

**ЦИРКУЛАЦИЈА АТМОСФЕРЕ И КОЛЕБАЊЕ ПАДАВИНА
У СРБИЈИ У ПЕРИОДУ 1949-2004***

Владан Дуцић, Јелена Луковић, Горица Станојевић

Универзитет у Београду – Географски факултет, Студентски трг 3/3, Београд, Србија

Сажетак: У овом раду анализирана је повезаност између циркулације атмосфере и годишњих падавинских сума у Србији за период 1949-2004. Као показатељи циркулације атмосфере коришћени су подаци за учесталост Хес-Брезовски циркулационих форми и типова. Статистички значајна веза негативног знака добија се за зоналну и полумеридионалну форму и позитивног знака за меридионалну форму. Показане су и неравномерности у просторном распореду јачине везе. Захваћеност варијансе годишњих сума падавина Србије у целини циркулацијом атмосфере је 69%. У раду је такође анализирана веза између циркулације атмосфере и средње годишње облачности у Србији. Поређењем резултата за ова два климатска елемента закључује се да они показују различит просторно-временски развој при истим макросиноптичким условима. Такође, може се говорити и о регионалном аспекту наведених процеса.

Кључне речи: циркулација атмосфере, Хес-Брезовски типологија, падавине, облачност, Србија

Увод

Значај макросиноптичких процеса за просторно-временску дистрибуцију климатских елемената, уз локалне чиниоце, је основа за разумевање регионалних климатских одлика, односно разлика. У том смислу веома је важно знати у каквој је вези колебање падавина (које уз температуру ваздуха представљају најзначајнији климатски елемент) са променама у атмосферској циркулацији. Као фактор климатске варијабилности за простор северне Земљине хемисфере најчешће се наводи Северно Атланска осцилација (North Atlantic Oscillation–NAO). Такође, примена класификационог метода је један од начина да се сагледају промене у атмосферској циркулацији у одређеном периоду времена (Huth R. et al., 2008). Једна од најпознатијих класификација која приказује временске и циркулационе прилике на европском континенту је Хес-Брезовски типологија (Hess P., Brezowsky H., 1977; Gerstengarbe F.W., Werner P., 2005). Овај класификациони метод припада групи субјективних.

Ivanov S. et al. (2010) истичу да су регионалне промене падавина на простору источне Европе у вези са променама одлика циркулације атмосфере на глобалном нивоу. Према Јовановић Г. и др. (2008) постоји доминантан утицај NAO и АО (Arctic Oscillation) феномена на падавински режим у Србији, нарочито

* Рад представља резултате истраживања пројекта 146005 које финансира Министарство науке и технолошког развоја Републике Србије.

за време зимске сезоне, при чему је утицај Арктичке осцилације израженији. Проблематиком телеконекција на примеру Србије бавили су се и Дуцић В. и Луковић Ј. (2005). Они закључују да постоји веза између Ел Нињо јужне осцилације (El Niño Southern Oscillation – ENSO) и промена количине падавина у Србији за период 1951-2000., наглашавајући да се та веза остварује преко опште циркулације атмосфере. Месечне температурне и падавинске аномалије у Мађарској за време Ел Нињо и Ла Ниња догађаја установили су и Bartholy J. и Pongrácz R. (2006). Такође, ови аутори истичу и да се најјача веза између ових појава остварује са временским кашњењем од 2-3 месеца. До сличних резултата (3 месеца) о временском померају повезаности ENSO феномена са средњим месечним температурама у Србији за период 1950-1998. долази и Јовановић Г. (2010).

У свом истраживању Bartholy J. и Pongrácz R. (2006) такође утврђују статистички значајну везу између атмосферске циркулације на простору Европе дефинисане Хес-Брезовски типологијом и ENSO феномена. Cazacioc L. V. и Cazacioc A. (2006) добијају сигнификантну везу између NAO индекса и броја дана са снежним покривачем у Румунији. Позитивне фазе овог феномена условљавају мање дана са снежним покривачем током зимских месеци, док негативне фазе повећавају вероватноћу снежним зима. Исти аутори на основу корелационе анализе између NAO индекса и учесталости Хес-Брезовски синоптичких типова утврђују да су за позитивне фазе карактеристична западна ваздушна струјања, док су негативне фазе повезане са североисточним ваздушним токовима. Domonkos P. et al. (2003) утврђују повезаност између циркулације атмосфере представљене овом типологијом и екстремних температурних догађаја на простору централне и југоисточне Европе.

Циљ овог истраживања је утврђивање повезаности између варијабилности циркулације атмосфере дефинисане Хес-Брезовски типологијом и годишњих сума падавина у Србији за период 1949-2004. година.

Коришћени подаци и методе

У раду су као показатељи циркулације атмосфере коришћени подаци о учесталости (дани) Хес-Брезовски циркулационих форми и типова. Последње издање Хес-Брезовски каталога (Gerstengarbe F.W., Werner P., 2005) обухвата временски низ од 124 године (1881-2004). Ова циркулациона класификација у основи разликује 29 макросиноптичких ситуација или Великих временских положаја (нем. Grosswetterlagen или скраћено GWL). Иако су GWL-и дефинисани према географском положају акционих центара и кретања фронталних зона у односу на централну Европу, опште је прихваћено коришћење ове типологије за приказивање особина циркулације атмосфере на простору европског континента. Разврставање облика атмосферске циркулације припадајућим GWL-а врши се на основу расподеле ваздушног притиска на нивоу мора и геопотенцијалној висини од 500 hPa.

По критеријуму доминантног правца кретања ваздушних маса GWL-и се могу груписати у 3 циркулационе форме односно 10 циркулационих типова (нем. Grosswettertypen или GWT) (табела 1). Овим се постиже неопходна генерализација и олакшава истраживање промена у атмосферској циркулацији. Такође, у основи ове типологије је и да сваки GWL мора трајати најмање 3 узастопна дана. На слици 1 је приказано колебање годишње учесталости циркулационих форми за

период 1949-2004., док је на слици 2 приказана годишња релативна учесталост (%) форми и GWT, такође за период 1949-2004.

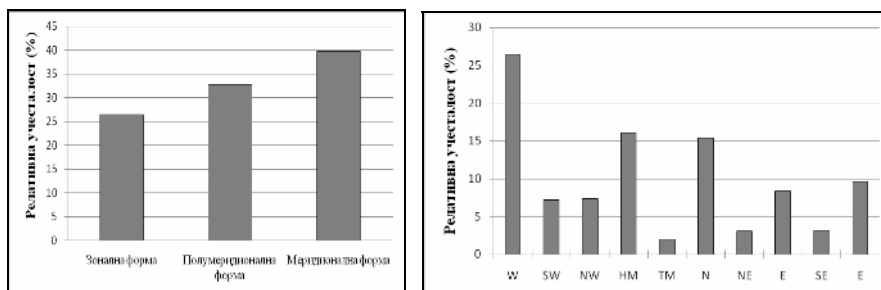
Табела 1. Приказ циркулационих форми, типова и GWL-а.

Циркулациона форма	GWT	GWL
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

Са 17 станица на територији Србије коришћени су подаци о годишњим падавинским сумама (списак станица је у табели 2). Извођењем просека из ових података добијене су вредности за Србију у целини. Имајући у виду временско ограничење у низовима података за ове станице и домет Каталога истраживање је ограничено на период 1949-2004. година.



Слика 1. Годишња учесталост (дани) циркулационих форми приказана по покретним декадним вредностима за период 1949-2004. г.



Слика 2. Годишња релативна учесталост (%) циркулационих форми (лево) и GWT (десно), период 1949-2004.

Анализирање повезаности циркулације атмосфере са падавинским сумама рађено је применом линеарне корелације. Како би се избегла међугодишња варијабилност климе корелација је рађена на покретном декадном нивоу. Поред падавина у анализу је уведен још један климатски елемент-облачност. Обрада података за облачност произашла је из потребе да се истраживана проблематика прошири и тако сагледа однос између ова два климатска елемента међусобно, али и увођењем циркулационог фактора. Између годишњих падавинских сума и средње годишње облачности (на примеру 17 станица из табеле 2) показана је позитивна веза између ова два климатска елемента у свим случајевима. Вредност Пирсоновог коефицијента корелације варира од 0.32 за Нови Сад до 0.69 за Смедеревску Паланку. Генерално станице на северу и југ/југозападу Србије су показале релативно ниже вредности коефицијената што би се делом могло објаснити одликама њихових положаја.

