

Оригинални научни рад

УДК 551.524(497.11)"1949/2004"
Original scientific article

Владан Дуцић
Горица Станојевић
Весна Иконовић

ЦИРКУЛАЦИЈА АТМОСФЕРЕ И КОЛЕБАЊЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА У СРБИЈИ У ПЕРИОДУ 1949-2004.

Извод: Полазиште овог рада је да постоји веза између варијабилности циркулације атмосфере и колебања температуре ваздуха у Србији. У анализама повезаности ових променљивих примењене су линеарна корелација и вишеструка линеарна регресија. Као показатељ циркулације коришћена је учесталост Хес-Брезовски циркулационих форми и типова, а анализа је урађена на годишњем и сезонском нивоу за период 1949-2004. Између различитих делова Србије показане су значајне разлике у висини корелационих коефицијената. Према резултатима вишеструке линеарне регресије захваћеност варијансе средње годишње температуре Србије циркулацијом атмосфере је 66%. Најјача веза између циркулације и температура по сезонама добија се за лето и зиму.

Кључне речи: циркулација атмосфере, Хес-Брезовски циркулационе форме и типови, температура ваздуха, Србија

Abstract: The starting point of the paper is the connection between the atmospheric circulation variability and fluctuations of air temperature in Serbia. The linear correlation and multiple linear regressions have been applied in the analyses of the connection between these variables. The frequency of Hess-Brezowsky circulation forms and types is used as the indicator of atmospheric circulation, and the annual and seasonal values are analysed for the period 1949-2004. There are significant differences in the amount of the correlation coefficients between different parts of Serbia. According to the multiple linear regression results, the contribution of atmospheric circulation to the mean annual temperature of Serbia is 66%. Summer and winter have the highest correlation obtained between the circulation and temperatures by seasons.

Key words: atmospheric circulation, Hess-Brezowsky circulation forms and types, air temperature, Serbia

Увод

Дефинисати однос између варијабилности атмосферске циркулације и осмотрених вредности климатских елемената значи доделити му просторно-временски оквир. На динамику циркулационих процеса утичу бројни спољашњи и унутрашњи климатски чиниоци. Механизми деловања нису до краја разјашњени, а потврда о међусобној условљености и зависности појава и процеса у атмосфери је математичко-статистичке природе. Циљ овог истраживања је утврђивање повезаности између циркулације атмосфере представљене Хес-Брезовски типологијом и температуре ваздуха у Србији за период 1949-2004.

Stepp и Jaagus (2002) истичу да је атмосферска циркулација главни чинилац климатске варијабилности у Европи. Класификовањем облика атмосферске циркулације омогућено је да се сагледају њене одлике у одређеном периоду времена. Самим тим, циркулационе класификације су користан алат у истраживању климатских промена (Huth et al., 2008). Примена Хес-Брезовски каталога (Hess, Brezowsky, 1977, Gerstengarbe, Werner, 2005), и то кроз анализу учесталости и персистентности синоптичких типова доноси сазнања о савременим колебањима климе на простору европског континента. Као најзначајнија црта савремених промена наводи се повећана персистентност циркулационих типова почев од средине 1980-их и током 1990-их година, што се доводи у везу са повећаном учесталашћу екстремних температурних догађаја у Европи у истом периоду (Domonkos и др., 2003, Kyselý, 2007, Kyselý, Huth, 2008).

Радовановић и Дуцић (2004) анализирајући колебање температуре у Србији у другој половини XX века долазе до закључка о пресудном утицају циркулације атмосфере за ове процесе. Ови аутори за дефинисање циркулационог фактора користе типологију Дзердзеевског. Дуцић и Луковић (2005) закључују да постоји веза између Ел Нињо јужне осцилације и промена количине падавина у Србији за период 1951-2000. и да се та веза остварује преко опште циркулације атмосфере. Потврда о сложености односа у систему хидросфера-атмосфера и телеконекијама долази и од Vartholy и Pongrácz (2006) који проналазе статистички значајну везу између атмосферске циркулације на простору Европе дефинисане Хес-Брезовски типологијом и ENSO феномена. Исти аутори су установили везу између месечних температурних и падавинских аномалија у Мађарској и Ел Нињо и Ла Ниња догађаја, али и да се најјача повезаност остварује са временским кашњењем од 2-3 месеца. Такође, Јовановић (2010) проналази временско кашњење од 3 месеца у повезаности истог феномена са средњим месечним температурама у Србији за период 1950-1998. Stepp и Jaagus (2002) закључују да су облици атмосферске циркулације уско повезани са температурним флукутацијама у Европи.

The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...

У циљу бољег разумевања климатских одлика на простору Србије анализирана је веза између учесталости Хес-Брезовски циркулационих форми и типова и средњих годишњих и сезонских температура ваздуха у Србији у периоду 1949-2004.

Основе Хес-Брезовски типологије

Хес-Брезовски типологија је субјективан метод класификовања облика атмосферске циркулације. Иако је у основи предвиђена за простор централне Европе, сматра се да добро приказује временске и циркулационе прилике на простору европског континента и североисточног Атлантика. Последње издање Хес-Брезовски каталога (Gerstengarbe, Werner, 2005) обухвата временски период од 124 године (1881-2004).

Географски положај акционих центара и кретање фронталних зона су главни критеријуми којима се одређује припадност појединим синоптичким типовима тј. Великим временским положајима (нем. Grosswetterlagen или скраћено GWL) како их ова типологија назива. Њих има 29 и могу се груписати у три циркулационе форме и десет главних циркулационих типова (нем. Grosswettertypen или GWT) (табела 1).

