

Adina-Eliza Croitoru

***Schimbările climatice și impactul lor în
România***

Rezumatul Tezei de abilitare

Cluj-Napoca, 2015

Cuprins

Cuvânt înainte

1. Introducere

2. Date utilizate

3. Metode

3.1. Teste pentru determinarea tendinței liniare

3.1.1. Testul Mann-Kendall combinat cu Panta Sen

3.1.2. Testul Mann-Kendall modificat

3.1.3. Metoda celor mai mici pătrate

3.2. Teste pentru detectarea punctelor de schimbare în tendință

3.2.1 Testul secvențial Mann-Kendall

3.2.2. Testul Pettitt

3.2.3. Modelul cu erori corelate serial

3.3. Metode de corelație

3.3.1. Modele de regresie

3.3.2. Corelația Bravais-Pearson

3.4. Calculul indicilor de ariditate

3.4.1. Indicele de ariditate de Martonne (I_{DM})

3.4.2. Indicele combinative Pinna (I_P)

3.5. Calculul evapotranspirației de referință

4. Schimbări climatice în România și impactul lor

4.1. Schimbări climatice detectate în variabile climatice

4.1.1. Schimbări climatice detectate în temperatura aerului

4.1.1.1. Schimbări climatice detectate în temperatura medie a aerului

4.1.1.2. Schimbări climatice detectate în temperaturile extreme ale aerului

4.1.2. Schimbări detectate în cantitățile de precipitații

4.1.2.1. Schimbări detectate în cantitățile medii de precipitații

4.1.2.2. Schimbări detectate în cantitățile extreme de precipitații

4.2. Schimbări detectate în indicii de ariditate și evapotranspirația de referință

4.2.1. Schimbări detectate în indicii de ariditate

4.2.1.1 Schimbări în Indicele de Ariditate de Martonne

4.2.1.2. Schimbări în Indicele Pinna Combinativ

4.2.2. Schimbări în evoluția evapotranspirației de referință

4.3. Impactul schimbărilor climatice în România

4.3.1. Impactul schimbărilor climatice asupra agriculturii (grâului de toamnă)

4.3.2. Impactul schimbărilor climatice asupra scurgerii lichide a râurilor

5. Sinteza activității universitare și proiecții de dezvoltare profesională

Bibliografia

Cuvânt înainte

Teza prezentată reprezintă o sinteză a principalelor activități de cercetare ale autoarei în ultimii 9 ani. După obținerea titlului de doctor, în anul 2005, m-am axat pe trei direcții principale de cercetare:

a. Detectarea schimbărilor climatice în șirurile de date ale variabilelor climatice simple. Această direcție este reflectată în mai mult din jumătate dintre lucrările publicate în ultimii ani. Ele s-au concentrat pe două sub-teme principale: modificări survenite în valorile medii și modificări survenite în valorile extreme ale variabilelor analizate.

b. Detectarea schimbărilor climatice în parametrii climatici complecși. Această direcție este legată direct de studierea fenomenului de secetă care, în prezent, este considerat ca fiind unul dintre cele mai importante amenințări în ceea ce privește condițiile meteorologice extreme la nivel mondial. În acest context general, m-am concentrat, în principal, pe studiul indicilor de ariditate și al evapotranspirației de referință ce stă la baza calculării unor astfel de indici.

c. Impactul schimbărilor climatice în România. Această direcție este cea mai nouă în activitatea mea de cercetare și a urmat cronologic primelor două direcții prezentate anterior, ca o "consecință naturală". După câteva rezultate importante obținute pe primele două direcții, necesitatea de a identifica tipurile și intensitatea impactului generat de schimbările climatice a devenit aproape obligatorie. Deși am publicat deja câteva lucrări pe această direcție, consider că este doar începutul în acest domeniu de cercetare, deoarece necesită o cooperare intensă cu cercetatori din alte domenii.

Cele mai multe dintre studii au fost la nivelul teritoriului României, abordând diferite regiuni, dar am colaborat, de asemenea, cu colegii din străinătate, în scopul dezvoltării unor acțiuni comune de cercetare și care, în final, s-au concretizat în câteva materiale deja publicate în reviste internaționale.

În această teză, sunt prezentate pe scurt, stadiul actual al cunoașterii pe direcțiile de cercetare mai sus-menționate, atât la nivel global, cât și național, precum și realizările mele reflectate în articolele publicate.

1. Introducere

Schimbările climatice recente și cele viitoare au atras atenția internațională și au devenit unul dintre cele mai importante subiecte din domeniul cercetărilor climatice ale ultimelor decenii. La început, studiile din întreaga lume au arătat o tendință de creștere a temperaturii aerului din a doua jumătate a secolului al XIX-lea până în prezent. Ulterior, au fost detectate modificări nu numai ale temperaturii, ci și în cantitățile de precipitații, precum și în evoluția parametrilor complecși, cum ar fi evapotranspirația (ET) sau indicii de ariditate.

2. Datele utilizate

În studiile efectuate asupra schimbărilor climatice în România, am folosit seturi de date cu diferite lungimi, în funcție de disponibilitatea datelor necesare. Astfel, lungimea seriilor variază de la perioada de 47 de ani (1961-2007) până la perioadei 106 de ani (1901-2006). Pentru majoritatea analizelor, am folosit ca date principale, valorile lunare ale parametrilor. De obicei, din acestea s-au calculat valorile anotimpuale și anuale. În cazul analizei fenomenelor meteorologice extreme, s-au utilizat datele zilnice de temperatură și precipitații.

Stațiile meteorologice cu seturi de date disponibile pentru diferite studii sunt prezentate sintentic în Fig. 1¹, iar localizarea lor prin coordonate geografice se regăsește în Tabelul 1.

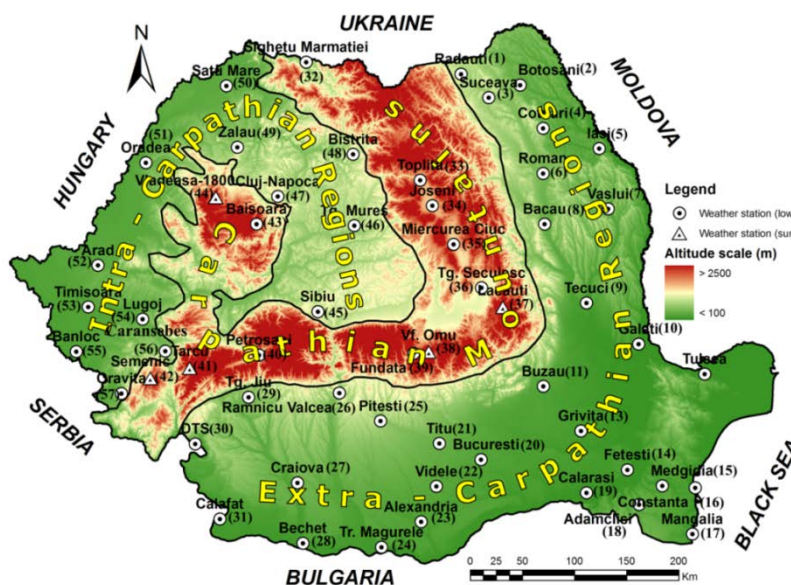


Fig. 1. Poziția stațiilor meteorologice utilizate în diferite studii

3. Metode

Detectarea schimbărilor climatice în diferite regiuni din România a fost realizată atât prin folosirea unor metode bine cunoscute în climatologie, cât și prin testarea unor noi. În principal, metodele utilizate pot fi clasificate în teste de tendință liniară, respectiv în metode de detectare a punctelor de schimbare în tendință.

Majoritatea studiilor au fost elaborate cu ajutorul testelor de tendință liniară: Mann-Kendall combinat cu panta Sen, testul Mann-Kendall modificat, sau metoda celor mai mici pătrate. Dintre testele cu detectare a punctelor de schimbare s-au utilizat versiunea secvențială a testul Mann-Kendall, testul Pettitt, modelele cu erori corelate serial și cu erori independente.

¹ În acest rezumat s-a păstrat numărul figurilor, al tabelelor, al capitolelor, precum și citările din Teza de abilitare originală

Acestea au fost folosite și testate, deocamdată numai pentru datele de temperatură. În lucrare sunt prezentate pe scurt fiecare dintre aceste metode.

