

SCHIMBAREA CLIMEI ÎN REPUBLICA MOLDOVA ÎN PERIOADA OBSERVAȚIILOR INSTRUMENTALE

Dr. hab. Maria NEDEALCOV
Institutul de Ecologie și Geografie, AȘM

THE CHANGE OF CLIMATE IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA DURING INSTRUMENTAL OBSERVATIONS

The dynamic of global warming during XX and especially in the early XXI century, largely determines the formulation and implementation of national policies related to climate change and its consequences, taking into account national interests. Although, the Republic of Moldova's land area is small (33483,4 km²), previous investigations have showed that most part of the country surface is „under maximum influence of global warming”. Rate of heating helps to establish favourable conditions for the appearance of many invasive species within the territory of the republic, frequent manifestation of droughts, particularly the intensive ones, the thick alternating of antipodal periods „cold-hot” and „wet-dry”. All these changes occurred in regional climate system can have a significant influence in maintaining ecological and food security in the near future.

Introducere

La etapa actuală, variațiile în starea medie a climei reprezintă una din problemele principale legate de modificările de mediu. Comitetul Interguvernamental pentru Schimbări Climatice în ultimul său raport de evaluare (IPCC 2007) relevă că schimbările climatice au deja un impact semnificativ asupra ecosistemelor naturale. Prin schimbarea climei se subînțelege orice schimbare în parametrii climatici într-un anumit interval de timp, ca urmare a variabilității naturale și (sau) ca rezultat al activității umane. Cu toate că se observă o tendință de micșorare a ponderii emanației gazelor cu efect de seră în ultimele decenii, schimbările climatice regionale reprezintă una dintre marile amenințări la adresa dezvoltării durabile și constituie una dintre cele mai stringente probleme de mediu, având consecințe negative asupra economiei naționale.

Materiale și metode de cercetare

În acest context, evidențierea particularităților regionale de manifestare a climei actuale prezintă

un interes deosebit. În evaluarea temporală, modelele deterministe și stocastice permit înțelegerea esenței statistice a naturii fluctuațiilor climatice. Schimbările de climă de lungă durată sunt influențate de factorii inerți, care pot fi de proveniență naturală (schimbarea iradierii solare, anomalii în circulația curenților maritimi etc.), antropică (creșterea concentrației gazelor de seră) și potențial pot fi prezise. Aceste schimbări pot fi evaluate sub formă de tendințe care, conform teoriei climei, sunt calificate ca schimbări determinate (trendul) de factorii inerți, dar cu acțiune lentă și revoltătoare. Pentru ca estimarea tendinței sau a trendului (care reprezintă nu altceva decât variația pe termen lung a parametrului studiat și indică direcția generală de evoluție în timp a acestuia) să fie adecvată, important este selectarea unei perioade cât mai îndelungate a seriilor de timp cu scopul evidențierii schimbărilor reale ce se petrec în clima staționară. Estimarea evoluției regimului hidrotermic din Republica Moldova are ca punct inițial de pornire anul 1887 pentru regimul termic și 1891 pentru regimul precipitațiilor atmosferice, astfel fiind luate în analiză doar seriile neîntrerupte de date obținute în urma observațiilor instrumentale. Pe lângă evidența tendinței seculare, evaluările au mai fost raportate către anumite perioade de referință. În acest context, în estimările propuse au fost incluse perioadele de referință 1961-1990, 1980-1999 (conform, IPCC 2007), precum și perioadele 1989-1999 și 2000-2010, care, potrivit estimărilor, sunt considerate cele mai calde decenii în clima regională. Impactul antropic asupra schimbărilor climatice pe teritoriul republicii se observă începând cu anii 60 ai secolului XX, de aceea, perioada seriilor instrumentale va mai fi convențional divizată în două: naturală (1887-1959) și natural-antropică (1960-2010).

La etapa actuală este bine cunoscut conceptul evoluției climei acceptate în limitele unui anumit „culoar” (*Tolerable Windows Approach, TWA*). Pentru temperatura medie globală acesta este de $T=2,0^{\circ}\text{C}$ și $T=0,015^{\circ}\text{C/an}$. Metoda dată este destul de importantă în argumentarea unor măsuri eficiente de preîntâmpinare a schimbărilor nefaste ale climei.