У истраживању везе између циркулације атмосфере и падавина у Србији коришћена је и статистичка процедура вишеструке линеарне регресије. Коришћени су подаци за учесталост циркулационих форми и годишње падавинске суме Србије у целини, али и 6 кластера који су настали груписањем 17 станица методом „weighted pair group“, при чему је мера сличности базирана на Пирсоновом коефицијенту корелације. Подаци су такође обрађени на покретном декадном нивоу.

Такође, како би се сагледале промене анализираних променљивих (циркулације, падавина, облачности) у периоду 1949-2004. коришћен је и метод линеарног тренда.

Резултати

На основу резултата линеарне корелације (табела 2) уочава се да у случају зоналне циркулационе форме и годишњих сума падавина доминира негативна веза (корелациони коефицијент позитивног знака добијен је само за Палић 0.17), статистички значајна у већини случајева (12 од 17 станица). За Србију у целини Пирсонов коефицијент корелације износи -0.45, односно добијена је негативна веза осредње јачине. Најјача (негативна) повезаност добијена је за станице на југ/југоистоку и истоку Србије (Врање -0.61, Димитровград -0.63, Неготин -0.53 и Зајечар -0.56). Најслабија повезаност је у деловима централне Србије (Београд -0.04, Смедеревска Паланка -0.14, Крагујевац -0.30, Крушевац -0.39) и ка југ/југозападу (Сјеница -0.03, Призрен -0.33). Релативно високе вредности коефицијената корелације на северу Србије (Нови Сад -0.44, Сомбор -0.56, Кикинда -0.57) ремети добијена вредност за станицу Палић (0.17). Ако искључимо фактор хомогености података за ову станицу, једна од могућности је да се даље у правцу севера остварује позитивна веза западне циркулације и годишњих падавинских сума.

Поређењем резултата за падавине и облачност (добијених у анализама са зоналном формом) могу се уочити значајне разлике у висини корелационих коефицијента за поједине станице. Највећа разлика добија се за Београд (-0.04 према -0.76), потом Сјеницу (-0.03 према -0.57), Призрен (-0.33 према -0.81) и Велико Градиште (-0.25 према -0.60). На овим примерима видимо знатно више коефицијенте за облачност него за падавине. Међутим, станице на југ/југоистоку и северу Србије показују више вредности коефицијената у случају годишњих

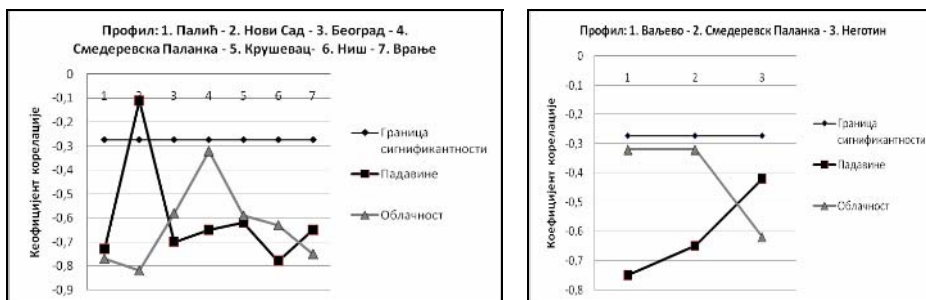
падавинских сума, премда не толико драстично више као претходно наведени примери и са изузетком за Кикинду (табела 2).

Табела 2. Упоредни преглед корелационих коефицијената за учесталост циркулационих форми са годишњим падавинским сумама (R) и средњом годишњом облачношћу (O), 1949-2004. Подаци за Сомбор се односе на период 1950-2004. Подебљане вредности су сигнификантне на нивоу поверења од 95 %.

Станица	Зонална циркулациона форма		Полумериционална циркулациона форма		Мериционална циркулациона форма	
	R	O	R	O	R	O
1. Београд	-0.04	-0.76	-0.70	-0.58	0.62	0.79
2. Ваљево	-0.42	-0.62	-0.75	-0.32	0.81	0.53
3. Велико Градиште	-0.25	-0.60	-0.72	-0.63	0.70	0.75
4. Врање	-0.61	-0.42	-0.65	-0.75	0.77	0.77
5. Димитровград	-0.63	-0.53	-0.77	-0.68	0.89	0.79
6. Зајечар	-0.56	-0.37	-0.55	-0.43	0.66	0.57
7. Кикинда	-0.57	-0.58	-0.67	-0.72	0.83	0.87
8. Крагујевац	-0.30	-0.11	-0.80	-0.53	0.78	0.47
9. Крушевац	-0.39	-0.47	-0.62	-0.59	0.65	0.65
10. Неготин	-0.53	-0.68	-0.42	-0.62	0.54	0.78
11. Ниш	-0.37	-0.36	-0.78	-0.63	0.79	0.64
12. Нови Сад	-0.44	-0.32	-0.11	-0.82	0.36	0.78
13. Палић	0,17	-0.28	-0.73	-0.77	0.55	0.72
14. Призрен	-0.33	-0.81	-0.45	-0.44	0.53	0.69
15. Сјеница	-0,03	-0.57	-0.38	-0.64	0.38	0.75
16. Смед. Паланка	-0,14	0.12	-0.65	-0.32	0.60	0.21
17. Сомбор	-0.56	-0.34	-0.42	-0.60	0.62	0.58
Србија	-0.45	-0.54	-0.77	-0.75	0.83	0.83

Повезаност негативног знака у случају свих станица добија се за полумериционалну форму и годишње суме падавина, док статистичка значајност изостаје само за Нови Сад (-0.11). У односу на зоналну форму добијене су релативно више вредности корелационих коефицијената (за 7 станица вредности коефицијента су преко -0.70). За Србију у целини добијена је вредност од -0.77, односно повезаност ове две променљиве се може окарактерисати као јака негативна. Најслабија веза (осредње јачине) је поново нађена за југ/југозапад Србије (Сјеница -0.38, Призрен -0.45). Релативно ниже вредности добијају се и за станице Зајечар и Неготин (-0.55 и -0.42, респективно). Најјача повезаност утврђена је за централну, западну, југ/југоисточну и делом североисточну Србију. За Нови Сад је добијена несигнификантна вредност (-0.11), што по статистичком значају чини ову станицу усамљеном у односу на станице у окружењу. Узрок овоме се може тражити у квалитету података, али и у евентуалним специфичностима локалног положаја ове станице.

О разликама у просторном распореду јачине везе падавина и облачности на примеру учесталости полумеридионалне циркулационе форме најбоље сведоче профили правца север-југ и запад-исток приказани на слици 3. На првом приказаном профилу правца север-југ најочљивија разлика у висини коефицијената је за станице Нови Сад (чак драстичних -0.11 за падавине према -0.82 за облачност) и Смедеревску Паланку (-0.65 за падавине наспрам -0.32 за облачност). Док на профилу правца запад-исток (Ваљево - Смед. Паланка - Неготин) у случају падавина (облачности) опада (расте) интензитет везе у правцу истока.