Табела 1. Груписани GWL-и према припадности циркулационим формама и циркулационим типовима (GWT).

Table 1 Grouped GWLs according to belonging to circulation forms and circulation types (GWT)

Циркулациона форма	GWT	GWL ¹
Зонална	Западни(W)	WA, WZ, WS, WW
Полумеридионална	Југозападни (SW)	SWA,SWZ
	Северозападни (NW)	NWA, NWZ
	Централна Европа, висок притисак (HM)	HM, BM
	Централна Европа, низак притисак (TM)	TM
Меридионална	Северни (N)	NA, NZ, HNA, HNZ, HB, TRM
	Североисточни (NE)	NEA, NEZ
	Источни (E)	HFA, HFZ, HNFA, HNFZ
	Југоисточни (SE)	SEA, SEZ
	Јужни (S)	SA, SZ, TB, TRW

¹ У табели су дате ознаке 29 GWL као изведене скраћенице из њихових пуних назива. Пуни називи са дефиницијама Grosswetterlagen-а дати су у Хес-Брезовски каталогу (Gerstengarbe, Werner, 2005).

Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији...

Означавање GWL је интуитивно и најчешће се користе скраћенице из којих лако могу спознати њихова главна обележја према којима се дефинишу; правац кретања ваздушних маса у односу на централну Европу. Такође, у зависности да ли над централном Европом доминира поље високог или ниског ваздушног притиска, GWL носе ознаку A (нем. antizyklonal) или Z (нем. zyklonal). Издвојена је и једна група неодређених, недефинисаних макросиноптичких ситуација (нем. Übergang или U) која је мале процентуалне учесталости и не узима се у обзир у истраживањима (израчуната просечна годишња релативна учесталост у периоду 1949-2004. је 1.05%). Најчешће су то транзитни дани између два GWL, који се по својим одликама не могу приписати ни претходном ни наредном Великом временском положају. Једно од главних обележја је и ограничење у временском трајању; сваки GWL мора трајати најмање три узастопна дана.

Рад са циркулационим формама и типовима уводи неопходан степен генерализације којим се постиже боље разумевање циркулационих процеса. Из тог разлога се ове категорије и најчешће користе у истраживањима, и то подаци о њиховој учесталости и персистентности у одређеном временском периоду. У табелама 2 и 3 су приказане просечне релативне учесталости (%) форми и типова (GWT) за период 1949-2004.

Табела 2. Просечна релативна учесталост (%) циркулационих форми на годишњем нивоу и по сезонама, период 1949-2004.

Table 2 Average relative frequencies (%) of circulation forms on the annual level and by seasons, the period 1949-2004

	Година	Пролеће	Лето	Јесен	Зима
Зонална форма	26.50	17.95	27.68	27.92	32.95
Полумеридионална форма	32.72	30.80	31.60	35.05	32.14
Меридионална форма	39.79	49.71	39.42	36.38	33.63

Запажа се да је меридионална форма најучесталија како на годишњем нивоу, тако и по сезонама. Следи полумеридионална форма, а потом и зонална са најмањом учесталости у пролеће и највећом у зиму када је готово једнако учестала као и друге две форме.

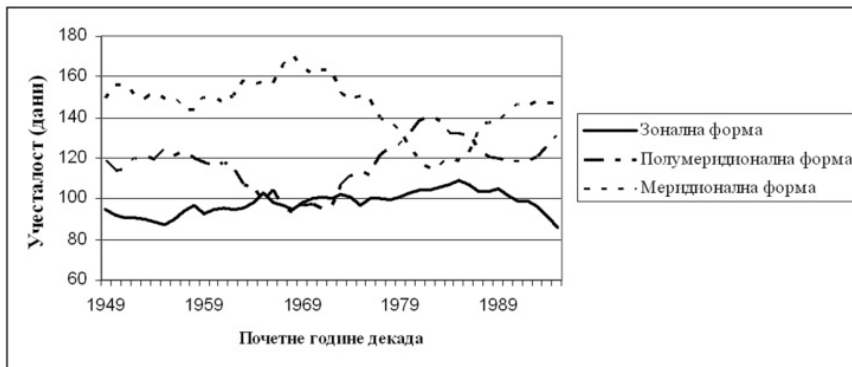
The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...

Табела 3. Просечна релативна учесталост (%) циркулационих типова (GWT) на годишњем нивоу и по сезонама, период 1949-2004.

Table 3 Average relative frequencies (%) of circulation types (GWT) on the annual level and by seasons, the period 1949-2004

	Година	Пролеће	Лето	Јесен	Зима
W	26.50	17.95	27.68	27.92	32.95
SW	7.22	6.97	5.43	9.36	6.97
NW	7.37	7.26	7.14	7.01	7.93
HM	16.11	13.70	17.14	16.72	15.87
TM	2.02	2.87	1.88	1.96	1.37
N	15.46	18.61	15.64	14.17	13.57
NE	3.09	4.39	5.03	1.16	1.79
E	8.34	10.79	8.81	6.08	7.67
SE	3.20	4.11	0.87	3.41	4.59
E	9.63	11.80	9.06	11.56	5.98

Да све није тако једнозначно говори и графикон 1 где је приказано колебање годишње учесталости (дани) у периоду 1949-2004. приказано по покретним декадним вредностима. Уочава се да зонална форма у току целог периода повећава учесталост док су код меридионалне и полумеридионалне присутна осцилирања, а запажа се и одређена антифазност.