Tabelul 1. Lista stațiilor meteorologice utilizate

No.	Weather station ^a	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Region ^b
1.	Adamclisi	44°05'18"	27°57'55"	159.2	EC
2.	Alexandria	45°58'40"	25°21'10"	76.7	EC
3.	Arad	46°08'15"	21°21'13"	108.0	IC
4.	Bacău	46°31'54"	26°54'45"	185.3	EC
5.	Băișoara	46°32'07"	28°18'36"	1356.0	CS
6.	Banloc	45°23'15"	21°08'42"	82.6	IC
7.	Băilești	44°01'44"	23°19'51"	58.0	EC
8.	Bîrlad	46°13'52"	27°38'38"	173.2	EC
9.	Bechet	43°47'00"	23°56'00"	37.0	EC
10.	Bistrița	47°08'56"	24°30'49"	367.5	IC
11.	Botoșani	47°44'08"	26°38'43"	162.4	EC
12.	București Băneasa	44°30'30"	26°04'02"	91.0	EC
13.	Buzău	45°07'57"	26°51'05"	98.2	EC
14.	Calafat	43°58'32"	22°56'50"	62.0	EC
15.	Caracal	46°06'06"	24°21'27"	107.0	EC
16.	Călărași	44°12'52"	27°20'18"	19.9	EC
17.	Caransebes	45°25'01"	21°13'30"	242.2	IC
18.	Cluj-Napoca	46°46'39"	23°34'07"	410.4	IC
19.	Constanța	44°12'49"	28°38'41"	14.0	EC
20.	Cotnari	47°21'30"	26°55'33"	292.2	EC
21.	Craiova	44°18'36"	22°53'00"	192	EC
22.	Drobeta Turnu Severin	44°47'34"	22°37'33"	78.2	EC
23.	Fetești	44°23'15"	27°50'05"	60.1	EC
24.	Fundata	45°25'53"	25°16'18"	1383.0	CS
25.	Galați	45°28'23"	28°01'56"	70.4	EC
26.	Grivița	44°44'26"	21°27'40"	50.8	EC
27.	Iași	47°10'15"	27°37'42"	103.4	EC
28.	Joseni	46°42'20"	25°30'45"	751.3	CD
29.	Lăcăuți	45°49'25"	26°22'31"	1785.0	CS
30.	Lugoj	45°41'11"	21°55'58"	124.3	IC
31.	Mangalia	43°48'58"	28°35'14"	7.2	EC
32.	Medgidia	44°14'35"	28°15'05"	70.7	EC
33.	Miercurea Ciuc	46°22'16"	25°46'21"	662.2	CD
34.	Oradea	47°02'07"	21°53'44"	137.1	IC
35.	Oravița	45°02'18"	21°42'36"	310.2	IC
36.	Petroșani	45°23'36"	23°25'21"	599.0	CD
37.	Pitești	44°50'56"	24°51'57"	317.2	EC
38.	Rădăuți	47°50'15"	25°53'24"	390.5	EC
39.	Râmnicu Valcea	45°05'19"	24°22'45"	238.2	EC
40.	Roman	46°58'09"	26°54'42"	217.4	EC
41.	Roșiorii de Vede	44°06'26"	24°58'42"	103.4	EC
42.	Satu Mare	47°43'17"	22°53'13"	124.2	IC
43.	Semenic	45°10'53"	22°03'19"	1433.2	CS
44.	Sfântu Gheorghe-deltă	44°53'47"	29°35'56"	5.0	EC
45.	Sibiu	45°47'21"	24°05'28"	444.2	IC
46.	Sighetu Marmăției	47°56'21"	23°54'15"	276.2	CD
47.	Suceava	47°37'58"	26°14'25"	352.2	EC
48.	Sulina	45°02'26"	23°16'35"	3.0	EC
49.	Țarcu	45°16'51"	22°31'57"	2186.0	CS
50.	Tecuci	45°50'30"	27°24'31"	61.0	EC
51.	Târgu Jiu	45°02'26"	21°16'35"	204.2	EC
52.	Târgu Mureș	46°32'00"	24°32'01"	309.2	IC
53.	Târgu Secuiesc	45°59'34"	26°06'55"	569.0	IC
54.	Timișoara	45°46'15"	21°15'28"	87.2	IC
55.	Titu	44°39'10"	25°34'45"	160.2	EC
56.	Toplița	46°55'34"	25°21'35"	688.2	CD
57.	Turnu Măgurele	43°45'36"	24°52'41"	31.6	EC
58.	Tulcea	45°11'26"	28°49'26"	5.0	EC
59.	Vaslui	46°38'45"	27°42'51"	117.4	EC
60.	Vârfu Omu	45°26'45"	25°27'24"	2505.1	CS
61.	Videle	44°16'57"	25°32'13"	107.0	EC
62.	Vlădeasa-1800	46°45'33"	22°47'39"	1836.0	CS
63.	Zalău	47°11'41"	23°02'48"	296.2	IC

Legend: ^aThe stations are ranged alphabetically; ^bThe symbols indicate the region: EC-extra-Carpathian, IC – intra-Carpathian, CS – Carpathian region (summit or slope); CD – Carpathian region (depression or valley).

De asemenea, este prezentată metodologia de calcul a doi indici de ariditate (de Martonne și Pinna combinativ) și a evaporației de referință, precum și metodele de corelație utilizate pentru detectarea impactului (modele de regresie și corelația Bravais-Pearson).

4. Schimbările climatice în România și impactul lor

4.1. Schimbări detectate în variabilele climatice

În ultimii 9 ani, m-am concentrat pe detectarea schimbărilor survenite în diferite variabile ca temperatura aerului, precipitații, durata de strălucire a Soarelui. Unele dintre aceste modificări au fost corelate cu modificările survenite în alte domenii socio-economice sau în alte componente ale mediului, dar acest subiect va fi tratat mai târziu în capitolul 4.3.

4.1.1. Schimbări detectate în temperatura aerului în România

Studiile aferente acestei categorii au fost realizate la diferite scări spațiale, de la întreaga țară până la regiuni mai mici, ca Estul României sau Carpații Românești, în funcție de disponibilitatea datelor și scopul studiului specific.

4.1.1.1. Schimbări detectate în temperatura medie a aerului

Primul studiu important realizat pe acest subiect a fost bazat pe seturile de date colectate pe o perioadă de 106 ani (1901-2006), la 10 de stații meteorologice: București, Cluj-Napoca, Bistrița, Sibiu, Drobeta Turnu Severin, Târgu Jiu, Timișoara, Constanța, Iași și Roman (Croitoru et al., 2012a). A fost un studiu pentru a detecta tendințele și fluctuațiile de temperatură și am folosit două perioade de câte 100 de ani (1901-2000 și 1906-2005) și trei perioade de câte 35 de ani sau 36 de ani, perioade (1901-1935; 1936-1970; 1971-2006). Scopul principal a fost acela de a analiza perioada de 106 de ani, ca două secvențe (1901-2000 și 1907-2006), pentru a identifica dacă există vreun răspuns în tendința pe termen lung pentru diferite serii de timp în raport cu perioade foarte scurte diferite la capetele șirurilor de date.

În ceea ce privește tendințele constatate, în prima perioadă de 100 de ani, patru din cele zece stații meteorologice situate în centrul și nordul României (Cluj-Napoca, Bistrița, Drobeta Turnu Severin, și Iași), în general, nu au avut tendințe semnificative statistic, având în vedere toate seriile de date analizate pentru intervalul 1901-2000 (tabelul 2, coloanele a, figura 3). Timișoara a avut o tendință în scădere slab semnificativă statistic ($\alpha = 0,1$) pentru seria anuală de date.

Cele mai multe dintre tendințele semnificative statistic pentru stațiile situate în partea de vest a țării au avut pante negative, în timp ce stațiile din est au avut pante pozitive. Cea mai puternică semnificație a fost caracteristică Stației Meteorologice București, fapt ce poate fi explicat parțial prin influența insulei de căldură urbană ca urmare a orașului aflat în continuă dezvoltare.

Imediat după studiul mai sus-menționat, activitatea de cercetare a continuat cu alte două articole asupra evoluției temperaturii medii sezoniere din Carpații Românești (Croitoru et al., 2012b, 2014a). Primul a fost dezvoltat pe baza a doar patru stații meteorologice, pentru că a fost un studiu realizat, în principal, pentru a testa un nou model de detectare a punctelor de schimbare a tendinței, model bazat pe erori corelate serial.

În cel de-al doilea studiu (Croitoru et al., 2014a), am analizat datele medii de temperatură sezonieră ale iernii, la 20 de stații meteorologice (Fig. 5) pentru intervalul 1961-2007, pentru a investiga dinamica temporală, posibilele tendințe, precum și punctele de schimbare a tendinței. În perioada analizată nu au existat modificări ale procedurilor de observații, în timp ce aparatura a rămas practic aceeași pentru aproape 40 de ani. La începutul

anilor 2000, au fost puse în funcțiune stațiile meteorologice automate, dar nu au fost detectate neomogenități în seriile de date în perioada respectivă.

Tabelul 2. Numărul total de pante pozitive și negative, precum și numărul pantelor statistic semnificate (after Croitoru et al., 2012a)

Series	Positive trends					Statistically significant positive trends					Negative trends					Statistically significant negative trends				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
J	10	8	6	2	4	2	1	0	0	0	0	2	4	8	6	0	0	0	0	0
F	10	10	0	1	5	2	5	0	0	0	0	0	10	9	5	0	0	5	0	0
M	7	5	0	0	4	0	0	0	0	0	3	5	10	10	6	0	0	0	0	0
A	10	10	9	7	9	3	1	2	0	2	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0
M	6	10	5	6	10	1	1	0	0	1	4	0	5	4	0	0	0	0	0	0
J	4	9	1	0	10	3	3	0	0	9	6	1	9	10	0	0	0	3	0	0
J	7	9	4	0	10	0	2	0	0	9	3	1	6	10	0	2	0	1	0	0
A	6	8	4	1	10	1	5	0	0	9	4	2	6	9	0	0	0	1	0	0
S	3	3	8	0	6	0	0	0	0	0	7	7	2	10	4	1	0	1	0	1
O	1	2	9	6	9	0	0	4	1	4	9	8	1	4	1	2	1	0	0	0
N	3	3	10	10	9	0	0	5	2	0	7	7	0	0	1	0	0	0	0	0
D	3	3	10	9	3	0	0	0	0	0	7	7	0	1	7	0	1	1	0	1
Annual	6	8	5	2	9	3	3	1	0	9	4	2	5	8	1	2	0	2	0	0
DJF	9	10	0	7	3	3	3	0	0	1	1	0	10	3	7	0	0	3	0	0
MAM	8	10	3	3	9	1	2	0	0	2	2	0	7	7	1	0	0	1	0	0
JJA	4	9	3	0	10	2	2	0	0	10	6	1	7	10	0	1	0	1	1	0
SON	1	1	10	9	9	0	0	7	1	9	9	9	0	1	1	2	3	0	0	1
Total	98	118	87	63	129	21	28	19	4	65	72	52	83	107	41	10	5	19	1	4

Legendă: a: 1901–2000; b: 1907–2006; c: 1901–1935; d: 1936–1970; e: 1971–2006.

