soarelui are o importanță fundamentală în contextul schimbărilor climatice actuale deoarece acestea pot avea un impact puternic asupra ecosistemelor, climatului și activităților economice (agricultură, energia alternativă etc.).

Tendința anuală a duratei de strălucire a Soarelui pe intervalul 1961-2010 a crescut în majoritatea locațiilor. Singura stație la care s-a înregistrat o tendință negativă a fost la Ceahlău, însă aceasta a fost ne semnificativă statistic. Valorile tendințelor crescătoare s-au încadrat între 5,00 ore/deceniu la Poiana Stampei și 94,81 ore/deceniu la Rădăuți (Tabelul 17). Din punct de vedere al repartiției teritoriale, durata de strălucire a Soarelui a crescut semnificativ în regiunile centrale și estice, în timp ce în partea vestică, în sectorul carpatic, aceasta nu indică o tendință clară într-un sens sau altul (Figura 20a). Sandu et al. (2008) în *Clima României* au indicat, de asemenea, o tendință de creștere a duratei de strălucire a Soarelui pentru intervalul 1961-2000 în zonele joase de relief și o scădere a acesteia în regiunile montane.

Se observă că creșterea duratei de strălucire a Soarelui din seriile anuale și ale anotimpurilor de iarnă, primăvară și vară coincide cu scăderea nebulozității totale medii din aceeași perioadă, în timp ce scăderea din anotimpul de toamnă a duratei de strălucire solare coincide cu creșterea nebulozității totale a aceluiași sezon.

Tabelul 17. Tendințele duratei de strălucire a Soarelui (ore/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălțiceni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	1,15	-5,84	-2,52	0,31	-2,07	3,66	0,48	4,10	2,89	1,42
F	8,09	-2,31	5,75	6,07	7,34	6,25	4,33	7,48	7,34	7,00
M	6,38	-10,43	3,54	4,05	3,69	4,46	3,10	6,81	8,60	3,76
A	4,80	0,62	2,60	2,53	4,22	-0,24	1,73	11,50	7,80	5,00
M	12,96	9,86	13,42	12,47	10,13	12,10	8,45	19,65	18,35	8,89
I	5,58	8,48	4,23	3,67	4,73	2,59	6,28	12,19	8,11	0,38
I	7,92	4,27	7,59	5,08	7,33	10,03	-3,19	16,10	15,05	4,12
A	1,16	3,80	0,49	-0,49	0,44	0,03	-5,23	11,18	6,16	3,71
S	-2,59	-5,75	-6,58	-6,39	-5,33	-5,86	-18,22	-1,05	-3,56	-4,22
O	0,87	-7,47	-2,54	-4,10	-2,92	-2,41	-11,24	0,70	-0,69	-3,25
N	6,73	2,20	3,22	1,66	3,50	4,15	0,33	5,31	5,26	4,23
D	1,67	3,05	0,61	0,50	2,41	2,18	1,97	2,26	2,56	1,50
Iarna	13,22	-5,67	5,53	8,81	14,42	14,24	4,89	16,38	14,32	9,42
Primăvara	25,33	-1,28	20,02	19,81	19,55	18,06	13,77	41,51	37,74	19,53
Vara	16,55	16,06	14,87	9,18	11,20	11,65	-4,32	38,44	30,89	6,64
Toamna	5,22	-14,31	-7,55	-8,93	-4,96	-3,01	-26,70	1,74	0,40	-5,12
Anual	61,63	-8,53	31,27	27,96	43,50	37,28	5,00	94,81	81,07	27,94

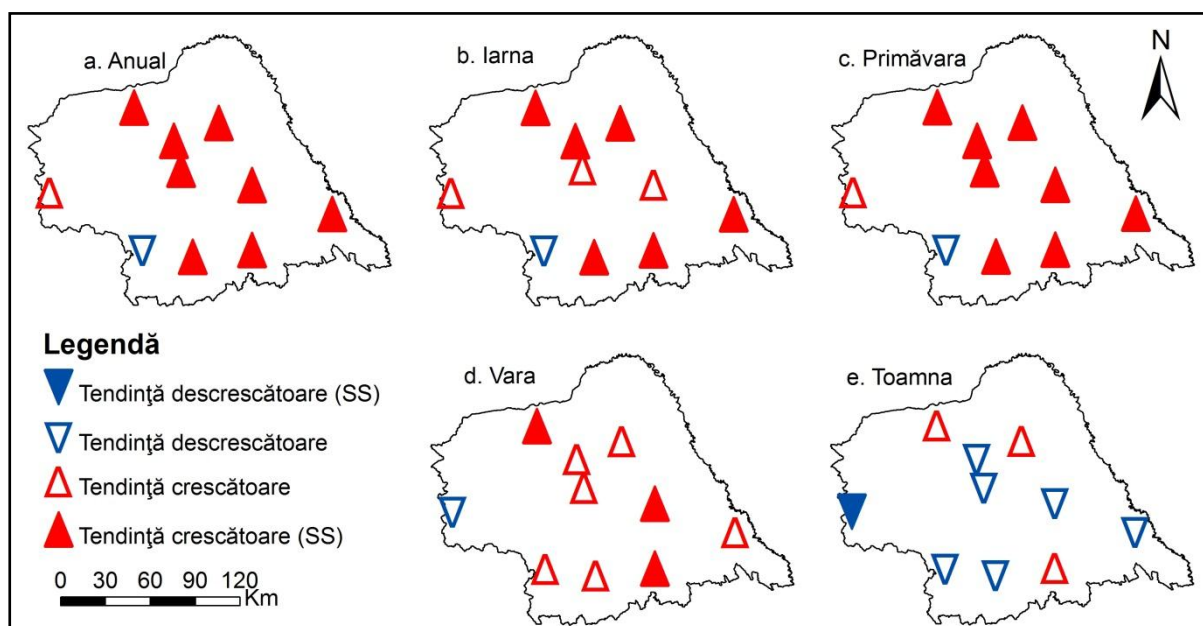


Figura 20. Repartiția teritorială a tendințelor duratei de strălucire a Soarelui în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

La nivel de luni, durata de strălucire a Soarelui a înregistrat tendințe pozitive la majoritatea seriilor de timp. Cea mai importantă creștere s-a înregistrat în luna mai (între 8,45 - 19,65 ore/deceniu), ceea ce coincide cu luna în care s-a semnalat cea mai însemnată scădere a nebulozității totale medii. Cea mai importantă scădere a avut loc în lunile de toamna, septembrie

și octombrie, lucru care, de asemenea, coincide cu lunile în care s-a produs cea mai accentuată creștere a nebulozității totale medii.

3.5. Schimbări observate în umezeala relativă

Tabelul 18. Tendințele umezelii relative a aerului (% / deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	-1,76	3,89	0,00	-0,29	-1,29	-0,29	1,07	-1,11	-0,42	-0,42
F	-2,22	2,14	-0,91	-1,05	-2,43	-1,11	0,41	-1,76	-1,25	-0,94
M	-2,31	3,21	-0,73	-1,33	-2,34	-0,87	0,46	-1,84	-2,31	-1,52
A	-0,67	2,35	0,36	0,00	-1,11	0,68	0,28	-1,33	-1,33	-0,43
M	-1,60	2,00	0,00	-0,63	-1,61	0,00	-0,27	-1,76	-1,71	-0,88
I	-0,63	1,82	0,35	0,00	-0,86	0,47	-0,83	-0,71	-0,61	-0,37
I	-1,08	1,71	0,31	0,00	-1,33	0,75	-0,21	-0,65	-0,71	0,00
A	0,00	2,14	0,27	0,00	-0,56	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00
S	0,67	2,16	1,59	0,16	-0,36	1,11	0,76	0,00	0,00	0,34
O	-0,26	3,33	1,25	0,42	0,00	1,82	0,59	0,23	0,24	0,63
N	-0,67	1,67	0,44	-0,16	-1,43	0,00	0,42	-0,25	0,00	0,00
D	-1,54	1,33	0,00	0,00	-1,54	0,26	0,72	-0,38	-0,26	0,00
Iarna	-1,88	2,59	-0,65	-0,62	-1,79	-0,42	0,84	-1,13	-0,76	-0,52
Primăvara	-1,25	2,64	-0,20	-0,80	-1,80	0,16	-0,02	-1,59	-1,72	-0,92
Vara	-0,60	1,86	0,45	0,00	-0,91	0,80	-0,28	-0,65	-0,63	-0,15
Toamna	0,00	2,30	1,03	0,20	-0,76	1,17	0,52	0,00	0,00	0,43
Anual	-0,87	2,56	0,25	-0,26	-1,31	0,83	0,26	-0,78	-0,72	-0,30

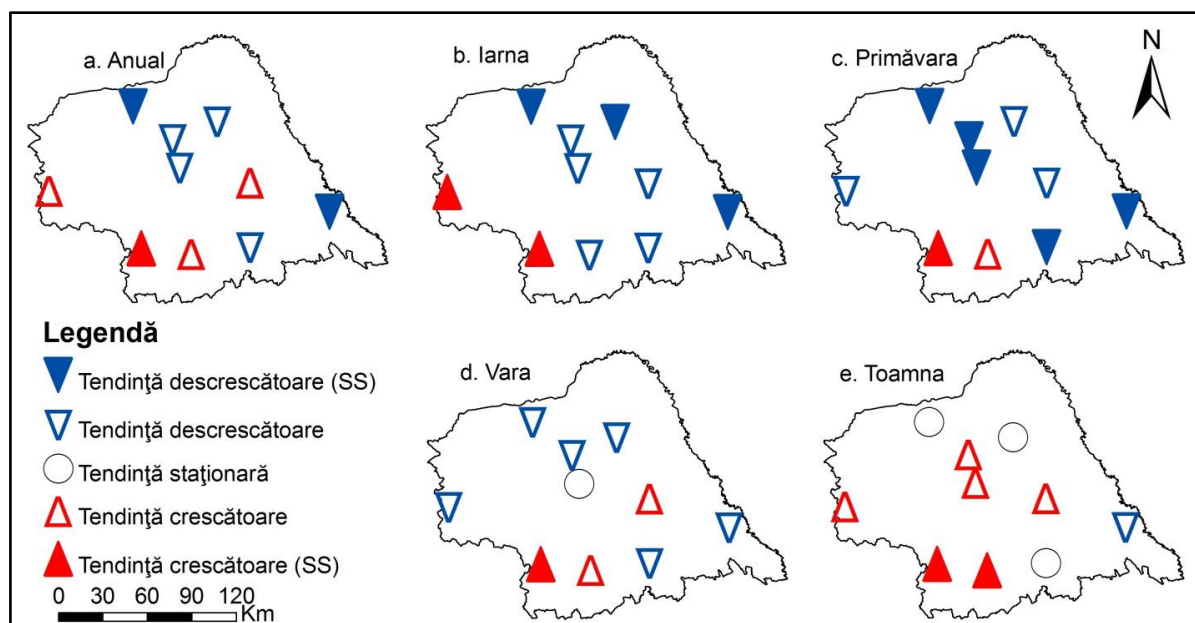


Figura 21. Repartiția spațială a umezelii relative a aerului în nord-estul României (1961-2010).

SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

În perioada 1961-2010, tendința anuală a umezelii relative a aerului în nord-estul României a fost în creștere în aria carpatică și subcarpatică și, în general, în scădere în restul teritoriului analizat (Tabelul 18 și figura 21a).

La nivel de anotimpuri tendința umezelii relative a aerului este în general în scădere iarna, primăvara și vara (Figura 21b-d) și în creștere toamna (Figura 21e).

O cauză a scăderii umidității în seriile de timp anuale și a anotimpurilor de iarnă, primăvară și vară și a creșterii acesteia în anotimpul de toamnă ar putea fi creșterea, respectiv scăderea temperaturilor aerului din aceleași perioade.

3.6. Schimbări observate în temperatura la suprafața solului

Este bine știut că evoluția temperaturii suprafeței solului urmează îndeaproape evoluția temperaturii aerului atât în decursul unui an (Piticar et al., 2012), cât și pe parcursul unui șir de ani, astfel că rezultatele tendințelor temperaturii suprafeței solului sunt similare cu cele ale temperaturii aerului (Tabelul 19 și Figura 22).

În general, tendințele crescătoare ale temperaturii suprafeței solului sunt ușor mai pronunțate decât cele ale temperaturii aerului.