Графикон 1. Годишња учесталост (дани) циркулационих форми приказана по покретним декадним вредностима за период 1949-2004. г.
Graph 1 Annual frequency (days) of circulation forms shown by movable decadal values for the period 1949-2004

Методологија истраживања и добијени резултати

Повезаност варијабилности циркулације атмосфере са средњим годишњим и сезонским температурама у Србији тумачена је на основу корелационих коефицијената добијених у анализама са низовима покретних декадних вредности променљивих за период 1949-2004. За циркулацију атмосфере коришћени су подаци о учесталости (дани) Хес-Брезовски циркулационих форми. За средње годишње и сезонске температуре ваздуха обрађени су подаци за 16 станица (списак станица је у табели 4) на територији Србије. Анализе за Београд су изостале због постојања урбаног острва топлоте (Дуцић, Радовановић, 2005). У циљу детаљнијег приступа истраживаној проблематици, израчунати су и корелациони коефицијенти између учесталости циркулационих типова (GWT) и средње годишње и сезонских температура ваздуха за Србију у целини (вредности су изведене као просеци из података за станице).

Између годишње учесталости зоналне циркулационе форме и средњих годишњих температура у Србији у највећем броју случајева (12 од 16 станица) не добијају се статистички значајне вредности Пирсоновог коефицијента корелације (R) (табела 4). Веза између ове две променљиве добија на статистичком значају са негативним знаком ка југ/југоистоку и североистоку Србије. Вредност корелационог коефицијента за зоналну циркулациону форму и средњу годишњу температуру Србије испод је границе статистичког значаја и износи $R = -0.15$. Запад, северозапад и делом север Србије показују позитивне вредности корелационих коефицијената. Да ли ово значи да северно и северозападно од Србије веза постаје статистички значајна и да се Србија налази у зони где престаје утицај западне (зоналне) циркулације у анализираном периоду времена, питање је за нека будућа истраживања.

Како би се сагледале промене у истраживаном временском периоду применом t-теста израчунате су и вредности линеарних трендова и за циркулацију атмосфере и за температуре ваздуха. За годишњу учесталост зоналне циркулационе форме тренд је позитиван, али без статистичког значаја (0,046 дана/години) за период 1949-2004. г. За средње годишње температуре анализа трендова је показала да од 16 станица за њих 14 је добијен позитиван тренд, који је статистички значајан у случају 5 станица (при вероватноћи ризика од 0.05). За две станице, за које су утврђене највише вредности (негативног знака) корелационих коефицијената са учесталашћу зоналне форме, тренд средњих годишњих температура је негативан, премда без статистичког значаја (за Врање $-0.002^{\circ}\text{C}/\text{години}$ и за Димитровград $-0.007^{\circ}\text{C}/\text{години}$).

The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...

Табела 4. Корелациони коефицијенти на нивоу покретних декадних вредности годишњих учесталости циркулационих форми и средњих годишњих температура од 1949-2004. г. (подаци за Сомбор се односе на период 1950-2004. г.).

Table 4 Correlation coefficients on the level of movable decadal values of annual frequencies of circulation forms and mean annual temperatures from 1949-2004 (data for Sombor refer to the period 1950-2004).

	Зонална форма	Полумеридионална форма	Меридионалана форма
1. Ваљево	0.27	0.62	-0.59
2. Вел. Градиште	-0.50	0.13	0,15
3. Врање	-0.52	0.24	0,07
4. Димитровград	-0.68	0.11	0,23
5. Зајечар	0.03	0.58	-0,44
6. Кикинда	-0.03	0,21	-0,09
7. Крагујевац	-0.20	0.33	-0,12
8. Крушевац	-0.37	0.27	0,01
9. Неготин	0.01	0.52	-0,38
10. Ниш	-0.38	0.35	-0,07
11. Нови Сад	0.19	0.32	-0,28
12. Палић	0.24	0.55	-0,50
13. Призрен	-0.09	0.49	-0,31
14. Сјеница	0.01	0.69	-0,52
15. Смед. Паланка	-0.17	0.44	-0,23
16. Сомбор	-0.02	0.35	-0,22
Србија	-0.15	0.44	-0,23

* Подебљане су вредности статистички значајне на нивоу поверења од 95 %.

Statistically significant values on the level of confidence of 95% are bold

Годишња учесталост полумеридионалне форме са средњим годишњим температурама у Србији у свим случајевима показује позитивну везу која је за највећи део Србије статистички значајна (12 од 16 станица). Најјача повезаност је утврђена за југозапад, запад, крајњи север, али и исток Србије. Сада, за разлику од зоналне форме, изван статистичког значаја су југ/југоисток и североисток Србије.

