

Оригинални научни рад
Владан Дуцић*
Горан Трбић**
Јелена Луковић***

ПРОМЕНЕ ТЕМПЕРАТУРЕ ВАЗДУХА У РЕПУБЛИЦИ СРПСКОЈ У ПЕРИОДУ САТЕЛИТСКИХ ОСМАТРАЊА И МОГУЋИ ВУЛКАНСКИ УТИЦАЈ

Извод: У раду су разматране промене температуре ваздуха у Републици Српској за период од 1979. до 2005, на основу сателитских осматрања. Регистрован је несигнификантан пораст од 0,21°C по декади. Подударање периода ниских вредности температуре и вулканских ерупција као и коефицијент корелације указују на очигледну везу између промена вулканског аеросола и температуре ваздуха у Републици Српској.

Кључне речи: температура ваздуха, сателитска осматрања, вулкански аеросол, Република Српска.

Abstract: Satellite observation of temperature changes in Republic Srpska in the period 1979.-2005. are investigated in this paper. Insignificant increase of 0, 21°C per decade is noticed. There is agreement between temperature low values and volcanic eruptions as well as correlation coefficient which refers to obvious relation between volcanic aerosol and air temperature of Republic Srpska.

Key words: air temperature, satellite observation, volcanic aerosol, Republic Srpska.

* Др Владан Дуцић, ванр. проф. Географског факултета Универзитета у Београду.

** Др Горан Трбић, доцент, Природноматематички факултет Универзитета у Бањој Луци.

*** Јелена Луковић, дипл. географ, стипенд. Министарства науке и заштите животне средине Србије.

Увод

Савремена колебања климе последњих деценија су веома актуелна тема у светској научној и популарној литератури. Много је радова и студија које имају за циљ да утврде у којој су мери та колебања у вези са евентуалним антропогеним утицајима односно природним-спољашњим и унутрашњим климатским факторима.

У овом раду покушали смо да истражимо савремене промене температуре ваздуха у Републици Српској на основу сателитских података. Такође нам је била намера и да покушамо да утврдимо који климатски фактори доминирају у годишњим променама температуре на овом простору.

База података и методологија истраживања

У раду су коришћени подаци сателитских осматрања промена температуре ваздуха за период од 1979. до 2005. за простор између 42,5-45°N и 15-20°E у коме се налази Босна и Херцеговина, односно Република Српска. Сателитски подаци NASA су обрађени на Универзитету Алабама у Хантсвилу, и доступни су на интернету¹. Ови подаци се за разлику од приземних на GHCN², односе на слој тропосфере у првих 8km висине. Просторно покривају готово целу планету и доступни су као "гридови" (сегменти) од по 2,5° географске ширине и географске дужине (Christy и др., 2000).

Први вештачки сателит лансиран је 1957. године, а прва метеоролошка сателитска осматрања обављена су 1960. Ипак, континуирана мерења остварују се од 1979. године за целу планету. Важно је поменути да су 2005. извршене одређене корекције сателитских података, те су вредности промене температуре ваздуха на планети нешто више него што су то показивала ранија мерења³. Сателитска осматрања температуре ваздуха на планети се, дакле, данас могу сматрати поузданим.

Са друге стране, приземна мерења имају својих објективних слабости. Не покривају цео истраживани простор, него само поједине тачке, где се налазе метеоролошке станице. Па и у тим "тачкама" је често присутна појава урбаног острва топлоте, због чега су вредности температуре ваздуха више него у околини. Тако се ствара лажна слика виших вредности температуре на ширем простору.

Предности сателитских осматрања за већински брдско-планински простор као што је Република Српска, су у томе што се температура ваздуха мери у првих 8km тропосфере, док су метеоролошке станице већином распоређене у котлинама и долинама река, где се налазе насеља.

Имајући у виду све изнето, определили смо се за сателитска осматрања температуре ваздуха као најпримеренији метод за истраживање

¹ <http://www.co2science.org/scripts/CO2ScienceB2C/data/temperatures/msu.jsp>

² GHCN-Global Historical Climate Network-Глобална мрежа климатолошких станица

³ <http://vortex.nsstc.uah.edu/>

савремених колебања температуре на овако хетерогеном простору каква је територија Републике Српске.