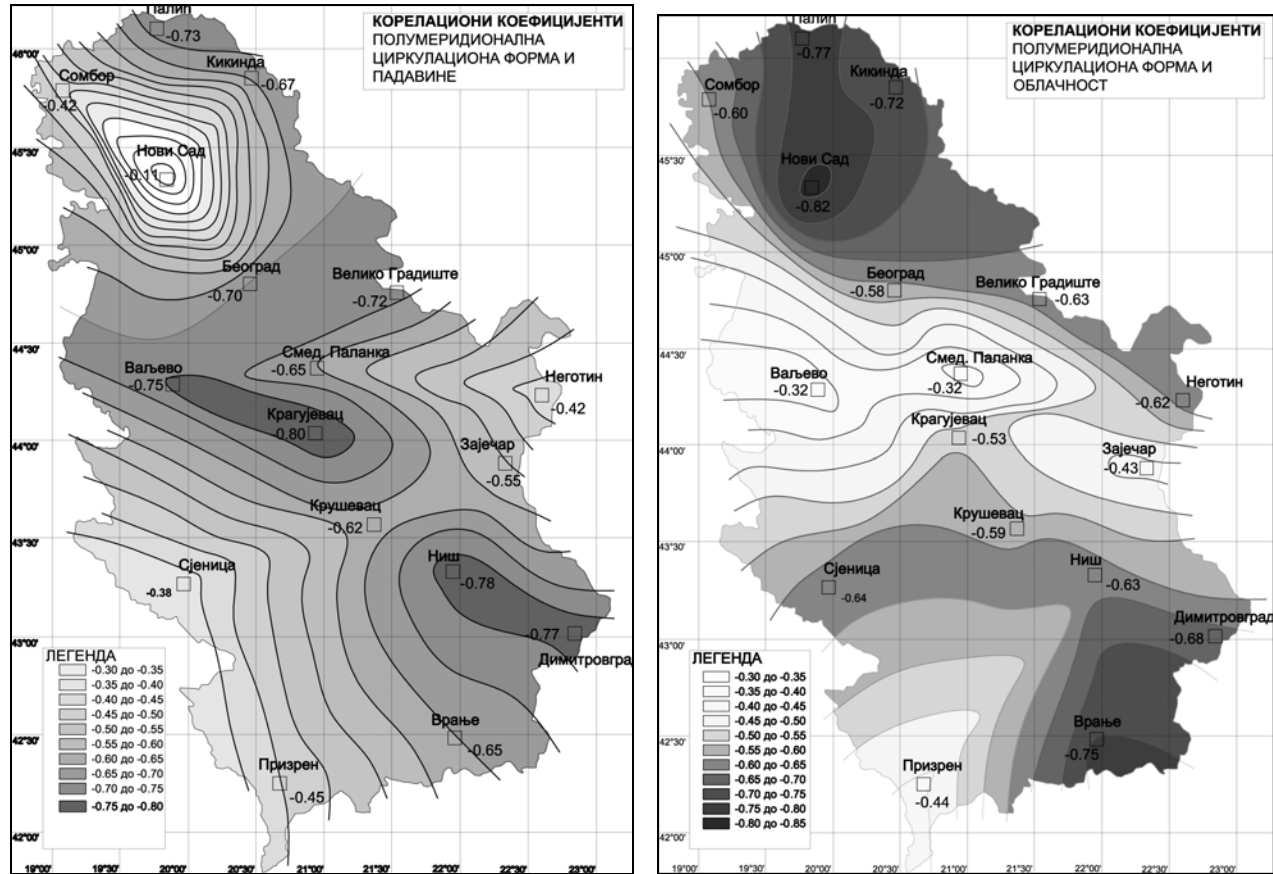
Слика 3. Профили правца север-југ и запад-исток на примерима корелационих коефицијената добијених у анализама учесталости полумеридионалне форме са годишњим падавинама и средњом годишњом облачношћу.

Анализирана је и повезаност годишњих падавинских сума (средње годишње облачности) Србије у целини са учесталошћу циркулационих типова (табела 3). Од типова који припадају полумеридионалној форми најзначајнији резултати добијају се за NW тип (-0.67 за R и -0.68 за O) и HM (-0.72 за R и -0.70 за O) тип, тј. показана је јака негативна веза.

Табела 3. Упоредни преглед корелационих коефицијената за учесталост циркулационих типова са годишњим падавинским сумама (R) и средњом годишњом облачношћу (O) за Србију у целини, 1949-2004. Подебљане вредности су сигнификантне на нивоу поверења од 95 %.

	W	SW	NW	HM	TM	N	NE	E	SE	S
R Србија	-0.45	-0.29	-0.67	-0.72	-0.06	-0.02	0.82	0.60	0.67	0.76
O Србија	-0.54	-0.27	-0.68	-0.70	0.01	-0.07	0.88	0.69	0.62	0.57

Са годишњим сумама падавина са 17 станица и за Србију у целини позитивно је повезана учесталост меридионалне форме. Статистички значајна веза добијена је у свим случајевима. За Србију у целини R је 0.83, односно повезаност ове две променљиве се може окарактерисати као јака позитивна.



Слика 4. Полумеридионална циркулациона форма и годишње суме падавина (лево) и полумеридионална циркулациона форма и средња годиња облачност (десно), период 1949-2004

Просторни распоред јачине везе је сличан као код полумеридионалне форме, сада само позитивног знака везе. Осим опет станице Нови Сад где је добијена нижа, али статистички значајна вредност (0.36), највећи део Србије показује јаку позитивну везу са меридионалном формом. Пад везе се уочава у правцу југозапада (Сјеница 0.38, Призрен 0.53). Најјача повезаност нађена је за југ/југоисток (Ниш 0.79, Врање 0.77, Димитровград 0.89), североисток (Велико Градиште 0.70, Кикинда 0.83) и запад Србије (Ваљево 0.81).

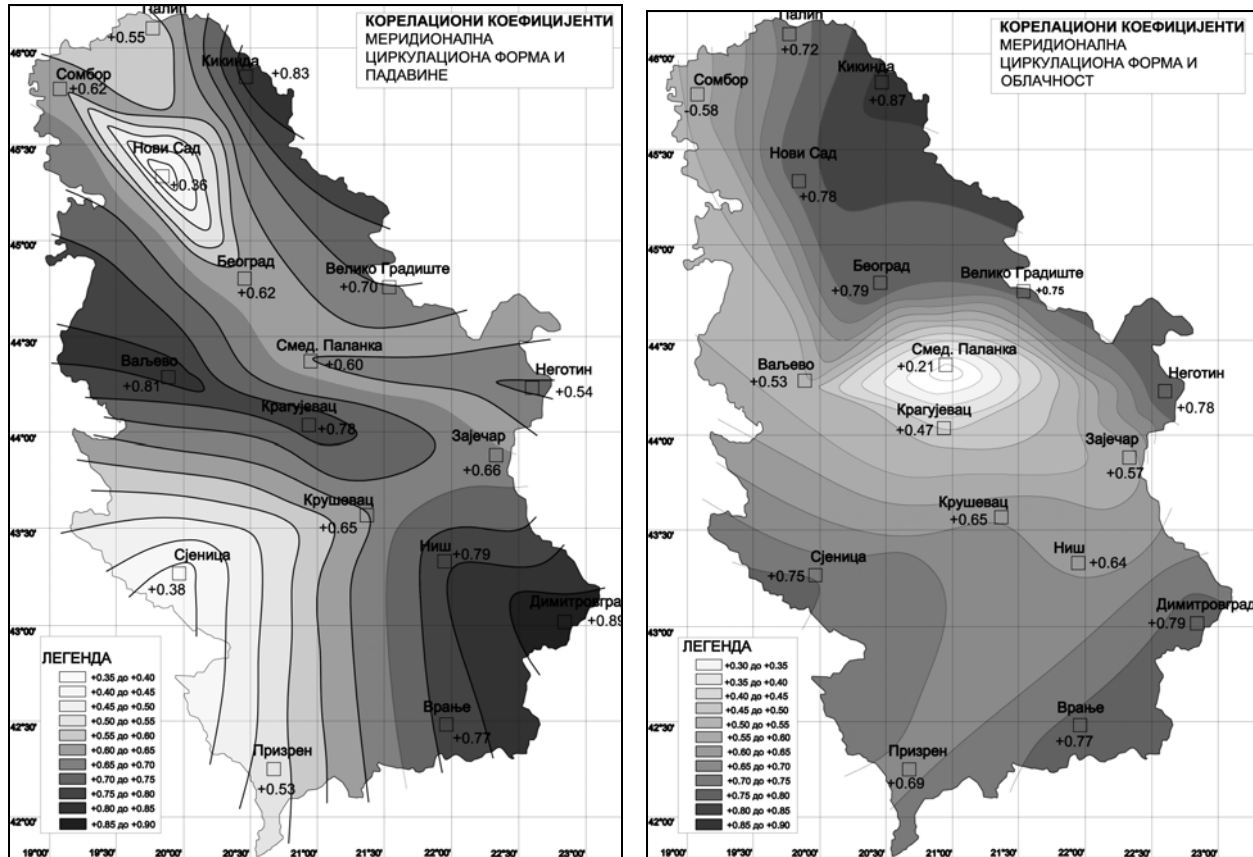
Од типова у оквиру меридионалне циркулационе форме позитивну јаку повезаност и са годишњим падавинским сумама и са средњом годишњом облачношћу показали су NE, E, SE и S, док је једино за северни (N) циркулациони тип веза несигнификантна (табела 3).

Разлика у просторном распореду јачине повезаности за падавине и облачност поново се јасно уочава на профилу правца север-југ (најистакнутије на примеру Смедеревске Паланке, 0.60 за падавине наспрам 0.21 за облачност), али и на јужнијем профилу правца запад-исток (слика 5).



