

911.2:521.11 „1891/2004“

ПОВЕЗАНОСТ СУНЧЕВЕ АКТИВНОСТИ И ЦИРКУЛАЦИЈЕ АТМОСФЕРЕ У ПЕРИОДУ 1891-2004

Бошко Миловановић^{1*}, Милан Радовановић*

*Географски институт „Јован Цвијић“, САНУ, Београд

Извод: У раду је на годишњем и покретном декадном нивоу испитана повезаност између показатеља Сунчеве активности (коришћено шест „традиционалних“ параметара) и циркулације атмосфере (по Вангенгајм – Гирс типологији). Коефицијенти корелације на годишњем нивоу се крећу 0,017-0,328 и у појединим комбинацијама показују статистичку значајност. На покретном декадном нивоу вредности коефицијента корелације расту, при чему се статистички значајне крећу од 0,271-0,727. Применом вишеструке линеарне регресије на покретном декадном нивоу захвата се приближно од 57-82% варијансе критеријумских варијабли. Због високе редундансе показатеља Сунчеве активности, за одређивање значаја сваког од предиктора је искоришћена „гребенаста“, риц регресија (ridge regression).

Кључне речи: Сунчева активност, циркулација атмосфере, Вангенгајм – Гирс типологија

Увод

Истраживања која се односе на повезаност Сунчеве активности и колебања климе на Земљи имају врло дугу историју. Benestad (2006) наводи да неки од првих налаза датирају још из друге половине 17. века. Исти аутор наводи да је Чејмберс (Chambers) још 1875. године уочио приближно подударање између ваздушног притиска у Бомбају и броја Сунчевих пега. Ипак, до данашњег дана није пронађен неспоран и потпуни механизам којим би се објаснио утицај Сунчеве активности на климу Земље, односно поједине компоненте климатског система (Gray et al, 2005). С обзиром на то да „динамика атмосферске циркулације игра важну улогу у просторној дистрибуцији атмосферског одговора на варијабилност Сунчеве активности“ (Friis-Christensen, Svensmark 1997), чини се да би откривање повезаности Сунчеве активности са показатељима атмосферске циркулације било значајна „карика“ у истраживању савремених колебања климе. Навешћемо само неке од радова који указују на значај атмосферске циркулације и њен

¹ e-mail: b.milovanovic@gi.sanu.ac.rs

утицај на флукуације појединих климатских елемената, како на глобалном (Thompson, Wallace 2000, Wallace 2000), тако и на регионалном нивоу - нпр. простор Европе (Hurrell, van Loon 1997; Slonosky et al, 2001) или централне и јужне, односно југоисточне Европе (Domonkos et al, 2003).