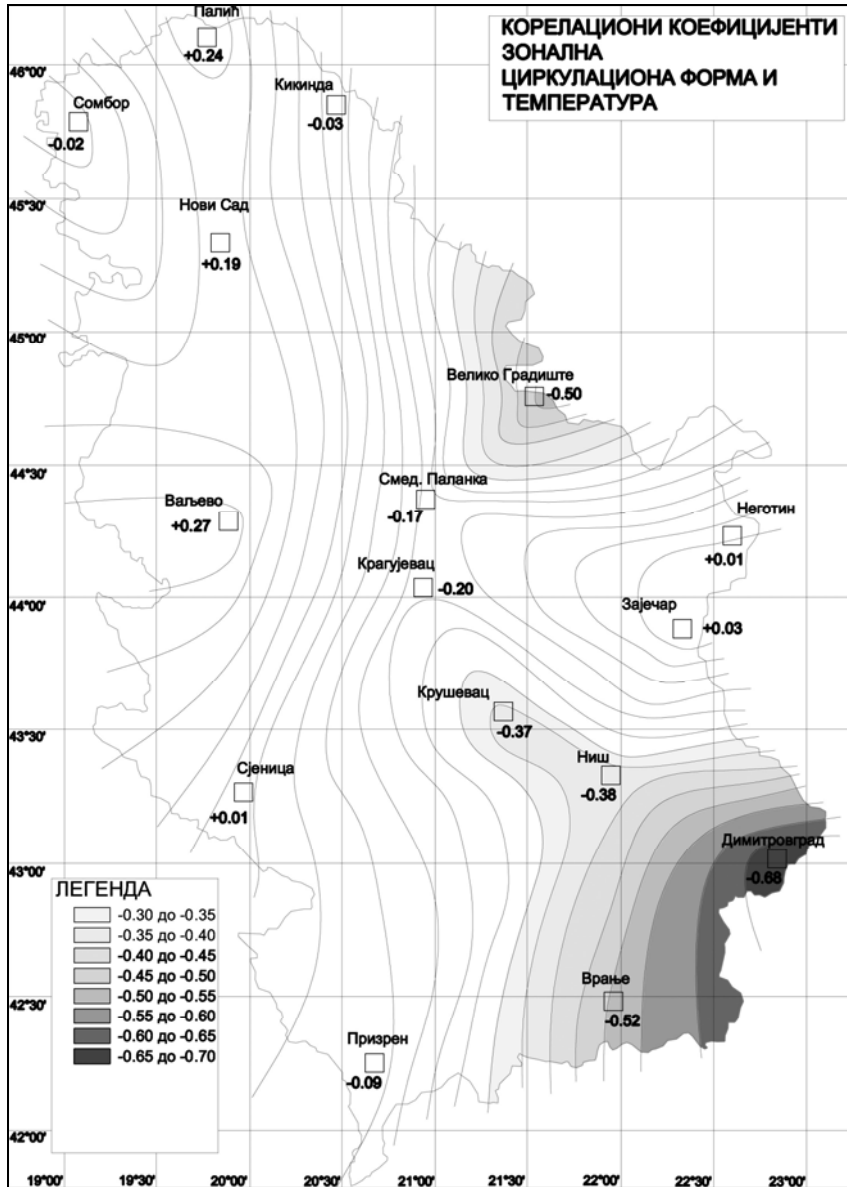
Тренд годишње учесталости полумеридионалне форме (1949-2004) је позитиван (0.408 дана/години), статистички значајан (при вероватноћи ризика од 0.05). Станице које су показале најјачу позитивну везу са учесталошћу полумеридионалне циркулационе форме показују такође позитивне, статистички значајне трендове (при вероватноћи ризика од

Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији...

0,05) средњих годишњих температура; Призрен ($0.010^{\circ}\text{C}/\text{години}$), Ваљево ($0.013^{\circ}\text{C}/\text{години}$), Београд ($0.014^{\circ}\text{C}/\text{години}$), Неготин ($0.016^{\circ}\text{C}/\text{години}$) и Зајечар ($0.011^{\circ}\text{C}/\text{години}$).

Занимљиво је одржавање јачине везе на профилу правца запад-исток: Ваљево ($R= 0.62$) - Смедеревска Паланка ($R= 0.44$) – Неготин ($R= 0.52$), што указује да ваздушне масе истих особина полумериционалне (и то северозападне и југозападне) компоненте струјања ваздуха задржавају правац кретања на линији овог профила. Ово потврђују и вредности корелационих коефицијената за циркулационе типове и средњу годишњу температуру Србије: за NW тип $R= 0.72$, за SW тип $R= 0.53$, за HM тип $R= 0.18$ и TM циркулациони тип $R= -0.52$. Значај релативно високе вредности коефицијента за TM циркулациони тип умањује његова релативно ниска просечна учесталост (2.02 %). SW и NW тип показују приближно исту просечну релативну учесталост у анализираном периоду времена (7.22% и 7.37 % односно за SW и NW) и позитиван тренд, статистички значајан само за југозападни циркулациони тип (0.162 дана/години, при вероватноћи ризика од 0,05). За средњу годишњу температуру Србије тренд је такође позитиван, али без статистичког значаја ($0.007^{\circ}\text{C}/\text{години}$).

The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...



Карта 1. Корелациони коефицијенти за годишњу учесталост зоналне циркулационе форме и средње годишње температуре ваздуха у Србији, 1949-2004.
 Map 1 Correlation coefficients of annual frequency of zoned circulation form and mean annual air temperatures in Serbia, 1949-2004.

Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији...