Изворни подаци за одступање температуре у односу на референтни период су дати у табели 1. Ради прецизнијег сагледавања промена температуре ваздуха, извршени су прорачуни линераног тренда и његове значајности. У даљем истраживању коришћен је метод коефицијента корелације.

Табела 1. Одступања температуре ваздуха у Републици Српској у односу на референтни период од 1979. до 1998. на основу сателитских осматрања

година	одступање температуре	година	одступање температуре
1979	-0,35	1993	-1,04
1980	0,02	1994	-0,02
1981	0,59	1995	0,19
1982	-1,22	1996	0,12
1983	-0,75	1997	0,20
1984	-1,02	1998	0,06
1985	-0,46	1999	0,48
1986	0,32	2000	0,40
1987	0,78	2001	0,38
1988	0,82	2002	-0,25
1989	0,10	2003	0,66
1990	0,44	2004	0,00
1991	0,30	2005	0,03
1992	0,94		

Добијени резултати

Промена температуре ваздуха у периоду сателитских осматрања у грид сегменту у коме се налази Република Српска, за период 1979-2005, по линији тренда, износи $0,21^{\circ}\text{C}$ по декади. То је нешто мања вредност од оне за појас $42,5\text{-}45^{\circ}\text{N}$ ($0,26^{\circ}\text{C}$), али и нешто већа него за Земљу у целини ($0,13^{\circ}\text{C}$).

За проверу статистичке значајности вредности тренда коришћен је F тест, који се користи за одређивање статистичке сигнификантности регресионих модела. Уколико је F вредност коју смо добили прорачуном већа од F вредности која је дата у табели онда се једначина линеарне регресије сматра статистички различитом од нуле односно, статистички значајном. Добијене вредности за F за простор Републике Српске износи 2,29, што не задовољава тест значајности, ни на најнижем нивоу вероватноће од 95%, који захтева вредност од минимално 4,24. Међутим, вредности линераног тренда за појас $42,5\text{-}45^{\circ}\text{N}$ и за планету у целини

задовољавају F тест на нивоу вероватноће од 99%, односно статистички су значајне.

Иако несигнификантне, вредности линеарног тренда промена температуре за Републику Српску у поменутом периоду износе $2,1^{\circ}\text{C}$ по веку, то на први поглед представља велики пораст. То би, можда, указивало на појаву антропогеног ефекта стаклене баште по моделима Међувладиног панела за климатске промене (IPCC). Панел је у више наврата давао своје процене могућег утицаја људских активности, пре свега, емисије CO_2 на температуру ваздуха и друге климатске елементе на Земљи. Последње процене су из 2001. године⁴ и по њима би температура ваздуха до краја овог века, под условом да се настави антропогена емисија CO_2 могла да порасте између $1,4$ и $5,8^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2001).

У документу IPCC "Summary for Policymakers" стоји да: "се природним факторима може приписати уочено отопљавање у првој половини XX века", као и да "постоје нови и убедљиви докази да се највећи део загревања регистрованог током последњих 50 година може приписати људским активностима". Говорећи о порасту температуре у XX веку, каже се: "осматрања су показала велики степен варијабилности" и да "се већи део отопљавања одвијао у току два периода: 1910-1945. и 1976-2000. године". Из тога следи да је евентуални антропогени ефекат стаклене баште могао да више дође до изражаја тек у последњој четвртини XX века, јер су у првој половини XX века узрок пораста природни фактори, док се у периоду 1946-1975. не запажа битнија промена температуре⁵.

Као што се види у табели 1, најнижа вредности температуре на простору Републике Српске је забележена 1982. када је одступање од референтног периода износило $-1,22^{\circ}\text{C}$. Максимално позитивно одступање је забележено 1992 и износило је $0,94^{\circ}\text{C}$. У документу IPCC "Summary for Policymakers", каже се да су деведесете године XX века биле најтоплија декада, а 1998. година најтоплија година у инструменталном периоду, после 1861. године.