Variabilitatea semnificativă a regimului termic din perioada de vară și de iarnă a determinat cuantificarea gradului de blândețe sau severitate ale perioadelor susmenționate, în baza indicelui variabilității, sigma (σ). Această caracteristică reprezintă dispersarea anumitor valori empirice, pe de o parte și de alta, de media aritmetică și se exprimă prin

rădăcina pătrată a variației unei distribuții, adică a dispersiei:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1)$$

Deviația standard are aceeași unitate de măsură ca și variabila pe care o caracterizează. Prin urmare, putem compara doar deviațiile standard ale unora și acelorași șiruri de variabile cu unități de măsură omogene (doar precipitații sau doar valori termice).

În scopul evidențierii omogenității și veridicității datelor, șirurile statistice au fost supuse unor criterii de testare. Testarea a fost efectuată conform criteriului Kolmogorov și χ^2 (așa numitul criteriu Pearson). Criteriul Pearson folosit în testare este exprimat:

$$\chi_e^2 = \sum_{i=1}^k [(P_{e,i} - P_{t,i})^2 / P_{t,i}] \quad (2)$$

unde χ_e^2 – repartiția empirică, $P_{e,i}$ – periodicitatea empirică în gradația i , $P_{t,i}$ – probabilitatea teoretică de includere a valorii incidentale în gradația i , k – numărul gradațiilor.

Legea testării conform criteriului dat constă în faptul că în cazul când repartiția empirică (χ_e^2) este mai mică decât cea teoretică, ipoteza înaintată este veridică și invers, în cazul $\chi_e^2 > \chi_t^2$ ipoteza precum că datele se supun legii normale de distribuție se respinge.

Deși acest criteriu foarte des este utilizat în prelucrarea statistică, de obicei se consideră că ar fi binevenit de a controla corespunderea repartiției datelor empirice cu cele teoretice cu ajutorul și altor criterii. De aceea, datele au fost supuse suplimentar testării conform criteriului Kolmogorov (λ), care estimează apropierea repartiției reale (empirice) de cea teoretică pe calea calculării indicelui $D = \max(P_e - P_t)$, deci a diferenței maxime dintre periodicitățile teoretice și empirice ce se compară. Schema utilizării criteriului dat constă în faptul că la început se construiesc funcțiile integrale teoretice și empirice de repartiție, apoi se calculează maximalul modului D . În urma calculului indicelui D se examinează limitele permise ale valorilor criteriului dat (P_λ). În cazul când $P_\lambda \geq 0.05$ concordanța dintre repartițiile studiate este confirmată. În acest caz se conchide că șirul statistic ce reflectă anumite valori climatice se supune legii normale de distribuție.

Formula acesteia se exprimă în felul următor:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

unde $P(x)$ – probabilitatea apariției valorii incidente, $\bar{x}$ – media, σ – devierea medie pătratică, e și π – valori constante.

Baza informațională de date privind regimul de temperatură și pluviometric de pe teritoriul republicii au fost prelucrate statistic în cadrul programului Statgraphics Centurion XV, Excel (parte componentă a Microsoft Office Professional). În evaluările temporale și în divizarea pe etape a seriilor temporale s-au utilizat valorile celor mai lungi șiruri statistice de date înregistrate în seria observațiilor instrumentale la stațiunea Chișinău (1887-2010 și 1891-2010).

Analiza rezultatelor obținute

Estimarea evolutivă a temperaturii medii anuale a aerului pe teritoriul Republicii Moldova denotă că în perioada natural-antropică, sau așa numita perioadă contemporană, se observă o majorare a valorilor în toate subperioadele examinate.

Astfel, în anii 1961-1990 și 1980-1999, temperatura medie anuală s-a majorat cu 0,3-0,4°C față de perioada naturală (1887-1959). În ultimele două decenii însă, se înregistrează un tempou mai pronunțat de încălzire față de perioada naturală, și anume cu 0,9°C (în perioada 1989-1999) și 1,4°C (2000-2010). Schimbări esențiale în ritmul de încălzire se observă mai ales în primul deceniu al secolului XXI, când acesta constituie cu 0,5°C mai mult decât ritmul înregistrat în ultimul și cel mai cald deceniu al secolului XX (tab.1.), după cum a fost considerat până nu demult. Cele relatate confirmă părerea că la nivel regional schimbările climatice deja devin a fi imprevizibile.