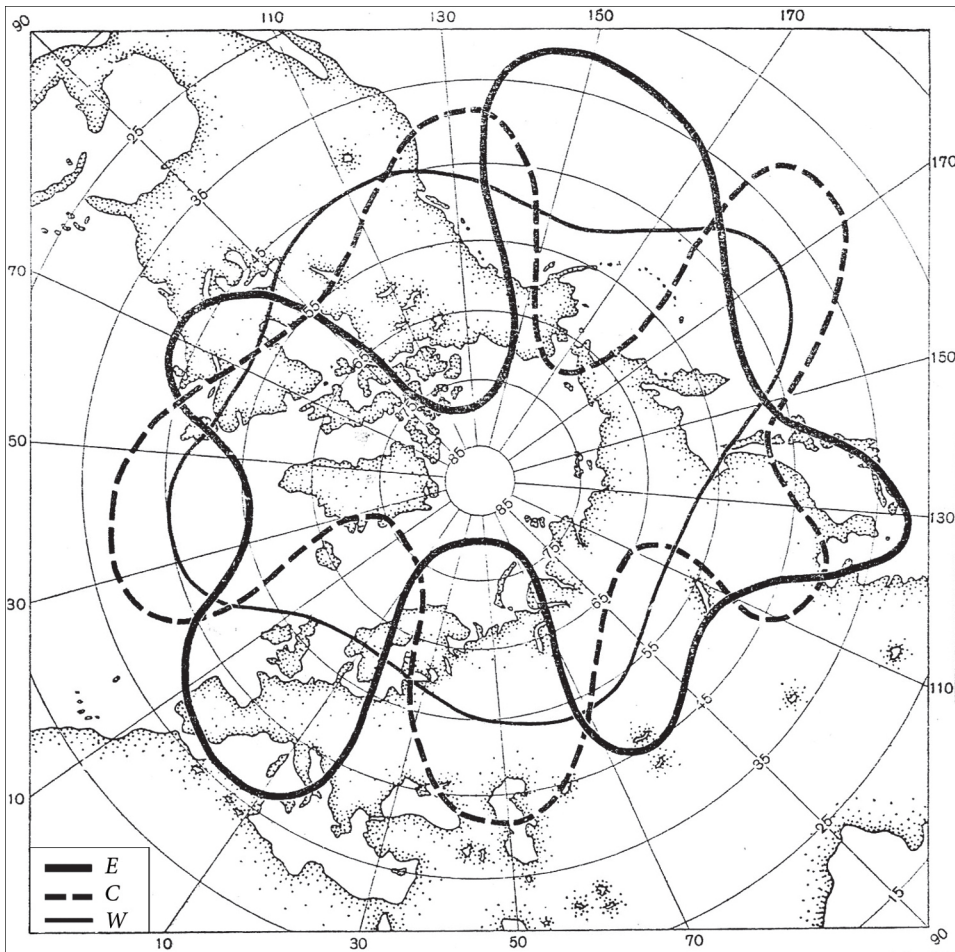
Veretenenko et al, (2005) уочавају подударање промена интензитета Сунчеве и геомагнетне активности са променама интензитета притиска у северном Атлантику. Они наводе: „Слабљење процеса циклогенезе (раст притиска) у северном Атлантику, чини се да коинцидира са порастом Соларне и геомагнетне активности, док је јачање циклогенетских процеса (пад притиска) уочено у току периода слабљења интензитета Сунчевих пега“. Поменути аутори (2005, цитирајући Labitzke, Van Loon 1998) наводе: „Чини се да постоји утицај Сунчеве активности на развој циклона на декадном нивоу“.

Коришћени подаци и методи

Постоји мноштво показатеља Сунчеве активности који се користе у савременим проучавањима односа између Сунца и компоненти климатског система. У раду су искоришћени „традиционални“ показатељи Сунчеве активности, односно они за које постоје осматрања барем од 19.-ог и за читав 20. век (или макар његов већи део). Као показатељи циркулације атмосфере су искоришћене зонална, источна и меридионална форма (ознаке W, E и C) по Вангенгајм-Гирс типологији. Ова типологија је одабрана зато што „покрива“ атлантско-евроазијски део северне хемисфере и има довољно дугачак низ података (период 1891-2004). Према Гирс (1960), Przybylak (2000), Ефимова (2003), свака од наведених форми је дефинисана географским положајем атмосферских долина и гребена (скица 1).

Подаци су анализирани на годишњем и покретном декадном нивоу. Уравнавању низова се приступило да би се избегле међугодишње варијације климе које би могле бити узроковане неким другим (условно говорећи спољашњим) климатским факторима нпр. вулканске ерупције, космичко зрачење (Радовановић, Gomes, 2008) или променама у оквиру самог система (нпр. појава Ел Ниња).

Иако се оваквим приступом смањује број случајева и варијабилност низова, што свакако утиче на квалитет и информативност, или прецизније говорећи смањену информативност добијених резултата (Pittock 1978, 1979), на овакав приступ смо се одлучили да би „изоливали“ однос Сунце – циркулација



Слика 1. Географска позиција гребена и долина на висини од 500 mb за време W, E и C форме (према Гирс 1960)

атмосфере. Списак коришћених варијабли, као и основне информације о њима дати су у табели 1.