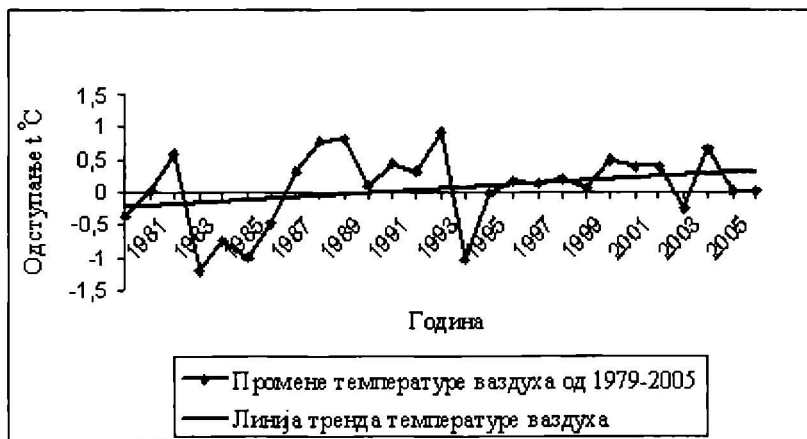
Извесна одступања, запажају се и ако се температура посматра по пентадним променама. Наиме, у периоду 1981-2005 најтоплија пентада је била 1986-1990, када је одступање температуре било $0,49^{\circ}\text{C}$, а последња пентада 2001-2005 је тек трећа по вредности позитивног одступања ($0,16^{\circ}\text{C}$). Већ из тога се може закључити да присутни пораст температуре на територији Републике Српске у периоду 1979-2005 није једноличан, нити је присутан све време, па ни у последњих десет година, када је, штавише, негативан ($-0,09^{\circ}\text{C}$ по декади). Чак и ако се посматра дужи низ, од двадесет последњих година (1986-2005), тренд температуре ваздуха је такође негативан ($-0,17^{\circ}\text{C}$ по декади).

Овакве неједноличне промене се јасно запажају на графику 1.

⁴ Нов извештај IPCC-а је најављен за фебруар 2007, након предаје нашег рукописа у штампу.

⁵ <http://www.ipcc.ch/pub/spm22-01.pdf>

График 1. Промене температуре ваздуха у грид-сегменту на територији изнад Републике Српске у периоду сателитских мерења



На графику се уочава да су минималне вредности сконцентрисане у првој четвртини периода, док су максимуми забележени у другој четвртини и средином периода. Такође, запажа се да су негативне вредности груписане у периоду 1982-1985 као и у периоду 1993-1994, док се негативне вредности у 1979. и 2002. јављају појединачно. Полазећи од тога да се негативне вредности гомилају, а знајући да су забележене у близини година највећих вулканских ерупција у последњих деведесет година, желели смо да испитамо да ли између вулканске активности и колебања температуре ваздуха на овој територији постоје неке везе.

Колебање температуре ваздуха и вулканска активност

Истражујући утицај вулканских ерупција на климу Briffa и Jones су анализирали дендрохронолошке низове података од 1400. године на узорцима на 380 локација бореалних шума северне хемисфере. Утврдили су да је у 19 случајева када је снижавање температуре било веће од $0,3^{\circ}\text{C}$ то било након великих вулканских ерупција. Њихови резултати показују да постоји јака везе између вулканске активности и снижавања температуре ваздуха као и да би вулкани могли да објасне настанак "Малог леденог доба". Такође, истичу да би више просторно блиских ерупција могло да умањи температуру ваздуха на декадном и вишедекадном нивоу, као да периоди мировања вулканске активности могу да резултирају периодима виших температура на планети (Briffa, Jones, 1998).

На генерално снижавање температуре утиче присуство аеросола у атмосфери. Наиме, годишње се из природних извора емитује у просеку између 800 и 2200 милиона тона аеросола, док је антропогена емисија у

распону од 200 до 400 милиона тона. Дакле, природна емисија још увек значајно доминира у односу на антропогену (Група аутора, 1988).