Tabelul 1

Evaluarea modificării (°C) temperaturii medii anuale a aerului în evoluția climei Republicii Moldova

Indici statistici	1887-2010	1887-1959	1961-1990	1980-1999	1989-1999	2000-2010
X	9,6	9,3	9,6	9,7	10,2	10,7
σ	0,8	0,7	0,8	1,0	0,8	0,7
X_{Min.}	7,2	7,2	8,0	8,0	9,1	9,8
X_{Max.}	12,1	10,7	11,3	11,3	11,3	12,1

Notă: X - media multianuală, σ - devierea standard, $X_{Min.}$ - valoarea minimă, $X_{Max.}$ - valoarea maximă

Mai mult decât atât. Cele mai mari devieri de la norma climatică cu semnul pozitiv în regimul temperaturii medii anuale pe teritoriul Republicii Moldova se atestă tot în ultimele două decenii (fig.1.a, b, tab.2). Acest fapt este confirmat și prin aranjarea consecutivă a anilor extremi de reci și calzi extrași

Tabelul 2

Topul celor 10 ani calzi și reci, conform temperaturii medii anuale

<i>Ani reci</i> ($T_{med.an., 0^{\circ}C}$)		<i>Ani calzi</i> ($T_{med.an., 0^{\circ}C}$)	
1933	7,2	2007	12,1
1929	7,9	2009	11,4
1934	8	1990	11,3
1985	8	1994	11,3
1912	8,1	2008	11,3
1940	8,1	2000	11,2
1987	8,1	1999	11
1888	8,3	1966	10,9
1976	8,3	1989	10,9
1980	8,3	2002	10,8

din perioada luată în studiu (1887-2010). Anul 2007 este cel mai cald an din seria observațiilor instrumentale, temperatura medie anuală depășind norma climatică cu $2,5^{\circ}C$. În continuare, anii 2009, 1990, 1994, 2008, 2000, 1999, 1966, 1989, 2002 au fost extrem de calzi în seria observațiilor instrumentale, când temperatura medie anuală a constituit $10,8^{\circ}C$ și mai mult (față de norma climatică de $9,6^{\circ}C$). În ultimele două decenii manifestarea anilor extrem de calzi a avut o repetabilitate de o dată în 2 ani (tab. 2). Cele mai scăzute valori termice ale anului

au fost înregistrate în anii 1933 și 1929, când temperatura medie anuală a constituit $7,2-7,9^{\circ}C$. Valori scăzute, și anume în limitele $8-8,3^{\circ}C$, au caracterizat următorii ani reci: 1934, 1985, 1912, 1940, 1987, 1888, 1976, 1980.

Analiza evoluției de peste un secol (1887-2010) a temperaturii medii anuale denotă că aceasta înregistrează o creștere cu $0,01^{\circ}C/an$, ceea ce nu contrazice concluziile referitoare la tendința de schimbare a temperaturii medii a aerului de pe tot teritoriul Europei.

Valorile glisate cu o periodicitate de 10 ani arată că mijlocul anilor '30 și mijlocul anilor '70-80 ai secolului XX se caracterizează ca perioade cu fond termic scăzut. În același timp, în a doua jumătate a secolului XX se observă o tendință stabilă de creștere (fig.1.a) a temperaturii medii anuale, care atinge valori semnificative în primul deceniu al secolului XXI, ceea ce confirmă și analiza evoluției anomaliilor (devierilor) termice de la norma climatică (fig.1.b).

O asemenea repartiție a temperaturii medii anuale a aerului a contribuit la „deformarea” normelor ei climatice în diferite intervale de timp. Așadar, în perioada natural-antropică se atestă o deviere spre dreapta, adică o „încălzire” a valorilor ce caracte-