Tabelul 19. Tendințele temperaturii la suprafața solului (°C/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	1,00	0,66	0,79	0,84	0,23	0,92	0,85	0,71	0,57
F	0,59	0,59	0,61	0,33	0,40	0,49	0,64	0,57	0,53
M	0,63	0,57	0,57	0,62	0,20	0,18	0,47	0,59	0,55
A	0,18	0,23	0,20	0,18	0,00	0,33	0,26	0,22	0,20
M	0,60	0,55	0,33	0,86	0,24	0,16	0,11	0,47	0,18
I	0,59	0,36	0,37	0,75	0,06	0,69	0,14	0,33	0,10
I	0,83	0,63	0,50	0,84	0,21	0,67	0,44	0,46	0,37
A	0,35	0,28	0,29	0,55	0,08	0,55	0,33	0,35	0,17
S	-0,14	-0,13	-0,23	-0,13	-0,26	0,00	-0,26	-0,13	-0,26
O	0,05	0,15	0,06	0,21	0,16	0,32	-0,04	0,12	0,00
N	-0,32	-0,20	-0,21	-0,33	0,26	0,51	-0,12	-0,07	-0,10
D	0,23	0,16	0,21	0,00	-0,18	0,62	0,33	0,30	0,26
Iarna	0,54	0,49	0,57	0,33	0,13	0,65	0,61	0,50	0,44
Primăvara	0,48	0,45	0,35	0,48	0,12	0,24	0,30	0,42	0,33
Vara	0,59	0,41	0,41	0,67	0,18	0,62	0,34	0,38	0,19
Toamna	-0,09	-0,06	-0,10	-0,06	-0,01	0,34	-0,09	-0,04	-0,14
Anual	0,34	0,30	0,26	0,31	0,08	0,37	0,26	0,26	0,18

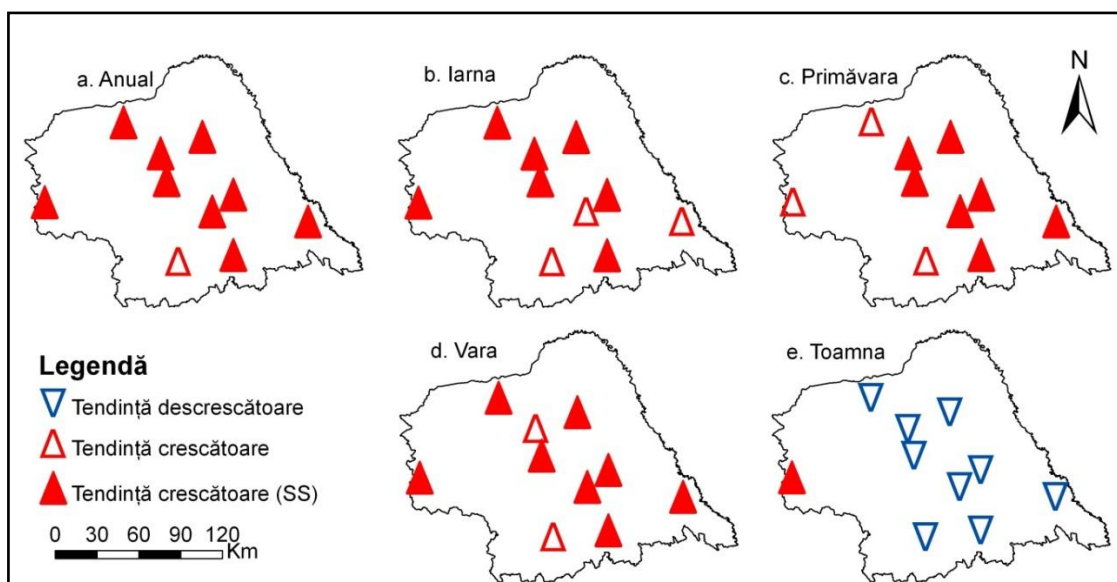


Figura 22. Repartiția teritorială a tendințelor temperaturii la suprafața solului în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

3.7. Schimbări survenite în presiunea atmosferică

Tabelul 20. Tendințele presiunii atmosferice (hPa/deceniu) în nord-estul României (1961-2010).

Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	0,28	0,54	-0,11	0,14	0,18	-0,71	0,36	0,08	-0,33	-0,27
F	0,50	0,40	0,07	0,39	0,27	0,08	0,40	0,24	-0,11	-0,24
M	0,47	-0,05	-0,37	-0,03	0,23	-0,07	-0,08	0,04	-0,29	-0,44
A	0,55	0,56	-0,35	0,09	0,43	-0,07	0,33	0,41	0,17	0,00
M	0,50	0,22	-0,12	0,26	0,35	-0,06	0,19	0,25	0,00	-0,03
I	0,33	0,36	-0,31	0,12	0,14	-0,24	0,00	0,04	-0,24	-0,32
I	0,27	0,43	-0,42	0,00	0,06	-0,17	0,00	0,09	-0,32	-0,30
A	0,19	0,37	-0,47	-0,14	0,00	0,06	0,00	0,00	-0,28	-0,25
S	-0,05	0,07	-0,81	-0,37	-0,26	-0,12	-0,37	-0,31	-0,57	-0,43
O	0,10	0,00	-0,58	-0,16	-0,13	-0,07	-0,33	-0,18	-0,50	-0,47
N	0,53	0,28	-0,09	0,32	0,35	-0,02	0,00	0,13	-0,15	-0,26
D	1,50	0,65	0,77	1,00	1,29	0,25	0,78	0,75	0,64	0,75
Iarna	0,78	0,58	0,29	0,57	0,68	-0,09	0,65	0,55	0,20	0,22
Primăvara	0,44	0,26	-0,27	0,10	0,29	0,00	0,15	0,18	-0,06	-0,12
Vara	0,25	0,39	-0,41	0,00	0,05	-0,09	0,05	0,04	-0,27	-0,22
Toamna	0,21	0,13	-0,48	-0,10	0,00	-0,07	-0,22	-0,15	-0,43	-0,35
Anual	0,40	0,42	-0,28	0,16	0,22	-0,10	0,13	0,13	-0,10	-0,15

Evoluția presiunii atmosferice de la un an la altul prezintă un interes aparte legat de raporturile dintre diverși centri barici care au influență directă asupra vremii și cliimei din

regiunea studiată. Deși amplitudinea variațiilor neperiodice (de la un an la altul) este relativ redusă în comparație cu aceea a altor elemente meteorologice, totuși importanța ei este majoră prin dependența pe care o au: precipitațiile, durata de strălucire a Soarelui și mișcările aerului de valorile presiunii atmosferice (Sandu et al., 2008).

Rezultatele testului Mann-Kendall combinat cu panta Sen ne relevă că tendința presiunii atmosferice nu a cunoscut schimbări majore de-a lungul perioadei analizate (1961-2010) în nord-estul României acestea încadrându-se în ecartul de -0,81 hPa/deceniu și 1,50 hPa/deceniu (Tabelul 20 și Figura 23a-e). Se remarcă totuși o creșterea aproape generalizată iarna și o descreștere toamna.

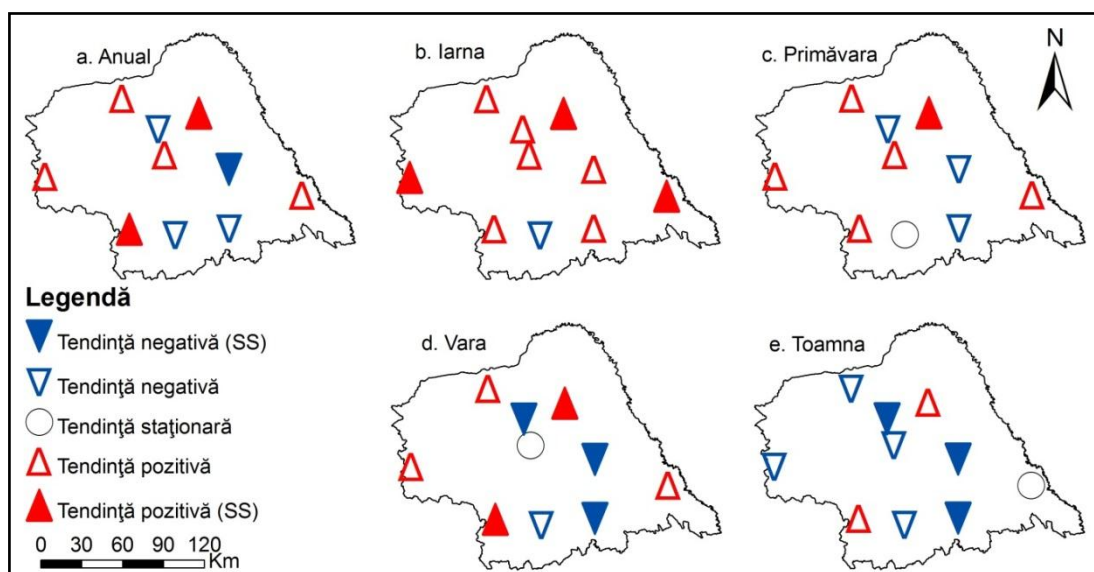


Figura 23. Tendințele presiunii atmosferice în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

3.8. Schimbări observate în regimul eolian

Vântul joacă un rol important asupra ecosistemelor, ciclului hidrologic și societății, fiind, de asemenea, și un important indicator al circulației atmosferice. El afectează puternic evapotranspirația potențială, în special în regiunile aride și semiaride.

Tendințele parametrilor acestui element meteorologic au o importanță particulară în ceea ce privește impactul schimbărilor climatice asupra societății, frecvența și viteza vântului pe direcții afectând semnificativ activitățile umane, cum sunt transporturile, în special cele aeriene.

Conform rezultatelor obținute de testul Mann-Kendall combinat cu panta Sen (Tabelul 21), tendința vitezei medii a vântului are câteva particularități notabile care vor fi subliniate în rândurile ce urmează.

Tendința medie anuală a vitezei vântului a scăzut la șase stații meteorologice din cele zece analizate, iar la cinci dintre acestea tendința descrescătoare a fost semnificativă din punct de vedere statistic (Figura 24a). Această scădere a vitezei vântului se situează între valorile de -0,08 m/s/deceniu la stația Suceava și -0,46 m/s/deceniu la stația Ceahlău (Tabelul 21).

Tabelul 21. Tendințele vitezelor medii ale vântului (m/s/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	0,05	-0,46	0,00	0,00	-0,32	0,04	-0,10	-0,34	0,13	-0,12
F	0,06	-0,71	0,13	0,06	-0,45	-0,05	-0,27	-0,47	0,04	-0,18
M	0,19	-0,20	0,21	0,18	-0,31	0,00	-0,20	-0,21	0,23	-0,05
A	0,07	-0,73	0,03	0,13	-0,36	-0,21	-0,24	-0,35	0,13	-0,07
M	0,18	-0,39	0,09	0,10	-0,19	-0,25	-0,17	-0,25	0,14	0,00
I	0,15	-0,21	0,01	0,06	-0,16	-0,42	-0,17	-0,18	0,17	0,00
I	0,13	-0,31	0,00	0,04	-0,17	-0,39	-0,12	-0,14	0,16	0,06
A	0,07	0,00	-0,03	0,02	-0,20	-0,44	-0,21	-0,17	0,08	0,04
S	0,19	-0,19	0,21	0,08	-0,07	-0,25	-0,11	-0,03	0,24	0,10
O	0,13	-0,57	0,07	0,00	-0,20	-0,18	-0,08	-0,20	0,20	-0,04
N	0,11	-0,61	0,05	0,04	-0,20	0,00	-0,23	-0,28	0,24	-0,13
D	0,00	-0,82	0,01	0,06	-0,33	0,03	-0,16	-0,27	0,18	-0,08
Iarna	0,05	-0,65	0,02	0,00	-0,40	0,00	-0,24	-0,37	0,10	-0,17
Primăvara	0,12	-0,51	0,10	0,12	-0,29	-0,14	-0,23	-0,29	0,18	-0,04
Vara	0,13	-0,14	0,00	0,03	-0,18	-0,42	-0,17	-0,19	0,13	0,01
Toamna	0,15	-0,44	0,11	0,05	-0,14	-0,14	-0,17	-0,17	0,22	-0,04
Anual	0,12	-0,46	0,05	0,06	-0,23	-0,17	-0,22	-0,26	0,15	-0,08

La câteva stații din Podișul Sucevei și Câmpia Moldovei tendința vitezei vântului a crescut (între 0,05 m/s/deceniu la stația Cotnari și 0,15 m/s/deceniu la stația Roman), însă numai la stația Roman această creștere a fost semnificativă statistic.

În ceea ce privește valorile tendințelor anotimpuale, se remarcă faptul că cele negative au avut o pondere ușor mai ridicată decât cele pozitive și staționare (Tabelul 21 și Figura 24b-e).

