

**ДИНАМИКА ОЗОНСКОГ ОМОТАЧА ИЗНАД СРБИЈЕ
И СУНЧЕВА АКТИВНОСТ**
-претходно саопштење-

Апстракт: Циљ рада је утврђивање динамике озонског омотача над Србијом, као и могуће везе промена концентрације стратосферског озона са појединим параметрима Сунчеве активности. У периоду 1979-2005, дошло је до статистички значајног пада концентрације озона над територијом Србије кумулативно за 24,5 DU (7,2%), односно 9,4 DU (2,8%) по декади. Те промене су у складу са променама у суседним земљама. Од апсолутног минимума 1993., флексибилни тренд пентадних вредности озонског омотача оправдава хипотезу о његовом опоравку. Подударање екстремних периода дебљине озона са Волфовим бројем и највећим вулканским ерупцијама указује на то да су међугодишње варијације концентрације стратосферског озона и даље у функцији пре свега природних фактора, као што су Сунчева и вулканска активност. Испитивањем већег броја показатеља Сунчеве активности, уочена је статистички значајна синхрона антифазност између броја поларних факула на Сунцу и динамике стратосферског озона над Србијом. С обзиром да веза између ове две појаве до сада није описана, предложени су могући узрочни механизми.

Кључне речи: озонски омотач, Србија, вулканска активност, Сунчева активност, поларне факуле.

Abstract: The aim of this paper is to identify ozone layer dynamics under Serbian area, as well as possible relations of change in stratospheric ozone concentration with some parameters of solar activity. During the period 1979-2005, the statistical decrease of ozone concentration was noticed under Serbian territory cumulatively for 24.5 DU (7.2%), apropos 9.4 DU (2.8%) by decade. These changes are consistent with the changes in surrounding countries. From absolute minimum 1993, flexible trend of ozone layer pentad values validate hypotheses of its recovery. Correspondence of ozone thickness extreme period with Wolf's number and with the greatest volcanic eruptions shows that interannual variations of stratospheric ozone concentration are still in the function of natural factors above all, as are solar and volcanic activities. Investigation of larger number solar activity parameters shows statistically important antiphase synchronous between the number of polar faculae on the Sun and stratospheric ozone dynamics under Serbia. Respecting that relation between these two features until now isn't depicted, some possible causal mechanisms are proposed.

Key words: ozone layer, Serbia, volcanic activity, solar activity, polar faculae.

Увод

Осамдесетих година прошлог века, након регистровања силазног тренда дебљине озонског омотача над Антарктиком, нагло је порасло интересовање научне јавности за проблем "озонских рупа". Сумње да би људи емисијом штетних супстанци на бази хлора (хлорофлуороугљоводоници – CFC), могли да допринесу истањењу озонског омотача, довеле су до административних битних ограничења производње

* др Владан Дуцић, ванредни професор, Географски факултет, Београд, Студентски трг 3/3.

др Југослав Николић, научни сарадник, Републички хидрометеоролошки завод, Београд, Кнеза Вишеслава 66.

Рад представља резултат истраживања пројекта 146005, који финансира Министарство науке Србије.

CFC (Монтреалски протокол, 1987. године). Захваљујући Протоколу, дошло је до трансфера нових технологија у расхладној техници, производњи спрејева, али и у пољопривреди (промене у саставу вештачких ђубрива).

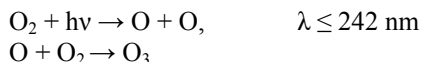
Ако је мерило успеха Монтреалског протокола актуелна емисија антропогеног хлора, са сигурношћу се може рећи да је он испунио своју функцију. Наиме, у 2006. се та емисија смањила за више од 95 %.(www.ozone.unep.org). На тај начин, искључена је могућност да би људи могли проузроковати било какву будућу "озонску катастрофу".