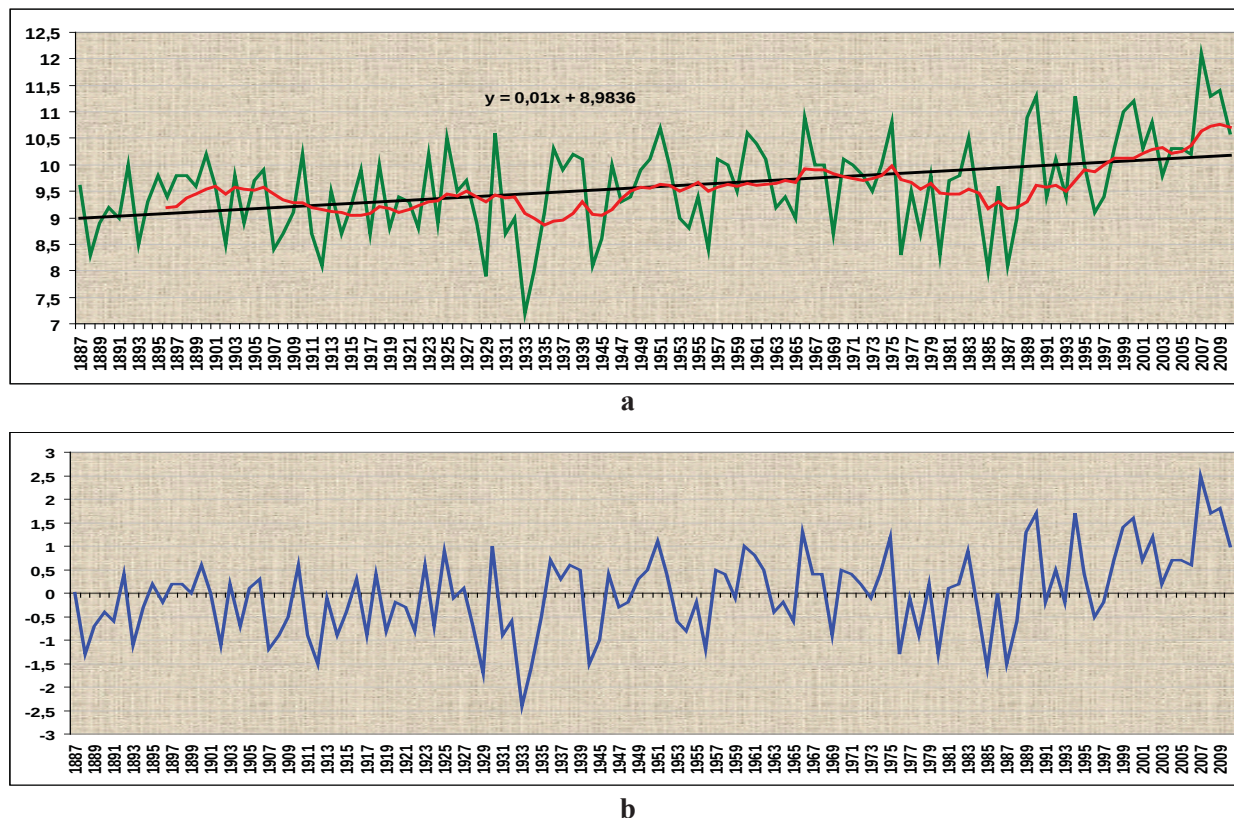


Fig.1. Tendința de modificare (1887-2010) a temperaturii medii anuale a aerului (a) și devierile termice de la norma climatică (b)

risează temperatura medie anuală pe teritoriul Republicii Moldova. Dacă pentru secolul precedent, ultimul deceniu a fost înregistrat ca cel mai cald deceniu (1989-1999), primul deceniu al secolului XXI (2000-2010) devine cel mai cald deceniu din toată seria observațiilor meteorologice, ritmul acestuia dublându-se comparativ cu anii 1989-1999 (fig. 2).

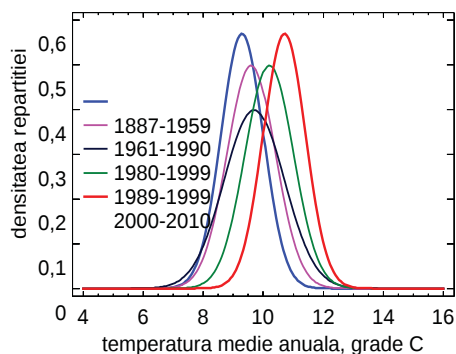


Fig. 2. Deformarea temperaturii medii anuale a aerului în diferite perioade de timp supuse studiului

Raportarea evoluției climei regionale către perioada de referință 1961-1990, permite a scoate în evidență aceleași particularități regionale, și anume că mijlocul anilor '30 și mijlocul anilor '80, sunt perioadele cele mai reci față de perioada luată în studiu (1961-1990), iar ultimele decenii se caracterizează prin devieri pozitive pronunțate, mai ales perioada anilor 2000-2010, când acestea au fost și cele mai semnificative (fig.3).