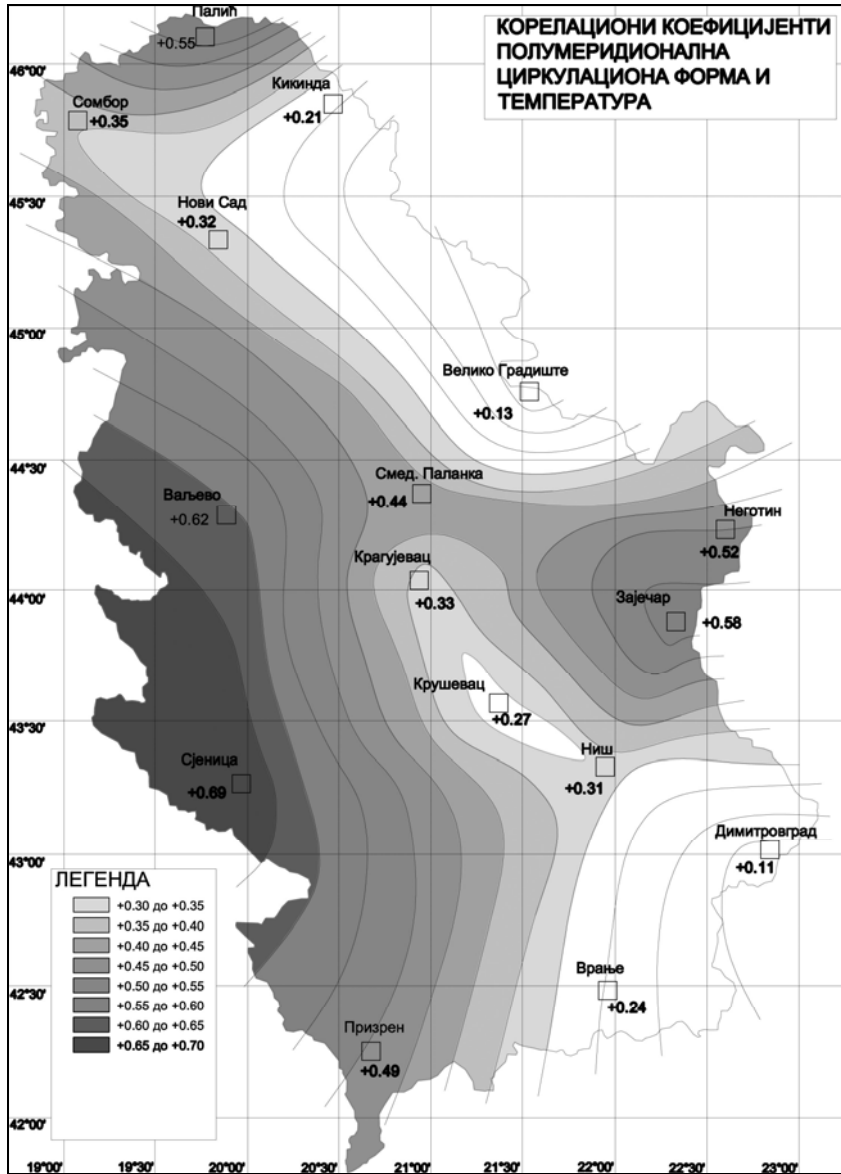
У случају меридионалне циркулационе форме статистички значајну везу, негативног знака, показују само југозапад, запад, исток и крајњи север Србије (Ваљево $R = -0.59$, Сјеница $R = -0.52$, Зајечар $R = -0.44$, Неготин $R = -0.38$ и Палић $R = -0.50$). Статистички значај опада ка североистоку и југоистоку Србије и то са променом знака везе (табела 4). Анализа тренда меридионалне форме показује негативан (-0.416 дана/години), али без статистичког значаја тренд за период 1949-2004. Међутим, анализа повезаности средње годишње температуре Србије и циркулационих типова у оквиру меридионалне циркулационе форме (S, SE, E, NE и N) даје јаснију представу о односу ових променљивих. По јачини везе истиче се северни и североисточни тип. Интересантно је да једино северни тип показује позитивану везу ($R = 0.60$), док остали типови у оквиру полумеридионалне форме показују негативне вредности у свим случајевима (за NE тип $R = -0.46$, за E тип $R = -0.19$, за SE тип -0.30 и за S циркулациони тип $R = -0.37$). Осим јужног циркулационог типа за кога је добијен позитиван (0.013 дана/години), за све остале типове у оквиру меридионалне форме добија се негативан тренд, једино статистички значајан за NE тип (-0.277 дана/години, вероватноћа ризика 0.05). Северни циркулациони тип је и најчесталији од меридионалних типова (15.46%), док су NE и SE типови релативно ниске учесталости (3.09% и 3.20%).

За анализу облика и смера повезаности и анализу у смислу независних/зависних (предиктор/исход) варијабли примењена је и вишеструка линеарна регресија. Независне променљиве представљене су учесталошћу (дани) циркулационих форми, док зависну променљиву представља вредност средње годишње температуре за Србију као целину. И у овом случају анализа је рађена са покретним декадним вредностима.

Према резултатима удео циркулације атмосфере у варијанси средње годишње температуре Србије износи 66% (прилагођени коефицијент детерминације- $\text{adjusted } R^2 = 0.66$). Према вредностима бета коефицијента највећи удео у варијанси средње годишње температуре Србије има меридионална форма (бета коефицијент је 7.31), потом полумеридионална (бета коефицијент је 6.53) и најмање зонална форма (бета коефицијент је 2.28).

Боље разумевање односа циркулација атмосфере-температура ваздуха долази са анализама по сезонама у току године. Најзначајнији резултати (највише вредности корелационих коефицијената) се добијају за лето и зиму.

The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...



Карта 2. Корелациони коефицијенти за годишњу учесталост полумеридионалне циркулационе форме и средње годишње температуре ваздуха у Србији, 1949-2004.