Tabelul 3. Panta Sen calculată pentru temperatură în România (°C/dec) (după Croitoru et al., 2012a)

Series	Timisoara	Cj.-N	Bistrita	Sibiu	DTS	Tg. Jiu	Bucharest	C-ta	Roman	Iasi
<i>Positive (1901–2000)*</i>										
Max.	0.06	0.1	0.00	0.10	0.16	0.20	0.26	0.17	0.13	0.08
Min.	0.02	0.0	0.09	0.02	0.00	0.00	0.07	0.06	0.07	0.00
<i>Negative (1901–2000)*</i>										
Max.	-0.04	-0.02	-0.01	-0.04	-0.00	-0.07	-0.03	0.00	-	0.00
Min.	-0.09	-0.04	-0.04	-0.13	-0.06	-0.11	-0.01	-0.04	-	-0.08
<i>Positive (1907–2006)</i>										
Max.	0.14	0.07	0.09	0.14	0.23	0.24	0.31	0.14	0.22	0.15
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.08	0.07	0.08	0.00
<i>Negative (1907–2006)</i>										
Max.	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	0.00	-0.10	-0.04	0.00	-	-0.02
Min.	-0.12	-0.04	-0.06	-0.09	-0.09	-0.11	-0.06	-0.01	-	-0.06
<i>Positive (1901–1935)</i>										
Max.	0.48	0.71	0.71	0.72	0.45	0.35	0.92	0.90	0.94	0.79
Min.	0.00	0.45	0.45	0.11	0.02	0.05	0.18	0.43	0.67	0.61
<i>Negative (1901–1935)</i>										
Max.	-0.07	-0.01	-0.02	-0.27	-0.27	-0.11	-0.18	-0.02	-0.59	-0.74
Min.	-0.81	-0.47	-0.79	-0.86	-1.13	-1.13	-0.79	-1.18	-1.21	-0.96
<i>Positive (1936–1970)</i>										
Max.	0.36	0.38	0.48	0.39	0.53	0.43	0.54	0.38	0.55	0.40
Min.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.36	0.05
<i>Negative (1936–1970)</i>										
Max.	-0.33	-0.50	-0.07	-0.01	-0.05	-0.05	-0.05	-0.01	-0.08	-0.13
Min.	-0.62	-0.02	-0.50	-0.50	-0.48	0.43	-0.50	-0.25	-0.53	-0.43
<i>Positive (1971–2006)</i>										
Max.	0.67	0.67	0.73	0.72	1.54	0.55	0.82	0.73	0.74	0.21
Min.	0.19	0.21	0.18	0.34	0.14	0.05	0.24	0.25	0.24	0.88
<i>Negative (1971–2006)</i>										
Max.	-0.05	-0.07	-0.02	-0.10	-0.07	-0.37	-0.06	-0.06	-0.09	0.00
Min.	-0.30	-0.37	-0.52	-0.29	-0.32	-0.80	-0.20	-0.17	-0.45	-0.37

* Valorile îngroșate sunt pante de tendințe semnificative statistic.

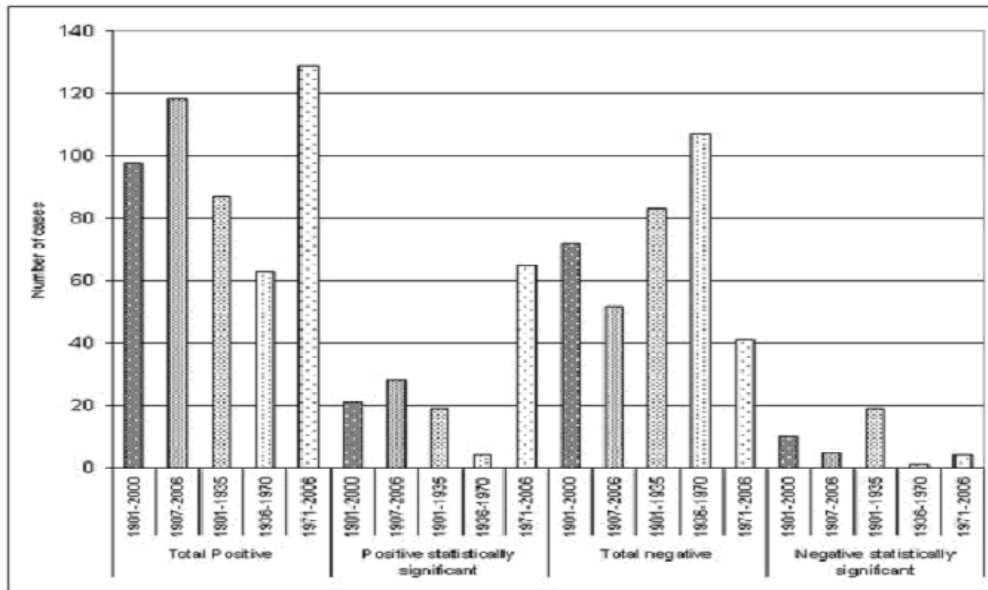


Fig. 3. Numărul total de tendințe pozitive și negative și numărul de tendințe pozitive și negative semnificative statistic (după Croitoru et al., 2012a)

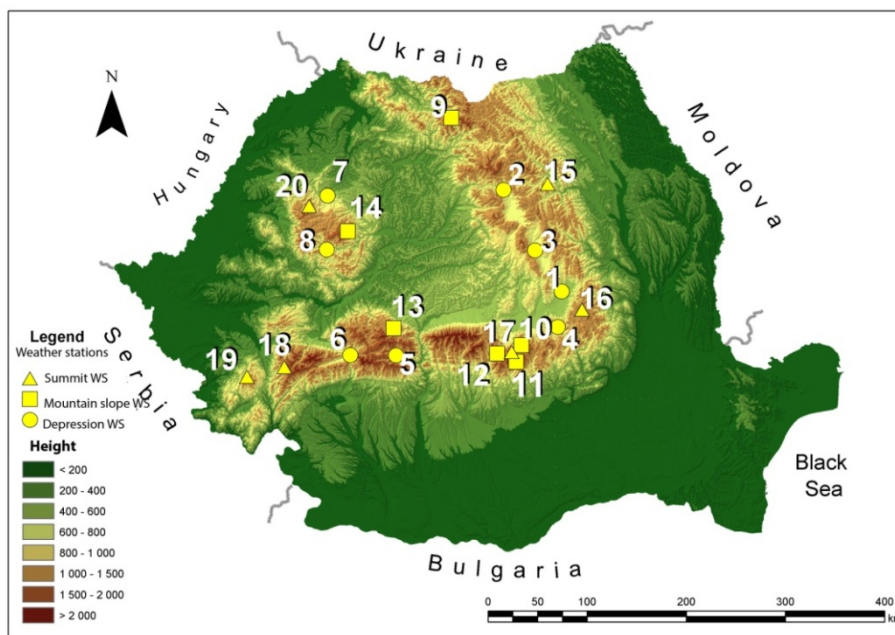


Fig. 5. Distribuția spațială a stațiilor meteorologice luate în considerare pentru detectarea tendinței temperaturii medii de iarnă în Carpații Românești (după Croitoru et al., 2014a)

Ca principale concluzii ale acestei lucrări, se constată faptul că în cazul în care eroarea corelată este inclusă, există puncte de schimbare pentru seriile de timp analizate, indiferent de locația stației, respectiv pentru toate tipurile de topografie considerate: stații de vârf, stații de pantă, stații vale sau depresiune (Fig. 6). Temperatura medie a iernii crește semnificativ atât înainte, cât și după punctul de schimbare, localizat temporal, în general, în intervalul 1981-1984. Unul dintre cele mai importante rezultate este că modelul cu erori serial corelate propus de noi, detectează tendințe statistic semnificative și după punctul de schimbare, în timp ce modelul de schimbare cu erori independente, descris anterior în literatură, nu detectează aceste schimbări.

4.1.1.2. Modificări detectate în valorile extreme ale temperaturii aerului

În ultimii zece ani, atenția comunității științifice s-a concentrat pe evenimentele meteorologice extreme ca urmare a impactului lor foarte important din punct de vedere social și economic. În România, până de curând au fost efectuate, în principal, studii ale fenomenelor meteorologice extreme ca studii de caz cu câteva excepții care au tratat mai larg această problematică (Busuioc et al, 2010; Micu, 2012).