Главнина аеросола у стратосфери је вулканског порекла са максималном концентрацијом на висинама од 18 до 20 km. У току 6-12 месеци након великих ерупција повећава се маса аеросола и његова оптичка дебљина се повећава чак и до десетак пута у односу на природни фон.

Аеросол вулканског порекла у тропосфери и стратосфери се састоји из честица насталих од емисије сумпор-диоксида. Он има двоструки утицај на радијациони биланс; са једне стране рефлектује Сунчево зрачење, али са друге стране упија део израчене терестеричке топлоте. У том смислу вулканске ерупције могу и да емисијом аеросола повисе температуру ваздуха. Robock наводи да и поред глобалног захлађења у трајању од 1 до 3 године након великих вулканских ерупција, на континентима северне хемисфере може доћи до пораста температуре у току наредних једну до две зиме (Robock, 2002).

Ефекат вулканских ерупција такође може зависити и од величине и густине честица аеросола, као и висине до које су оне емитоване. Осим тога велики значај има и географски положај самог вулкана у односу на доминантна планетарна струјања и вулкани у тропском појасу због специфичности планетарне циркулације имају већи значај за температуру на планети од оних на другим ширинама. Посебан проблем лежи у чињеници да је вулкански "сигнал" понекад тешко издвојити од других утицаја (као на пример ЕНСО).

У једној реченици, може се рећи да вулканска активност и поред генералног утицаја на пад температуре на планети, није у потпуности у линеарној зависности са променама температуре, што додатно компликује процену утицаја вулканских ерупција на климу.

Промене температуре ваздуха у Републици Српској и вулканска активност

Као што смо навели највеће негативно одступање температуре у Републици Српској забележено је 1982. године (-1,22°C). Секундарни минимум забележен је 1993. године (-1,04°C). Први минимум је забележен у години када се догодила друга по снази вулканска ерупција у последњих 90 година (Ел Чичон у Мексику).

Наиме, ова ерупција је на скали Индекса вулканске експлозивности⁶ од 1 до 8 означена са 5. Након ове ерупције у периоду од још три године температуре ваздуха су имале негативно одступање.

Ел Чичон је вулкан у Мексику, надморске висине 1150m, на 17°21'N и 93°13'W. Процењује се да је настао пре око 220000 година, а највећу ерупцију у историјском периоду је имао 1982. године. Након те ерупције формиран је кратер пречника приближно 1km и дубине 300m, у коме се

⁶ <http://denali.gsfc.nasa.gov/research/so2/article.html>

након престанка вулканске активности формирало кисело кратерско језеро⁷.

У 1982. години ерупције су се догодиле у периоду 29.март-4.април. Ел Чичон је емитовао приближно 7 милиона тона сумпор-диоксида односно 20 милиона тона честица аеросола у стратосферу. Облак вулканских гасова и честица се кретао ка западу, обишавши целу Земљу за три недеље⁸.

Највећа ерупција је била она од 4. априла, када је емитовано највише аеросола који је до јула месеца прекрио цео појас од екватора до 30°N. До тада су се формирала два облака: доњи и горњи. Доњи, са максималном концентрацијом на висини од око 20km, се постепено проширио по целој планети (Група аутора, 1988).

Пирхелиомертарски подаци из Јапана и Колорада показују битно смањење директног Сунчевог зрачења након избацивања аеросола у стратосферу, априла 1982. Јапанске станице које се налазе између 26,3°N и 43,3°N показују сигнификантан пораст мутноће у односу на предходну јесен. Ови ефекти јавили су се нешто раније на станицама које се налазе јужно. Директна Сунчева радијације је најпре показала лагани пад у Боулдеру у Колораду (40°N, 105°W) јула 1982. (око 2%) и то је било за 6% ниже у односу на септембар 1978. Главно смањење директног Сунчевог зрачења јавило се крајем октобра, као и у новембру и децембру који су имали просечне вредности 13 и 20% мање него 1978. Подаци за јануар-април 1983. показују пораст директног Сунчевог зрачења и указују на споро смањење густине облака изнад Боулдера⁹.