Analiza valorilor, ce caracterizează extremele termice calculate în diferite etape de dezvoltare a climei actuale, scoate în evidență unele modificări pronunțate atât a minimelor, cât și a maximelor de temperatură în perioada contemporană: astfel, pentru cel mai cald deceniu al secolului XX se înregistrează o micșorare a caracteristicilor amplitudinilor termice

de 0,2°C față de amplitudinea termică mediată pentru întreaga perioadă actuală. Pentru această perioadă (1989-1999), se observă o atenuare a minimelor absolute cu +0,4°C și o creștere cu 0,2°C a maximelor absolute față de normele climatice corespunzătoare (1960-2010). Analiza extremelor din cadrul primului deceniu al secolului XXI denotă variabilitatea pronunțată a extremelor minime și foarte pronunțată a celor maxime. Așadar, primul deceniu al secolului XXI (2000-2010) poate fi considerat deceniul cu cele mai semnificative fluctuații în extremele termice, minimele absolute înregistrând o scădere cu -0,1°C față de media multianuală, din contul valorilor minime absolute ale anului 2006 (-24,2°C) și a anului 2010 (-21,8°C). Maximele absolute însă s-au majorat destul de semnificativ (2,2°C) față de media multianuală (tab.3, tab.4). Creșterea pronunțată a maximelor absolute a avut loc din contul valorilor de căldură înregistrate în anii 2009 (+36,3°C), 2001 (+36,6°C), 2002 (+37,2°C), 2008 (+37,5°C), 2000 (+38,5°C), 2007 (+39,5°C).

Deci, primul deceniu al secolului XXI se caracterizează și prin cea mai mare amplitudine termică în manifestarea extremelor, aceasta fiind cu 2,1°C mai mare decât media multianuală. Variabilitatea semnificativă înregistrată în extremele termice dovedește vulnerabilitatea înaltă a sistemului climatic regional la schimbările climei actuale. Considerăm, că de concluziile obținute care demonstrează intensificarea ritmului de modificare în regimul extremelor ar trebui să se țină cont atât la nivel regional, cât și internațional privind elaborarea măsurilor de adaptare către noile condiții climatice.

În primul deceniu al secolului XXI, la nivel regional, se înregistrează un ritm mult mai rapid de „încălzire” a temperaturilor maxime, decât a celor minime, contribuind astfel la majorarea amplitudi-

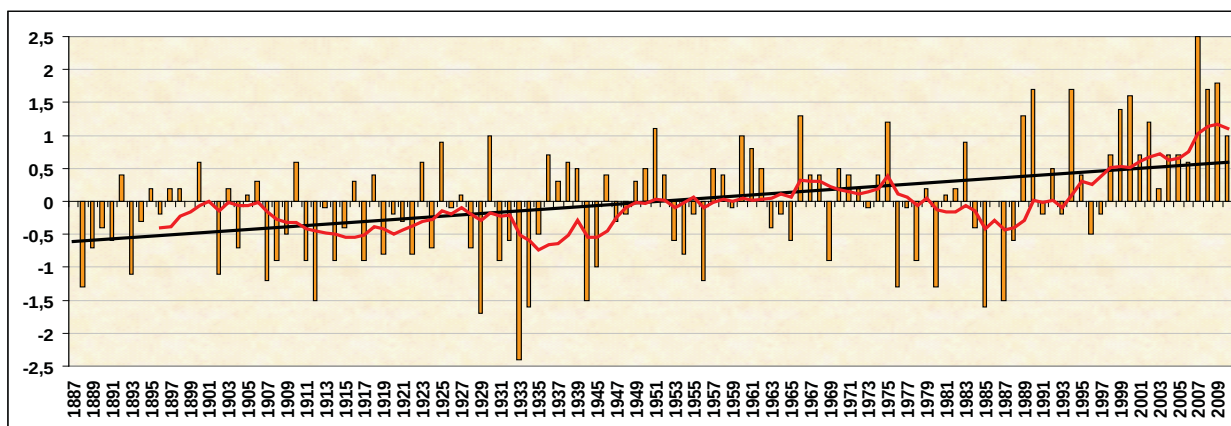


Fig.3. Evoluția devierilor temperaturii medii anuale a aerului raportate către perioada de referință 1961-1990