Слика 5. Профили правца север-југ и запад-исток на примерима корелационих коефицијената добијених у анализама учесталости меридионалне форме са падавинама и облачношћу.

Према резултатима вишеструке линеарне регресије (табела 4) удео атмосферске циркулације у варијабилности годишњих падавина Србије у целини је 69%. Највећа захваћеност варијансе зависне променљиве (падавина) је полумеридионалном формом (бета коефицијент је -1.4), потом меридионалном (бета коефицијент -0.84) и најмање зоналном (бета коефицијент је -0.71). У случају кластера највећа вредност коефицијента детерминације (0.86) се добија за кластер R2 (чине га станице на југ/југоистоку Србије- Врање, Ниш, Крушевац, Димитровград), а најмања (0.29) за кластер R3 (станице на југ/југозападу- Сјеница, Призрен). Док зонална форма за све кластере показује најмању вредност бета коефицијента докле за полумеридионалну форму само у случају кластера R5 (Велико Градиште, Ваљево, Смедеревска Паланка, Крагујевац) бета коефицијент је већи у односу на вредности бета коефицијента добијене за меридионалну форму.



Слика 6. Меридионална циркулациона форма и годишње суме падавина (лево) и меридионална циркулациона форма и средња годиња облачност (десно), период 1949-2004.

Табела 4. Резултати вишеструке линеарне регресије.

Зависна варијабла	Бр. случајева	Коефицијент детерминације (adjusted R ²)	Бета коефицијент		
			Зонална форма	Полумеридионална форма	Меридионална форма
R Србија	47	0.69	-0.71	-1.4	-0.84
R1	47	0.67	-2.8	-4.8	-5.3
R2	47	0.86	-2.1	-3.8	-3.8
R3	47	0.29	1.47	2.62	3.68
R4	47	0.66	1.29	1.87	3.16
R5	47	0.57	-0.39	-1.1	-0.49
R6	47	0.65	2.03	3.84	5.30

R1- Зајечар, Неготин; R2- Врање, Ниш, Крушевац, Димитровград; R3- Сјеница, Призрен; R4- Сомбор, Палић; R5- Велико Градиште, Ваљево, Смедеревска Паланка, Крагујевац; R6- Нови Сад, Кикинда, Београд.

У периоду 1949-2004. годишња учесталост зоналне и полумеридионалне форме показује позитиван тренд (за прву 0.046 дана/години и за другу 0.408 дана/години, сигнификантност при вероватноћи ризика од 0.05 само у другом случају), док се за меридионалну форму добија негативна вредност линеарног тренда (-0.416 дана/години). За циркулационе типове у оквиру полумеридионалне форме (осим ТМ типа) тренд годишње учесталости је позитиван. Од типова у оквиру меридионалне форме само се за јужни (S) добија позитиван тренд, док је за остале вредност тренда негативног знака.

Анализа трендова годишњих падавинских сума показује позитиван тренд на 6 станица, негативан на 11 станица и за Србију у целини. Позитивне вредности тренда су на северу (Нови Сад 1,074 mm/години, Палић 0,020 mm/години, Сомбор 0,442 mm/години) и југозападу Србије (Призрен 2,484 mm/години и Сјеница 2,491 mm/години, оба сигнификантна при вероватноћи ризика од 0.05). Негативан тренд са највишим вредностима је за станице у источној Србији (Зајечар -1,986 mm/години, Неготин -2.760 mm/години, оба тренда сигнификантна при вероватноћи ризика од 0.05), југ/југоисточној Србији (Врање -1.522 mm/години, сигнификантан за вероватноћу ризика од 0.05, затим Димитровград -0.612 mm/години) и североисточној Србији (Велико Градиште -0.616 mm/години).

Чињеница да је утврђен негативан тренд годишњих падавинских сума на већини станица и то са највећим вредностима на оним станицама на којима је показана најјача позитивна веза са меридионалном формом (која такође бележи негативан тренд у анализираном периоду времена) потврђује значај циркулације атмосфере као фактора варијабилности падавина. Подсећања ради, у ову групу спадају станице са југ/југоистока Србије (кластер R2) за које је показано да се 86% варијабилности падавина може објаснити променама у циркулацији атмосфере.

За станице на југ/југозападу које су показале позитивне трендове падавина добија се и најслабија (позитивна) веза са меридионалном формом, али и релативно ниже вредности коефицијената у односу на остали део Србије у анализама са зоналном и полумеридионалном формом. Уједно ово су и станице где је вишеструка линеарна регресија дала најслабије резултате (вредност коефицијента детерминације од свега 0.29). Уколико пажљивије погледамо карте са слике 6 видећемо да овај део Србије одликује јака позитивна веза меридионалне циркулационе форме и средње годишње облачности. Шта више, трендови средње годишње облачности за ове станице су негативни: Сјеница -0.006/години и Призрен -0.009/години, оба тренда сигнификантна при вероватноћи ризика од 0.05. Ако се подсетимо податка са почетка

овог рада речено је да је за овај део Србије добијена релативно нижа вредност јачине везе између падавина и облачности (премда је веза позитивног знака што отвара нека друга питања). Самим тим остаје да закључимо да се не може говорити о директној вези између падавина и облачности као климатских елемената, али и да за време истих макросиноптичких услова ови климатски елементи попримају различит просторно-временски развој. У прилог овоме говоре и негативне вредности трендова средње годишње облачности за станице на северу Србије (Нови Сад -0.010 /години, Палић $-0,008$ /години и Сомбор -0.010 /години, сигнификантни трендови при вероватноћи ризика од 0.05 у сва три случаја). Занимљивост је да је за станицу Зајечар на којој је утврђен сигнификантан негативан тренд годишњих падавина утврђен сигнификантан позитиван тренд средње годишње облачности (0.005 /години, вероватноћа ризика од 0.05).

О изразитом регионалном аспекту анализираних процеса најбоље говори пример станице Кикинда. Ово је једина станица на северу Србије за коју је добијена негативна вредност линеарног тренда годишњих падавина (-0.624 mm/години). Подсећања ради ово је станица где је добијена вредност корелационог коефицијента од 0.83 у анализама повезаности са учесталошћу меридионалне форме, што је опет значајно више у односу на станице у окружењу. За средњу годишњу облачност Кикинде утврђен је негативан тренд (-0.001 /години).

Закључак

У овом истраживању је показана статистички значајна веза између варијабилности циркулације атмосфере и годишњих сума падавина на територији Србије у периоду 1949-2004. Циркулација атмосфере је представљена Хес-Брезовски типологијом, и у раду су коришћени подаци о учесталости циркулационих форми и типова. Применом одговарајућих статистичких процедура дошло се до следећих резултата:

- За све три циркулационе форме у највећем броју случајева, односно за највећи број станица као и за Србију у целини веза је статистички значајна, негативног знака за зоналну и полумеридионалну форму и позитивног знака за меридионалну форму. Показане су и неравномерности у просторном распореду јачине везе.
- NE, E, SE и S циркулациони типови показују позитивну јаку повезаност са годишњим падавинским сумама Србије у целини. Јака негативна веза добијена је за NW и NM тип, док се осредња негативна повезаност добија за SW тип и W циркулациони тип који је уједно и зонална форма.
- Према резултатима вишеструке линеарне регресије удео циркулације атмосфере у варијанси годишњих сума падавина Србије у целини је 69% , док се код издвојених кластера та вредност креће у интервалу од 29% на југ-југозападу Србије до 86% за станице на југ/југоистоку Србије.
- По знаку везе добијене вредности корелационих коефицијената за учесталост циркулационих форми и типова са средњом годишњом облачношћу прате резултате анализа са падавинама. Међутим, разлике се јављају у висинама коефицијената, односно јачини везе што се најпре уочава на профилима правца север-југ и запад-исток. Уједначене вредности коефицијента у анализама учесталости циркулационих форми са падавинама и са облачношћу јављају само у случају података за Србију у целини (премда је то забележено и у случају неколико станица).
- Падавине и облачност бележе различит просторно-временски развој при истим макросиноптичким условима што потврђује и анализа линеарних

трендова за ове климатске елементе. Такође, може се говорити и о регионалном аспекту наведених процеса.