За испитивање повезаности (на годишњем и покретном декадном нивоу) између сваког од показатеља Сунчеве активности и сваке од форми циркулације атмосфере су коришћене параметарска и непараметарска корелација. За испитивање повезаности између приказаних показатеља Сунчеве активности и сваке од Вангенгајм-Гирс форми је примењена вишеструка линеарна регресија (у овој фази рада није употребљен ни један

Табела 1. Списак варијабли коришћених у раду

Назив варијабле/ скраћени назив	Извор са кога су преузети подаци	Период и број чланова низа
Индекс магнетне активности / ААиндекс	http://www.gao.spb.ru/database/esai/aa_mod.txt ; ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/	1891-2004. <i>n</i> =114
Број поларних факула на Сунцу / ПолФак	http://www.gao.spb.ru/database/esai/yr_pfm.txt	1891-1999. <i>n</i> =109
Сунчеве пеге / СС	ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/YEARLY	1891-2004. <i>n</i> =114
Број група Сунчевих пега / ССГН	ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/	1891-1995. <i>n</i> =105
Површине под сунчевим пегама / ПовршинеСС	http://www.gao.spb.ru/database/esai/yr_aro_long.txt	1891-2004. <i>n</i> =114
Соларна радијација / СолРад	ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/	1891-2000. <i>n</i> =110
Зонална форма по Вангенгајм-Гирс типологији / W	Лична преписка са господином Дмитријем Киктевим – Хидрометеоролошки центар Русије, Москва	1891-2004. <i>n</i> =114
Источна форма по Вангенгајм-Гирс типологији / E	Лична преписка са господином Дмитријем Киктевим – Хидрометеоролошки центар Русије, Москва	1891-2004. <i>n</i> =114
Меридионална форма по Вангенгајм-Гирс типологији / S	Лична преписка са господином Дмитријем Киктевим – Хидрометеоролошки центар Русије, Москва	1891-2004. <i>n</i> =114

од „лекова“ за редунасансу које наводе Cohen et al, 2003). У циљу оцењивања значаја сваког од предиктора, а с обзиром на то да при коришћењу вишеструке линеарне регресије ниска толеранција предиктора (табеле 2, 5-7) може представљати озбиљан проблем у оцењивању бета коефицијената, за њихово боље оцењивање, односно за одстрањивање вишеструких преклапања је примењена „гребенаста“, односно риџ регресија (ridge regression). Поменуће процедуре статистичке анализе су урађене у програмским пакетима Statistica 6.0 и SPSS 14.0.

Табела 2. Матрица корелација показатеља Сунчеве активности на годишњем и покретном декадном нивоу

<i>Годишње вредности</i>						
	ААиндекс	ПолФак	СС	ССГН	ПовршинеСС	СолРаг
ААиндекс	1	-0,259	0,589	0,576	0,574	0,550
ПолФак	-0,259	1	-0,657	-0,672	-0,659	-0,653
СС	0,589	-0,657	1	0,995	0,989	0,958
ССГН	0,576	-0,672	0,995	1	0,990	0,967
ПовршинеСС	0,574	-0,659	0,989	0,990	1	0,936
СолРад	0,550	-0,653	0,958	0,967	0,936	1
<i>Покретне декадне вредности</i>						
	ААиндекс	ПолФак*	СС	ССГН	ПовршинеСС	СолРаг
ААиндекс	1	-0,071	0,938	0,962	0,937	0,947
ПолФак	-0,071	1	0,079	0,035	0,071	-0,046
СС	0,938	0,079	1	0,990	0,979	0,957
ССГН	0,962	0,035	0,990	1	0,980	0,968
ПовршинеСС	0,937	0,071	0,979	0,980	1	0,921
СолРаг	0,947	-0,046	0,957	0,968	0,921	1