Смањењем антропогеног удела у кружењу атмосферског хлора, постала је јаснија и улога Сунчеве активности у стварању стратосферског озона. Томе је допринело и одсуство великих вулканских ерупција последњих петнаестак година које су директним ињектирањем хлора у стратосферу изазивале краткотрајне али значајне варијације у вертикалном стубу озона.

Стратосферски озон – стварање и разградња

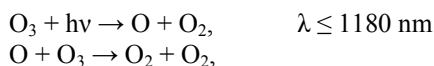
Највеће концентрације озона (O₃) налазе се у стратосфери, на висинама од 12 до 50 km изнад Земљине површине. Просечне концентрације озона на тим висинама имају вредности од само 0,6 ppm.

Природни фактори имају важну улогу у животу озонског омотача. Из мноштва фактора, као најважнији издваја се Сунчево зрачење. Механизам хемијског процеса стварања озона има следећи облик:



Евидентно је да је за фотодисоцијацију атмосферског кисеоника потребно краткоталасно ултраљубичасто зрачење, при чему се процес образовања озона одвија најинтензивније на висинама од око 30 km где је зрачење тих таласних дужина најприсутније.

Међутим, Сунчево зрачење утиче и на разграђивање озона. Механизам природног разграђивања озона први је предложио енглески геофизичар Чепмен 1930-их година. Фотохемијска реакција разградње озона може се приказати у облику:



Све до 1960. године механизам Чепмена је био прихваћен без допуна. Међутим, након тога је уочено да је садржај озона у атмосфери неколико пута мањи, него што би то требало да буде према његовој теорији. Због тога је у формулу процеса разградње озона унето више хемијски активних супстанци: хидроксилног радикала OH, оксид азота NO_x и халогидних атома Cl Br и I.

Према Дјоминову и сарадницима (Dyominov I.G.et al., 2003) закључујемо да се амплитуда промена општег садржаја озона у једанаестогодишњим Сунчевим циклусима креће просечно у интервалу 0,5% - 1%. И на основу посматрања неколико Соларних циклуса (од 1960-их година) евидентно је да глобални ниво озона варира приближно за 1-2% између максимума и минимума типичног циклуса (http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/).

Током последње две деценије просечне вредности глобалног озона опадале су широм планете. Просечне вредности последњих година, показују око 4% ниже вредности у односу на вредности из периода пре 1980–их година. Аутори документа

„Извештај о научним проценама стања озонског омотача за 2006. годину” сматрају да дугорочно слабење глобалног озона не може бити резултат само промена у Сунчевом зрачењу (http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/).

Према поменутом извештају, опадање ванполарног стратосферског озона примећено 1990-их година се не наставља. Вредности вертикалног стуба озона у умереним ширинама у периоду 2002-2005. биле су приближно 3% испод вредности од оних пре 1980-их година на северној хемисфери и приближно 6% ниже на јужној хемисфери, али су у суштини биле исте као у периоду 1998-2001. Укупне вредности вертикалног стуба озона у тропским пределима (25°-25° географске ширине) остале су у основи непромењене. Ово је у сагласности са претходним налазима.

Идентификација сигнала Соларног циклуса у посматраном озонском омотачу била је олакшана јер у протеклих 15 година није било јаких вулканских ерупција. Утврђене варијације у Соларним циклусима вертикалног стуба озона имају средњу амплитуду 2-3% (од минимума до максимума) у појасу од тропских до умерених географских ширина.

На разградњу озона у стратосфери у великој мери утичу и вулканске ерупције. Према наведеном извештају о стању озонског омотача, током снажних вулканских ерупција у стратосферу се директно ослобађају гасови на бази сумпора. Захваљујући ваздушним струјањима у стратосфери, долази до њихове глобалне дисперзије. Када је у стратосфери заступљена велика количина таквих честица, трансмисија Сунчевог зрачења је значајно умањена. Изразити случајеви смањења трансмисије су били приликом снажних ерупција вулкана Ел Чичон (1982) и Мт. Пинатубо (1991).