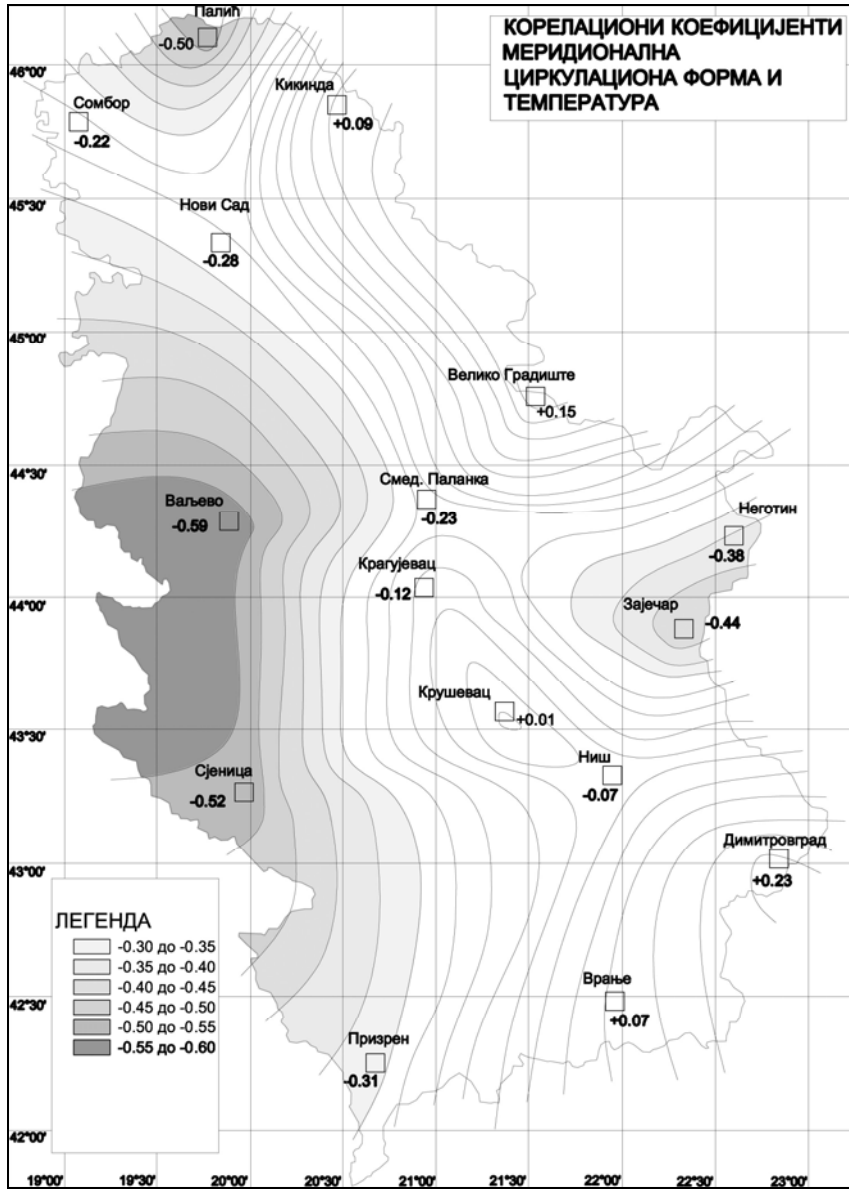
Map 2 Correlation coefficients of annual frequency of semi-meridional circulation forms and mean annual air temperatures in Serbia, 1949-2004.

Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији...

У лето зонална форма је са температурама највећег броја станица у статистички значајној позитивној вези. У односу на пролеће када су Димитровград ($R=0.37$) и Велико Градиште ($R=0.28$) једини са статистички значајним позитивним вредностима, у лето су то станице са највишим корелационим коефицијентима (Димитровград $R=0.62$, Велико Градиште $R=0.56$), и уопште станице на југ/југоистоку и североистоку показују јачу повезаност у односу на остале делове Србије. Такође, у односу на пролеће, вредности корелационих коефицијената полумеридионалне и меридионалне форме добијају на јачини; све станице су статистички значајне, за полумеридионалну форму позитивног знака, а за меридионалну негативног знака. За летњу температуру Србије као целине и учесталост циркулационих форми добијене су следеће вредности коефицијената: за зоналну форму $R=0.39$, за полумеридионалну $R=0.66$ и меридионалну $R=-0.60$. Од типова у оквиру полумеридионалне форме најјача веза са летњом температуром Србије као целине се добија за SW ($R=0.69$) и НМ циркулациони тип ($R=0.45$). Од типова у оквиру меридионалне форме најзначајнији резултати добијају се за NE ($R=-0.67$) и E циркулациони тип ($R=-0.47$).

Тренд учесталости зоналне форме у лето је негативан (-0.096 дана/години), а полумеридионалне и меридионалне форме позитиван (0.021 дана/години, односно 0.013 дана /години). Ни у једном случају није постигнут статистички значај. За летње температуре, на 15 станица тренд је позитиван (на 7 станица статистички значајно при вероватноћи ризика од 0.05), а једина станица са негативним, премда не статистички значајним трендом је Димитровград ($-0,004$ °C/години).

The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...