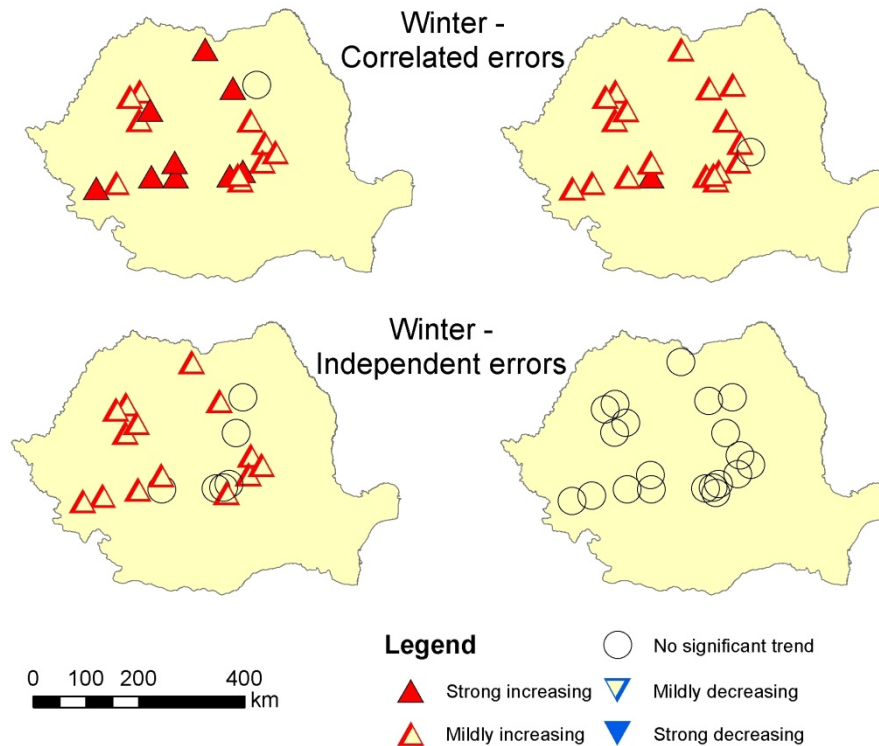


Fig. 6. Distribuția spațială a tendințelor de temperaturii medii a iernii în Carpații Românești pe modelele cu erori corelate, respectiv cu erori independente. Stânga: rezultatele înainte de punctul de schimbare; Dreapta: rezultatele după punctul de schimbare (după Croitoru. et al, 2014a)

În perioada 2011-2012 am realizat un studiu pentru regiunile extracarpatică (Croitoru and Piticar, 2013), privind modificările survenite în evoluția a 20 de indicatori larg utilizați pe plan mondial: zile de vară (SU25), zile caniculare (HD35), zile tropicale (TRD30), nopți tropicale (TR20), nopți calde (TN90p), zile calde (TX90p), maxima, minima și media temperaturilor maxime lunare (TXx, TXn, TX mean), zile de iarnă (FD0), zile cu îngheț (ID0), nopți geroase (FN-10), nopți răcoroase (TN10p), zile răcoroase (TX10p), minima, maxima și media temperaturilor minime lunare (TNx, TNn, TN mean), amplitudinea termică zilnică (DTR), amplitudinea termică anuală (ETR) și lungimea sezonului de vegetație (GSL).

Pentru a identifica modificări ale evenimentelor extreme de temperatură, s-au folosit serii de date temperaturi maxime zilnice (TX) și minime zilnice (TN) pentru intervalul 1961-2010, înregistrate la 14 stații meteorologice din regiunile extracarpatică: Suceava, Botoșani, Iași, Bacău, Galați, Buzău, Tulea, Sulina, Constanța, Cășărași, București, Râmnicu Vâlcea, Craiova și Drobeta Turnu Severin. Marea majoritate a seturilor de date au fost furnizate în mod gratuit de ECA & proiect D (Klein Tank et al., 2002a). Pentru stația meteorologică Suceava, seriile de date au fost extrase din baza de date a Administrației Naționale de Meteorologie.

Concluzia generală a studiului este că indicatorii referitori la temperaturile extreme pozitive și cei de variabilitate au înregistrat, la cea mai mare parte a stațiilor, tendințe în

creștere statistic semnificative, în timp ce cei calculați pe baza temperaturilor minime au tendințe în scădere, de asemenea, statistic semnificative (Figs. 12, 14, 16).

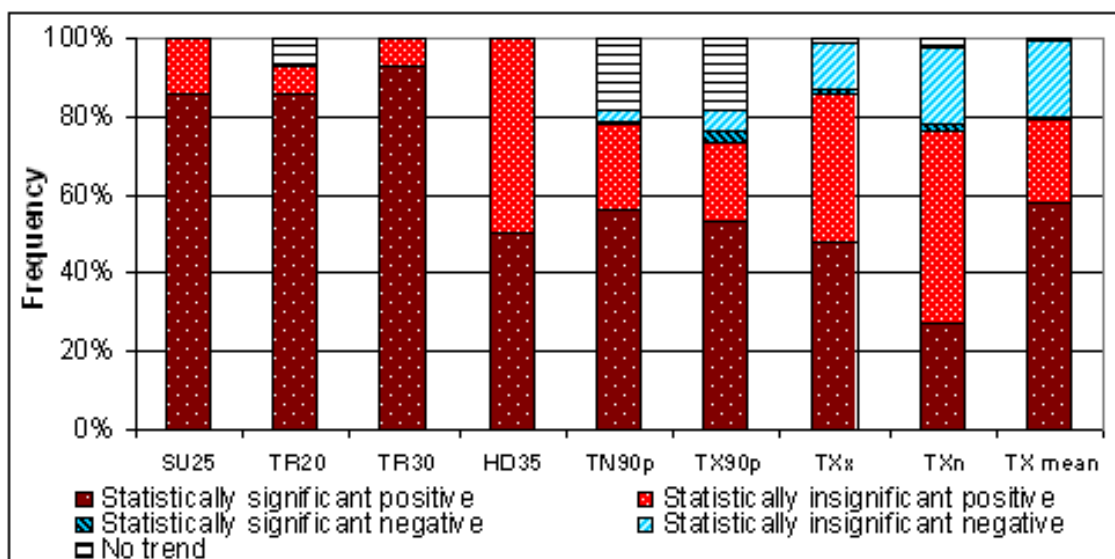


Fig. 12. Frecvența pe tipuri de tendințe a indicatorilor pentru temperaturi ridicate (după Croitoru și Piticar, 2013)

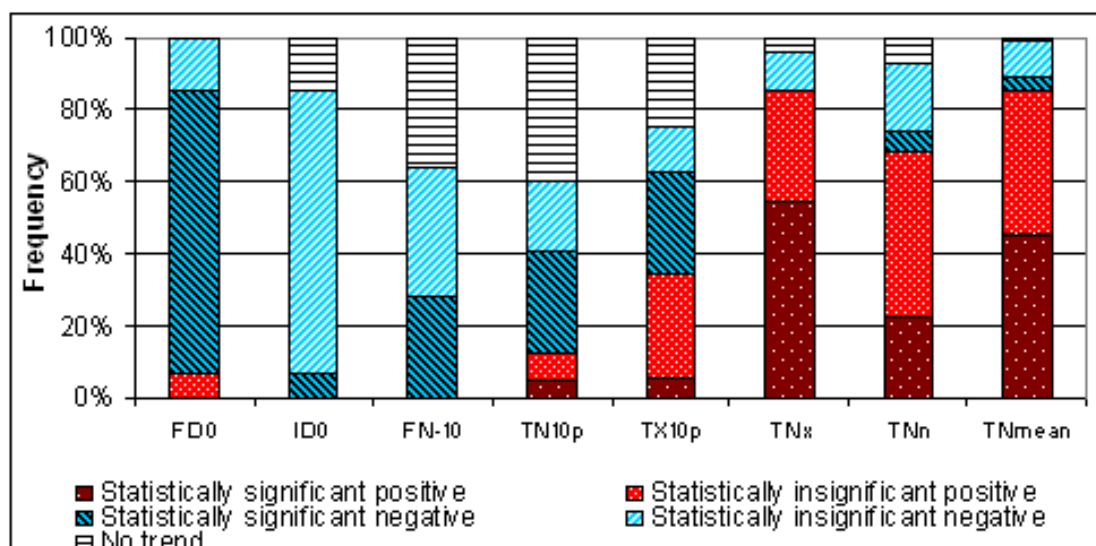


Fig. 14. Frecvența pe tipuri de tendințe a indicatorilor pentru temperaturi scăzute (după Croitoru și Piticar, 2013)

O situație similară s-a determinat și pentru regiunile intracarpătice, în urma unor cercetări realizate ulterior (Croitoru și Piticar, 2014).

Un alt studiu efectuat asupra temperaturilor extreme a luat în considerare valorile de căldură, de data aceasta la scara întregii țări, la 22 de stații meteorologice pentru intervalul 1961-2013. Acestea au fost identificate pe baza metodei percentilei 95, respectiv atunci când temperatura maximă zilnică depășește timp de minimum trei zile consecutiv acest prag.

S-au analizat patru parametri ai valorilor de căldură (numărul anual de valuri de căldură, durata anuală cumulată, durata medie anuală și durata maximă anuală a valurilor de căldură) și la toți s-au înregistrat creșteri statistic semnificative în intervalul 1961-2014 (Fig. 27, 28, 29). Numai stațiile Sulina și Vf. Omu au înregistrat, în mod constant tendințe staționare. (Fig. 29).

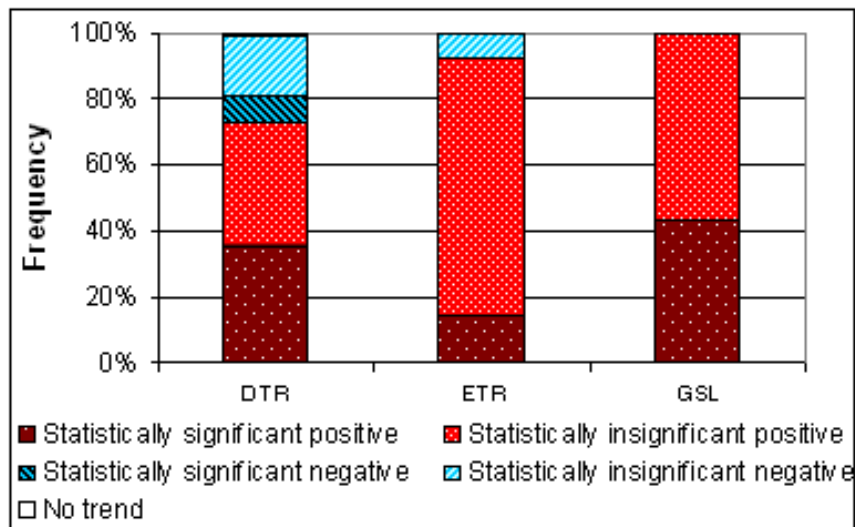


Fig. 16. Frecvența pe tipuri de tendințe a indicatorilor pentru variabilitate (după Croitoru și Piticar, 2013)