* Осим поларних факула за покретне декадне вредности, сви приказани коефицијенти су сигнификантни на $\alpha \leq 0,01$

Резултати

Када се посматра однос параметара Сунчеве активности и показатеља циркулације атмосфере на годишњем нивоу, корелације само у појединим случајевима показују статистичку значајност (табела 3). Највиши коефицијенти корелације су између АА индекса и зоналне, односно источне форме по Вангенгајм-Гирс типологији. Међутим, и тада се корелације крећу у класи „слабих“ – $r_{\max} \approx 0,3$ (White, Korotayev, 2004), док меридионална форма ни са једним од показатеља Сунчеве активности не показује статистички значајну корелацију.

За корелације покретних декадних вредности, због нарушености дистрибуција појединих варијабли, коришћена је непараметарска корелација (Спирманово ρ). Вредности коефицијента корелације за W и E форму расту и осим за поларне факуле на Сунцу, крећу се у класи јаких, односно веома јаких према поменутој класификацији (White, Korotayev, 2004). Изузетак представља С форма која високо корелира једино са бројем поларних факула на Сунцу (табела 4).

Табела 3. Коефицијенти корелације између показатеља Сунчеве активности и показатеља циркулације атмосфере на годишњем нивоу*.

Показатељи Сунчеве активности	Показатељи атмосферске циркулације		
	W	E	C
ААиндекс	-0.328(**)	0.324(**)	-0.082
ПолФак	0.043	-0.142	0.187
СС	-0.202(*)	0.183	-0.021
ССГН	-0.213(*)	0.182	-0.006
ПовршинеСС	-0.166	0.150	-0.017
СолРад	-0.170	.197(*)	-0.093

Ознаке у заградама означавају статистичку значајност на нивоу поверења од 95% (), односно 99% (**)

Применом вишеструке линеарне регресије на годишње вредности захвата се низак проценат варијансе критеријумских варијабли. Прилагођено R^2 се креће од 0,13 за W форму, преко 0,12 за E форму, до 0,06 за меридионално струјање, односно C форму. Међутим, када се посматрају покретне декадне вредности (према Stevens, 2002, остаје довољан број случајева за анализу), овим поступком се захвата знатно већи проценат варијансе критеријумских варијабли (табеле 5-7). Потребно је нагласити да је у примени овог поступка тражена комбинација што мањег броја предиктора, а да се при томе не изгуби много од R^2 .

Табела 4. Коефицијенти корелације између показатеља Сунчеве активности* и показатеља циркулације атмосфере на покретном декадном нивоу

Показатељи Сунчеве активности	Показатељи атмосферске циркулације		
	W	E	C
ААиндекс	-0,655	0,682	-0,113
ПолФак	0,271	-0,438	0,571
СС	-0,694	0,660	0,002
ССГН	-0,692	0,682	-0,081
ПовршинеСС	-0,651	0,614	0,24
СолРад	-0,712	0,727	-0,145

* Вредности приказане подебљаним словима показују статистичку значајност на нивоу поверења од 99%

Табела 5. Основни резултати примене вишеструке линеарне регресије за W форму

Показатељи Сунчеве активности	W форма					
	Бета коэффициент	Толеранција	Парцијално R	Прилагођено R ²	F статистик	Ниво значајности модела
ААиндекс						
ПолФак	0,25394	0,682911	0,458987	0,8257	90,08047	0,000000
СС	-2,84581	0,014813	-0,648835			
ССГН	-2,21025	0,008574	-0,449953			
ПовршинеСС	3,30308	0,014717	0,702279			
СолРад	1,09988	0,050225	0,518785			

Према резултатима приказаним у табелама 5-7, применом вишеструке линеарне регресије, укупна захваћеност варијансе зоналне циркулације (W форма по Вангенгајм – Гирс типологији) износи око 82% (прилагођено $R^2=0,825$), односно око 82,5% укупних промена у овом типу циркулације би се могло повезати са променама у Сунчевој активности. Најзначајнији предиктори су број Сунчевих пега и површине под њима.