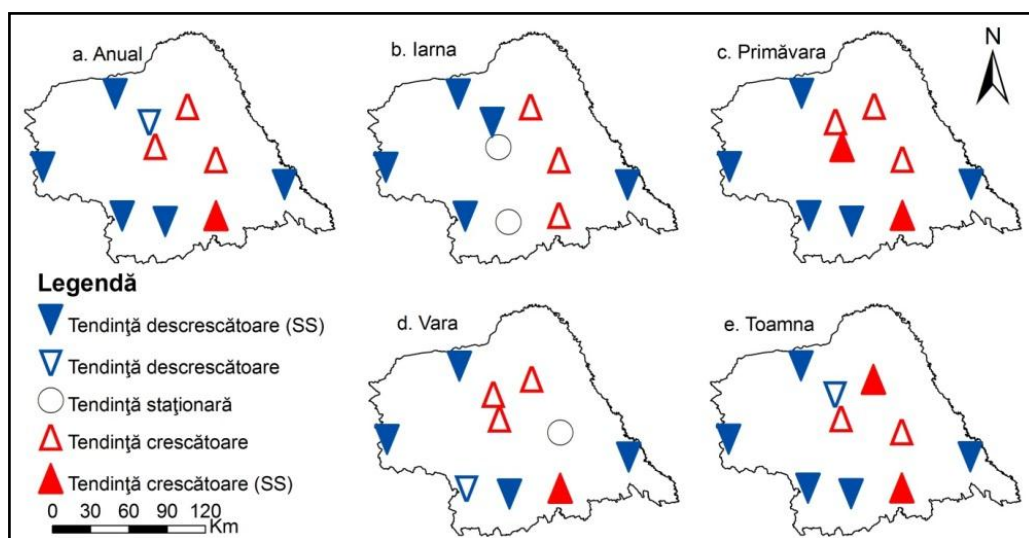


Figura 24. Repartiția spațială a tendințelor vitezelor medii ale vântului în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

4. Schimbările survenite în evoluția fenomenelor climatice periculoase

La fel ca în cazul elementelor climatice, cunoașterea direcției de mers a tendințelor fenomenelor meteorologice are o importanță deosebită, mai ales că multe dintre aceste fenomene pot fi factori de risc pentru mediul ambiant, societate și activitățile acesteia.

4.1. Fenomene climatice periculoase specifice intervalului rece al anului

4.1.1. Schimbări survenite în numărul de zile cu brumă

Importanța studierii tendinței numărului de zile cu brumă vine din faptul că aceasta are un efect distrugător asupra vegetației sălbatice și a culturilor agricole atunci când se manifestă toamna timpuriu sau primăvara târziu.

Tabelul 22. Tendințele numărului de zile cu brumă (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,97	0,00	0,00	0,00
O	0,00	0,00	0,00	-0,77	0,00	0,00	-1,35	-0,67	-0,65	0,00
N	0,80	0,10	0,88	0,00	1,62	-0,24	0,00	0,00	0,00	0,71
D	1,25	0,00	1,76	0,00	2,67	-0,94	0,00	-0,29	-0,41	0,00
I	1,38	0,00	1,43	1,00	2,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	1,48	0,00	1,20	0,10	3,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
M	0,36	0,10	0,47	0,42	1,33	-0,23	0,00	0,00	0,33	0,82
A	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	-0,31	-0,86	-0,51	0,00	0,30
M	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toamna	0,00	-0,42	0,62	-0,71	0,83	0,00	-2,46	-1,36	-0,94	0,48
Iarna	3,95	0,10	4,38	2,97	8,24	-1,41	0,00	0,29	0,65	2,22
Primăvara	0,71	0,10	0,29	0,79	1,85	-0,64	-1,00	-0,46	0,00	1,54
Anual	4,17	-1,43	3,81	3,33	9,33	-2,39	-3,33	-1,79	0,51	3,75

Tendința anuală a numărului de zile cu fenomenul de brumă a scăzut în partea vestică cu valori cuprinse între -1,79 și -3,33 zile/deceniu și a crescut în partea centrală și estică cu valori ce au variat între 0,51 și 9,33 zile/deceniu (Tabelul 22 și Figura 25a). În aria montană la stațiile Ceahlău și Poiana Stampei tendințele descrescătoare au fost semnificative din punct de vedere statistic, acestea devenind nesemnificative înspre est la stațiile Piatra-Neamț și Rădăuți, apoi schimbându-și sensul și devenind crescătoare nesemnificative și semnificative statistic pe măsura înaintării înspre est.

La nivel de anotimpuri, toamna, ca și în cazul tendințelor anuale, numărul de zile cu brumă este în scădere în aria montană înregistrând o rată de declin de -0,42 zile/deceniu la

Ceahlău și -2,46 zile/deceniu la Poiana Stampei (Tabelul 22 și Figura 25b). În restul teritoriului analizat pantele tendințelor sunt de sensuri diferite și staționare nefiind vreuna semnificativă statistic.

În anotimpurile de iarnă și primăvară frecvența crescută a pantelor pozitive ne indică faptul că numărul de zile cu brumă este în creștere în nord-estul României, mai ales în anotimpul de iarnă când multe dintre acestea sunt semnificative din punct de vedere statistic (Tabelul 22 și Figura 25c, d).

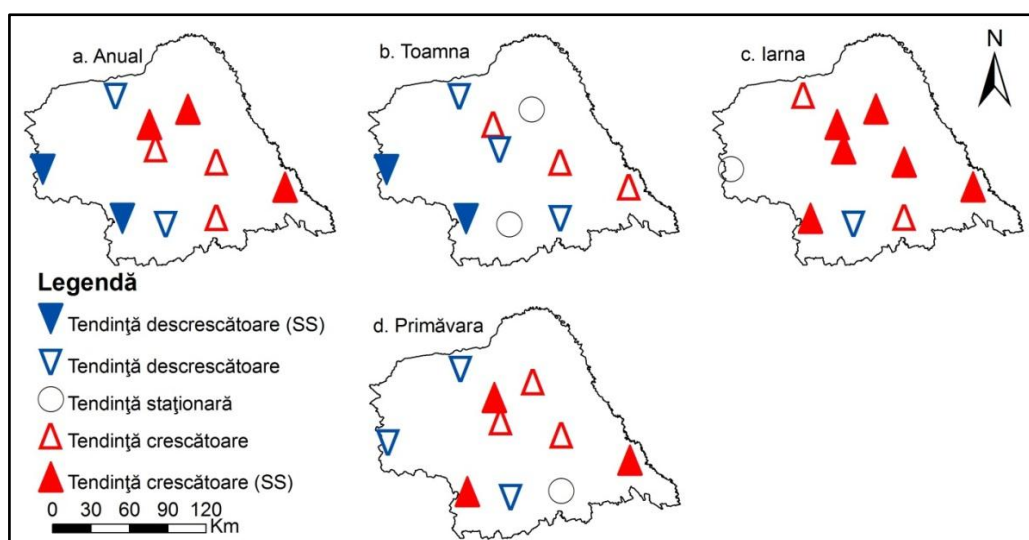


Figura 25. Repartiția spațială a tendințelor numărului de zile cu brumă în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

4.1.2. Schimbări observate în numărul de zile cu polei

Din cauză că poleiul se produce cu o frecvență foarte scăzută în nord-estul României am ales să analizăm numai tendința anuală a numărului de zile cu polei, aceasta reliefând cel mai bine schimbările produse în evoluția acestui fenomen de-a lungul perioadei studiate (1961-2010).

Tabelul 23. Tendința numărului anual de zile cu polei (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

Stația	Anual
Botoșani	0,00
Ceahlău	-0,38
Cotnari	0,26
Fălticeni	0,00
Iași	0,45
Piatra-Neamț	0,00
Poiana Stampei	-0,10
Rădăuți	-0,38
Roman	0,66
Suceava	0,29

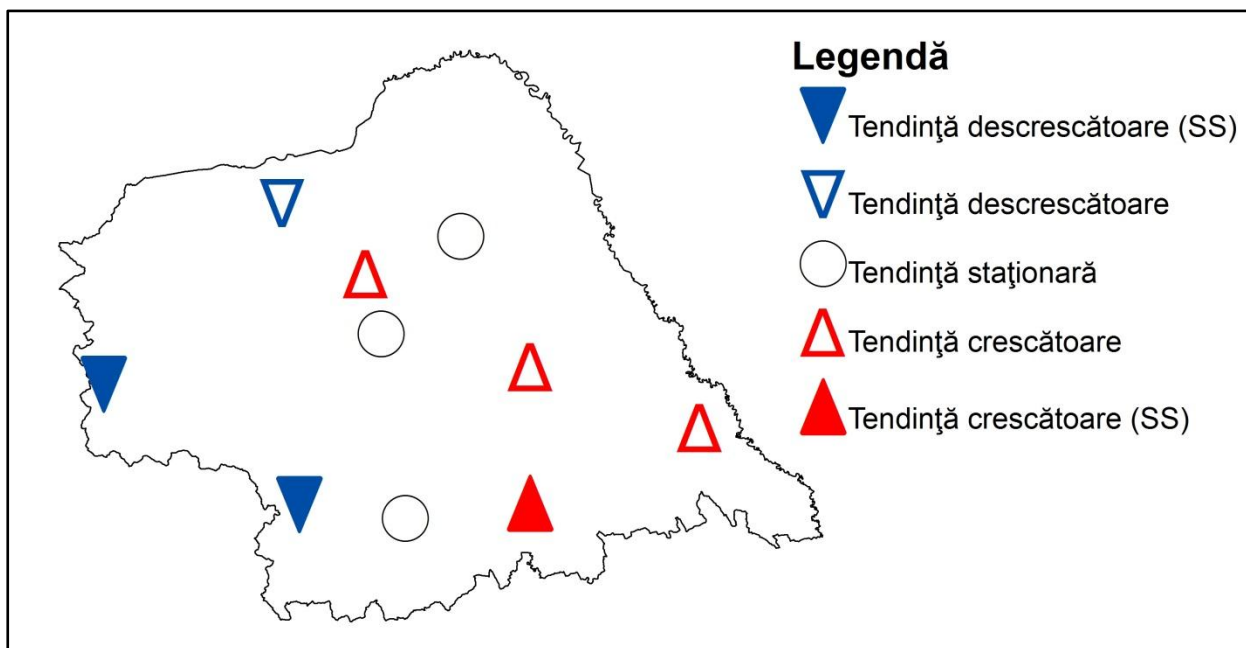


Figura 26. Repartiția spațială a tendinței numărului anual de zile cu polei în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

Repartiția teritorială a tendinței anuale a numărului de zile cu polei se aseamănă cu cea a numărului de zile cu brumă, aceasta scăzând semnificativ din punct de vedere statistic în partea vestică, în aria montană a teritoriului analizat și crescând în partea estică (Tabelul 23 și Figura 26).

4.1.3. Schimbări observate în numărul zilelor cu ceață

Caracteristic perioadei reci a anului, acest fenomen apare cel mai frecvent iarna, urmată de toamna și primăvara, iar vara el se produce numai ocazional, astfel că arareori se înregistrează vreo tendință în seriile de date.

Din Tabelul 24 și Figura 27a se remarcă tendința semnificativă de scădere a numărului de zile cu ceață în nord-estul României, cea mai importantă scădere a numărului de zile cu ceață observându-se în anotimpul de primăvară când la nouă stații s-au înregistrat tendințe descrescătoare, iar la șapte dintre acestea tendințele au fost semnificative din punct de vedere statistic (Tabelul 24 și Figura 27b-e). 83% dintre seriile de date analizate au avut pantă descrescătoare, iar 55% dintre acestea sunt semnificative din punct de vedere statistic.

Ceața perturbă transporturile rutiere, aeriene, feroviare, pe fondul ei producându-se deseori accidente, mai ales rutiere. Corelația numărului de evenimente rutiere nedorite cu numărul de zile cu ceață nu este deloc întâmplătoare (Tănasă, 2011), aceasta sugerând implicația ceții în producerea lor. Astfel, scăderea semnificativă a numărului de zile cu ceață din ultima jumătate de secol înseamnă și scăderea accidentelor rutiere provocate de acest fenomen.