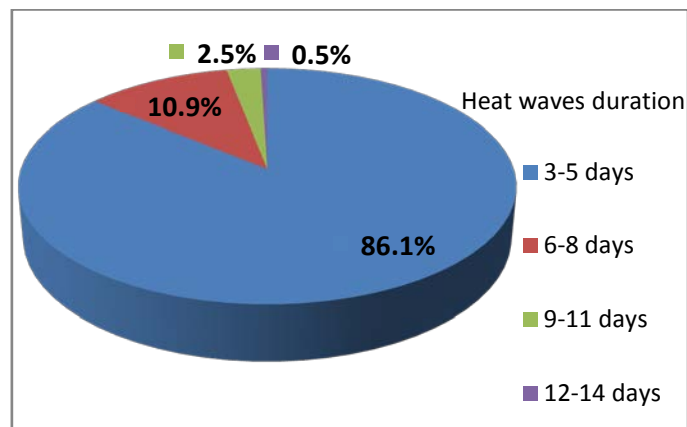


Fig. 27. Frecvența numărului de zile cu valuri de căldură (after Croitoru, 2014b)

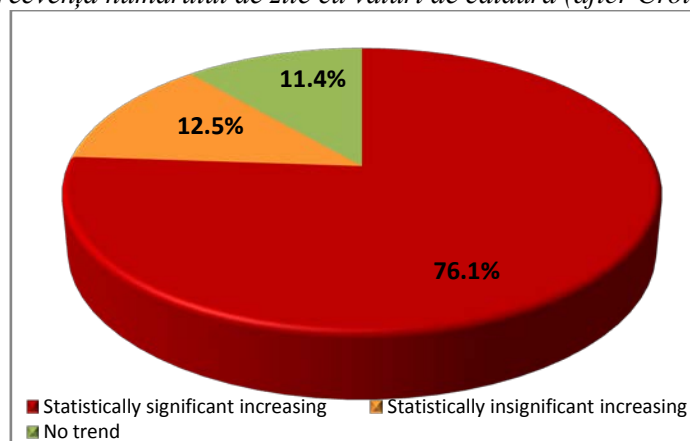


Fig. 28. Frecvența tendințelor detectate pentru parametrii valurilor de căldură (după Croitoru, 2014b)

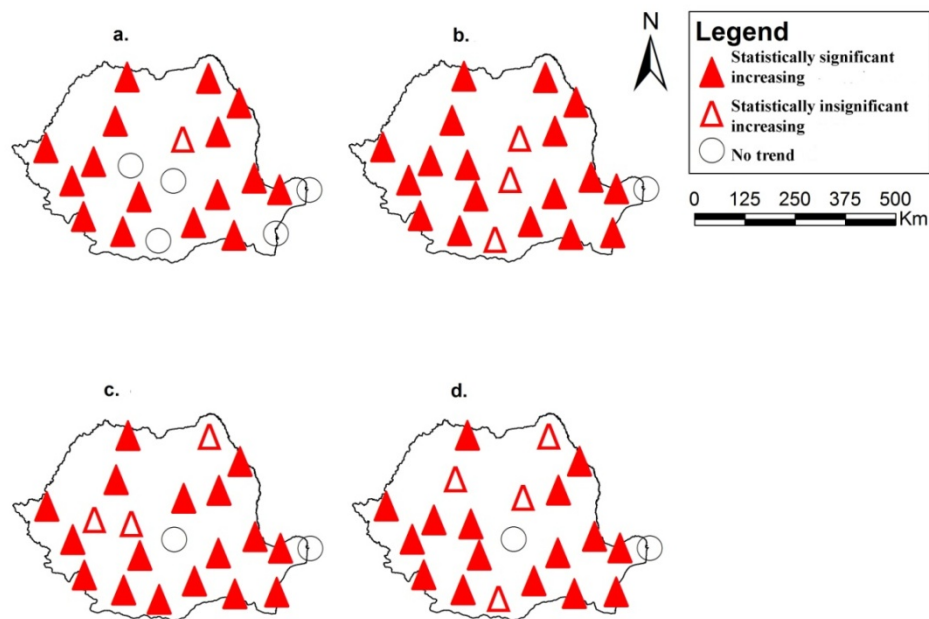


Fig. 29. Distribuția spațială a parametrilor valurilor de căldură:: numărul anual (a), durata cumulată(b), durata medie anuală (c) și durata maximă anuală (d) a valurilor de căldură (după Croitoru, 2014b)

Ambele stații sunt foarte izolate, iar acest fapt ar putea conduce la concluzia că creșterea detectată în parametrii valurilor de căldură poate fi determinată de factori non-climatici. Printre ei, urbanizarea și industria ar putea fi cei mai importanți. Cu toate acestea, ipoteza nu este susținută de date, deoarece unele dintre locațiile sunt orașe foarte mici, cu un număr redus de locuitori și industrie slab dezvoltată (de ex., Caransebeș, Rosiorii de Vede sau Ocna Șugatag). Mai mult decât atât, cele mai mari pante ale tendințelor sunt specifice stațiilor meteorologice situate în orașe de rang III sau chiar mai mici (Tulcea, Buzău, Călărași, Caransebeș), mai degrabă decât în marile orașe ale țării (București, Constanța, Cluj-Napoca, Iași, Craiova).

4.1.2. Schimbări detectate în precipitații

Fiind dintre cele mai importante variabile climatice, precipitațiile a fost studiate foarte mult în România, în ceea ce privește frecvența și intensitatea. După obținerea titlului de doctor cu o teză intitulată *Precipitații excedentare în Depresiunea Transilvaniei*, am continuat să studiez această variabilă și în alte regiuni ale țării. Astfel, pe parcursul perioadei 2006-2014, am publicat cinci lucrări în străinătate și 10 lucrări în România pe tema precipitațiilor (regiunea dintre Prut și Siret, litoralul vestic al Mării Negre, centrul Câmpiei Române etc). Majoritatea acestor studii au indicat o incoerență spațială a schimbărilor, cea mai mare parte a acestora nefiind statistic semnificative. Situația este valabilă atât pentru sumele anotimpuale sau anuale ale cantităților de precipitații, cât și pentru indicatorii calculați pe baza cantităților zilnice de precipitații. Pentru ilustrare am ales situațiile din estul României, pentru cantitățile anotimpuale și anuale de precipitații (Fig. 31) și litoralul vestic al Mării Negre în ceea ce privește indicii extremelor de precipitații (Fig. 32).

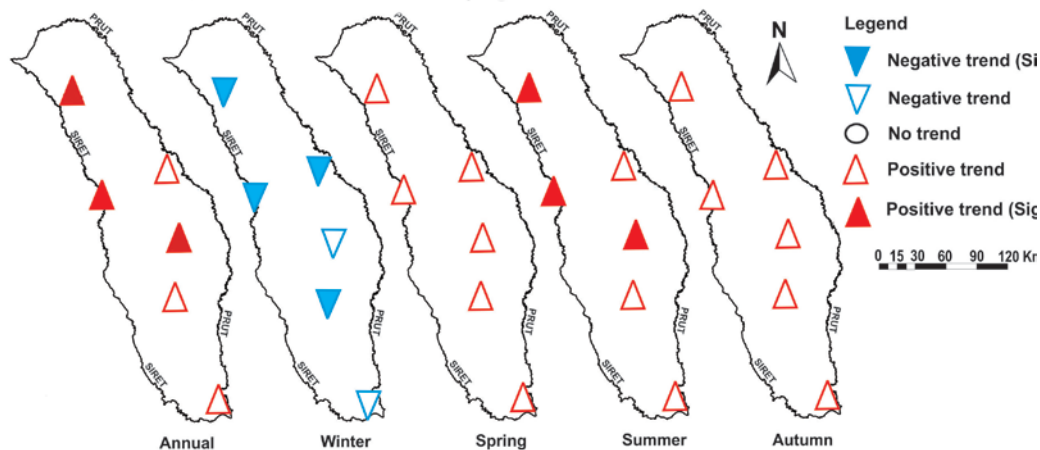


Fig. 31. Tendințele cantităților anuale și anotimpuale de precipitații în Estul României pentru intervalul 1950-2006 (după Croitoru și Minea, 2014)

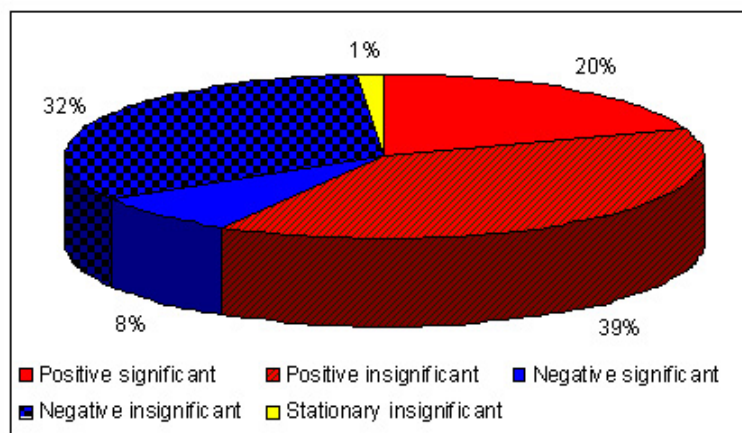


Fig. 32. Frecvența tendințelor indicilor pentru precipitații extreme pe coasta vestică a Mării Negre. (după Croitoru et al., 2013a)

Ca o sinteză, rezultatele cele mai notabile observate sunt: creșterea este, în general, tendința dominantă, dar de cele mai multe ori, pantele calculate sunt ne semnificative statistic și mai puțin de 30% dintre ele sunt semnificative statistic la $\alpha = 0,05$; de asemenea, distribuția pantelor pozitive și negative în zonele studiate este extrem de neregulată, incoerența spațială a tendințelor fiind o caracteristică a precipitațiilor și în alte regiuni de pe Glob.