Табела 6. Основни резултати примене вишеструке линеарне регресије за E форму

Показатељи Сунчеве активности	E форма					
	Бета коэффициент	Толеранција	Парцијално R	Прилагођено R ²	F статистик	Ниво значајности модела
ААиндекс						
ПолФак	-0,38578	0,683395	-0,598625	0,8097	101,0484	0,000000
СС	1,17587	0,015267	0,322291			
ССГН	1,63040	0,015726	0,432070			
ПовршинеСС	-2,18484	0,020882	-0,594752			
СолРад						

Када се за критеријумску варијаблу одабере E форма по Вангенгајм – Гирс типологији, вишеструком линеарном регресијом се захвата око 81% варијансе ($R^2=0,809$). Најзначајнији предиктори су површине под Сунчевим пегама и број група Сунчевих пега.

Табела 7. Основни резултати примене вишеструке линеарне регресије за С форму

Показатељи Сунчеве активности	С форма					
	Бета коэффициент	Толеранција	Парцијално R	Прилагођено R ²	F статистик	Ниво значајности модела
AAиндекс				0,5727	33,84590	0,000000
ПолФак	0,33729	0,835399	0,433885			
СС	2,77841	0,016675	0,488912			
ССГН						
ПовршинеСС	-1,12000	0,023475	-0,258924			
СолРад	-1,76998	0,096305	-0,651187			

Најмањи проценат варијансе је захваћен када се за критеријумску варијаблу одабере меридионално струјање атмосфере (С форма по Вангенгајм-Гирс типологији). Око 57% промена (прилагођено $R^2=0,572$) у овом типу циркулације се може повезати са променама у Сунчевој активности, при чему су најзначајнији број Сунчевих пега и Соларна радијација.

Налаз о повезаности Сунчеве активности и промена у циркулацији атмосфере свакако није нов. Гирс (1960) издвајајући циркулационе епохе (у оквиру Вангенгајм-Гирс типологије) и анализирајући узроке промена атмосферске циркулације наводи следеће: „Са сменом епоха атмосферске циркулације долази до суштинских промена у клими северне хемисфере и низа карактеристика хидросфере. Објашњење настанка различитих циркулационих епоха је неопходно тражити у узајамном дејству унутрашњих и спољашњих климатских фактора. Када се говори о спољашњим климатским факторима, ту пре свега треба указати на Сунчеву активност која је, као што је познато, дефинисана укупношћу физичких процеса на Сунцу, који су представљени Сунчевим пегамма, гранулама, факулама, проутуберанцама, као и коронарним формама“. Исти аутор наводи да при порасту Волфовог броја (у току 80-90 годишњег циклуса) долази до развоја Е и С форми, док коефицијент корелације са W типом износи -0,82, али упозорава да с обзиром на сложеност климатског система, слагање кривих Сунчеве активности и различитих типова циркулације не треба схватати као непосредну и пуну зависност циркулације атмосфере од Сунчеве активности.

Применом риц регресије смо покушали да идентификујемо показатеље Сунчеве активности који су у највећој мери повезани са циркулацијом атмосфере (табела 8).

Табела 8. Најзначајни предиктори за W, E и C форму циркулације атмосфере*

Критеријумска варијабла	Риц регресија	Вишеструка линеарна регресија
W	Број Сунчевих пега	Површине под Сунчевим пегама
	Поларне факуле	Број Сунчевих пега
E	Поларне факуле	Површине СС
	Број група Сунчевих пега	Број група Сунчевих пега
	Број Сунчевих пега	Број Сунчевих пега
C	Соларна радијација	Број Сунчевих пега
	Поларне факуле	Соларна радијација
	Број Сунчевих пега	Површине под Сунчевим пегама

* Редослед варијабли у табели 8 је дат хијерархијски. „Поклапање“ по редоследу значајности је обележено подебљаним словима