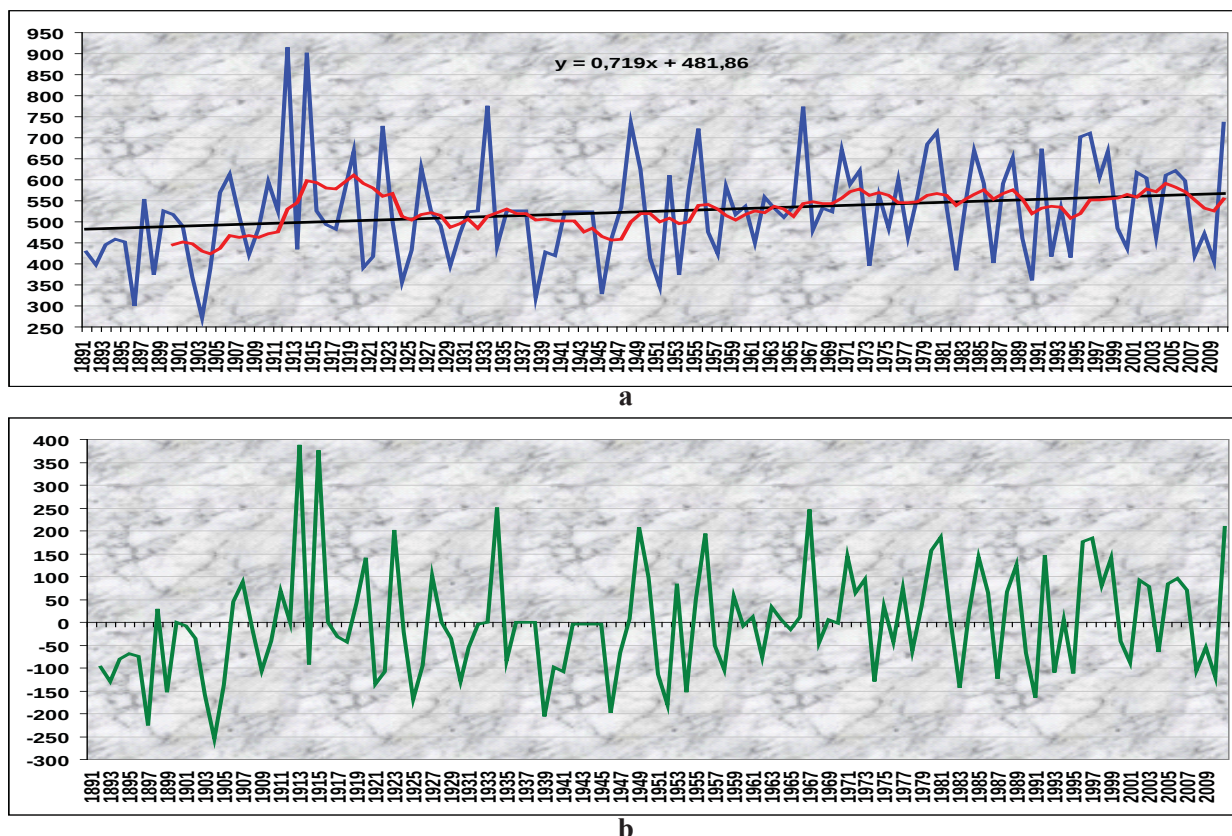


Fig.4. Tendința de modificare (1891-2010) a sumei precipitațiilor anuale (a) și devierile pluviometrice de la norma climatică (b)

nii de oscilație a indicilor de temperatură (A_t). Tendințele observate în modificarea regimului termic extrem, fără îndoială, intensifică instabilitatea regimului termic în regiune.

Regimul precipitațiilor atmosferice pe teritoriul republicii la fel se caracterizează printr-o mare variabilitate și discontinuitate în timp. Cu toate că suma anuală a precipitațiilor atmosferice în perioadele contemporane înregistrează valori cu

Tabelul 3

Evaluarea modificării ($^{\circ}\text{C}$) extremelor și amplitudinilor lor termice în procesul de evoluție a cliimei actuale de pe teritoriul Republicii Moldova

Etapale de evoluție a cliimei	T min. abs.	T max. abs.	A _t
I 1960-2010	-17.2	34.2	51.4
II 1989-1999	-16.8	34.4	51.2
III 2000-2010	-17,1	36.4	53.5
	-24,2 2006	39,5 2007	
	-21,8 2010	38,5 2000	
		37,5 2008	
		37,2 2002	
		36,6 2001	
		36,6 2010	
		36,1 1988	
	36,1 1999		

40 mm mai mult decât în perioada naturală, valorile extreme în regimul pluviometric aparțin perioadei naturale (1887-1959), când valorile maxime au constituit 915 mm, iar cele minime 271,8 mm (tab.5).