4.2.1. Modificări detectate în indici ariditate

Prima lucrare publicată pe această temă, s-a concentrat pe distribuția spațială și temporală a doi indici de ariditate, calculați pe baza seturilor de date de temperatură și precipitații: Indicele de ariditate de Martonne (I_{DM}) și Pinna Combinative Index (I_p). Zona aleasă pentru acest studiu a acoperit regiunile extracarpătice din România, iar intervalul analizat a fost 1961-2007 (Croitoru și colab., 2013d). Schimbările climatice au fost investigate pentru mai multe unități temporale: perioada de un an calendaristic, cele patru anotimpuri climatice și sezoanele de vegetație a două plante de cultură foarte importante pentru România (porumbul și grâul de toamnă).

4.2.1.1. Modificări ale I_{DM}

Tendințele seriilor I_{DM} pentru valorile anuale sunt atât pozitive, cât și negative pentru arealul luat în studiu, dar cele mai multe dintre ele sunt ne semnificative statistic (fig. 37a). Pantele pozitive pot fi asociate unei scăderi a aridității, în timp ce pantele negative indică o intensificare a procesului de aridizare.

Singura regiune care prezintă un comportament unitar pentru seriile anuale ale IDM este sud-estul României (Dobrogea), unde creșterea tendinței este generalizată, respectiv ea este specifică pentru toate locațiile considerate (fig. 37).

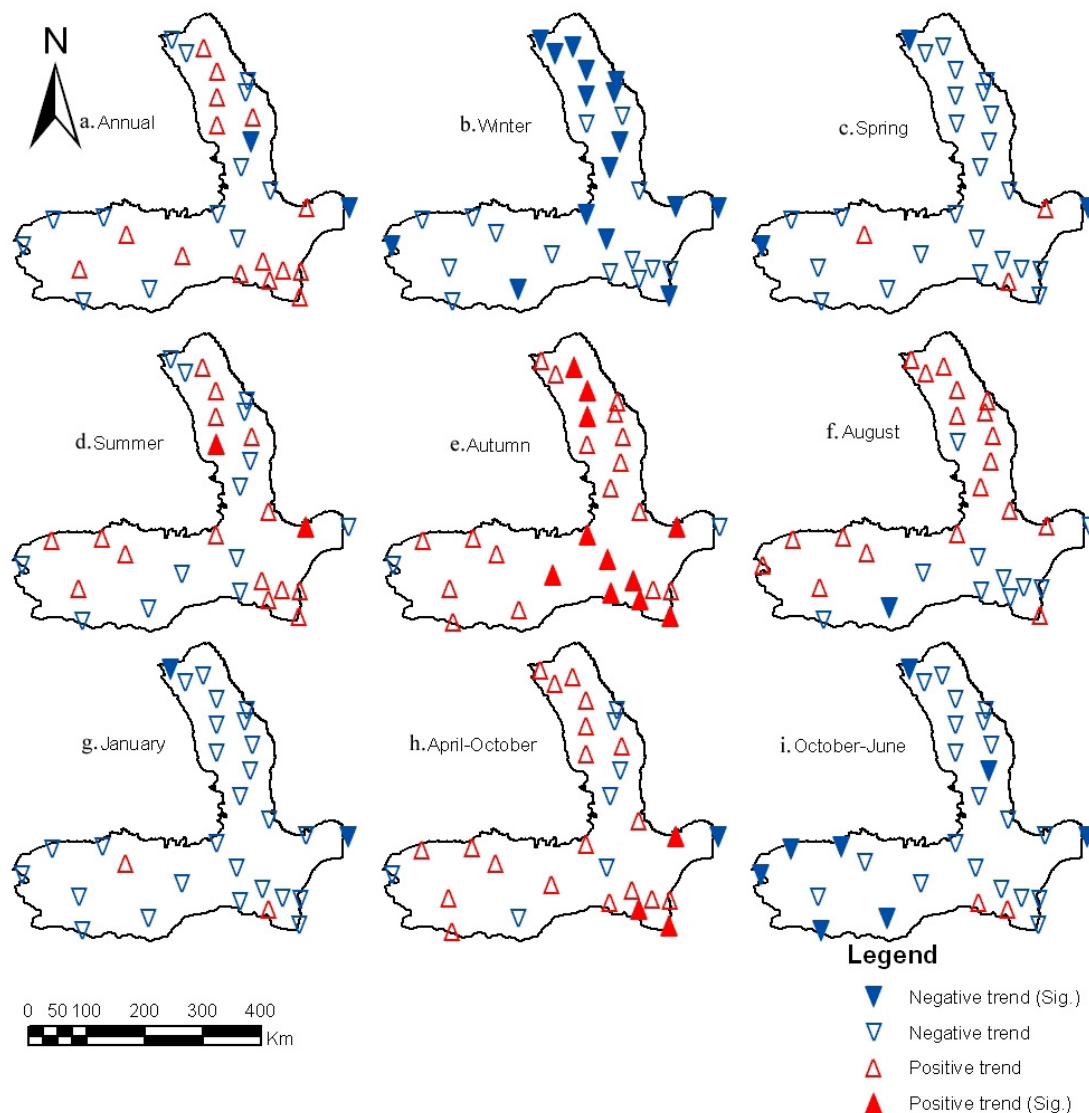


Fig. 37. Tendințele I_{DM} din zonele extra-carpătice din România (1961-2007) (după Croitoru și colab., 2013d)

Pe scurt, tendințele calculate pentru I_{DM} și pentru celelalte intervale (anotimpuri, sezoane de vegetație) sunt în mare parte în scădere, dar, din fericire, nu sunt statistic semnificative în marea majoritate a lor. Pentru I_p (fig. 38), tendințele sunt, în principal, în creștere, dar ne semnificative statistic. În această situație, trebuie să fim foarte precauți în interpretarea rezultatelor, deoarece tendințele se pot schimba, într-un timp scurt, dintr-o direcție în alta, sau pot deveni semnificative statistic în direcția inițială.

4.2.2. Modificări detectate în evapotranspirația de referință (ET_0)

Deoarece evapotranspirația de referință (ET_0) nu a fost mult investigată în România înainte de studiul nostru (Croitoru et al., 2013b), am decis că un astfel de studiu ar fi foarte util). Modificările ET_0 au fost investigate pentru aceleași unități temporale ca indicii de ariditate: perioada de un an calendaristic, pentru cele patru anotimpuri climatice și pentru sezoanele de vegetație ale celor două plante de cultură: porumbul (aprilie-octombrie) și grâul

de toamnă (octombrie-iunie). Frecvența tendințelor ET_0 este ilustrată pentru situația generală în fig. 40, în timp ce distribuția spațio-temporală a tendințelor este detaliată în fig. 41.

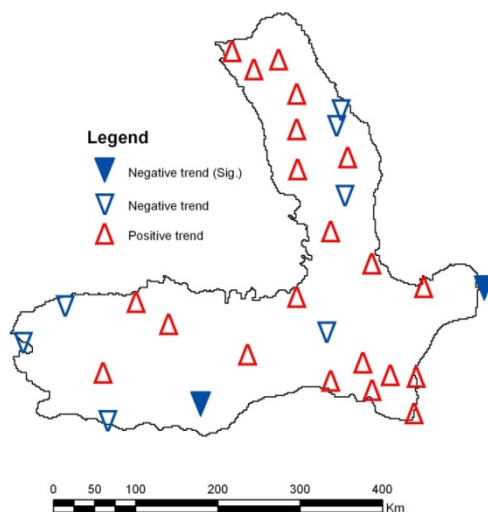


Fig. 38. Tendințele Ip din zonele extra-carpătice din România (1961-2007) (după Croitoru și colab., 2013d)

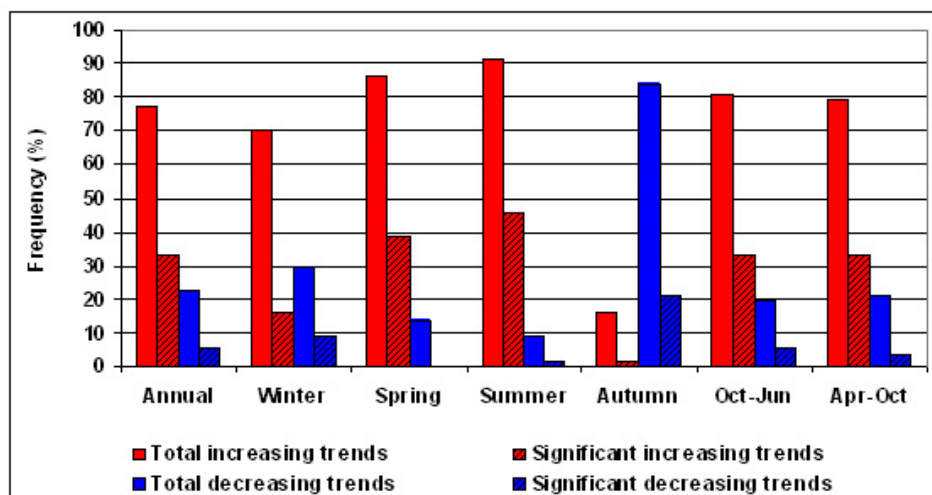


Fig. 40. Frecvența tipurilor de tendință ET_0 pe diverse intervale temporale (1961-2007) (% din totalul seriilor de date luate în considerare) (după Croitoru et al., 2013b)

4.3. Impactul schimbărilor climatice

Termenul *impactul schimbărilor climatice* acoperă multe modificări ce pot surveni în diferite domenii socio-economice și în componentele de mediu: în agricultură, în turism sau în viața de zi cu zi, în regimul de scurgere al râurilor etc. În unele dintre studiile recente m-am concentrat pe detectarea impactului schimbărilor climatice asupra diferitelor domenii cum ar fi: turismul (Croitoru și alții, 2009a), agricultura (Croitoru et al., 2012a), sau scurgerea râurilor (Croitoru și Toma, 2011, Croitoru și Minea, 2014).