Резултати овог рада, као и резултати истраживања за територије Мађарске и Румуније и других суседних земаља (Bartholy J., Pongrácz R., 2006; Cazacioc L. V., Cazacioc A., 2006; Domonkos P. et al., 2003), а у којима је такође примењен овај класификациони метод у дефинисању циркулационог фактора, оправдава његову употребу у истраживањима за овај део европског континета. Такође, поменути аутори користе Хес-Брезовски типологију у анализама телеконекција (ENSO, NAO, AO). Све ово говори великој сложености и условљености појава и процеса унутар климатског система, али и да се одређене промене могу пратити анализом одлика атмосферске циркулације. Наставак овог рада сигурно ће за задатак имати сезонски аспект анализираних проблематике.

Литература

- Bartholy, J. and Pongrácz, R. (2006). Regional effects of ENSO in Central/Eastern Europe, *Advances in Geosciences*, 6, 133-137.
- Cazacioc, L.V. and Cazacioc, A. (2006). Impact of the macro-scale atmospheric circulation on snow cover duration in Romania, Proceedings of Annual Scientific Session of National Meteorological Administration/2006, 495-498.
- 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, св. LIII*, Географски факултет, Београд.
- Дуцић, В. и Радовановић М. (2005). Клима Србије, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.
- Gerstengarge, F. W. and Werner, P.C. (2005). Katalog der Grosswetterlagen Europas Nach Paul Hess and Helmuth Brewowsky 1881-2004. Potsdam institute for climate impact research, Offenbach a.M.
- Hess, P. and Brezowsky, H. (1977). Katalog der Grosswetterlagen Europas, Berichte das Deutshen 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.
- Ivanov, S., Svetlitchnyi, A., Matygin, A., Ivus, G., Palamarchuk, J. (2010). Variability in the general atmospheric circulation, precipitation and runoff in Eastern Europe, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 12, EGU2010-93-1
- Јовановић, Г. (2010). Природна варијабилност глобалног климатског система: „Климатски феномени Ел Нињо и Ла Ниња“, Метеорлошко друштво Србије, Београд.
- Jovanovic, G., Reljin, I., Reljin, B. (2008). The influence of Arctic and North Atlantic Oscillation on precipitation regime in Serbia, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 4 (2008) 012025.

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

VLADAN DUCIĆ, JELENA LUKOVIĆ, GORICA STANOJEVIĆ

University of Belgrade-Faculty of Geography, 3/3 Studentski trg, Belgrade, Serbia

Abstract: In this paper we have analyzed the correlation between the atmospheric circulation and annual precipitation in Serbia for period 1949-2004. The data for frequency Hess-Brezowsky circulation forms and types were used as indicators of atmospheric circulation. Statistically significant coefficient of a negative sign is obtained for zonal and half-meridional form and a positive sign for meridional form. The strength of correlation is not uniform in the space. According to the multiple linear regression the contribution of atmospheric circulation in the variability annual precipitation of Serbia is 69%. Also, we analyzed the connection between the atmospheric circulation and the mean annual cloudiness. Comparing the results for this two climate elements we have concluded that they show different time-space development for same macrosynoptic conditions. Also, we can speak about the regional aspects of these processes.

Key words: atmospheric circulation, Hess-Brezowsky typology, precipitation, cloudiness, Serbia

Introduction

The significance of macrosynoptic process for the spatial-temporal distribution of climate elements, along the local factors, is essential for the understanding regional climate characteristics, or the differences. In this regard, it is important to know a relation between the variability of precipitation and change in the atmospheric circulation. The North Atlantic Oscillation is often used as a factor of climate variability on the Northern hemisphere. We also use a method of classification like a way to look at changes in the atmospheric circulation in a given time period. The Hess-Brezowsky typology (Hess P., Brezowsky H., 1977; Gerstengarbe F.W., Werner P., 2005) is one of the most known classification that shows the weather and circulation conditions on the European continent. This classification belongs to the group of subjective methods.

Ivanov S. et al. (2010) pointed out that in region of Eastern Europe the regional changes in the precipitation are in the relationship with changes in the atmospheric circulation at the global level. According to Jovanović G. et al. (2008) there is a dominant influence of the NAO and AO (Arctic Oscillation) phenomenon on precipitation regime in Serbia, especially during the winter seasons, and the Arctic Oscillation have more pronounced effect. Ducić V. and Luković J. (2005) conclude that there is a connection between El Niño Southern Oscillation (ENSO) and changes in rainfall in Serbia for the period 1951-2000., stressing that the connection is made via the general circulation of the atmosphere. Monthly precipitation and temperature anomalies in Hungary during El Niño and La Niña events were found Bartholy J. and Pongrácz R. (2006). Also, these authors suggest that the strongest connection between these phenomena is realized with a time lag of 2-3 months. The same time lag (3 months) was obtained for monthly temperatures in Serbia and ENSO for period 1950-1998. (Jovanović G., 2010).

Bartholy J. and Pongrácz R. (2006) also determined statistically a significant relationship between the atmospheric circulation defined by Hess-Brezowsky typology and ENSO. Cazacioc L. V. and Cazacios A. (2006) have obtained a significant connection between the NAO index and the number of days with snow cover in Romania. The positive phases of this phenomenon leads to less days with snow cover during the winter months, while the negative phase increases the probability of snowy winters. The same authors on

the basis of correlation analysis between the NAO index and the frequency of Hess-Brezowsky synoptic types determined that for the positive phases are typical the western air flow, while the negative phases are associated with the northwestern air flow. Domonkos P. et al. (2003) have obtained the connection between atmospheric circulation represented by this typology and extreme temperature events on the territory South-Central Europe.

The aim of this study is to determine the correlation between the atmospheric circulation which is defined of the Hess-Brezowsky typology and annual precipitation in Serbia for the period 1949-2004.

Data and methods

The data for the frequency (days) of the Hess-Brezowsky circulation forms and types were used as indicators of atmospheric circulation. The last edition of the Hess-Brezowsky catalog (Gerstengarbe F.W., Werner P., 2005) includes a time series of 124 years (1881-2004). This classification distinguishes 29 macrosynoptic situations or Great Weather Positions (Grosswetterlagen or GWL). Although GWL are defined according to geographical location of the action centers and the movement of frontal zone over central Europe, this typology is generally accepted to display characteristics of the atmosphere circulation on the territory of the European continent. This classification uses the distribution of pressure at sea level and geopotential heights of 500 hPa.

The GWL are grouped into the three circulation forms and 10 types (Grosswetterlagen or GWT). The forms and types are commonly used in research on changes in the circulation. One of the main features of this typology is that each GWL must be at least 3 consecutive days. Figure 1 shows the annual frequency of circulation forms (days) for the period 1949-2004., while figure 2 shows the annual relative frequency (%) forms and GWT, also for the period 1949-2004.

Table 1. Circulation forms, circulation types (GWT) and GWL.

Circulation form	GWT	GWL
Zonal	West(W)	WA, WZ, WS, WW
Half-meridional	Southwest (SW)	SWA,SWZ
	Northwest (NW)	NWA, NWZ
	Central European high (HM)	HM, BM
	Central European low (TM)	TM
Meridional	North (N)	NA, NZ, HNA, HNZ, HB, TRM
	Northeast (NE)	NEA, NEZ
	East (E)	HFA, HFZ, HNFA, HNFZ
	Southeast (SE)	SEA, SEZ
	South (S)	SA, SZ, TB, TRW

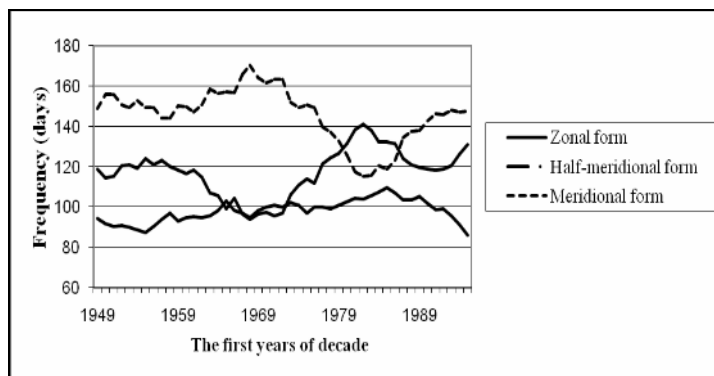


Figure 1. 10-yr running means of frequency (days) of circulation forms, 1949-2004.