Pe parcursul perioadei 1891-2010, în aspect anual, se observă o tendință de majorare a precipitațiilor atmosferice cu 0,719 mm/an. Mediile glisante denotă o tendință stabilă de creștere a sumelor acestora, începând cu anii '50 ai secolului precedent până în prezent (fig.4.a).

Față de trendul linear a fost înregistrată o alură pozitivă ce indică asupra predominării perioadei ploioase în anii '20 ai secolului XX, fapt confir-

Tabelul 4

Topul anilor cu singularitățile termice semnificative

T maximă absolută, $^{\circ}\text{C}$		T minimă absolută, $^{\circ}\text{C}$	
2007	39,5	1963	-28,4
2000	38,5	2006	-24,2
2008	37,5	1967	-23,5
2002	37,2	1961	-23
2001	36,6	1987	-22,8
2010	36,6	2010	-21,8
1968	36,3	1972	-21,5
2009	36,3	1996	-21,1
1988	36,1	1994	-20,9
1999	36,1	1976	-20,5

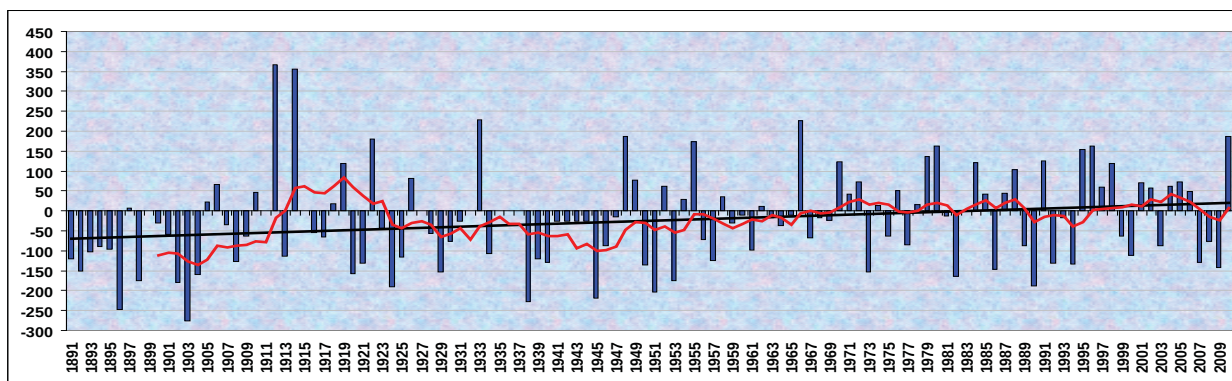


Fig. 5. Tendința de modificare (1891-2010) a devierii sumei precipitațiilor anuale raportate către media multianuală a perioadei 1961-1990

mat și de devierile pluviometrice de la norma climatică (fig.4.b) și 3 alure negative cu devieri neesențiale de la trend: mijlocul anilor '40, mijlocul anilor '90 ai secolului XX și sfârșitul primei decade a secolului XXI.

Estimarea evoluției devierii sumei anuale a precipitațiilor atmosferice de la media multianuală din perioada de referință 1961-1990 (fig.5) denotă cât de semnificative sunt aceste abateri în primul și mijlocul celui de-al doilea deceniu al secolului XX – perioadă de timp când au fost înregistrate și cele mai însemnate recorduri pluviometrice de peste 900 mm.

Sfârșitul anilor 30 – anii 40 înregistrează o abatere negativă de la trend, ceea ce indică stabilirea unei perioade mai secetoase. Începând cu mijlocul primului deceniu al secolului XXI, se observă o predominare a devierilor negative față de media multianuală calculată pentru perioada 1961-1990, ceea ce confirmă instabilitatea pronunțată a regimului pluviometric din ultimii ani. Cei mai secetoși au fost anii 1898, 1953, 1902, 1990, 1924, 1951, 1945, 1938, 1896 când precipitațiile atmosferice au constituit 300-374 mm.