Средње хемисферне вредности оптичке дебљине вулканског аеросола могу се добити осматрањем месечевог сјаја током тоталног помрачења месеца. Помрачења месеца 1985. године (4. мај и 28. октобар), су искоришћена за процену количине вулканског аеросола. На основу њих се види да је у мају 1985. количина аеросола на северној хемисфери била још увек у вредности од 1/3 од оних у децембру 1982.

То значи да је замућење атмосфере, настало као последица ерупције Ел Чичона, трајало у најмању руку 4 године (1982-1985). То се у потпуности поклапа са периодом негативних одступања температуре на територији Републике Српске, из чега би се могло закључити да је утицај ерупције вулкана Ел Чичон на температуру у овим крајевима очигледно присутан.

Утицај вулканске ерупције Мт. Пинатуба на Филипинима (15°13'N, 120°35'E, надморска висина 1485m) се у нашим подацима за одступање температуре слабије уочава и са извесним закашњењем. Наиме, ерупција се догодила 1991. године, док су се негативна одступања температуре ваздуха у Републици Српској јавила 1993. (-1,04°C) и незнатно 1994. (-0,02°C).

Ерупција Мт. Пинатуба из 1991. је била најјача вулканска ерупција од 1912. године са Индексом вулканске експлозивности 6. Приликом ерупције

⁷ <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1401-12>

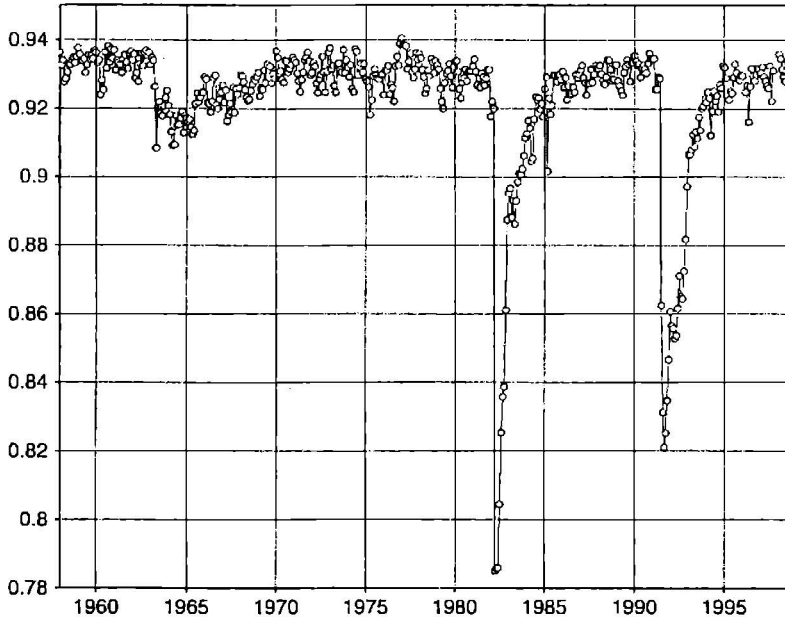
⁸ <http://climate.envsci.rutgers.edu/pdf/EGECEIChichon.pdf>

⁹ http://www.volcano.si.edu/reports/bulletin/contents.cfm?issue=atmospheric#sean_0703

је емитовано 18,14 милиона тона сумпор-диоксида и честица аеросола који су обишли Земљу за три недеље. Аеросол је избачен у стратосферу до висине од 32,1km¹⁰.

Узрочи слабијег сигнала, ове иначе јаче ерупције од Ел Чичона, вероватно леже у чињеници да је замућеност атмосфере била мања услед ниже концентрације аеросола. То може запазити и на графику 2. на коме се запажа веће смањење трансмисионог фактора (прозрачности атмосфере), приликом ерупције Ел Чичона у односу на Мт. Пинатубо (Robock, 2002).