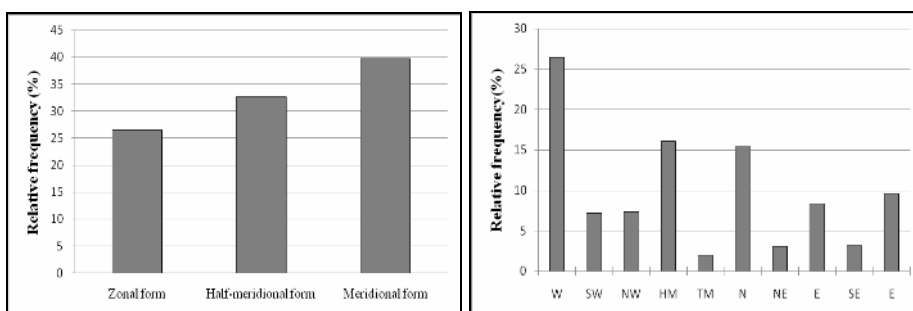


Figure 2. Annual relative frequency (%) of circulation forms (left) and GWT (right), 1949-2004.

For annual precipitation were used the data for 17 stations in Serbia. From these values were obtained the data for Serbia as a whole. The analysis was limited to the period 1949-2004. by the cause of availability the data.

In analysis were used the linear correlation and the data were processed on move decadal level. Also, the research was expanded to the cloudiness. Reasons for data processing for cloudiness resulting from the need to extend to investigates, and so perceive the relationship between these two climatic elements together, and the introduction of circulation factors. Correlation analysis has shown a positive connection between precipitation and cloudiness. The value of Pearson's correlation coefficient is ranged from 0.32 for Novi Sad to 0.69 for Smederevska Palanka. Generally, stations in the north and south/southwest Serbia have shown relatively lower values of coefficients. This could be explained by characteristics of their position.

The data for the frequency of circulation forms and annual precipitation amounts for Serbia as a whole were used in the process the multiple linear regression, and six clusters which were formed by grouping the 17 stations using method "weighted pair group" where the similarity measure is based on the Pearson's correlation coefficient. The data were also processed on a moving decadal level.

The method of linear trend was used in order to considered the changes of the analyzed variables (circulation, precipitation, cloudiness) in the period 1949-2004.

Results

According to the results of linear correlation (table 2) for the frequency of zonal circulation form and the annual precipitation was obtained a negative sign of coefficients in

most of cases (only exception is station Palić with 0.17). Correlation coefficients are significant for 12 stations. The value of Pearson's coefficient is -0.47 for Serbia as a whole. The strongest (negative) correlation was obtained for stations in the south/southeast and eastern Serbia (Vranje -0.61, Dimitrovgrad -0.63, Negotin -0.53 and -0.56 Zaječar). The weakest correlation is in the central parts of Serbia (Beograd -0.04, Smederevska Palanka -0.14, Kragujevac -0.30, Kruševac -0.39) and to the south/southwest (Sjenica -0.03, Prizren -0.33). The relatively high value of correlation coefficients in the north of Serbia (Novi Sad, -0.44, Sombor -0.56, Kikinda -0.57) disturbs the value obtained for the station Palić (0.17). If we exclude the factor of homogeneity of data for this station, one of the options is that north of Palić the correlation between frequency of zonal form and annual precipitation is positive.

Comparing the results for precipitation and for cloudiness (obtained in the analysis with zonal form) we can see the significant differences in the the amount coefficients for some station. The biggest difference is obtained for Belgrade (-0.04 and -0.76), followed by Sjenica (-0.03 and -0.57), Prizren (-0.33 and -0.81) and Veliko Gradište (-0.25 and -0.60). In these examples we can see much more the coefficients for the cloudiness than precipitation. However, stations in the south/southeast and the north of Serbia have more value coefficients in the case of annual precipitation, although not as dramatically as in the mentioned examples and with the exception of Kikinda (Table 2).

Table 2. Correlation coefficients for the frequency of circulation forms with the precipitation (R) and cloudiness (O), 1949-2004. The data for the station Sombor are for period 1950-2004. Bold values are significant at the 0.05 level.

Station	Zonal form		Half-meridional form		Meridional form	
	R	O	R	O	R	O
1. Beograd	-0.04	-0.76	-0.70	-0.58	0.62	0.79
2. Valjevo	-0.42	-0.62	-0.75	-0.32	0.81	0.53
3. Veliko Gradište	-0.25	-0.60	-0.72	-0.63	0.70	0.75
4. Vranje	-0.61	-0.42	-0.65	-0.75	0.77	0.77
5. Dimitrovgrad	-0.63	-0.53	-0.77	-0.68	0.89	0.79
6. Zaječar	-0.56	-0.37	-0.55	-0.43	0.66	0.57
7. Kikinda	-0.57	-0.58	-0.67	-0.72	0.83	0.87
8. Kragujevac	-0.30	-0.11	-0.80	-0.53	0.78	0.47
9. Kruševac	-0.39	-0.47	-0.62	-0.59	0.65	0.65
10. Negotin	-0.53	-0.68	-0.42	-0.62	0.54	0.78
11. Niš	-0.37	-0.36	-0.78	-0.63	0.79	0.64
12. Novi Sad	-0.44	-0.32	-0.11	-0.82	0.36	0.78
13. Palić	0,17	-0.28	-0.73	-0.77	0.55	0.72
14. Prizren	-0.33	-0.81	-0.45	-0.44	0.53	0.69
15. Sjenica	-0,03	-0.57	-0.38	-0.64	0.38	0.75
16. Smed. Palanka	-0,14	0.12	-0.65	-0.32	0.60	0.21
17. Sombor	-0.56	-0.34	-0.42	-0.60	0.62	0.58
Serbia	-0.45	-0.54	-0.77	-0.75	0.83	0.83

In analysis of the frequency of half-meridional form and annual precipitation a negative sign of coefficients was obtained for all stations, while only one station is insignificant (Novi Sad with -0.11). In relation to the zonal form here we were obtained relatively higher values of the correlation coefficients (for 7 stations over the coefficient - 0.70). For Serbia as a whole coefficient is $R -0.77$, and correlation of these two variables can be characterized as a strong negative. The weakest relationship (medium strength) was again found for the south/southwest of Serbia (Sjenica -0.38, Prizren -0.45). The relatively low values were obtained for the stations Zaječar and Negotin (-0.55 and -0.42 respectively). The strongest correlation was found for the central, western, south/southeast and north-eastern part of Serbia. Low value of coefficient for Novi Sad (-0.11) makes this station lonely in relation to the other stations in the region. The cause of this may be required in the quality of data, but also in any local peculiarities of the position this station.

With profiles the directions of north-south and west-east we can see the differences in spatial distribution coefficients for precipitation and for cloudiness on example the frequency of half-meridional form (figure 3). For the first profile (figure 3, left) direction of north-south, the most notable difference in amount of coefficients is for Novi Sad (even drastic -0.11 for precipitation versus -0.82 for cloudiness) and Smederevska Palanka (-0.65 for precipitation versus -0.32 for cloudiness). For the second profile direction of west-east (Valjevo –Smederevska Palanka – Negotin), the intensity of relationship in case of precipitation (cloudiness) decreases (increases) towards the east (figure 3, right).

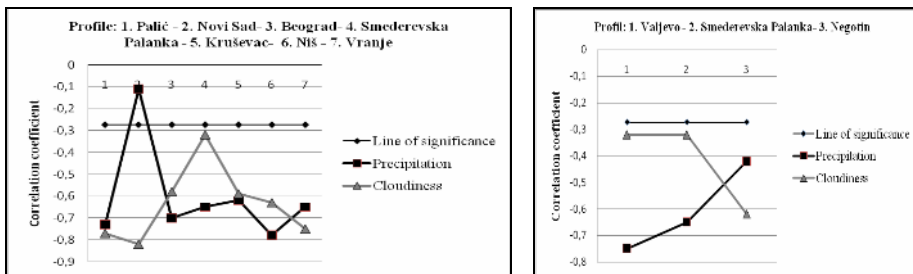


Figure 3. The profiles directions of north-south and west-east on examples correlation coefficients for half-meridional form with precipitation and with cloudiness.

In table 3 are given results for the frequency of circulation types and annual precipitation (mean annual cloudiness) of Serbia as a whole. The most significant results were obtained for the NW type (-0.67 for precipitation and -0.32 for cloudiness) and NM (-0.72 for precipitation and -0.70 for cloudiness) from the all types that belong to half-meridional circulation form.

Table 3. Correlations coefficients for the frequency of circulation forms with the precipitation (R) and cloudiness (O) of Serbia as whole, 1949-2004. Bold values are significant at the 0.05 level.