Tabelul 24. Tendințele numărului de zile cu ceață (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	-1,84	0,40	-0,27	-0,83	0,00	0,34	-0,74	0,00	-0,31	0,00
F	-2,00	0,00	-1,52	-1,60	0,00	0,00	-0,53	-0,56	-0,39	-1,00
M	-1,54	0,30	-1,25	-0,87	-0,65	0,00	-0,71	-1,06	-1,25	-1,43
A	-0,10	-0,49	-0,53	0,00	0,00	0,00	-0,77	0,00	0,00	-0,29
M	-0,10	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,00	-1,61	0,00	0,00	0,00
I	0,00	-0,57	-0,10	0,00	0,00	0,00	-2,00	0,00	0,00	0,00
I	0,00	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,25	0,00	0,00	0,00
A	0,00	-0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,25	0,00	0,00	0,00
S	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,08	0,00	0,00	0,00
O	0,00	0,53	0,00	-1,23	0,00	0,00	-1,25	-0,27	0,00	0,00
N	-1,18	-0,43	-1,14	-0,68	0,00	0,49	-1,25	-0,67	0,00	-0,57
D	-1,62	-0,69	-0,50	0,00	0,00	0,50	-0,50	0,00	0,00	-0,45
Iarna	-5,17	0,00	-2,50	-2,00	-0,91	1,11	-2,50	-0,61	-1,82	-1,36
Primăvara	-2,19	-0,56	-1,87	-1,43	-0,91	0,00	-3,33	-1,36	-1,48	-2,00
Vara	0,00	-2,17	-0,10	0,00	0,00	0,00	-4,82	0,00	0,00	0,00
Toamna	-1,30	0,37	-1,33	-2,22	0,00	0,54	-3,85	-1,11	-0,24	-1,11
Anual	-10,00	-2,22	-7,00	-6,00	-1,20	1,94	-15,71	-3,75	-3,73	-5,31

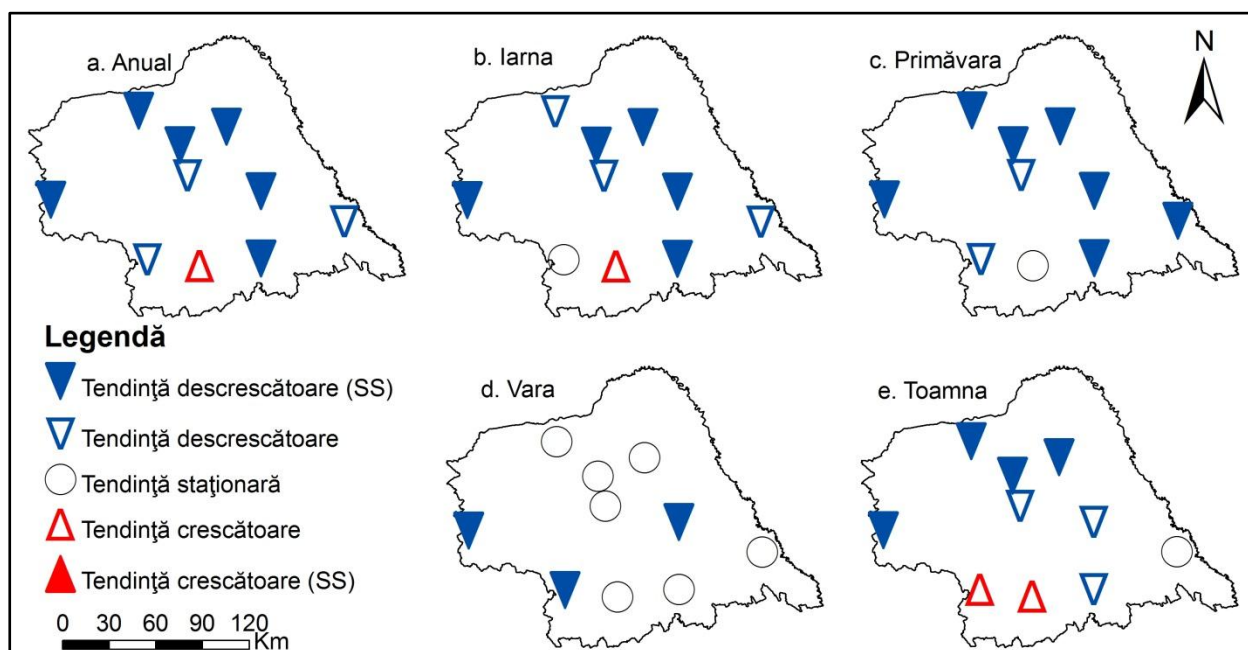


Figura 27. Repartiția spațială a tendințelor numărului de zile cu ceață în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

4.1.4. Schimbări survenite în numărul zilelor cu viscol

Tendința numărului anual de zile cu viscol este în declin în nord-estul României. Numai la stațiile Piatra-Neamț și Poiana Stampei tendința numărului de zile cu viscol este staționară, la

restul stațiilor aceasta scăzând semnificativ din punct de vedere statistic (Tabelul 25 și Figura 28).

Tabelul 25. Tendința numărului anual al zilelor cu viscol (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

Stația	Anual
Botoșani	-0,53
Ceahlău	-10,00
Cotnari	-0,34
Fălticeni	-1,80
Iași	-0,87
Piatra Neamț	0,00
Poiana Stampei	0,00
Rădăuți	-0,80
Roman	-0,32
Suceava	-0,10

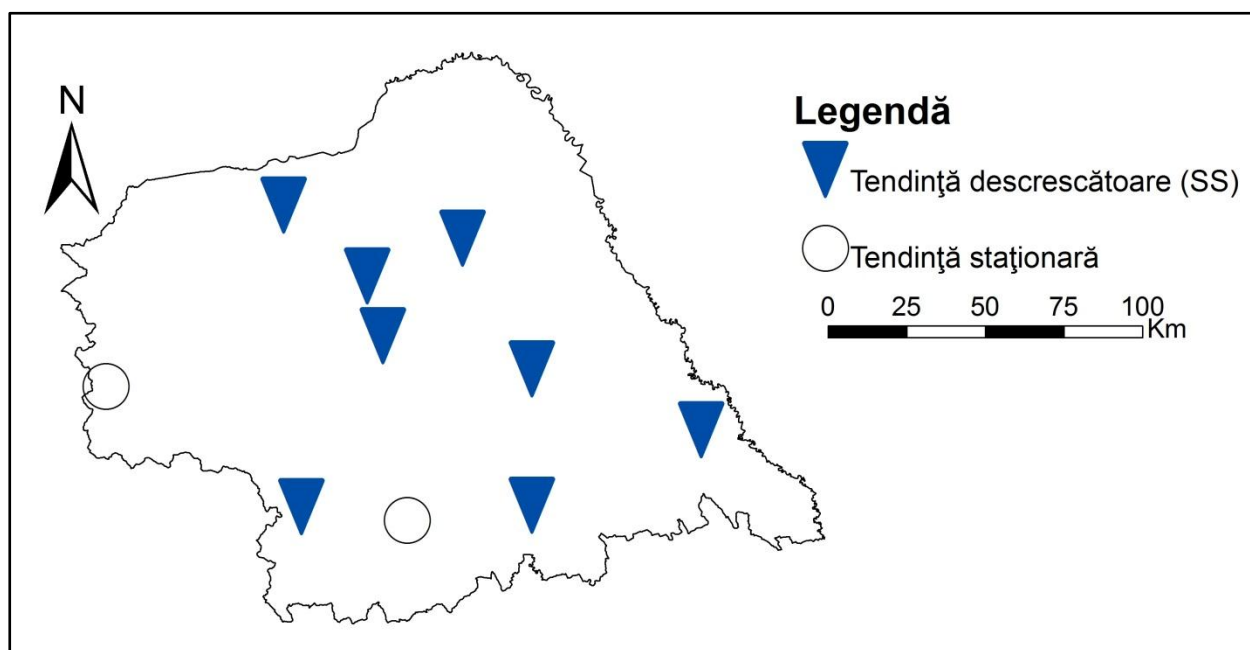


Figura 28. Repartiția spațială a tendinței numărului anual al zilelor cu viscol în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

4.2. Fenomene climatice periculoase specifice intervalului cald al anului

4.2.1. Schimbări survenite în numărul anual al zilelor cu grindină

Conform testul Mann-Kendall combinat cu panta Sen, numai la stația Ceahlău s-a identificat o tendință negativă semnificativă din punct de vedere statistic (-1,11 zile/deceniu) și la stația Botoșani o tendință pozitivă semnificativă statistic (0,1 zile/deceniu) (Tabelul 26). La restul stațiilor din nord-estul României tendințele identificate au fost staționare.

Tabelul 26. Tendința numărului anual al zilelor cu grindină (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

Stația	Annual
Botoșani	0,10
Ceahlău	-1,11
Cotnari	0,00
Fălticeni	0,00
Iași	0,00
Piatra Neamț	0,00
Poiana Stampei	0,00
Rădăuți	0,00
Roman	0,00
Suceava	0,00

4.2.2. Schimbări observate în numărul zilelor cu fenomene orajoase

Rezultatele testului Mann-Kendall combinat cu panta lui Sen indică faptul că numărul de zile cu fenomene orajoase a crescut în nord-estul României (Tabelul 27 și Figura 29). Acest fapt s-ar putea întâmpla pe fondul încălzirii globale care determină procese convective mai intense, lucru ce favorizează apariția mai frecventă și mai intensă a fenomenelor orajoase. Cele mai intense creșteri s-au produs în regiunea sudică, la stațiile Piatra Neamț (2,92 zile/deceniu) și Roman (1,56 zile/deceniu).

Tabelul 27. Tendința numărului anual al zilelor cu fenomene orajoase (zile/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

Stația	Annual
Botoșani	0,67
Ceahlău	0,37
Cotnari	-2,00
Fălticeni	0,00
Iași	0,83
Piatra Neamț	2,92
Poiana Stampei	1,30
Rădăuți	-2,00
Roman	1,56
Suceava	0,53

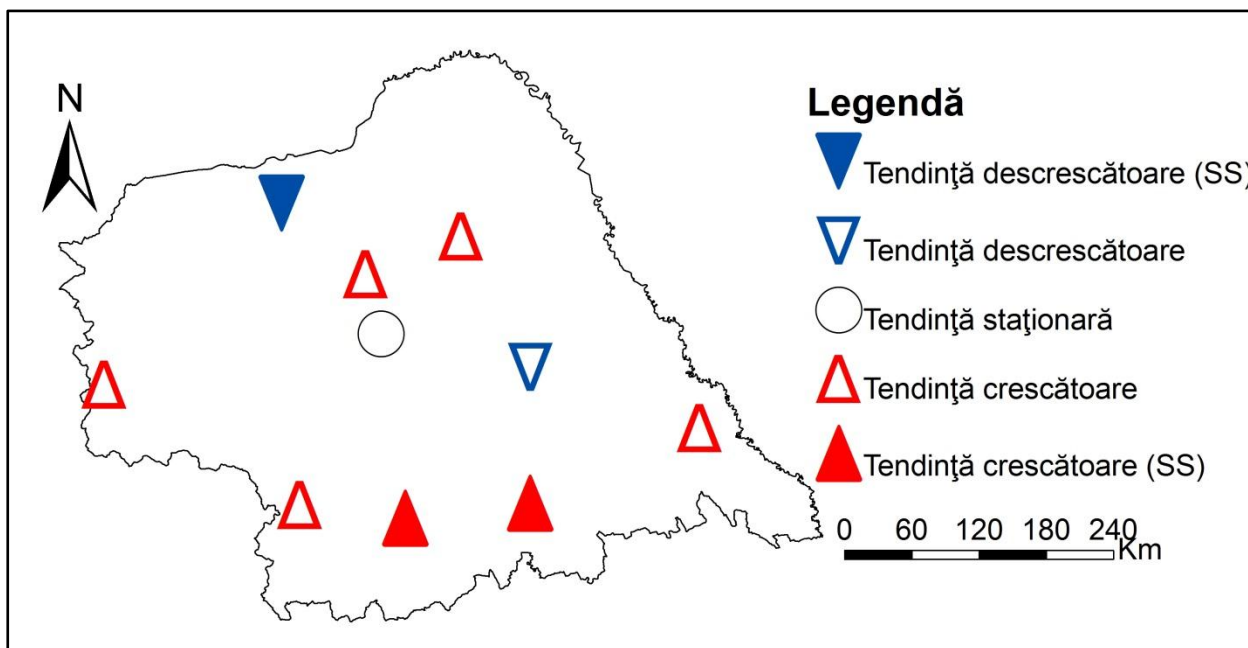


Figura 29. Repartiția teritorială a tendinței numărului anual al zilelor cu fenomene orajoase în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

5. Ariditatea

Ca urmare a faptului că seceta a devenit un fenomen recurent în ultimele decenii în multe regiuni ale lumii, în special în regiunile subtropicale și temperate, afectând din ce în ce mai mult ecosistemele și societatea (Croitoru et al., 2013b) s-a procedat la investigarea acestui fenomen în nord-estul României. Domenii de activitate cum sunt agricultura și aprovizionarea cu apă au cel mai mult de suferit de pe urma manifestării fenomenului de secetă.

5.1. Metode

Fenomenul de ariditate a fost analizat pe baza indicelui de ariditate de Martonne (de Martonne, 1920, citat de Croitoru et al., 2013b). El poate fi calculat atât pentru perioade anuale, cât și pentru perioade mai scurte. Pentru valori anuale, se calculează cu ajutorul ecuației:

$$IDM = \frac{P}{T_a + 10}, \quad (1)$$

Unde P reprezintă cantitatea anuală de precipitații (în milimetri), iar T_a este temperatura medie anuală a aerului (în grade Celsius).