Лабораторијска мерења и стратосферска посматрања показала су да хемијске реакције на површини честица насталих вулканским ерупцијама, убрзавају деструкцију озона, повећавајући износ реактивног гаса хлормоноксида (СЛО). Вредност СЛО је пропорционална укупној количини реактивног хлора у стратосфери. Дакле, до значајнијег слабења озона долази и услед раста концентрација СЛО. Ерупције оба вулкана су несумњиво утицале на глобално слабење озона и у неколико година заредом. Ипак, ефекти присуства вулканских честица у стратосфери нестају након неколико година као последица природне циркулације ваздушних маса. Услед тих процеса, сматра се да ове две велике вулканске ерупције не могу бити узрочници дугорочног смањења концентрација озона током истог периода.

Стање озонског омотача изнад Србије – извори података и методологија

Подаци о дневној дебљини озонског омотача изнад Србије добијени су на основу сателитских мерења које је обављано у последњих тридесетак година на пет различитих сателита. То су званични подаци Америчке свемирске агенције NASA, које је обрадио и дао на јавни увид њен део GSFC-DAAC (Goddard Space Flight Center – Distributed Active Archive Center).¹ Због техничких проблема крајем октобра 1994. наступио је прекид у осматрању све до половине 1996. године. Из тог разлога били смо принуђени да вршимо интерполације података о озону на основу приземне станице Ароса у Швајцарској.

¹ Обрађени су подаци мерења следећих сателита: NIMBUS 7 (1978.- 1993.); Метеор-3 (1991.-1994.); ADEOS (1996.-1997.); EARTH PROBE (1996.-2006.), OMI (2004. – до данас). Ови сателити користе исту технику мерења BUV (Backscattered Ultra Violet – одбијено ултраљубичасто зрачење) и исти мерни инструмент TOMS (TOMS – Total Ozone Mapping Spectrometer). Изворни подаци које шаље сателит се обрађују по алгоритмима. Сви подаци које користимо у раду су преузети у најновијој верзији алгоритма (<http://jwoczk.gsfc.nasa.gov>).

Сама база података која нам је на располагању на интернету, садржи по један текстуални фајл за сваки дан мерења сателита и у њему су садржани подаци за цео свет. Како је величина овог фајла у просеку 400 kB (преко 50000 дневних података), а имамо скоро тридесет година мерења (укупно преко пола милијарде мерења), подаци које је пре обраде требало преузети са интернета били су величине преко 5 GB.

Други велики проблем је издвајање података којима је покривена територија Србије из огромног броја осталих података. Сателити наине врше мерење по тачно утврђеној мрежи, која има корак од 1° по географској ширини и 1.25° по географској дужини. Ово значи да се територија Србије у потпуности покрива са 23 мерне тачке.

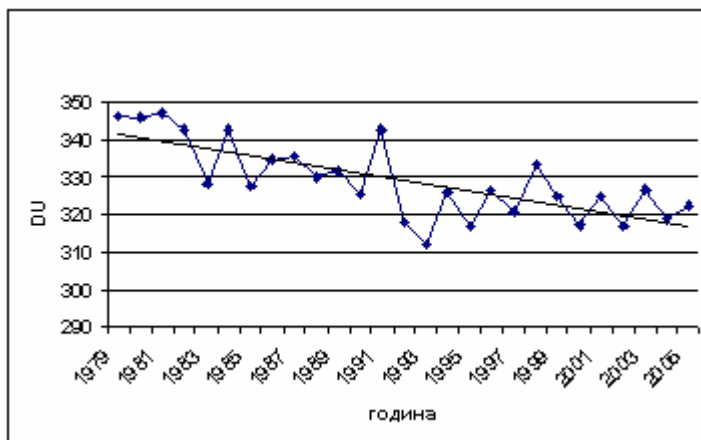
Мерне тачке које одговарају територији Републике Србије налазе се између 41.5° и 46.5° северне географске ширине и 18.125° и 23.125° источне географске дужине. Помоћу специфичног програмског пакета, из основне базе аутоматски су издвојени потребни подаци.