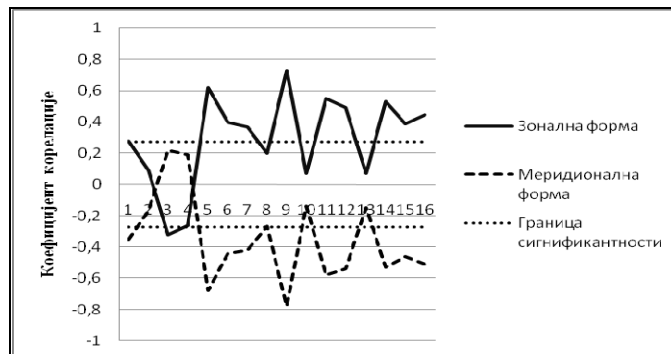
Карта 3. Корелациони коефицијенти за годишњу учесталост меридионалне циркулационе форме и средње годишње температуре ваздуха у Србији, 1949-2004.
 Map 3 Correlation coefficients of annual frequency of meridional circulation form and mean annual air temperatures in Serbia, 1949-2004.

Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији...

У зиму зонална форма, која је антифазна са меридионалном (графикон 2), показује велику просторну променљивост јачине и знака везе на профилима правца север-југ: Палић ($R= 0.49$) - Нови Сад ($R= 0.55$) - Смедеревска Паланка ($R= 0.39$) - Крушевац ($R= 0.20$) – Ниш ($R= 0.07$) – Врање ($R= -0.32$), али и на профилима правца запад-исток: Ваљево ($R= 0.28$) – Смедеревска Паланка ($R= 0.39$) – Неготин ($R= 0.73$); Сјеница ($R= 0.53$) – Ниш ($R= 0.07$) – Димитровград ($R= -0.26$) и Призрен ($R= 0.07$) - Врање ($R= -0.32$).

Полумеридионална форма за све станице показује позитивне коефицијенте, који су статистички значајни за највећи део Србије изузев југа и југоистока. Од циркулационих типова највише вредности се добијају за NW тип ($R= 0.55$). Од типова у оквиру мериодионалне форме по статистичком значају везе негативног знака истичу се N ($R= -0.67$) и E ($R= -0.49$), али и јужни тип сада само са позитивном везом ($R= 0.45$).

Тренд учесталости зоналне циркулације у зиму за период 1949-2004. је позитиван (0.203 дана/години, статистички значајан при вероватноћи ризика 0.05). Без статистичког значаја, али позитиван тренд бележи и полумеридионална форма (0.103 дана/години), док је за учесталост меридионалне форме у зиму тренд негативан, статистички значајан (-0.278 дана/години, вероватноћа ризика 0.05). Станице које бележе негативни, али не статистички значајни тренд зимских температура су Врање (-0.007°C/години), Ниш -0.001 °C/години) Димитровград (-0.008 °C/години), и Велико Градиште (-0.0004 °C/години). Остале станице бележе позитиван, али само за једну станицу статистички значајан тренд (Сјеница 0.022 °C/години, вероватноћа ризика 0.05).



Графикон 2. Антифазност корелционих коефицијената зоналне и полумеридионалне форме за зимске температуре 16 станица у Србији, 1949-2004.

Graph 2 Anti-phase of correlation coefficients of zonal and semi-meridional form for winter temperatures of 16 stations in Serbia, 1949-2004

Дискусија и закључак

Колебање температуре ваздуха у Србији са циркулацијом атмосфере представљене Хес-Брезовски типологијом, у периоду 1949-2004. показује статистички значајну повезаност за већину станица и на годишњем нивоу и по сезонама. Овим је потврђен значај циркулације атмосфере као климатског фактора. Присутне су и просторне неравнорности у јачини везе, а у појединим случајевима и са променом знака везе што је најуочљивије на профилима правца запад-исток и север-југ. Ово указује на то да синоптички процеси на релативно малом одстојању попримају различит просторно-временски развој и као такви значајан су чинилац регионалних климатских разлика.

Повезаност учесталости зоналне циркулационе форме са средњим годишњим температурама за највећи део Србије је ван статистичког значаја. Изузетак су југ-југоисточни и североисточни делови Србије са статистички значајном негативном везом. Опет, у случају полумеридионалне форме и средњих годишњих температура ваздуха ови делови су без статистичког значаја, док остали део Србије показује статистички значајну, позитивну повезаност. Слична ситуација је и са меридионалном формом, сада само супротног знака везе. Овакви резултати дају основу утемељену на атмосферској циркулацији за закључке истраживања које су дали Радовановић и Дуцић (2004) да се јужна и југоисточна Србија издваја као целина другачијих температурних регионално-климатских обележја. У анализираном периоду времена зонална и меридионална циркулација показују позитивне трендове за годишњу учесталост, док учесталост меридионалне форме показује негативан тренд. За већину станица трендови средње годишње температуре ваздуха су позитивни, осим Врања и Димитровграда што потврђује изнета запажања. Према вишеструкој линеарној регресији удео циркулације атмосфере у варијанси средње годишње температуре Србије је 66%.

Код сезонских вредности температура најзначајнији резултати се добијају за лето и зиму. Интересантно је да је у лето најјача позитивна веза са зоналном формом управо за станице Врање и Димитровград. Полумеридионалну форму одликује позитивна статистички значајна веза за територију целе Србије, док меридионалну форму одликује негативна повезаност. Најбоље резултате за летњу сезону добијају и Дуцић и Радовановић (2005) у анализама повезаности температура у Србији са циркулацијом атмосфере.