Pentru a se calcula indicele pentru o anumită lună, am folosit ecuația (2) (Coscarelli et al., 2004).

$$IDM = \frac{12P_l}{T_{al} + 10}, \quad (2)$$

Unde P_l este cantitatea lunară de precipitații (în milimetri), iar T_{al} este media lunară a temperaturii aerului (în grade Celsius) a lunii pentru care se calculează indicele.

Pentru identificarea gradului de ariditate din diferite anotimpuri, IDM se calculează după ecuația (3) (Croitoru et al., 2013b):

$$IDM = \frac{4P_s}{T_{as} + 10}, \quad (3)$$

unde P_s reprezintă cantitatea anotimpuală de precipitații (în milimetri), iar T_{as} reprezintă media anotimpuală a temperaturii aerului (în grade Celsius) pentru anotimpul analizat.

De asemenea, am calculat indicele și pentru perioada de vegetație a principalelor culturi cerealiere cultivate în aria studiată, grâu și porumb. Pentru grâul de toamnă, am luat în considerare o perioadă de nouă luni, din octombrie până în iunie, iar pentru porumb o perioadă de șapte luni, din aprilie până în octombrie. Am conceput formule adaptate pentru perioadele de

vegetație a fiecărei culturi în parte în funcție de duratele lor: pentru grâul de toamnă (ecuația 4), iar pentru porumb (ecuația 5).

$$IDM = \frac{1,333P_{vs}}{T_{avs} + 10} \quad (4)$$

$$DMAI = \frac{1,714P_{vs}}{T_{avs} + 10} \quad (5)$$

unde P_{vs} este cantitatea totală de precipitații (în milimetri) din perioada de vegetație a fiecărei culturi cerealiere, iar T_{avs} este temperatura medie a aerului (în grade Celsius) din perioada de vegetație a fiecărei culturi.

Până acum pe teritoriul României, IDM a fost calculat numai la nivel anual (Paltineanu et al., 2007b; Lungu et al., 2011). Am considerat că este necesar calculul acestui indice și pentru perioade mai scurte deoarece parametrii climatici variază considerabil de la o perioadă la alta (Croitoru et al., 2013b).

Pentru a obține seriile de date necesare identificării tendințelor IDM, formulele de calcul au fost aplicate fiecărui an în parte și fiecărei perioade mai scurte de un an (luni, anotimpuri, perioadele de vegetație a principalelor culturi cerealiere).

5.2. Tendința IDM

Tendințele seriilor anuale a IDM sunt atât pozitive cât și negative în nord-estul României, însă cele mai multe dintre acestea sunt ne semnificative din punct de vedere statistic la nivelul $\alpha = 0,05$ (Figura 30a). Pantele pozitive sunt asociate cu o scădere a aridității, în timp ce pantele negative indică o creștere a acestui fenomen. Singura stație care înregistrează o tendință statistic semnificativă de intensificare a procesului de ariditate este stația Ceahlău, lucru care poate fi asociat cu o scădere pronunțată a cantităților de precipitații la această stație.

Pentru iarna, primăvara, ianuarie și perioada de vegetație a grâului predomină tendințele descrescătoare (95% dintre cazuri), însă cele mai multe dintre acestea sunt statistic ne semnificative (Figura 30b, c, g, i). În anotimpul de iarnă s-a produs cea mai importantă scădere a pantelor IDM atât din punct de vedere al intensității, cât și al semnificației statistice, în acest sezon fiind cele mai multe pante statistic semnificative.

Pentru vara, toamna, luna august și perioada de vegetație a porumbului, seriile de date au indicat în cea mai mare parte tendințe crescătoare (75% din serii), însă niciuna dintre acestea nu a fost statistic semnificativă (Figura 30d, e, f, h).

Pentru o mai bună înțelegere a problemei aridității, trebuie să luăm în considerare și tendințele parametrilor care alcătuiesc indicele de ariditate de Martonne: temperatura și precipitațiile.

Atât temperatura aerului cât și precipitațiile atmosferice au crescut în aria analizată în intervalul 1961-2010. Pe când temperatura aerului a înregistrat creșteri semnificative din punct de vedere statistic, nu la fel s-a întâmplat și cu creșterile din precipitațiile atmosferice, acestea fiind în cea mai mare parte ne semnificative statistic. Astfel, din moment ce tendințele precipitațiilor atmosferice și a IDM au fost ne semnificative statistic în cea mai mare parte, iar tendința crescătoare a temperaturii aerului a înregistrat tendințe semnificative statistic, rezultatele tendinței IDM trebuie privite cu prudență din moment ce majoritatea acestora sunt ne semnificative statistic. Dacă aceste tendințe continuă în aceeași direcție, este posibil ca în scurt timp acestea să devină statistic semnificative, ceea ce înseamnă creșterea procesului de ariditate în acele regiuni și pentru acele perioade de timp în care s-au înregistrat pante negative ne semnificative statistic.

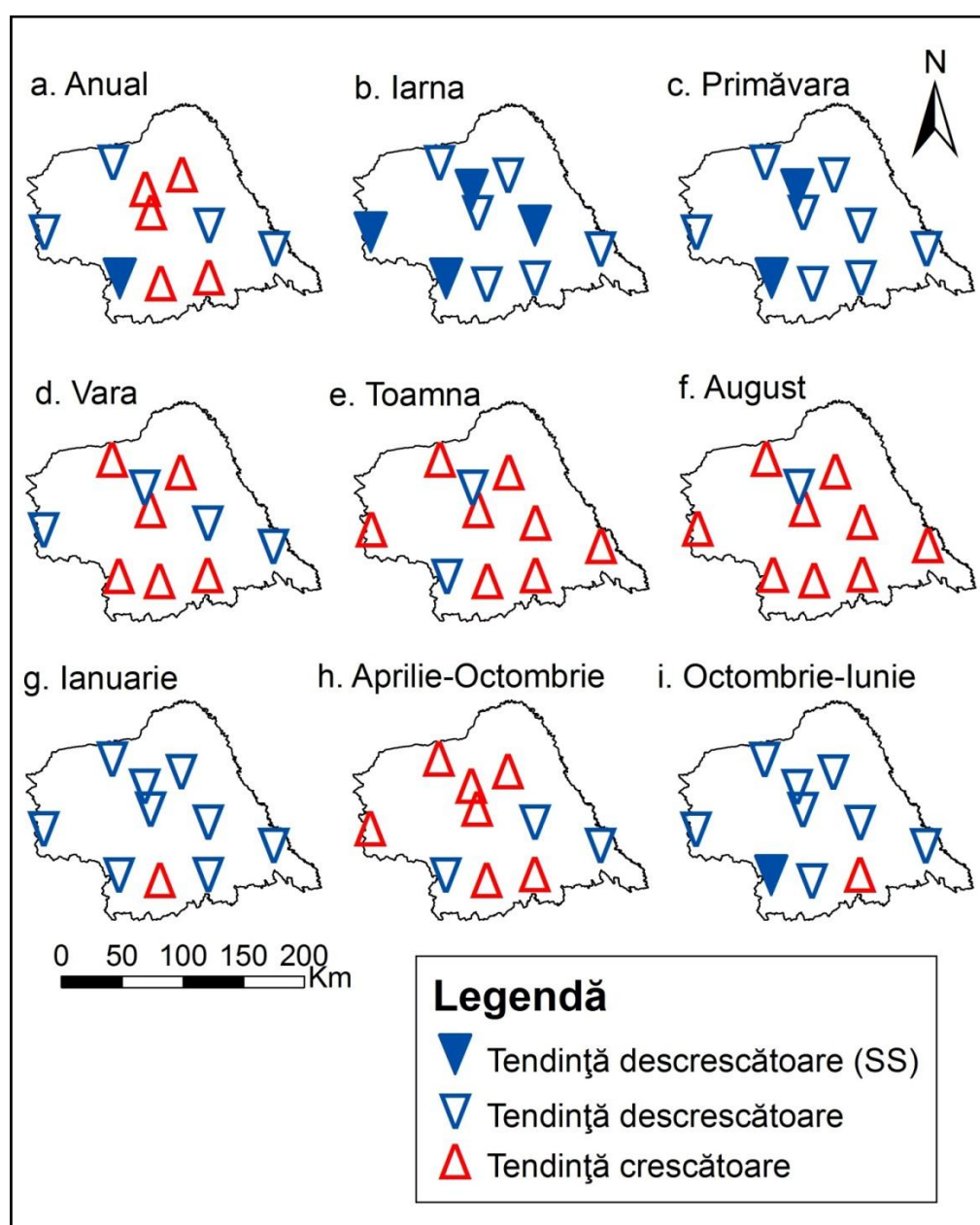


Figura 30. Repartiția spațială a tendințelor IDM în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

6. Evapotranspirația de referință

Schimbările climatice din ultimele decenii n-au fost identificate numai izolat, în temperatura aerului sau alte elemente climatice individuale, ci și în parametri mult mai complecși, așa cum este evapotranspirația (Croitoru et al., 2013c). În timp ce temperatura aerului și precipitațiile atmosferice, ca parametri individuali sunt foarte utili în studierea schimbărilor climatice, expresia generală a schimbărilor în termeni bioclimatici este mai bine exprimată prin parametri complecși calculați din diferite combinații a unor variabile climatice mai simple (Kafle și Bruins, 2009). Evapotranspirația este cel mai important parametru pentru identificarea schimbărilor climatice și a particularităților spațiotemporale care influențează procesele ecohidrologice ce controlează evoluția ecosistemelor. Evapotranspirația controlează schimbul de energie și masă dintre ecosistemele terestre și atmosferă și joacă un rol crucial în fluxurile de căldură și masă a atmosferei. Deoarece este guvernată de o varietate de variabile climatice cum este durata de strălucire a Soarelui, temperatura, viteza vântului și umezeala aerului și datorită efectelor legate de umezeala solului și de albedoul terestru face ca aceasta să fie o unealtă sensibilă de monitorizare a schimbărilor produse în transferul energiei și umezelii de la suprafața terestră în atmosferă (Chen et al., 2006).

Fiind unul dintre cei mai importanți parametri ai ciclului hidrologic, ET_0 joacă un rol crucial în estimarea și predicția evapotranspirației culturilor și stabilirea unei scheme de irigație și a altor practici legate de producția agricolă. De asemenea reflectă impactul capacității atmosferei de a absorbi vapori de apă asupra cerințelor de apă a culturilor din diferite regiuni și perioade fiind determinată numai de condițiile meteorologice locale. Astfel, este clar că orice schimbare produsă în evapotranspirație afectează producția agricolă și planificarea resurselor de apă (Allen et al., 1998; Francone et al., 2010). Creșterea evapotranspirației poate afecta, cu predilecție, culturile agricole racordate la un sistem de irigație prin două moduri: creșterea necesității de apă și modificarea perioadei de creștere a culturilor (Döll, 2002; Espadafor et al., 2011).

În România, au fost întreprinse până în prezent puține studii cu privire la evapotranspirație (Păltineanu et al., 2007a, 2007b, 2012; Lungu et al., 2011). Unele dintre acestea s-au concentrat asupra repartiției spațiale a unor indici de ariditate calculați pe baza ET_0 (Păltineanu et al., 2009; Lungu et al., 2011).

Numai un studiu asupra schimbărilor produse în ET_0 a fost efectuat până acum în România, însă acesta a luat în considerare numai trei locații din partea sudică a țării (Păltineanu et al., 2012).

6.1. Metode

ET_0 , repartiția teritorială și schimbările produse în acest parametru au fost calculate pe baza seriilor de date lunare de temperatura aerului, umiditate relativă, viteza vântului și durata de strălucire a Soarelui de la cele 10 stații meteorologice analizate.

În lucrarea de față ET_0 a fost calculată utilizând metoda Penman-Monteith propusă de FAO (Allen et al., 1998).