Тренд концентрације стратосферског озона над територијом Србије

У периоду 1979-2005, дошло је до статистички значајног пада концентрације озона над територијом Србије кумулативно за 24,5 DU (7,2 %), односно 9,4 DU (2,8 % по декади). Те промене су у складу са променама у суседним земљама (Букурешт 1980-2003, кумулативни пад 8,1 %) (www.qos2004.gr/files/113.doc)

Сличне вредности су добијене и за друга подручја у нашим географским ширинама (графикон 1).

Графикон 1. Промене дебљине озонског омотача изнад територије Србије



Полазећи од методе флексибилног линеарног тренда који су користили Кришчин и Борковски (Krzyściń J.W., Borkowski J.L., 2008). у овом раду је примењен њихов приступ. Применом модела флексибилног тренда разматрана је варијабилност глобалног озона над Европом за период 1950-2004. Коришћене су вредности тренда за пентадне и декадне интервале у хладнијем (октобар-април) и топлијем (мај-септембар) периоду године. Статистички значајан негативни тренд пронађен је за простор готово целе Европе у периоду 1985-1994. Међутим, негативни тренд и до 3 % по декади појављује се на мањим просторима у ранијим периодима када је антропогени утицај на озонски омотач био слаб, у склопу природних колебања. Смањење нивоа озона до 2004. године у односу на период пре сателитских осматрања није драматично, тј. има вредности од приближно -5% за хладни, односно -3,5 % за

топлији субпериод. За регионе који се налазе у вишим географским ширинама, констатовано је да у последњој декади (1995-2004) није регистрован тренд смањења озона и поред знатног слабења озона у периоду 1985-1994.

Подаци показују да је минимум озона на планети у целини био 1993. године, док је у умереним ширинама он забележен 1996. године. Над територијом Србије, минимум је такође био као и на планети у целини 1993. године (www.johnstonsarchive.net/environment). За подручје Србије применили смо флексибилни тренд пентадних вредности са померајем од једне године, и то од пентаде када је тренд први пут био позитиван од периода апсолутно минималних вредности. У Србији је то пентада 1992-1996.

Од тог периода па до пентаде 2001-2005. флексибилни тренд показује позитивне вредности у шест од десет пентада (60 %), из чега се може закључити да је претпоставка о „опоравку” озона оправдана. Међутим, због кратког периода (пентада), питање статистичке значајности још увек није на поуздан начин решено.

Највише вредности су забележене у почетним годинама низа, па је тако 1981. године његова дебљина износила 347 DU, док је минимум од само 312 DU забележен 1993. године. Ако се посматрају три највише вредности дебљине озона у низу, као средња вредност, онда се може запазити да је у периоду 1979-1981. његова дебљина износила просечно 346,3 DU и у потпуности се поклапа са највишом трогодишњом вредношћу Волфовог броја у посматраном периоду од 150,1 јединице. То је потпуно у складу са уоченом законитошћу да Сунчево зрачење доминира у стварању озона. Најнижа вредност од 312 DU забележена је две године након ерупције вулкана Мт. Пинатубо која је представљала највећу вулканску ерупцију у последњих 40-ак година. Највећи пад између узастопних година од 35 DU забележен је управо 1992. године, односно годину дана након највеће ерупције. Велики пад концентрације озона се уочава и 1983. односно, годину дана након ерупције вулкана Ел Чичон.

Из свега узнетог се јасно види да су међугодишње варијације концентрације стратосферског озона и даље у функцији пре свега природних фактора, као што су Сунчева и вулканска активност.

У току 1979-2005, са прекидом осматрања од годину ипо дана, озонске рупе, када је концентрација озона нижа од 220 DU, над територијом Србије су се јавиле укупно девет пута у седам година, односно приближно једном у 3,6 година. Само једном на једној мерној тачки је трајала два дана узастопно (1. и 2. децембар 1999.), а у свим осталим случајевима је трајала максимално по један дан. Сви случајеви су забележени у периоду између новембра и фебруара када је Сунце ниско над хоризонтом, а индекс UV зрачења мали.