График 2. Замућеност атмосфере изражена кроз трансмисиони фактор



Да бисмо проверили рачунски ове претпоставке о могућем утицају вулканске активности на температуру у Републици Српској искористили смо податке које даје Crowley. Он је на основу модела "енергетске равнотеже" проценио утицај на температуру четири климатска фактора: вулканизма, соларне константе, гасова ефекта стаклене баште и антропогеног аеросола. Остали фактори нису разматрани јер њихов утицај у складу са проценама IPCC има "низак ниво научног разумевања". Енергетски утицај сваког фактора сведен је на исту јединицу (W/m^2), тако да су они међусобно упоредиви. Генерално гледано, утицај климатских фактора се не може у потпуности свести на енергетски утицај, због бројних механизма позитивне и негативне повратне спреге, али смо ми преузели податке за енергетски утицај вулканске активности, јер су нам се чинили адекватним за наше истраживање. Подаци су дати у табели 2 (Crowley, 2000).

¹⁰ <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/hazard/stratoguide/pinfeat.html>

Табела 2. Енергетски утицај вулканског аеросола изражен у W/m^2

година	енергетски утицај вулк. аеросола	година	енергетски утицај вулк. аеросола
1979	-0,27	1989	-0,16
1980	-0,16	1990	-0,16
1981	-0,16	1991	-1,60
1982	-2,41	1992	-3,73
1983	-3,06	1993	-1,39
1984	-1,18	1994	-0,56
1985	-0,39	1995	-0,26
1986	-0,44	1996	-0,18
1987	-0,33	1997	-0,14
1988	-0,20	1998	-0,07

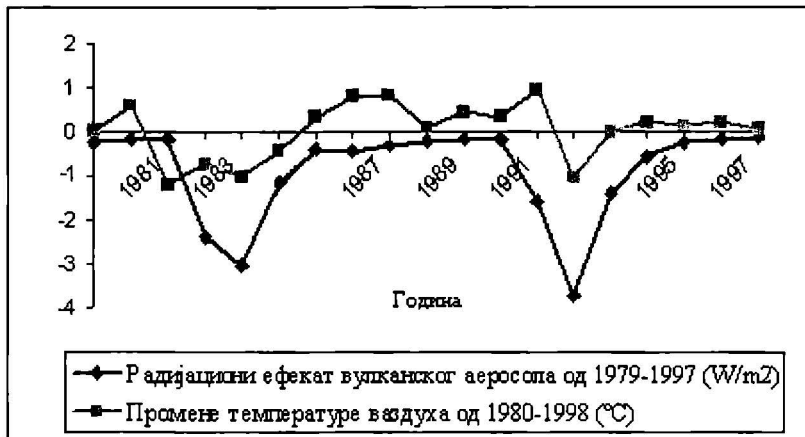
На основу података из табеле 2. види се да је енергетски утицај вулканског аеросола у периоду пре вулканске ерупције Ел Чичон, у 1980. и 1981. години износио $-0,16 W/m^2$. У години ерупције (1982) износио је $-2,41 W/m^2$ да би највећу вредност достигао 1983. од $-3,06 W/m^2$. Поново исте вредности енергетског утицаја од $-0,16$ се јављају тек 1989. године, што значи да је замућење атмосфере аеросолом трајало укупно седам година, али је последње две године то замућење било ослабљено.

У случају вулакана Мт. Пинатубо (1991), замућење атмосфере је било присутно до 1996. (шест година), али је поново последње две године било слабије изражено. Највеће одступање се јавило поново са једном годином закашњења у односу на годину ерупције (1992) и износило је $-3,73 W/m^2$.

Овај померај од једне године нас је навео на претпоставку да би везу између енергетског утицаја вулканског аеросола и температуре ваздуха у Републици Српској требало утврђивати са померајем температуре за једну годину у односу на вулкански аеросол.

Прорачун коефицијента корелације, на овај начин, показао је вредност од 0,58, што задовољава Студентов тест на нивоу од 99% вероватноће. Очигледну везу између ове две појаве показује и график 3.