Minimul precipitațiilor de 271,8 mm a fost înregistrat în 1903. Anii ploioși cu valori de peste

Tabelul 5

Evaluarea modificării regimului anual al precipitațiilor atmosferice (mm) pe etape de evoluție a climei în Republica Moldova

Indici statistici	1891-2010	1887-1959	1961-1990	1980-1999	1989-1999	2000-2010
X	526,2	503,8	548,2	555,9	548,3	544,2
σ	122,2	133,1	100,6	118,9	128,7	107,9
Cv	23,2%	26,4%	18,3%	21,4%	23,5%	19,8%
X _{Min.}	271,8	271,8	361,0	361,0	361,0	407,0
X _{Max.}	915,0	915,0	774,0	712,0	711,0	735,0

Notă: X- media multianuală, σ - devierea standard, Cv- coeficientul de variație, X_{Min.} – valoarea minimă, X_{Max.} – valoarea maximă

700 mm au fost: 1996, 1980, 1955, 1922, 1948, 2010, 1966, 1933. Anul 1914 a înregistrat suma anuală a precipitațiilor atmosferice de 903 mm. Maximul pluviometric a fost atins în 1912 cu valori de 915 mm (tab.6).

Tabelul 6

Topul celor 10 ani secetoși-ani ploioși

Ani secetoși (mm)		Ani ploioși (mm)	
1903	271,8	1912	915
1896	301	1914	903
1938	320	1933	777
1945	329	1966	774
1951	345	2010	735
1924	357	1948	734
1990	361	1922	729
1902	368	1955	721
1953	373	1980	712
1898	374	1996	711

Majorarea sumelor anuale ale precipitațiilor atmosferice din perioada contemporană conduce la „deplasarea” spre dreapta a normelor climatice (fig. 6).

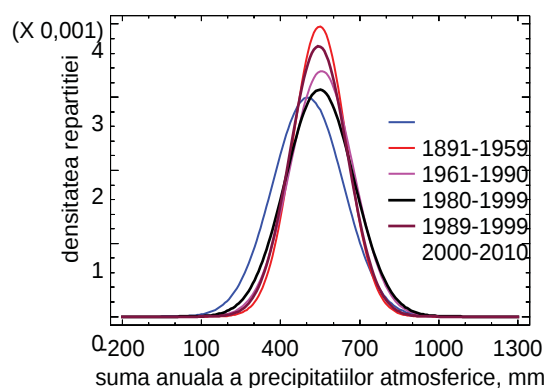


Fig.6. Deformarea sumelor anuale ale precipitațiilor atmosferice în diferite perioade de timp supuse studiului

Cu toate acestea, caracterul de cădere a precipitațiilor atmosferice extrem de instabil conduce cu sine la alternarea pronunțată a perioadelor umede cu cele uscate care contribuie, pe de o parte – la manifestarea secetelor, iar pe de altă parte – la favorizarea declanșării inundațiilor.

În concluzie, constatăm că de rezultatele obținute se va ține cont la elaborarea simulărilor climatice pentru viitorii ani apropiați cu scopul luării deciziilor corecte de adaptare către noile condiții climatice.

Bibliografie

1. Climate Change 2007. The Scientific Basis, Fourth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge U. K., 940 pp.

2. Constantinov T., Sîrodoev Gh., Nedeaľcov M., Mironov I. Modificările componentelor landșaftelor sub influența presingului antropic. În: Buletinul A.Ș.M. Științele Vieții. Chișinău, 2006, nr. 2 (299), p. 155-161.

3. Daradur, M., Nedeaľcov, M., Smirnova, V. *Regional climate of Moldova: tendencies and regularities of its changes*. Climate change trend. Instytut Geografii. Cracow: 1996. p. 299-333.

4. Namias J. Short period. climatic variations. Collected works of J.Namias 1934 through, 1974.- Univ. California, San Diego. Graphics and Reproduction Servies.- 1975.- 905 p.

5. Nedeaľcov M. Aspecte metodologice în evaluarea posibilelor schimbări ale regimului termic de pe teritoriul Republicii Moldova. Buletinul AȘM Științele Vieții, nr. 1 (310), 2010, p. 143-149.



Iurie Matei. *Odă lui Michelangelo*. 1998, ulei/pânză, 90x70 cm.