Озонске рупе су се најчешће јављале у новембру и децембру, по три случаја. У складу са законитостима расподеле озона на планети по географским ширинама, на крајњем југозападу Србије у целокупном осматраном периоду од 25,5 година није забележена ниједна озонска рупа. Над већим делом територије Србије (15 тачака од 23) рупе су забележене један до два пута, док су само на крајњем северу забележена четири случаја.

Осим тога, „наше” озонске рупе су малих димензија и у пет од девет јављања су забележене само у једној мерној тачки. Највећи простор су заузиле 3. децембра 1992. и 1. јануара 1998. године када је било покривено девет тачака. Дакле, озонске рупе ниједном нису захватиле више од половине територије Србије.

Табела 1. Параметри Сунчеве активности са адресама извора података

	Озон Србија	Волф. Број	АА инд.	Соларна конст.	АР инд.	Пол. факуле	Пол. N факуле	Пол. S факуле	Бр.Гр. С.пега	Површ. С. пега	Кор.инд. Сун. акт.	Сол. флуks
1979	346,4	155,4	22,4	1366,6	14,5	11,9	4,1	7,8	155,7	2210	13,7	1920,1
1980	346,2	154,6	18,5	1366,6	11,1	3,1	0,3	2,8	141,1	2302	12,8	1985,3
1981	347,1	140,5	24,7	1366,7	16,3	2,9	1,6	1,3	140,9	2369	14,0	2025,8
1982	343,0	115,9	33,9	1366,3	22,4	17,2	10,7	6,5	116,4	2093	15,4	1753,0
1983	328,3	66,6	29,5	1366,2	18,5	43,1	27,1	16,0	71,6	850	11,8	1195,7
1984	342,6	45,9	28,8	1365,8	18,8	44,6	24,8	19,8	44,0	724	7,1	1010,7
1985	327,5	17,9	22,5	1365,6	13,7	57,8	30,3	27,5	16,9	179	3,8	746,9
1986	334,9	13,4	21,1	1365,6	12,5	55,5	27,2	28,3	12,1	154	3,3	740,9
1987	335,5	29,2	18,9	1365,8	11,0	35,9	19,9	16,0	27,6	363	4,8	852,2
1988	330,1	100,2	22,1	1366,1	12,7	22,6	13,3	9,3	89,3	1528	11,1	1408,7
1989	331,7	157,6	30,3	1366,6	19,5	10,8	6,1	4,7	147,7	2692	17,5	2136,6
1990	325,7	142,6	26,6	1366,5	16,3	5,5	2,5	3,0	148,5	2152	16,0	1895,8
1991	342,6	145,7	34,2	1366,4	23,4	42,1	20,9	21,2	146,2	2281	14,7	2082,0
1992	318,1	94,3	27,3	1366,3	16,5	74,7	39,7	35,0	96,2	1505	11,0	1507,3
1993	312,2	54,6	25,5	1366,0	15,0	40,8	16,4	24,4	53,9	800	6,9	1098,6
1994	326,1	29,9	29,4	1365,8	18,1	43,0	18,6	24,4	35,7	420	4,4	852,4
1995	317,0	17,5	22,0	1365,7	-	43,9	20,8	23,1	19,0	195	2,9	772,3
1996	327,0	8,6	18,6	1365,6	9,3	61,6	30,3	31,3	-	85	2,0	720,3
1997	320,8	21,5	16,1	1365,7	8,4	49,8	26,8	23,0	-	292	3,1	809,7
1998	333,7	64,3	21,0	1366,1	12,0	26,9	13,7	13,2	-	999	6,4	1179,3
1999	324,9	93,3	22,2	1366,4	12,5	13,5	6,5	7,0	-	1512	8,9	1537,3
2000	317,4	119,6	25,4	1366,7	15,0	-	-	-	-	1892	9,7	1798,3
2001	324,9	111	22,4	-	12,9	-	-	-	-	1882	10,5	1812,8
2002	316,8	104	22,7	-	13,1	-	-	-	-	1941	10,1	1796,3
2003	326,8	63,7	37,1	-	21,8	-	-	-	-	1236	6,2	1284,7
2004	318,8	40,4	23,1	-	13,4	-	-	-	-	787	6,4	1065,5
2005	322,4	29,8	23,2	-	13,5	-	-	-	-	568	4,6	916,8