	W	SW	NW	HM	TM	N	NE	E	SE	S
R Serbia	-0.45	-0.29	-0.67	-0.72	-0.06	-0.02	0.82	0.60	0.67	0.76
O Serbia	-0.54	-0.27	-0.68	-0.70	0.01	-0.07	0.88	0.69	0.62	0.57

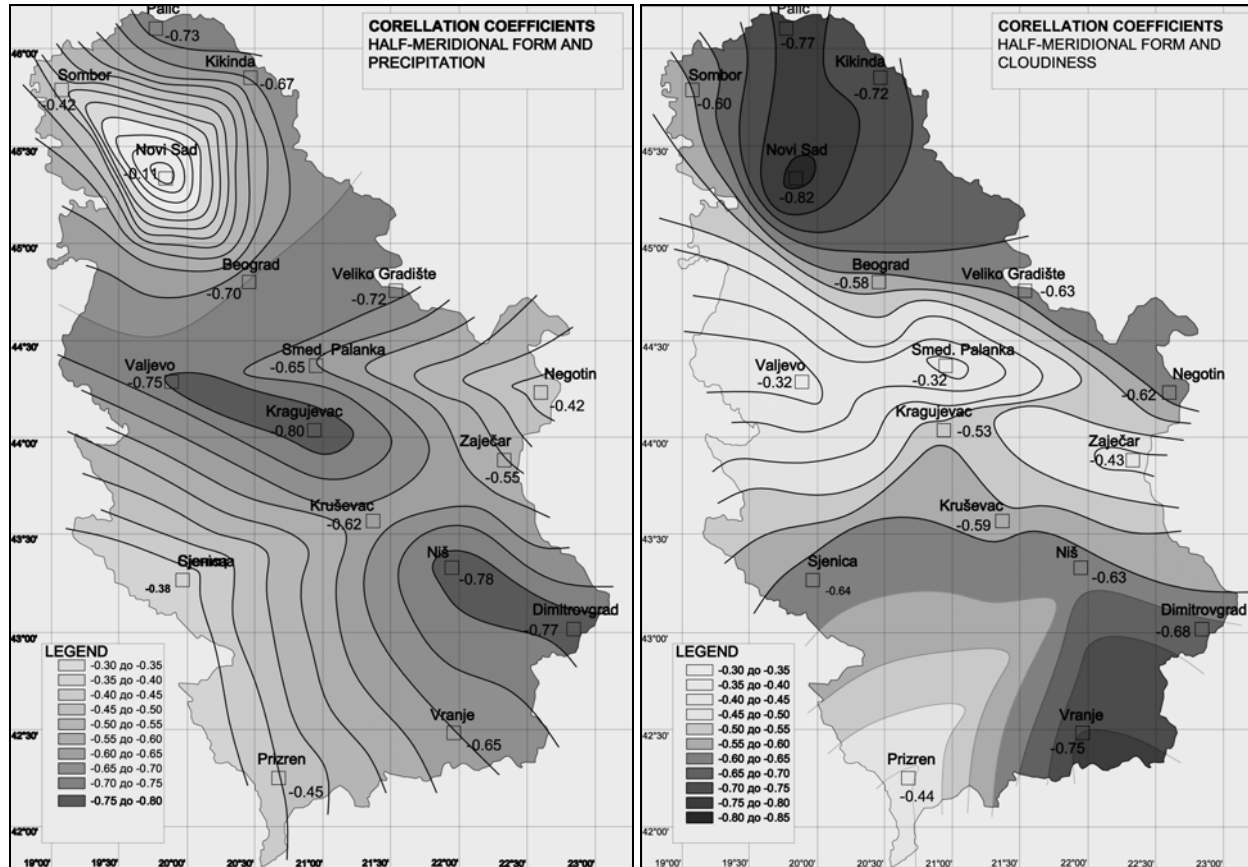


Figure 4. Half-meridional circulation form and annual precipitation (left) and half-meridional circulation form and mean annual cloudiness (right), 1949-2004.

The meridional circulation form is positively related with annual precipitation from 17 stations and for Serbia as a whole. Statistically significant relationship was obtained in all cases. For Serbia as a whole coefficient is 0.83 and correlation of these two variables can be characterized as strong positive. Spatial disposition of the connection strength is similar to half-meridional form, just a positive sign of the connection. Again for Novi Sad was obtained lower, but now statistically significant value (0.36). The largest part of Serbia shows a strong positive relationship with meridional form. The strength of connection declines towards southwest (Sjenica 0.38, Prizren 0.53). The strongest connection was found for the south/southeast (Nis 0.79, Vranje 0.77, Dimitrovgrad 0.89), northeast (Veliko Gradište 0.70, Kikinda 0.83) and the west of Serbia (Valjevo 0.81).

The strong positive correlation with annual precipitation amounts and average annual cloudiness has shown NE, E, SE and S circulation type, while for N type connection insignificant (table 3). All of them belong to meridional circulation form.

The difference in the spatial distribution of intensity correlation for precipitation and for cloudiness again is clearly evident in the profile of the north-south (the most prominent example of Smederevska Palanka, 0.60 for precipitation versus 0.21 for cloudiness), but also the profile of south west-east direction (Figure 5).

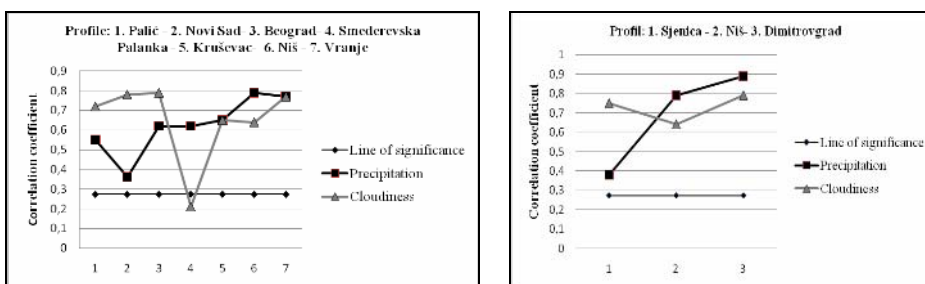


Figure 5. The profiles directions of north-south and west-east on examples correlation coefficients for meridional form with precipitation and with cloudiness.

According to multiple linear regression (table 4) the contribution of atmospheric circulation in the variability of annual precipitation of Serbia as a whole is 69%. The greatest involvement of the variance dependent variable (rainfall) is with half-meridional form (beta coefficients is -1.4), then meridional form (beta coefficients is -0.84) and at least with zonal form (beta coefficients is -0.71). In the case of clusters the highest value of coefficient of determination (0.86) is obtained for the cluster R2 (make it a station on the south/southeast of Serbia: Vranje, Niš, Kruševac, Dimitrovgrad) and the lowest values (0.29) for the cluster R3 (station on the south/southwest: Sjenica and Vranje).