У зиму, корелациона анализа за зоналну форму и температуре показује велике разлике у јачини везе на профилима правца север-југ и запад-исток. Од севера ка југу опада статистички значај позитивне везе што резултира негативним знаком повезаности на југу Србије. Док полу-

меридионална циркулација показује позитивне корелационе коефицијенте за највећи број станица (осим за станице на југу и југоистоку), докле меридионална форма бележи антифазност са зоналном. У периоду 1949-2004. утврђен је позитиван статистички значајан тренд за учесталост зоналне форме у зиму и негативан за меридионалну форму. За све станице, осим опет Димитровграда и Врања, али и Ниша и Великог Градишта, утврђен је позитиван тренд зимских температура. Овакви резултати су у складу да истраживањима која су вршили Steer и Jaagus (2002) процењујући утицај циркулације атмосфере на температурне флукуације на европском континенту. За највећи део југоисточне Европе не налазе везу зоналне циркулације и зимских температура, шта више, јужни део Балканског полуострва карактерише негативна повезаност. Обзиром да су и ови аутори користили Хес-Брезовски типологију циркулације атмосфере, потврђена је оправданост њене употребе и у истраживању температурних колебања у Србији.

Такође, анализа података за средње годишње температуре ваздуха у Србији у посматраном периоду 1949-2004. је показала да је на већини станица присутан пораст температуре, али је он само на 5 станица статистички значајан (што је мање од трећине укупног броја анализираних станица). Лети је на мање од половине станица присутан статистички значајан пораст. Међутим, у јесењој сезони је на свих 16 станица забележен пад температуре, од чега је на три статистички значајан. Ово упућује на опрез у тумачењима реалних димензија утицаја антропогеног ефекта стаклене баште на овим просторима.

Литература

- Bartholy, J. and Pongrácz, R. (2006). Regional effects of ENSO in Central/Eastern Europe. *Advances in Geosciences*, 6, 133-137.
- Domonkos, P., Kysely, J., Piotrowicz, K., Petrović, P. and Likso T. (2003). Variability of extreme temperature events in South-Central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation. *Int. J. Climatol.* 23, 987-1010.
- Дуцић, В. и Луковић, Ј. (2005). Могуће везе Ел Нињо јужне осцилације (ENSO) и промена количине падавина у Србији. *Зборник радова Географског факултета Универзитета у Београду*, 53, 13-22.
- Дуцић, В. и Радовановић М. (2005). *Клима Србије*. Београд: Завод за уџбенике и наставна средства.
- Gerstengarge, F. W. and Werner, P.C. (2005). *Katalog der Grosswetterlagen Europas Nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881-2004*. Potsdam: Institute for climate impact research, Offenbach a. M.

The atmospheric circulation and temperature variability in Serbia...

- Јовановић, Г. (2010). *Природна варијабилност глобалног климатског система: „Климатски феномени Ел Нињо и Ла Ниња“*. Београд: Метеоролошко друштво Србије.
- Kysely, J. (2007). Implications of enhanced persistence of atmospheric circulation for the occurrence and severity of temperature. *Int. J. Climatol.*, 27, 689-695.
- Kysely, J. and Huth R. (2008). Relationships of surface air temperature anomalies over Europe to persistence of atmospheric circulation patterns conducive to heat waves. *Advances in Geosciences 14*, 243-249.
- Hess, P. and Brezowsky, H. (1977). *Katalog der Grosswetterlagen Europas, Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 113*. Offenbach.
- Huth, R., Beck, C., Philipp, A., Demuzere, M., Ustrnul, Z., Cahynová, M., Kysely, J. and Tveito O. E. (2008). Classifications of Atmospheric Circulation Patterns. *Recent Advances and Applications. Trends and Direction in Climate Research: Ann. N.Y. Acad. Sci. 1146*, 105-152.
- Радовановић, М. и Дуцић В. (2004). Колебање температуре ваздуха у Србији у другој половини XX века. *Гласник Српског географског друштва*, 84 (1), 19-28.
- Sepp, M. and Jaagus, J., (2002). Frequency of circulation patterns and air temperature variations in Europe. *Boreal Environment Research 7*, 273-279.

Vladan Ducić
Gorica Stanojević
Vesna Ikonović

THE ATMOSPHERIC CIRCULATION AND TEMPERATURE VARIABILITY IN SERBIA FOR THE PERIOD 1949-2004

Summary

The Hess-Brezowsky synoptic type catalogue was used in the analysis of the connection between the air temperature variability in Serbia and the frequency of atmospheric circulation in the period 1949-2004. This is a subjective method for classification of large-scaled atmospheric circulation patterns. The frequency of Hess-Brezowsky circulation forms and types (GWT) has often been used in the recent climate change studies of the European continent. There are significant differences in the amount of the correlation coefficients between different parts of Serbia. In the case of annual values, the correlation of zonal circulation forms is insignificant for most of the stations. The exceptions are the south/south-eastern and north-eastern parts of Serbia with a negative, statistically significant connection. In the case of semi-meridional and meridional forms, the correlation is significant, positive and negative sign respectively for the stations in southwest, west, northwest and east Serbia. The south/south-eastern and north-eastern parts of Serbia are insignificant. The highest positive correlation of the mean

Циркулација атмосфере и колебање температуре ваздуха у Србији...

annual temperature for Serbia as a whole is obtained for NW, SW and N circulation type. According to the multiple linear regression results, the contribution of atmospheric circulation to the mean annual temperature of Serbia is 66%. Summer and winter have the highest correlation obtained between the circulation and temperature. This study has indicated that the reasons for the recent temperature fluctuation in Serbia should be found in the atmospheric circulation rather than in the explanations of anthropogenic greenhouse effects. This study has shown that the reasons for the recent temperature fluctuation in Serbia should be sought in the atmospheric circulation rather than in explanations anthropogenic greenhouse effects.