Din ecuația inițială Penman-Monteith și din ecuațiile de rezistență aerodinamică și a suprafeței solului se poate deriva metoda FAO Penman-Monteith pentru estimarea ET_0 (Allen et al., 1998):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (6)$$

unde:

- ET_0 – evapotranspirația de referință (mm zi^{-1});
- R_n – radiația solară netă la suprafața culturii ($\text{MJ m}^{-2} \text{zi}^{-1}$), calculată pe baza duratei de strălucire a Soarelui; reprezintă diferența dintre radiația solară receptată și cea emisă sau reflectată, de ambele lungimi de undă, scurtă și lungă;
- G – conductivitatea termică a solului ($\text{MJ m}^{-2} \text{zi}^{-1}$);
- T – temperatura medie a aerului măsurată la înălțimea de 2 m ($^{\circ}\text{C}$);
- u_2 – viteza vântului la înălțimea de 2 m (m s^{-1});
- e_s – presiunea de saturație a vaporilor (kPa);
- e_a – presiunea parțială a vaporilor de apă (kPa);
- $e_s - e_a$ – deficitul de saturație (kPa)
- Δ - panta curbei presiunii vaporilor de apă ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$);
- γ - constanta psihrometrică ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Pentru ajustarea vitezei vântului de la înălțimea de 10 m la înălțimea de 2 m, conform aceleiași metodologii (Allen et al., 1998), s-a utilizat un profil logaritmic de determinare a vitezei vântului:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (7)$$

unde: u_2 este viteza vântului la înălțimea de 2 metri (m s^{-1}); u_z reprezintă viteza vântului la înălțimea z metri deasupra pământului (m s^{-1}), iar z este înălțimea de măsurare a vitezei vântului (m) și este egală cu 10.

Programul CROPWAT 8.0 dezvoltat de FAO special pentru calcularea ET_0 pe baza formulei FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) a fost utilizat în generarea seriilor de date ale ET_0 .

6.2. Schimbări survenite în ET₀

În nord-estul României s-au identificat schimbări importante ale ET₀ de-a lungul perioadei analizate (1961-2010). Din cauza creșterii intense a temperaturii aerului și a duratei de strălucire a Soarelui și a scăderii umezelii relative și a vitezei vântului (Croitoru et al., 2013c), valorile anuale indică tendințe crescătoare în aproape toată aria analizată, jumătate dintre acestea fiind semnificative statistic (Tabelul 28 și Figura 31a).

Tabelul 28. Tendințele ET₀ (mm/deceniu) în nord-estul României (1961-2010). Valorile cu bold sunt semnificative statistic la nivelul $\alpha = 0,05$

	Botoșani	Ceahlău	Cotnari	Fălticeni	Iași	Piatra Neamț	Poiana Stampei	Rădăuți	Roman	Suceava
I	1.39	-2.80	0.43	0.59	0.60	0.30	-0.12	0.43	0.49	0.40
F	1.73	-1.37	1.38	1.21	1.39	0.81	-0.01	1.03	1.05	0.89
M	3.29	-2.62	1.69	2.31	2.52	1.67	-0.30	2.29	2.98	2.34
A	1.68	-1.77	0.09	1.12	0.24	-1.02	-0.29	2.09	2.70	1.31
M	4.60	-0.81	3.25	4.00	2.18	1.23	0.93	4.37	4.82	2.48
I	2.68	0.24	2.54	2.55	1.46	0.05	1.73	3.41	3.17	1.97
I	4.04	-0.42	3.59	2.92	2.82	0.16	1.42	4.17	4.64	2.93
A	1.50	-0.66	1.54	1.40	-0.28	-0.22	1.33	2.83	2.98	2.32
S	0.03	-2.54	-1.67	-0.38	-0.55	-2.21	-1.19	0.17	0.26	-0.08
O	0.66	-4.14	-1.35	0.13	-0.28	-1.79	-0.33	-0.50	0.48	-0.49
N	-0.08	-1.30	-0.48	0.13	0.50	-0.16	-0.51	-0.17	0.22	-0.10
D	0.45	-1.33	-0.53	-0.23	0.09	-0.32	-0.63	-0.33	0.01	-0.28
Iarna	3.67	-5.70	2.15	1.76	2.13	1.55	-0.83	1.11	1.28	1.38
Primăvara	8.90	-4.73	5.24	7.65	5.13	2.16	-0.07	8.30	10.61	6.10
Vara	9.22	-1.83	8.32	7.39	5.05	0.89	4.70	11.31	10.96	7.36
Toamna	0.39	-8.86	-4.17	-0.21	-0.40	-4.15	-2.09	-0.67	0.89	-0.53
Oct-Iun	16.82	-15.80	9.89	10.86	9.18	2.06	0.15	12.71	14.88	8.66
Apr-Oct	15.51	-11.44	8.64	12.05	8.50	-3.22	3.38	19.96	18.85	15.66
Anual	22.02	-21.63	13.29	15.71	12.00	-0.97	0.73	17.54	24.36	13.30

În anotimpurile de iarnă, primăvară și vară, ET₀ a crescut la toate stațiile analizate din regiunile joase (podiș și câmpie), cele mai importante creșteri înregistrându-se primăvara și mai ales vara când cele mai multe tendințe identificate au fost semnificative din punct de vedere statistic (Tabelul 28 Figura 31b-d).

Anotimpul de toamnă este dominat de tendințe descrescătoare ale ET₀ (Tabelul 28 și Figura 31e). În aria carpatică și subcarpatică a avut loc cea mai importantă scădere a ET₀ (între -8,86 mm/deceniu și -2,09 mm/deceniu), tendințele descrescătoare semnificative statistic concentrându-se în aceste regiuni. În restul teritoriului predomină tendințele descrescătoare nesemnificative statistic, iar la două stații (Botoșani și Roman) pantele identificate au fost pozitive, însă nesemnificative statistic.

În perioada de vegetație a porumbului și grâului ET₀ a crescut în aproape toată regiunea analizată, aproximativ jumătate din tendințele identificate fiind crescătoare semnificative statistic

(Tabelul 28 și Figura 31 f, g). Numai în partea de sud-vest a ariei analizate, în sectorul carpatic, la stația Ceahlău s-au identificat tendințe negative semnificative statistic în ambele perioade, iar la stația Piatra Neamț în perioada de vegetație a porumbului s-a identificat o tendință negativă, însă ne semnificativă statistic. Magnitudinea pantelor înregistrate în perioadele de vegetație a celor două culturi cerealiere sunt similare (Tabelul 28).

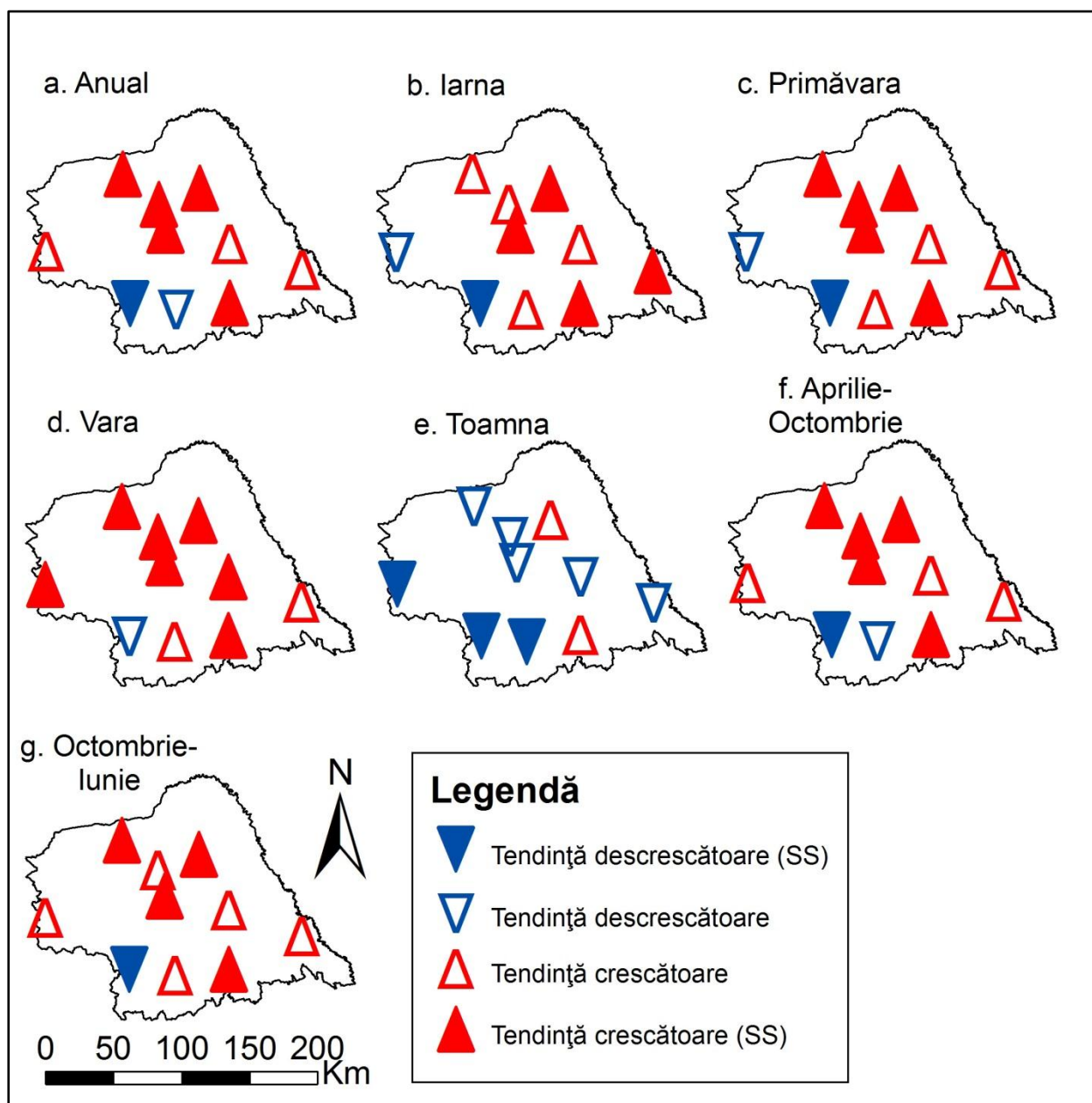


Figura 31. Repartiția teritorială a tendințelor ET_0 în nord-estul României (1961-2010). SS – statistic semnificativ la nivelul $\alpha = 0,05$

Concluzii

Lucrarea de față este structurată în 6 capitole ce se desfășoară pe aproximativ 200 pagini, care conțin un număr de 67 figuri și 78 tabele, constituind rezultatele prelucrării și analizei datelor climatice de la 11 stații meteorologice pentru o perioadă de 50 de ani (1961-2010).

Rezultatele obținute indică faptul că în climatul ariei studiate au avut loc schimbări notabile în ultima jumătate de secol.

Acesta a devenit mai cald: atât temperaturile medii, cât și cele maxime și minime zilnice, conform indicilor analizați, au înregistrat creșteri semnificative statistic pentru întregul teritoriu studiat.

Temperatura medie anuală a cunoscut o creștere semnificativă statistic de $0,25^{\circ}\text{C}/\text{deceniu}$, adică de $1,25^{\circ}\text{C}$ pe întreaga perioadă de analiză (1961-2010). Cea mai importantă creștere a temperaturilor aerului s-a produs în anotimpul de vară. Astfel, temperatura medie a acestui anotimp a crescut cu $0,36^{\circ}\text{C}/\text{deceniu}$, ceea ce înseamnă o creștere de $1,8^{\circ}\text{C}$ de-a lungul întregii perioade analizate. Tendințe negative s-au înregistrat numai în câteva serii de date, în special în lunile de toamnă.

Temperaturile extreme zilnice, conform indicilor analizați indică faptul că cea mai intensă încălzire a avut loc în anotimpurile extreme (vara și iarna), în vreme ce în anotimpurile de tranziție (primăvara și toamna) s-a înregistrat o creștere moderată a temperaturii aerului și chiar tendințe negative toamna.

Cele mai importantă creștere au fost detectate în indicii extremelor termice superioare (SU25, TRD30, TXx). În aproape toate seriile acestor indici au fost identificate tendințe pozitive semnificative din punct de vedere statistic. Singura excepție o face indicele TXn, în seriile căruia, cele mai multe tendințe au fost cele negative însă nefiind semnificative statistic.

În indicii extremelor termice inferioare s-au detectat atât pante pozitive (TNmean, TNx) cât și negative (ID0, FD0, FN-10, TN10p, TX10p), însă acest lucru nu înseamnă că aceștia indică atât încălzire, cât și răcire. Scăderea numărului de zile a indicilor bazați pe praguri fixe sau pe praguri specifice fiecărei stații, este de asemenea o dovadă a procesului de încălzire și nu de răcire, din moment ce numărul de zile cu temperaturi mici a scăzut. Creșterea semnificativă a mediilor și a valorilor maxime a temperaturilor minime (Tnmean și TNx) completează încălzirea generalizată din nord-estul României.

În ceea ce privește cantitățile de precipitații s-a putut constata că, în general, acestea au crescut în nord-estul României și au devenit mai extreme atât din punct de vedere al intensității, cât și al frecvenței.