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/YEARLY

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/RELATED_INDICES/AA_INDEX/AA_YEAR

ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/climate_forcing/solar_variability/lean2000_irradiance.txt

<ftp://ftp.dmi.min.dk/pub/Data/WDC1/indices/kp-ap/>

http://www.gao.spb.ru/database/esai/yr_pfm.txt

http://www.gao.spb.ru/database/esai/yr_pfm.txt

http://www.gao.spb.ru/database/esai/yr_pfm.txt

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/GROUP_SUNSPOT_NUMBERS

http://www.gao.spb.ru/database/esai/yr_aro_long.txt

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_CORONA/LOMNICKY/index/YEARLY

http://www.cdc.noaa.gov/Correlation/solar_data

Сунчева активност и стратосферски озон над Србијом

Као што је већ констатовано у претходном излагању, последњих година је постала јаснија улога Сунчеве активности у динамици озонског омотача. То је с једне стране последица смањења концентрације полутаната, али и одсуства великих вулканских ерупција. Новија истраживања указују на значајнију улогу Сунчеве активности у стварању озона у односу на раније процене.

Полазећи од тога, хтели смо да испитамо који Сунчев параметар показује најбоље везе са динамиком озонског омотача изнад Србије (Табела 1. у прилогу). У табели је приказано 11 различитих параметара, почев од уобичајеног Волфовог броја, преко показатеља магнетне активности (АА индекс, Ар индекс, поларне факуле), па до доказаних посредних показатеља интензитета UV зрачења, као што су Соларна константа и Соларни флуks на 10,7 cm. (Hoyt, D.V., Schatten K., 1997).

За утврђивање веза коришћен је Пирсонов коефицијент корелације, а резултати су приказани у табели 2.

Табела 2. Вредности коефицијента корелације са вероватноћом ризика прихватања хипотезе

Показатељ Сунчеве активности	Пирсонов Коефицијент корелације (R)	Вероватноћа ризика			
		за+1	0,05	0,01	0,01 (за+1)
Волфов број	0,42	0,25	<u>да</u>	не	не
АА индекс	0,14	-0,29	не	не	не
Соларна константа	0,31	0,29	не	не	не
Ар индекс	0,26	-0,19	не	не	не
Поларне факуле	-0,50	-0,60	<u>да</u>	не	<u>да</u>
Поларне N факуле	-0,45	-0,55	<u>да</u>	не	не
Поларне S факуле	-0,53	-0,62	<u>да</u>	не	<u>да</u>
Број група Сунчевих пега	0,47	0,26	не	не	не
Површина Сунчевих пега	0,38	0,16	<u>да</u>	не	не
Коронални индекс	0,42	0,26	<u>да</u>	не	не
Соларни флуks 10,7 cm	0,36	0,16	не	не	не

Статистички значајне везе на 0,05% вероватноће ризика прихватања хипотезе показали су Волфов број и површине Сунчевих пега, као показатељи активности пега, поларне факуле као посредни индикатор вертикалне компоненте Сунчевог магнетног поља (Zhang M., Zhang H.Q., 1999), и коронални индекс као показатељ дешавања у Сунчевој корони као спољашњем делу Сунчеве атмосфере.