4.3.1. Impactul schimbărilor climatice asupra agriculturii (asupra fenologiei grâului de toamnă)

Pentru a detecta impactul schimbărilor de temperatură în agricultură, am început cu un studiu privind grâul de toamnă, care este una dintre cele mai importante culturi din România și, în principal, cultivată în regiunile joase ale țării. Studiul a fost efectuat, împreună

cu colegul dr. Catalin Lazar, de la Institutul National de Cercetare-Dezvoltare în Agricultură Fundulea, (Croitoru și colab., 2012a).

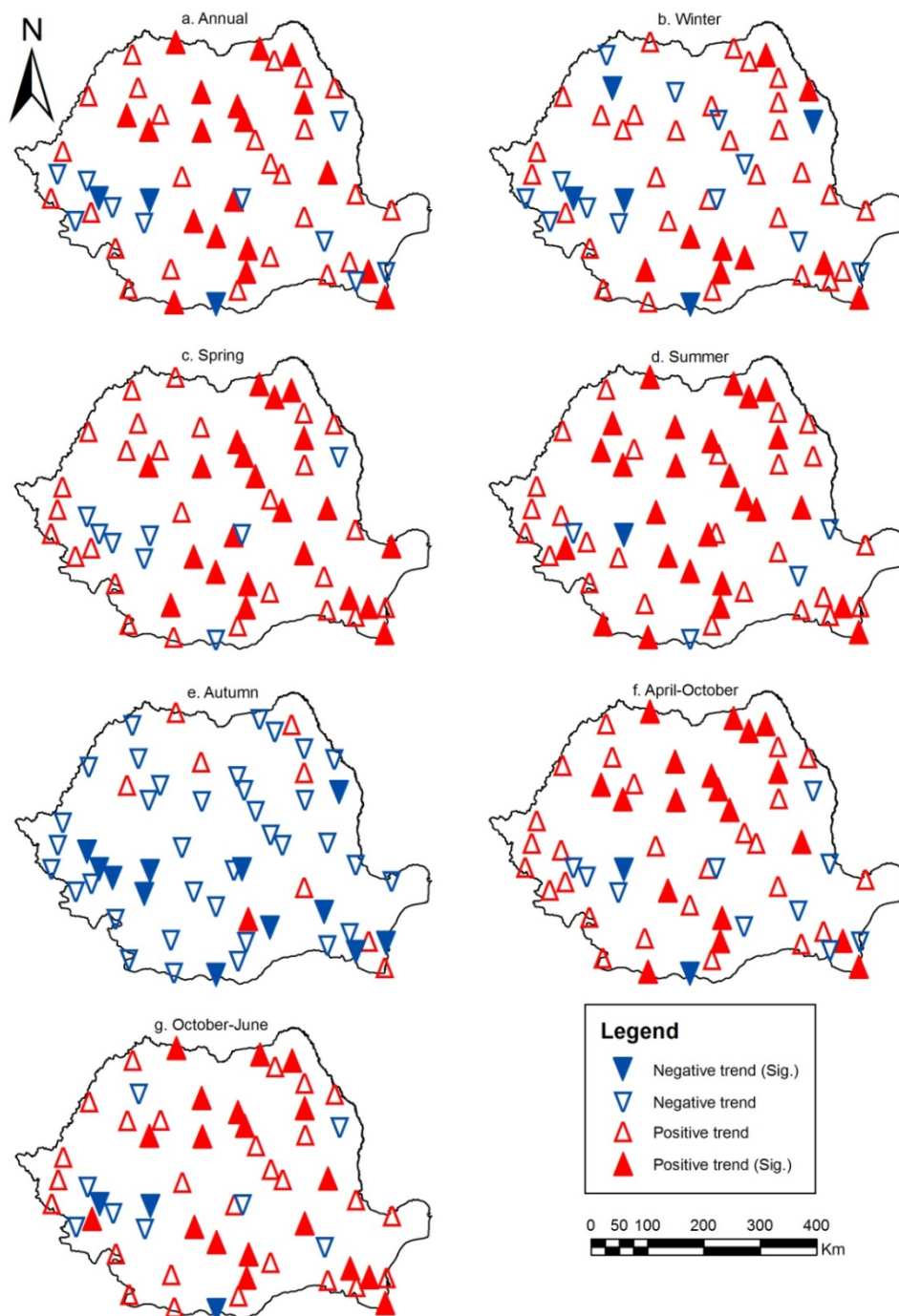


Fig. 41. Schimbări anuale și sezoniere ale ET0 din România pentru perioada de 1961-2007 (după Croitoru și colab., 2013c)

Astfel, simulările efectuate pentru perioada 1971-2006 având ca input datele climatice (temperaturi extreme și precipitații zilnice), au indicat o tendință generală de scădere atât a perioadei de încolțire, cât și a perioadei de ajungere la maturitate a grâului de toamnă. În toate regiunile joase ale țării, perioada de ajungere la maturitate a scăzut cu 1-3 zile/deceniu. Cinci dintre cele opt locații analizate au indicat o semnificație statistică de 0.05-0.10. Cel mai puternic nivel de semnificație pentru tendințele referitoare la perioada de ajungere la maturitate a fost înregistrată în estul și nordul țării.

Durata perioadei de încolțire, s-a diminuat și ea cu 0-3 zile/deceniu, cele mai mici valori fiind înregistrate în zonele de vest și nord-vest ale țării, și cea mai mare valoare în sud-est. Pentru regiunile nordice, pe lângă scurtarea perioadei de vegetație, s-a înregistrat și o reducere semnificativă statistic a perioadei umplere a bobului, de aproximativ 1 zi/deceniu.

4.3.2. Impactul schimbărilor climatice asupra scurgerii râurilor

Tendențele în scurgerea lichidă a râurilor sunt analizate, întrucât acestea reprezintă integrarea variabilelor climatice și non-climatice într-o anumită regiune. Astfel de studii sunt foarte necesare pentru a înțelege mai bine reacția sistemelor fluviale la schimbările climatice și pentru a identifica viitoarele probleme ce pot apărea, respectiv pentru a se putea adopta cele mai bune strategii de atenuare a efectelor schimbărilor climatice

În aceste condiții, am decis să cooperez cu colegii hidrologi, pentru a detecta dacă există modificări în scurgerea lichidă a râurilor ca urmare a schimbărilor climatice. Primul studiu a fost realizat pentru estul României (regiunea situată între Siret și Prut) (Croitoru și Minea, 2014).

S-au realizat corelații pe baza formulei Bravais-Pearson, între debitele râurilor și cantitățile sezoniere de precipitații căzute în regiune, pentru o perioadă de peste 50 de ani (1950-2006).

Cum era de așteptat, cele mai bune corelațiile între cele două elemente au fost găsite pentru anotimpurile de vară și toamnă, când precipitațiile sunt, în cea mai mare parte a lor, lichide. În plus, datorită extensiunii mici a arealului bazinelor hidrografice analizate, precipitațiile se transformă foarte rapid în scurgere. Cele mai mari valori ale coeficientului de corelație sunt specifice verii (până la 0,8) (fig. 43), atunci când ploile abundente, de origine convectivă sunt urmate de o concentrare rapidă a apei spre albie. Foarte des, în cazul râurilor mici, astfel de evenimente de precipitații sunt urmate de viituri rapide (flash-flood). În întreaga regiune, pentru vară și toamnă există o corelație bună (coeficient ≥ 0.5) pentru mai mult de 80% din perechile de date precipitații-debite avute în vedere. Cele mai puternice corelații s-au identificat toamna, situația putând fi explicată prin evapotranspirația redusă ca urmare a unei temperaturi mai mici și prin reducerea sau lipsa parțială a vegetației (în special la sfârșitul toamnei), care favorizează o scurgere rapidă a apei spre albiile râurilor.

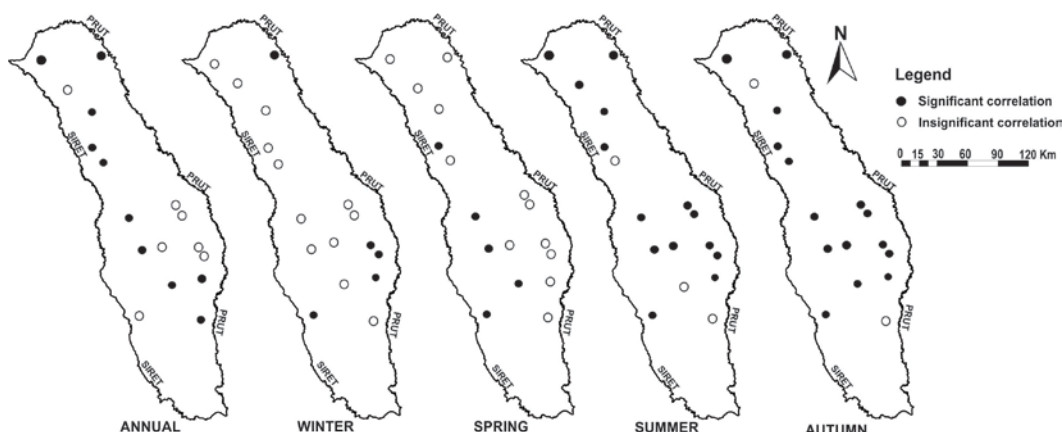


Fig 43. Corelația dintre precipitații și scurgerea lichidă a râurilor (după Croitoru și Minea, 2014)

Valorile scăzute ale indicelui de corelație calculat pentru iarnă și primăvară sunt atribuite precipitațiilor solide căzute în timpul iernii sub formă de ninsoare și stocării acestora sub forma stratului de zăpadă, precum și eliberării cantității de apă în timpul primăverii, atunci când temperatura aerului devine mai mare de 0 °C. Astfel, precipitațiile primite în timpul iernii nu explică debitele reduse din acest anotimp în timp ce, în perioada de primăvară, debitele râurilor sunt mai mari decât ar fi de așteptat pe baza cantităților de

precipitații căzute în acest sezon, dar din cauza topirii zăpezii căzute în timpul iernii. În cele două sezoane, debitele sunt rezultatul comun al influenței precipitațiilor (solide/lichide) și al temperaturii aerului (cu alternanța negativ/pozitiv).