Cu toate că, tendințele acestora sunt în cea mai mare parte pozitive, există diferențieri sezoniere importante. Astfel că, seriile de date anuale și ale anotimpurilor de vară și de toamnă indică o tendință crescătoare a cantităților de precipitații la majoritatea stațiilor din nord-estul României, în timp ce iarna și primăvara acestea au scăzut în aria analizată, însă numai la stația Ceahlău scăderea a fost semnificativă statistic. Și alți autori au identificat, de asemenea, o scădere semnificativă a cantităților de precipitații în regiunile montane din România. Ponderea

tendențelor pozitive este doar cu puțin mai mare decât cea a tendințelor negative, iar a celor pozitive semnificative statistic este egal cu cea a tendințelor negative semnificative statistic.

Analiza indicilor extremelor pluviometrice indică o creștere generalizată în valorile acestora, ceea ce înseamnă că climatul ariei studiate a devenit mai umed de-a lungul perioadei analizate. Aceste rezultate sunt similare cu cele din alte studii care au afirmat o creștere în valorile indicilor extremelor pluviometrice la scară globală sau regională. Cele mai puternice tendințe au fost înregistrate pentru indicii R0.1, R10, R95p, R99p, Rx5d, PRECPTOT. Analiza indicilor extremelor pluviometrice a indicat faptul că pentru majoritatea acestora, tendințele crescătoare semnificative statistic au o frecvență cuprinsă între 10-50%, cea mai importantă schimbare detectată, din acest punct de vedere, fiind caracteristică indicelui PRECPTOT. Numărul de zile consecutive fără precipitații (indicele CDD) a scăzut, lucru care indică, de asemenea, o creștere a precipitațiilor extreme în nord-estul României.

Cu toate că tendințele precipitațiilor din nord-estul României au avut în cea mai mare parte pante pozitive, trebuie avut totuși în vedere faptul că ponderea tendințelor pozitive semnificative statistic a avut valori scăzute.

Pe fondul creșterii temperaturilor aerului, numărul de zile cu ninsoare a scăzut semnificativ din punct de vedere statistic pe aproape întreg teritoriul analizat. De asemenea, numărul zilelor cu strat de zăpadă este în declin în nord-estul României, însă nesemnificativ statistic. Grosimea stratului de zăpadă a scăzut și ea în cea mai mare parte, tendințele pozitive concentrându-se numai în partea sud-vestică, iar cele negative pe restul teritoriului analizat.

Schimbările survenite în nebulozitatea atmosferică sunt strâns legate de încălzirea globală, scăderea nebulozității contribuind la creșterea temperaturilor. Acestea influențează semnificativ durata de strălucire a Soarelui, umezeala aerului și temperatura aerului. Nebulozitatea totală a scăzut în cea mai mare parte pentru seriile anuale și ale anotimpurilor de iarnă, primăvară și vară și a crescut în anotimpul de toamnă.

Tendința anuală a duratei de strălucire a Soarelui a crescut semnificativ din punct de vedere statistic la majoritatea stațiilor analizate. De asemenea, aceasta a crescut aproape generalizat în anotimpurile de iarnă, primăvară și vară și a scăzut toamna.

S-a putut remarca faptul că creșterea duratei de strălucire a Soarelui din seriile anuale și ale anotimpurilor de iarnă, primăvară și vară a coincis cu scăderea nebulozității totale din aceleași perioade, în timp ce scăderea din anotimpul de toamnă a duratei de strălucire solare a coincis cu creșterea nebulozității totale a aceluiași sezon.

Tendința anuală a umezelii relative a aerului a crescut în aria carpatică și subcarpatică și a scăzut în cea mai mare parte a restului teritoriului analizat. La nivel de anotimpuri umezeala relativă a aerului a scăzut, în general, iarna, primăvara și vara și a crescut toamna.

Tendințele umezelii relative ale aerului prezintă un mers asemănător cu cele ale nebulozității totale, la baza ambelor elemente stând aceleași cauze, în mod deosebit circulația generală a atmosferei și caracteristicile geografice locale.

Analiza datelor temperaturii la suprafața solului relevă că aceasta este în creștere în nord-estul României. Această creștere coincide într-o foarte mare măsură cu creșterea temperaturii

aerului. Astfel că, tendința anuală și a anotimpurilor de iarnă, primăvară și vară a temperaturii la suprafața solului are un sens pozitiv la toate stațiile analizate, fiind statistic semnificativă în aproape toate locațiile. O deosebire foarte importantă apare în tendința temperaturii la suprafața solului din anotimpul de toamnă când aceasta este negativă la toate stațiile analizate, exceptând stația Poiana Stampei, unde tendința este pozitivă. Frecvența tendințelor crescătoare a predominat în seriile de timp ale temperaturii suprafeței solului având o valoare egală cu cea a temperaturii aerului, de 81%.

Evoluția presiunii atmosferice din nord-estul României nu a cunoscut schimbări majore de-a lungul perioadei analizate în nord-estul României. Se remarcă totuși o creștere aproape generalizată iarna și o scădere toamna. Tendințele pozitive au cea mai mare frecvență (51%), însă numai 11% sunt semnificative din punct de vedere statistic.

Referitor la tendințele vitezei vântului, o concluzie importantă ce se desprinde din analiza acestui element climatic este că se remarcă predominanța tendințelor negative și în special o frecvență ridicată a tendințelor negative semnificative din punct de vedere statistic. Din repartitia spațială a tendințelor vitezei vântului nu se observă o anumită tipologie a acestora. Din punct de vedere al frecvenței vântului pe direcții, rezultatele au indicat o tendință crescătoare la majoritatea stațiilor a vânturilor provenite din nord și vest, cele din vest având o amplitudine mai ridicată conform magnitudinii mai mari a pantelor și a semnificației statistice identificată la jumătate din stațiile analizate. Creșterea frecvenței vântului din direcția de vest coincide cu schimbările identificate în circulația generală a atmosferei exprimate prin tendințele pozitive ale indicilor EA și NAO care caracterizează intensitatea vânturilor de vest.

În ceea ce privește analiza fenomenelor periculoase, schimbări notabile s-au remarcat în numărul de zile cu ceață și viscol. Astfel, numărul de zile cu ceață a scăzut în nord-estul țării, cea mai importantă scădere înregistrându-se primăvara, când cele mai multe tendințe au fost semnificative statistic. Tendința numărului anual de zile cu viscol este în declin, aceasta scăzând semnificativ statistic la aproape toate stațiilor analizate. De asemenea, numărul de zile cu brumă a înregistrat o creștere importantă în anotimpul de iarnă.

În intervalul cald al anului se observă o creștere moderată a numărului de zile cu fenomene orajoase în aria analizată, această creștere fiind semnificativă statistic în partea sudică la stațiile Piatra-Neamț și Roman.

În regiunile studiate, secetele pot avea loc în orice moment al anului, însă impactul lor este mai sever primăvara și vara. Cele mai expuse condițiilor de uscăciune sunt Câmpia Moldovei și rama estică a Podișului Sucevei, în perioada caldă a anului (aprilie-septembrie), fiind absolut necesar un sistem de irigații.

Analiza indicelui de ariditate de Martonne (IDM) a indicat că iarnă, primăvară, în ianuarie și în perioada de vegetație a grâului predomină tendințele descrescătoare, adică o creștere a aridității, în timp ce vara, toamna, în august și în perioada de vegetație a porumbului seriile de date ne indică, în cea mai mare parte, tendințe pozitive a indicelui de ariditate De Martonne, adică o scădere a acestui fenomen. Per ansamblu cele mai multe tendințe sunt negative, însă majoritatea acestora sunt nesemnificative statistic. Astfel, din moment ce

majoritatea acestora sunt ne semnificative statistic, rezultatele tendințelor IDM trebuie privite cu mare prudență din cauză că acestea fie își pot schimba sensul fie pot deveni semnificative statistic.

Analiza distribuției spațiale a evapotranspirației de referință (ET_0) indică faptul că aceasta este cea mai intensă în partea estică și sud-estică a regiunii studiate. Valorile anuale calculate se ridică la valori de peste 700 mm pe an reprezentând mai mult cu 30% peste cantitatea anuală de precipitații. În partea centrală și vestică, valorile anuale ale ET_0 sunt mai scăzute, fiind mai echilibrate în raport cu valorile cantităților de precipitații.

Rezultatele testului Mann-Kendall au indicat o frecvență a tendințelor pozitive de 68%, iar 32% din totalul seriilor analizate au fost pozitive semnificative statistic.

Din cauza creșterii intense a temperaturii aerului și a duratei de strălucire a Soarelui și a scăderii umezelii relative și a vitezei vântului, valorile ET_0 indică tendințe crescătoare în aproape toată aria analizată, jumătate dintre acestea fiind semnificative statistic pentru seriile de date anuale, ale anotimpurilor de iarnă, primăvară și vară și ale perioadelor de vegetație a porumbului și grâului. Cea mai intensă creștere a ET_0 a avut loc primăvara și vara ca urmare a creșterii temperaturii și a duratei de strălucire a Soarelui și a scăderii umezelii relative a aerului. Numai anotimpul de toamnă este dominat de tendințe descrescătoare, când temperatura aerului și durata de strălucire a Soarelui au înregistrat, de asemenea, o scădere la cele mai multe dintre stațiile analizate. În perioada de vegetație a porumbului și grâului ET_0 a crescut în toată regiunea unde aceste cereale se cultivă, aproximativ jumătate din tendințele identificate fiind crescătoare semnificative statistic. Numai câteva tendințe negative s-au înregistrat, acestea fiind specifice regiunii vestice.

Rezultatele obținute cu privire la ET_0 pot contribui la un management agricol mai bun, în special în regiunile joase ale ariei studiate. În condițiile unei evapotranspirații mai ridicate cerința de apă va crește în special primăvara și vara. Dacă tendințele detectate vor continua cu aceeași rată de creștere sau dacă se vor intensifica în timpul perioadelor critice (primăvara, vara, perioadele de vegetație a culturilor agricole), restricțiile de apă vor conduce la diminuarea producției agricole, ceea ce va putea avea un impact negativ asupra întregii economii a nord-estului României, iar un sistem de irigații bine pus la punct va fi necesar.

Din rezultatele obținute rezultă că sectorul agricol reprezintă cea mai vulnerabilă componentă economică din nord-estul României în fața schimbărilor climatice, plantele suferind tot mai mult de pe urma stresului generat de temperaturile ridicate și de evapotranspirația intensă.

Bibliografie

1. Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa, Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre, J.L., 2006. *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*. Journal of Geophysical Research, 111, D05109, DOI: 10.1029/2005JD006290.
2. Alexandersson, H., 1986. *A homogeneity test applied to precipitation data*. Journal of Climatology, 6, p. 661-675.
3. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrig. Drain. Paper 56, Roma.
4. Buishand, T.A., 1982. *Some methods for testing the homogeneity of rainfall data*. Journal of Hydrology, 58, p. 11-27.
5. Busuioc, A., Caian, M., Cheval, S., Bojariu, R., Boroneanț, C., Baciuc, M., Dumitrescu, A., 2010. *Variabilitatea și schimbarea climei în România*. Pro Universitaria Press, București.
6. Chen, S.B., Liu, Y.F., Thomas, A., 2006. *Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961–2000*. Clim Change., 76, p. 291–319, DOI:10.1007/s10584-006-9080-z.
7. Choi, G., Collins, D., Ren, G., Trewin, B., Baldi, M., Fukuda, Y., Afzaal, M., Pianmana, T., Gomboluudev, P., Huong, P.T.T., Lias, N., Kwon, W.T., Boo, K.O., Cha, Y.M., Zhou, Y., 2009. *Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–2007*. International Journal of Climatology, 29, p. 1906–1925, DOI: 10.1002/joc.1979.
8. Chow, S.D., 1986. *Some aspects of the urban climate of Shanghai*. Proceedings 523 of the Technical Conference Organized by the World Meteorological Organization and co-sponsored by the World Health Organization, Mexico D.F., 26–30 Noiembrie 1984, p. 87–109.
9. Croitoru, A.-E., Drignei, D., Holobaca, I.-H., Dragota, C.S., 2012a. *Change-point analysis for serially correlated summit temperatures in the Romanian Carpathians*. Theoretical and Applied Climatology, 108, p. 9-18, DOI 10.1007/s00704-011-0508-7.
10. Croitoru, A.-E., Holobaca, I.-H., Lazar, C., Moldovan, F., Imbroane, A., 2012b. *Air temperature trend and the impact on winter wheat phenology in Romania*. Climatic Change, 111, p. 393–410, DOI: 10.1007/s10584-011-0133-6.
11. Croitoru, A.-E., **Piticar, A.**, 2013. *Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania*. International Journal of Climatology, 33, p. 1987-2001, doi: 10.1002/joc.3567.