График 3. Утицај енергетског (радијационог) ефекта вулканског аеросола на промене температуре ваздуха у Републици Српској



Узимајући у обзир цео период сателитских осматрања температуре ваздуха на територији Републике Српске можемо закључити да је уочени несигнификантан пораст, последица пре свега ниских вредности на почетку периода, које су, како смо утврдили, несумњиво у вези са природним факторима (вулкански аеросол). Од 1995. од када се у нивовима температуре не примећује утицај аеросола, па до 2005. линеарни тренд је негативан и износи $-0,05^{\circ}C$ по декади.

Закључак

У периоду сателитских осматрања (1979-2005) температура ваздуха изнад територије Републике Српске ($42,5-45^{\circ}N$ и $15-20^{\circ}E$) у првих 8km тропосфере, показује несигнификантан пораст од $0,21^{\circ}C$ по декади. Та вредност је нешто мања од оне за цео појас $42,5-45^{\circ}N$ ($0,26^{\circ}C$), али и нешто већа од оне за целу планету ($0,13^{\circ}C$). Периоди минималних вредности температуре јављају се у току или након великих вулканских ерупција. Ниске вредности температуре на почетку периода мерења су у директној вези са повећаном концентрацијом аеросола изазваном ерупцијом вулкана Ел Чичон. Енергетски ефекат вулканског аеросола утиче на температуру ваздуха са закашњењем од годину дана (сигнификантни коефицијент корелације износи 0,58).

Дакле, висока вредност промена температуре ваздуха изнад територије Републике Српске је, у математичком смислу, последица ниских вредности елемената низа на почетку периода, за које смо показали да су у вези са природним факторима (вулканска активност). Након завршетка утицаја последње велике вулканске ерупције (1995), тренд промена температуре ваздуха је негативан.

Мишљења смо да у тумачењу савремених колебања температуре треба увек имати у виду став Robock-а који истиче да "истраживање евентуалног утицаја антропогеног ефекта стаклене баште мора бити везано и за проучавање спољашњих природних климатских фактора (вулканске ерупције, промене Сунчеве активности), који су непрекидно присутни, као и унутрашње динамике климатског система" (Robock, 2002).

Литература и извори

Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H. and Osborn, T.J. (1998): **Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years.** Nature 393: 450-454.

Crowley, T. (2000): **Causes of Climate Change Over the Past 1000 Years,** Science, Vol. 289, no. 5477, pp. 270 – 277.

Christy J.R., Spencer R.W., Braswell (2000): **MSU Tropospheric Temperatures: Dataset Construction and Radiosonde Comparisons,** Journal of Atmospheric and Oceanic Research 17.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2001), **Climate Change (2001): The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, New York.

Robock, Alan (2002): **Volcanic eruptions.** Encyclopedia of Global Environmental Change, vol. 1, Ted Munn, Ed., (John Wiley and Sons, London), 738-744.

Група аутора, под редакцијом Борисенкова Е. П. (1988): **Колебания климата за последнее тысячелетие.** Гидрометеиздат, Ленинград.

**Vladan Ducic
Goran Trbic
Jelena Lukovic**

TEMPERATURE CHANGES IN REPUBLIC SRPSKA IN THE PERIOD OF SATELLITE OBSERVATION AND POSSIBLE VOLCANIC INFLUENCE

Summary

We use air temperature satellite data for the latitudes and longitudes of Republic Srpska 42,5-45°N и 15-20°E in the period of satellite measurement 1979-2005.

Temperature change in that period is 0,21°C per decade. This value is smaller then those for the whole zone 42, 5-45°N (0, 26°C) and bigger than those for the whole planet (0,13°C).

Increase of temperature is not uniform and in presence all the time, specially in last ten years when it is negative. In last twenty years (1986-2005) linear temperature trend is also negative ($-0,17^{\circ}\text{C}$ per decade).

Low temperature values at the beginning of observational period are directly connected with higher concentration of El Chichon volcanic aerosols. Air temperature is influenced by radiative forcing of volcanic aerosols with lateness of 1 year (significance correlation coefficient is 0,58).