На основу резултата примене риц регресије из табеле 8, може се закључити да су за W форму најзначајнији број Сунчевих пега и број поларних факула. За E форму су то поларне факуле, број група Сунчевих пега и број Сунчевих пега, а за C форму Соларна радијација, поларне факуле и број Сунчевих пега. Међутим, у истој табели се може уочити да су риц регресијом и вишеструком линеарном регресијом издвојени различити парови, односно триплети предиктора, а да само у случају E форме делом постоји подударане у хијерархији предиктора. Овакав резултат указује пре свега на опрез у тумачењу добијених резултата и следствено томе разматрању теоријских поставки на којима је базиран поменути однос.

У свом „прегледу“ односа Сунце-клима Friis-Christensen, Svensmark (1997) сугеришу да поред непостојања неспорног физичког механизма који би га објаснио, значајан недостатак у овом пољу истраживања представља одсуство идентификације Сунчевих параметара који „управљају“ овом везом. Radovanovic et al, (2003), Radovanovic et al, (2005) дају назнаке да Сунчев ветар продире ка нижим слојевима атмосфере, при чему долази до хидродинамичког захватања ваздушних маса. Radovanovic, Milovanovic (2009), на основу анализе појаве циркулационих кретања ваздушних маса указују на постојање чврсте статистичке везе између процеса на Сунцу и кретања у атмосфери.

Закључак

Испитивањем односа између Сунчеве активности и циркулације атмосфере на различитим временским скалама дошло се до закључка да између њих постоји повезаност. Иако на годишњем нивоу везе у појединим комбинацијама показују статистичку значајност, њихов практични значај је мали ($R^2 \approx 0,1$). Међутим, када се због „изоловања“ везе користе покретне декадне вредности, коефицијент корелације расте и креће се за W и E форму у класи јаких или веома јаких (изузетак за поменуте форме представља корелација са поларним факулама), док С форма показује јаку корелацију са бројем поларних факула на Сунцу. Да би се проверио однос између Сунчеве активности представљене свим показатељима којима смо располагали и циркулације атмосфере искоришћена је вишеструка линеарна регресија. Вредности R^2 се крећу од 0,572-0,825, Због проблема високе редундантности показатеља Сунчеве активности, а у циљу оцењивања значаја сваког од предиктора, искоришћена је риц регресија. Показало се да су за W форму циркулације атмосфере најзначајнији предиктори број Сунчевих пега и број поларних факула на сунцу, за E форму број поларних факула на Сунцу, број група Сунчевих пега и број Сунчевих пега, а за С форму Соларна радијација, поларне факуле и број Сунчевих пега. Међутим, добијени резултати указују на неопходност даљег истраживања које би укључило и друге показатеље Сунчеве активности и теоријске поставке поменутог односа (Lockwood et al, 1999; Radovanovic et al, 2003; Радовановић, Gomes 2008), а такође и на унапређење методолошког приступа у оваквој врсти истраживања које би се огледало пре свега у примени додатних процедура у анализирању података и међусобном упоређивању добијених резултата.

*Раd је деo истраживања у оквиру
пројекта 146011 финансираног од
стране Министарства за науку
Републике Србије*