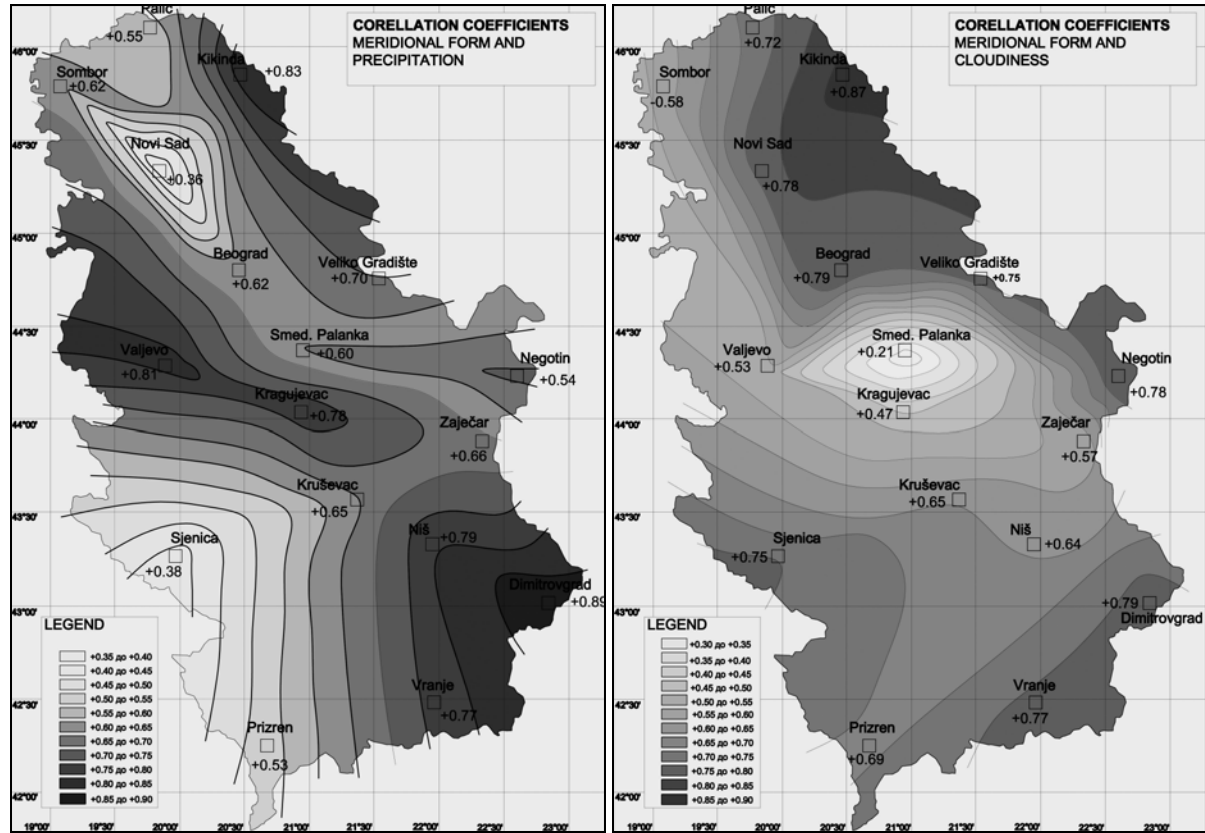


Figure 6. Meridional circulation form and annual precipitation (left) and meridional circulation form and mean annual cloudiness (right), 1949-2004.

While zonal form for all clusters shows the lowest value of beta coefficient, the half-meridional form only in the case of cluster R5 (Veliko Gradište, Valjevo, Smederevska Palanka, Kragujevac) beta coefficient is higher than the values of beta coefficients obtained for meridional form.

Table 4. The results of the multiple linear regression

Depended variable	No. of cases	Adjusted R ²	Beta coefficient		
			Zonal form	Half-meridional form	Meridional form
R Serbia	47	0.69	-0.71	-1.4	-0.84
R1	47	0.67	-2.8	-4.8	-5.3
R2	47	0.86	-2.1	-3.8	-3.8
R3	47	0.29	1.47	2.62	3.68
R4	47	0.66	1.29	1.87	3.16
R5	47	0.57	-0.39	-1.1	-0.49
R6	47	0.65	2.03	3.84	5.30

R1- Zaječar, Negotin; R2- Vranje, Niš, Kruševac, Dimitrovgrad; R3- Sjenica, Prizren; R4- Sombor, Palić; R5- Veliko Gradište, Valjevo, Smederevska Palanka, Kragujevac; R6- Novi Sad, Kikinda, Beograd.

Annual frequency of the zonal and half-meridional forms show a positive linear trend (for the first 0.046 days/year, for the second 0.408 day/year, the significant at the 0.05 level only in the second case), while the meridional form gets a negative value of linear trend (-0.416 days/year) for the period 1949-2004. For circulation types from half-meridional group (except TM type) the trend of annual frequency is positive. For meridional types just south (S) show a positive trend, while for others the values of the trends are a negative sign.

Analysis of trends for annual precipitation shows the positive trend at 6 stations and the negative trends at 11 stations and for Serbia as a whole. Positive values of the trends in the north (Novi Sad 1.074 mm/year, Palić 0.020 mm/year, Sombor 0.442 mm/year) and the southwest of Serbia (Prizren 2.484 mm/year and 2.491 mm/year, both significant at 0.05 level). The negative trends with the highest values for the stations in eastern Serbia (Zaječar -1.986 mm/year, Negotin -2.760 mm/year, both significant at 0.05 level), south/southeast of Serbia (Vranje -1.522 mm/year, significant at 0.05 level, then Dimitrovgrad -0.612 mm/year) and northern part of Serbia (Veliko Gradište -0.616 mm/year).

The fact that the negative trends were established for annual precipitation amount at most of stations and with the greatest value to those stations that showed the strongest positive relationship with meridional form (which also noted a negative trend in the analyzed period of time) confirms the importance of atmospheric circulation as a factors of variability of precipitation. If we remember, this group includes stations with south/southeast of Serbia (cluster R2), which has been shown that 86% rainfall variability can be explained by changes in atmospheric circulation.

For the stations on the south/southwest that have shown positive trends of precipitation we get the weakest (positive) correlation with meridional form, and the relatively lower values in the analysis with the zonal and half-meridional form. At the same time, these are the stations where the multiple linear regression gave the weakest results (coefficient of determination is only 0.29). If we look at the map in figure 6 we can see that this part of Serbia is characterized by a strong positive relationship meridional form and annual mean cloudiness. Moreover, trends in mean annual cloudiness for these stations are

negative: Sjenica $-0.006/\text{year}$ and Prizren $-0.009/\text{year}$, both significant trends in the probability of risk of 0.05. If we remember data from the beginning of this work (chapter data and methods), for this part of Serbia was received relatively lower value of the strength correlation between the precipitation and cloudiness (although the connection is a positive sign which opens up another question). Therefore it remains to conclude that we not talk about the direct relationship between precipitation and cloudiness as the climate elements, but also during the same macrosynoptic conditions these elements take on different space-time development. In addition to this, the negative trend of mean annual cloudiness is for the stations in northern Serbia (Novi Sad $-0.010/\text{godini}$, Palić $-0.008/\text{year}$ and Sombor $-0.010/\text{year}$, significant at 0.05 level in all three cases). Also interesting is station Zaječar where is a significant negative trend of annual precipitation and a positive trend in annual mean cloudiness ($0.005/\text{year}$, significant at 0.05 level).

The regional aspect of the analyzed processes is illustrated by example stations Kikinda on the best way. This is the only station in the north of Serbia for which obtained a negative value of linear trend of annual precipitation ($-0.624 \text{ mm}/\text{year}$). This is a station where was obtained the value of correlation coefficient of 0.83 in connection with the frequency of the meridional form, which is still significantly higher compared to the stations in the region. For the mean annual cloudiness of the station Kikinda was obtained a negative trend ($-0.001/\text{year}$).

Conclusion

In this study was obtained a statistically significant correlation between the variability of atmospheric circulation and annual amount of precipitation on the territory of Serbia in the period 1949-2004. The circulation of the atmosphere is represented by Hess-Brezowsky typology, and the paper used data for the frequency of the circulation forms and types. By using appropriate statistical procedures were obtained following results:

- In most of cases and for all three circulating forms the correlation is statistically significant, a negative sign for the zonal and half-meridional form and a positive sign for meridional circulation form. It is shown the imbalances in the spatial distribution power connection. The strength of correlation is not uniform in space.
- NE, E, SE and S circulation types show a strong positive correlation with the annual precipitation amounts of Serbia as a whole. The strong negative relationship was obtained for the NW and HM type, while the moderate negative correlation obtained for the SW type and W circulation type.
- According to multiple linear regression (table 4) the contribution of atmospheric circulation in the variability of annual precipitation of Serbia as a whole is 69%. For clusters that values is in the range of 29% in the south/southwest of Serbia to 86% for stations on the south/southeast Serbia.
- The sign of correlation for the frequency of circulation forms and types with the mean annual cloudiness is the same as for precipitation, but the differences occur in values of coefficients, what is the most evident on the profiles directions of north-south and west-east. The uniform coefficients in the analysis of the frequency of circulation forms with precipitation and clouds occur only in case the data for Serbia as a whole (although it is recorded in the case a few station).
- The precipitation and cloudiness recorded different spatial-temporal development for the same macrosynoptic conditions. That confirms the analysis of linear trends for these climatic elements. Also, we can speak about the regional aspect of this process.

The results of this work, as well as the results for the territory of Hungary and Romania and other neighboring countries (Bartholy J., Pongrácz R., 2006; Cazacioc L.V., Cazacios A., 2006; Domonkos P. et al., 2003), in which also applied this classification method to define circulation factors justifying its use in research for this part of the European continent. Also, this authors use the Hess-Brezowsky typology in analysis teleconnections (ENSO, NAO, AO). We can conclude that there is great complexity and conditionality of phenomena and processes within the climate system, but that the certain changes may to follow by the analysis of characteristics of atmospheric circulation. Like a task, the continuation of this work will certainly have a seasonal aspect of the analyzed problems.

References

See References on page 96