5. Sinteza activității universitare și proiecții de dezvoltare profesională

În ultimii nouă ani, după finalizarea studiilor doctorale, am publicat mai multe lucrări de cercetare, în special, pe cele trei direcții menționate la începutul acestei teze: două cărți, trei capitole de carte, 22 de articole științifice publicate în străinătate și 22 de articole științifice publicate în România.

Rezultatele lor au demonstrat că schimbările climatice în România în ultimele cinci decenii sunt evidente în unele cazuri, cum este cel al temperaturii și al evapotranspirației de referință, în timp ce alte variabile climatice au indicat modificări ne semnificative în mare parte, așa cum este cazul precipitațiilor atmosferice. Această situație, ne-a condus la decizia de a continua studiile și prin utilizarea altor metode, în scopul de a detecta cu o mai mare acuratețe schimbările recente.

Astfel, din moment ce în cazul temperaturii a fost identificată o scădere la începutul anilor '80, urmată apoi de o încălzire accelerată, a apărut necesitatea unei cercetări mai detaliate și în cazul precipitațiilor. Analiza cu ajutorul testelor de identificare a punctelor de schimbare în tendință ar putea conduce la rezultate importante și la o mai bună înțelegere a cauzelor fenomenului, precum și la o mai bună gestionare a situațiilor critice. De asemenea, mă voi concentra și pe studiul altor variabile climatice întrucât, în foarte multe situații, pagubele majore sunt generate nu de o singură variabilă, ci de combinația unei multitudini de variabile.

Consider că rezultatele studiilor noastre actuale și viitoare ar putea sprijini eforturile naționale în curs de evaluare a recentelor schimbări climatice de pe teritoriul României, și ar putea ajuta factorii de decizie politică și părțile interesate să adopte cele mai potrivite strategii de atenuare a schimbărilor climatice pentru România.

După cum se poate observa din lista bibliografică a tezei, marea majoritate a lucrărilor de cercetare din ultimii ani au fost dezvoltate în colaborare cu mai mulți colegi, experți climatologi, sau care activează într-un alt domeniu de știință. În general, în ultimii cinci ani, am fost investigatorul principal al majorității studiilor publicate, în această calitate realizând concepția generală a lucrării, alegerea metodelor și a datele utilizate, precum și stabilirea echipei de realizare a fiecărei lucrări. Am implicat în activitatea de cercetare, mulți studenți doctoranzi sau masteranzi din România și din străinătate. Cooperarea cu aceștia a avut rezultate foarte bune, astfel că unele dintre cercetările realizate ele au fost publicate de reviste științifice de prestigiu clasificate de UEFISCDI în categoriile "roșu" sau "galben".

Recent, am fost cooptată în trei comisii de îndrumare a doctoranzilor, colaborarea cu aceștia fiind în general, o continuare a celei de la nivelul de studii masterat cu aceiași studenți.

La nivel instituțional, am coordonat multe lucrări de licență și de disertație în domeniul climatologiei, o bursă de performanță (Cristina Florina Roșca), iar din 2014, coordonez Cercul Științific Studentesc de Geografie Fizică și Tehnică de la la Facultatea de Geografie. Am inițiat Grupul de Cercetări Climatice (CRG), în cadrul Facultății de Geografie, având ca obiectiv principal de a aduce împreună, pentru activități de cercetare, oameni de știință cu experiență, precum și tineri cercetători nu numai din facultatea noastră, dar și din alte instituții de cercetare și învățământ superior.

Bibliografie selectivă

1. Croitoru AE, 2014a. Heat waves. Concept and methods to detect. *Riscuri si catastrofe*. Casa Cartii de Stiinta. XIII(XV), 2, 25-32.
2. Croitoru AE, 2014b. Extreme weather events in Romania: heat waves. Characteristics, causes and impact. Final report. Project GTC-34025.
3. Croitoru AE, Cocean P, Suci A, 2009a. Climatic conditions and tourism development in Southern Carpathians. Case study - Cindrel Mountains. *Studia Universitatis Babeş – Bolyai, Geographia*, LIV (3), 71-76.
4. Croitoru AE, Moldovan F, Dragotă Carmen, 2009b. Considérations sur l'évolution des quantités maximales de précipitations en 24 heures dans les Carpates Roumaines, în vol. *Geographia Technica*, Numéro spécial dédié au XXII^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cluj-Napoca, 1-5 septembre 2009, Cluj-University Press, 121-124.
5. Croitoru AE, Toma FM, 2010. Trends in precipitation and snow cover in central part of Romanian Plain, in *Geographia Technica*, 1, 288-297.
6. Croitoru AE, Toma FM, 2011. Climatic changes and their influence on streamflow in Central Romanian Plain, 5th Atmospheric Science Symposium, 27-29 April, 2011, Istanbul-Turkey, 183-194.
7. Croitoru AE, Chitoroiu B, Iancu I, 2011a. Precipitation Analysis Using Mann-Kendall test and WASP cumulated curve in Southeastern Romania. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Geographia LVI* (1), 49-58.
8. Croitoru AE, Holobacă I-H, Burada C, Moldovan F, 2011b. Sunshine duration in Western Romanian Plain. *Collegium Geographicum*, 8, Special Edition, Proceedings Book, *Energia Transylvaniae*, International Conference on Solar, Wind and Bioenergy, Abel Publishing House Cluj-University Press, 51-57.
9. Croitoru AE, Holobaca IH, Lazar C, Moldovan F, Imbroane A, 2012a. Air temperature trend and the impact on winter wheat phenology in Romania, *Climatic Change*: 111, 2, 393-410.
10. Croitoru AE, Drîgnei D, Holobacă IH, Dragotă CS, 2012b. Change-point analysis for serially-correlated summit temperatures in the Romanian Carpathians. *Theoretical and Applied Climatology*. 108(1-2), 9-18. DOI: 10.1007/s00704-011-0508-7.
11. Croitoru AE, Chitoroiu BC, Torică V, 2012c. Dry spells on the Romanian Black Sea Coast, *Proceedings of Aerul si Apa: Componente ale Mediului International Conference*, Babeş-Bolyai University, Faculty of Geography 23-24 March, 2012, 105-112.
12. Croitoru AE, Piticar A, 2013. Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania. *Int. J. Climatol.* 33 (8), 1987-2001. DOI: 10.1002/joc.356.
13. Croitoru AE, Chitoroiu BC, Ivanova TV, Torica V, 2013a. Changes in precipitation extremes on the Black Sea Western Coast. *Global and Planetary Change*, 102, 10-19. Croitoru AE, Piticar A, Dragotă CS, Burada DC, 2013b. Recent changes in reference evapotranspiration in Romania, *Global and Planetary Change*, 111 (December), 127-137. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2013.09.004.
14. Croitoru AE, Chitoroiu BC, Todorova IV, Torica V, 2013c. Changes in seasonal and annual precipitation on the Western Coast of the Black Sea. *Energy and Clean Technology, Conference proceedings, volume: Renewable energy sources, Recycling, Air pollution and Climate changes, 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2013*, Albena, Bulgaria, 551-558. DOI:10.5593/SGEM2013/BD4/S19.006.
15. Croitoru AE, Piticar A, Imbroane AM, Burada DC, 2013d. Spatiotemporal distribution of aridity indices based on temperature and precipitation in the extra-Carpathian regions of Romania, *Theor Appl Climatol*, May 2013, Volume 112, Issue 3-4, pp 597-607. DOI 10.1007/s00704-012-0755-2. 2012 IF: 1.759.
16. Croitoru AE, Piticar A, 2014. Changes in hot extreme temperature indices in Carpathian and intra-Carpathian areas of Romania, *Energy and Clean Technology, Conference proceedings, volume: Renewable energy sources, Recycling, Air pollution and Climate changes, 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014*, Albena, Bulgaria, 305-312. ISBN 978-619-7105-15-5 /ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/sgem2014B41.
17. Croitoru AE, Minea I, 2014. The impact of climate changes on rivers discharge in Eastern Romania, *Theor Appl Climatol*. DOI 10.1007/s00704-014-1194-z, 11 p.
18. Croitoru AE, Drîgnei D, Dragotă CS, Imecs Z, Burada DC, 2014a. Sharper Detection of Winter Temperature Changes in the Romanian Higher-Elevations, *Global and Planetary Change*. 122, November, 122-129. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2014.08.011
19. Croitoru AE, Antonie RI, Rus A, 2014b. Heat waves and their estimated socio-economic impact in Bucharest city, Romania. *Energy and Clean Technology, Conference proceedings, volume: Renewable energy sources, Recycling, Air pollution and Climate changes, 14th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2014*, Albena, Bulgaria, p. 375-382. ISBN 978-619-7105-15-5 /ISSN 1314-2704. DOI: 10.5593/sgem2014B41.