Литература

- Benestad E. R. (2006): *Solar Activity and Earth's Climate*. Second edition. Chichester, Springer-Praxis.
- Cohen J, Cohen C, West G.S, Aiken S.L. (2003): *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis in the Behavioral Sciences*. Third edition. Lawrence Erlbaum Associates. Available from: <http://books.google.com/books?id=fuq94a8C0ioC&pg> [Accessed 12 February 2009].
- Ефимова, Ю. В. (2003): *Условия возникновения сильных невыхских наводнений*. Диссертация на соискание ученой степени кандидат географических наук, Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
- Friis-Christensen E, Svensmark H. (1997): What do we really know about the Sun – Climate connection? *Advances in Space Research* 20, pp. 913-921.
- Гирс А. А. (1960): О причинах и проявления многолетних колебания циркуляции атмосферы. *Известия Академии Наук СССР – серия географическая* 6.
- Gomes J.F.P, Radovanovic M. (2008): Solar activity as a possible cause of large forest fires — A case study: Analysis of the Portuguese forest fires. *Science of the total environment*, Volume 394, Number 1, p. 197 – 205, doi:10.1016/j.scitotenv.2008.01.040, ISSN 0048-9697.
- Gray L. J, Haigh J. D, Harrison R. G. (2005): *The Influence of Solar Changes on Earth's Climate - Hadley Centre technical note 62*. Exeter-Devon, Met office.
- Hurrell J. M, van Loon H. (1997): Decadal Variations in Climate Associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change* 36. pp 301–326.
- Labitzke K, van Loon H. (1998): Association between the 11-yr Solar Cycle, the QBO, and the Atmosphere. Part III: Aspects of the association. *Journal of Climate* 2, pp. 554-565.
- Lockwood M, Stamper R, Wild N. M. (1999): A doubling of the Sun's coronal magnetic field during the past 100 years. *Nature*, vol. 399, p. 437-439.
- Pittock A. B. (1978): A critical look at long-term sun-weather relationships. *Reviews of Geophysics and Space Physics* 16, pp. 400-420.
- Pittock A. B. (1979): Solar cycles and the weather: successful experiments in autosuggestion? In "Solar-terrestrial influences on weather and climate" (B. M. McCormac, and

T. A. Seliga, Eds), pp. 181-192. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.

Przybylak R. (2000): Diurnal temperature range in the Arctic and its relation to hemispheric and Arctic circulation patterns. *Int. J. Climatol.* 20, pp 231–253

Радовановић М, Стеванчевић М, Штрбац Д. (2003): Прилог проучавању утицаја енергије сунчевог ветра на атмосферске процесе (A contribution to the study of the influence of the energy of solar wind upon the atmospheric processes). Зборник радова, Географски институт “Јован Цвијић” САНУ, бр. 52, Београд, р. 1 - 18.

Радовановић М, Gomes J. F. P. (2008): Сунчева активност и шумски пожари (Solar activity and forest fires). Посебна издања Географског института Јован Цвијић САНУ, књ. 71, Београд.

Radovanovic M, Lukic V, Todorovic N. 2005. Heliocentric electromagnetic long-term weather forecast and its applicable significance. Зборник радова Географског института (Collection of papers Geographical institute “Jovan Cvijic” SASA), Belgrade, p. 5-18.

Radovanovic M, Milovanovic B. (2009): Heliocentric hypothesis of origin of cyclones, Collection of papers Geographical institute “Jovan Cvijic” SASA, 61, Belgrade (in press)

Reid G. C. (1999): Solar variability and its implications for the human environment. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics* 50, pp. 3-14.

Slonosky V. C, Jones P. D, Davies V. C. (2001): Atmospheric circulation and surface temperature in Europe since 18th century to 1995. *Int. J. Climatol.* 21, pp. 63–75.

Stevens, J. (2002). *Applied multivariate statistics for the social sciences* (4th ed.). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Thompson W. J. D, Wallace J. M. (2000): Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-to-Month Variability. *Journal of Climate* 13, pp. 1000-1016.

Veretenenko S. V, Dergachev V. A, Dmitriev P. B. (2005): Long-term variations of the surface pressure in the North Atlantic and possible association with solar activity and galactic cosmic rays. *Advances in Space Research* 35, pp. 484–490.

Wallace J. M. (2000): North Atlantic Oscillation/annular mode: Two paradigms-one phenomenon. *Q.J. R. Meteorol. Soc.* 126, pp. 791-805.

White D, Korotayev A. (2004): *Statistical Analysis of Cross-Tab* – Chapter 5. Available from: <http://eclectic.ss.uci.edu/~drwhite/xc/!XC-BK5.pdf> [Accessed 20 June 2008].