12. Croitoru, A.-E., Chiotoroiu, B.C., Ivanova Todorova, V., Torica, V., 2013a. *Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast*. Global and Planetary Change, 102, p. 10-19. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.01.004.
13. Croitoru, A.-E., **Piticar, A.**, Imbroane, A.M., Burada, D.C., 2013b. *Spatiotemporal distribution of aridity indices based on temperature and precipitation in the extra-Carpathian regions of Romania*. Theoretical and Applied Climatology, 112, p. 597-607.
14. Croitoru, A.-E., **Piticar, A.**, Dragotă, C.-S., Burada, C.D., 2013c. *Recent changes in reference evapotranspiration in Romania*, *Global and Planetary Change*, în curs de publicare.
15. De Martonne, E., 1920. *Géographie physique*, (a III-a ediție), Armand Colin, Paris, Franța.
16. Del Rio, S., Anjum Iqbal, M., Cano-Ortiz, A., Herrero, L., Hassan, Á., Penas, A., 2012. *Recent mean temperature trends in Pakistan and links with teleconnection patterns*. International Journal of Climatology, doi: 10.1002/joc.3423.
17. Del Rio, S., Penas, A., Fraile, R., 2005. *Analysis of recent climatic variations in Castile and Leon (Spain)*. Atmospheric Research, 73, p. 69-85.
18. Dixon, P.G., Mote, T.L., 2003. *Patterns and causes of Atlanta's urban heat island – initiated precipitation*. Journal of Applied Meteorology, 42, p. 1273–1284.
19. Döll, P., 2002. *Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective*. Clim. Change 54 (3), p. 269–293.
20. Donnelly, A., Cooney, T., Jennings, E., Buscardo, E., Jones, M., 2009. *Response of birds to climatic variability; evidence from the western fringe of Europe*. Int. J. Biometeorol., 53, p. 211-220.
21. El Kenawy, A., Lopez-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., 2011, *Recent trends in daily temperature extremes over northeastern Spain*. Natural Hazards and Earth System Science, 11, p. 2583-2603.
22. Espadafor, M., Lorite, I.J., Gavilán, P., Berengena, J., 2011. *An analysis of the tendency of reference evapotranspiration estimates and other climate variables during the last 45 years in Southern Spain*. Agric. Water Managm 98, p. 1045–1061.
23. Francone, C., Cassardo, C., Spanna, F., Alemanno, L., Bertoni, D., Richiardone, R., Vercellino, I., 2010. *Preliminary Results on the Evaluation of Factors Influencing Evapotranspiration Processes in Vineyards*. Water, 2, p. 916-937.
24. Frich, P., Alexander, L.V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock M., Klein Tank A.M.G., Peterson T., 2002. *Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century*. Climate Research, 19, p. 193-212.
25. Gilbert, R.O., 1987. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold, New York, p. 320.
26. Hari, R.E., Livingstone, D.M., Siber, R., Burkhardt-Holm, P. Güttinger, H., 2006. *Consequences of climatic changes for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams*. Glob. Change Biol., 12, p. 10-26.

27. IPCC, 2007. *Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (eds). Cambridge University Press: Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
28. Jaagus, J., 2006. *Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation*. Theoretical and Applied Climatology, 83, p. 77-88.
29. Kafle, H.K., Bruins, H.J., 2009. *Climatic trends in Israel 1970–2002: warmer and increasing aridity inland*. Clim. Chang., 96, p. 63–77, doi:10.1007/s10584-009-9578-2
30. Kendall, M.G., 1975. *Rank correlation method*. 4th edn. Charles Griffin, London, p. 202.
31. Klein Tank, A.M.G., Konnen, G.P., 2003. *Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–1999*. Journal of Climate, 16, p. 3665–3680.
32. Klein Tank, A.M.G., Wijngaard, J.B., Können, G.P. et al., 2002. *Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European climate assessment*. International Journal of Climatology, 22, p. 1441–1453.
33. Libiseller, C., Grimvall, A., 2002. *Performance of partial Mann-Kendall test for trend detection in the presence of covariates*. Environmetrics, 13, p. 71-84.
34. Lungu, M., Panaitescu, L., Niță, S. 2011. *Aridity, climatic risk phenomenon in Dobrudja*. Present Environment and Sustainable Development 5 (1), p. 179–190.
35. Lupikasza, E.B., Hänsel, S., Matschullat, J., 2011. *Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951–2006*. International Journal of Climatology 31, p. 2249–2271, DOI: 10.1002/joc.2229.
36. Mann, H.B., 1945. *Non-parametric tests against trend*. Econometrica, 13, p. 245-259.
37. Micu, D., 2009. *Snow pack in the Romanian Carpathians under changing climatic conditions*. Meteorol. Atmos. Phys., 105, p. 1-16.
38. Micu, D., Micu, M., 2006. *Winter temperature trends in the Romanian Carpathians – a climate variability index*. AUVT-Geogr. XVI, p. 33-42.
39. Milewska, E.J., 2004. *Baseline cloudiness trends in Canada 1953-2002*. Atmosphere-Ocean, 42, p. 267-280.
40. Moberg, A., Jones, P.D., Lister, D., Walther, A., Brunet, M., Jacobeit, J., Alexander, L.V., Della-Marta, P.M., Luterbacher, J., Yiou, P., Chen, D., Klein Tank, A.M.G. et al., 2006. *Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901–2000*. Journal of Geophysical Research, 111: D22106. 25 p. DOI: 10.1029/2006JD007103.
41. OMM, 2002. *Introduction to climate change: Lecture notes for meteorologists*. Geneva, Elveția.
42. Patriche, C.V., 2009. *Metode statistice aplicate în climatologie*. Edit. Terra Nostra, Iași.
43. Păltineanu, C., Chitu, E., Mateescu, E., 2012. *New trends for reference evapotranspiration and climatic water deficit*. Int. Agrophys., 26, p. 159–165.

44. Păltineanu, C., Mihailescu, F., Prefac, Z., Dragota, C., Vasenciuc, F., Nicola, C., 2009. *Combining the standardized precipitation index and climatic water deficit in characterizing droughts: a case study in Romania*. Theor. Appl. Climatol., 97, p. 219–233, DOI: 10.1007/s00704-008-0061-1.
45. Păltineanu, C., Mihailescu, I.F., Seceleanu, I., Dragota, C., Vasenciuc, F., 2007a. *Using aridity indices to describe some climate and soil features in Eastern Europe: a Romanian case study*. Theor Appl Climatol, 90, p. 263–274, doi:10.1007/s00704-007-0295-3.
46. Păltineanu, C., Tanasescu, N., Chitu, E., Mihailescu, I.F., 2007b. *Relationships between the De Martonne aridity index and water requirements of some representative crops: a case study from Romania*. Int Agrophysics, 21, p. 81–93.
47. Pettitt, A.N., 1979. *A non-parametric approach to the change-point problem*. Applied Statistics, 28, 2, p. 126-135.
48. **Piticar, A.**, 2013. *Caracteristici ale temperaturii aerului în nord-estul României*. Volumul de lucrări al Workshop-ului: Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare. Prezentarea rezultatelor obținute de doctoranzi, Edit. Politehniun, Iași, p. 71-80.
49. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., 2012. *Analysis of air temperature evolution in Northeastern Romania and evidence of warming trend*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 7, No. 4, p. 97-106.
50. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., 2013a. *Spatial distribution and temporal variability of precipitation in northeastern Romania*. Riscuri și Catastrofe, în curs de publicare.
51. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., 2013b. *The influence of changes in teleconnection patterns on changes in temperature and precipitation in northeastern Romania*. Meteorology and atmospheric Physics, în curs de publicare.
52. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., Mihăilă, D., 2012. *Characteristics of the soil surface temperature in Northeastern Romania*. Ecoterra, 31, p. 63-67.
53. Radinović, D., Ćurić, M., 2012. *Measuring scales for daily temperature extremes, precipitation and wind velocity*. Meteorological Applications, DOI: 10.1002/met.1356.
54. Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., Amnell, T., 2002. *Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann–Kendall test and Sen’s slope estimates – the Excel template application MAKESENS*. Publications on Air Quality 31: Report code FMI-AQ-31.
55. Sandu, I., Pescaru, V.I., Poiana, I et al., 2008. *Clima României*. Edit Acad. Române, București.
56. Sen, P.K., 1968. *Estimates of the regression coefficient based on Kendall’s tau*. Journal of the American Statistical Association, 63 (324), p. 1379–1389.
57. Sen Roy, S., Balling, R.C. Jr., 2004. *Trends in Extreme Daily Precipitation Indices in India*. International Journal of Climatology, 24, p. 457–466. DOI: 10.1002/joc.995.

58. Shepherd, J.M., Pierce, H., Negri, A.J., 2002. *Rainfall modification by major urban areas: observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite*. Journal of Applied Meteorology, 41, p. 689–701.
59. Tănasă, I., 2011. *Clima Podișului Suceava – Fenomene de risc, implicații în dezvoltarea durabilă*. Teză de doctorat, Universitatea Ștefan cel Mare, Suceava.
60. Tomozeiu, R., Busuioc, A., Stefan, S., 2002. *Changes in seasonal mean maximum air temperature in Romania and their connection with large-scale circulation*. International Journal of Climatology, 22, p. 1181–1196.
61. Vincent, L.A., Peterson, T.C., Barros, V.R., Marino, M.B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Berlato, M.A., Grimm, A.M., Marengo, J.A., Molion, L., Moncunill, D.F., Rebello, E., Anunciacao, Y.M.T., Quintana, J., Santos, J.L., Baez, J., Coronel, G., Garcia, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock, M.R., Karoly, D., 2005. *Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960–2000*. Journal of Climate, 18, p. 5011–5023.
62. Vinnikov, K.Y., Grody, N.C., 2003. *Global warming trend of mean tropospheric temperature observed by satellites*. Science, 302, p., 269-272.
63. Von Neumann, J., 1941. *Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance*, Ann. Math. Stat., 12, p. 367-395.
64. Wang, X.L., 2008. *Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change*. J. Atmos. Oceanic Tech., 25 (No. 3), p. 368-384.
65. Wang, Q., Fan, X., Qin, Z., Wang, M., 2012. *Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010*. Global and Planetary Change, 92–93(July), p. 138–147, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.05.010>.
66. Wang, X.L., Feng, Y., 2010. RHtestsV3 Manual de instrucțiuni, disponibil la www.ccmaseos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml. Actualizat în iunie 2010.
67. Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Karam Ali, M., Halal Said Al-Shabibi, M., Al-Oulan, Z., Zatar, T., Al Dean Khelet, I., Hammoud, S., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T., Trevor, W., 2005. *Trends in middle east climate extremes indices during 1930–2003*. Journal of Geophysical Research 110 (D22), p. 104, DOI: 10.1029/2005JD 006181.
68. Zhang, X., Yang, F., 2004. *RClimDex (1.0)*. Manual de instrucțiuni, disponibil la www.ccmaseos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml.
69. *** 2011 *Proiectul European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD)*, Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI, <http://eca.knmi.nl/documents/atbd.pdf>.

Lista publicațiilor științifice incluse tematicii tezei de doctorat (2010-2013)

Articole ISI

1. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., 2012. *Analysis of air temperature evolution in Northeastern Romania and evidence of warming trend*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 7, No. 4, p. 97-106. Factor de impact: 1,450.
2. Croitoru, A.-E., **Piticar, A.**, 2013. *Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania*. International Journal of Climatology, 33, p. 1987-2001, doi: 10.1002/joc.3567. Factor de impact: 2,906.
3. Croitoru, A.-E., **Piticar, A.**, Imbroane, A.M., Burada, D.C., 2013. *Spatiotemporal distribution of aridity indices based on temperature and precipitation in the extra-Carpathian regions of Romania*. Theoretical and Applied Climatology, 112, p. 597-607. Factor de impact: 1,940.
4. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., 2013. *The influence of changes in teleconnection patterns on changes in temperature and precipitation in northeastern Romania*. Meteorology and Atmospheric Physics, în curs de publicare. Factor de impact: 1,327.
5. Croitoru, A.-E., **Piticar, A.**, Dragotă, C.-S., Burada, C.D., 2013. *Recent changes in reference evapotranspiration in Romania, Global and Planetary Change*, în curs de publicare. Factor de impact: 3,155.

Articole indexate în baze de date internaționale

1. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., Mihăilă, D., 2012. *Characteristics of the soil surface temperature in Northeastern Romania*. Ecoterra, 31, p. 63-67.
2. **Piticar, A.**, Ristoiu, D., 2013. *Spatial distribution and temporal variability of precipitation in northeastern Romania*. Riscuri și Catastrofe, în curs de publicare.

Articole publicate în volumul unei conferințe

1. **Piticar, A.**, 2013. *Caracteristici ale temperaturii aerului în nord-estul României*. Volumul de lucrări al Workshop-ului: Tendințe și cerințe de interdisciplinaritate în cercetare. Prezentarea rezultatelor obținute de doctoranzi, Edit. Politehniun, Iași, p. 71-80.