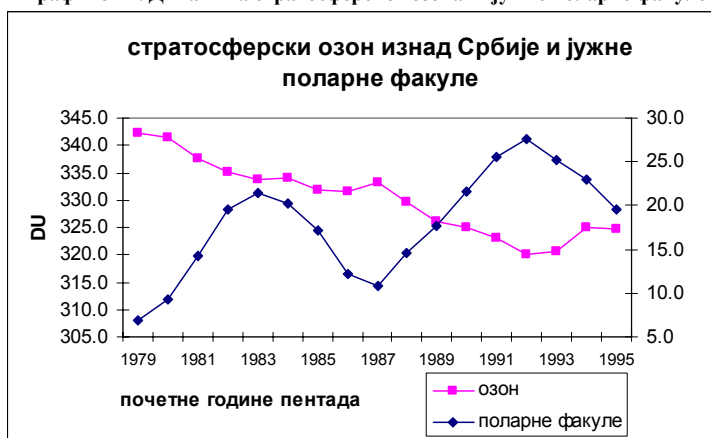
Позитивни знак коефицијента корелације између динамике озонског омотача над Србијом и Сунчевих пега је очекиван јер су оне синфазно синхроне са укупном активношћу Сунца и емисијом UV зрачења (Callis, L. B., et al, 2000). То исто се односи и на коронални индекс Сунчеве активности.

Пирсонов коефицијент корелације достиже највишу вредност за јужне поларне факуле, при чему је веза антифазна, што асоцира на то да факуле учествују у разградњи озона. Поларне факуле су локална магнетна поља у вишим хелиографским ширинама пречника око 2300 km (Evren S., 1999). Антифазне су са сунчевим пегамма. Интензитет локалног магнетног поља може износити и преко 40 Гауса (Zhang M., Zhang H.Q., 1999.).

Ако се посматра померај у фази од једне године, коефицијент корелације повећава вредности, код јужних поларних факула чак до $-0,62$. Ово би могло бити у вези са чињеницом да циркулација атмосфере има значајну посредну улогу у вези између факула и озона, јер је потребно неко време да се Соларни сигнал путем тзв Бревер-Добсонове циркулације пренесе између тропа и полова http://www.ccpo.edu/SEES/ozone/class/Chap_6.

Ради јаснијег сагледавања дугопериодичне компоненте промена стратосферског озона и јужних поларних факула, користили смо метод покретних пентадних вредности (Графикон 2.). На графикону се јасно запажа потпуно антифазно подударане периода минималних и максималних периода обе појаве, што није запажено ни код једног другог познатог појединачног фактора генезе или деструкције озона.

Графикон 2. Динамика стратосферског озона и јужне поларне факуле



Механизам везе поларних факула и стратосферског озона, би се могао одвијати преко преко Сунчеве короне. У Корони постоје тамније и хладније области, где је плазма мање густине, које се називају короналне рупе. Оне су у вези са струјницама отворених магнетних поља, што значи да материја и енергија под одређеним условима могу савладати Сунчево гравитационо и магнетно поље и напустити Сунце у облику Сунчевог ветра. Сунчев ветар се састоји претежно од електрона и протона са енергијама од око 1 keV. Ове честице стимулишу стварање азотних оксида, чија се концентрација вишеструко повећава, због чега долази до разградње озона (Thorne, R. M., 1977).

Короналних рупа има свуда у периоду Сунчевог максимума, али се у периоду минимума налазе претежно у Сунчевим поларним областима, дакле тамо где су и поларне факуле (Jiang, Y., et al, 2007). Могуће је да у периодима минимума Сунчеве активности, када је стварање озона под утицајем UV зрачења смањено, разградња под утицајем честица Сунчевог ветра очљива. У том случају, антифазна синхроност поларних факула и озона је просто последица чињенице да се изворишна област Сунчевог ветра у периодима минимума Сунчеве активности подудара са облашћу поларних факула, а да је у то исто време број поларних факула повећан. Будућа истраживања треба да покажу евентуалну оправданост ове хипотезе.

Закључак

У складу са динамиком озона у умереним ширинама северне хемисфере, и над Србијом је у периоду сателитских осматрања (1979-2005.) дошло до статистички сигнификантног пада концентрације стратосферског озона, и то за 7,2 %. Међутим, методом флексибилног тренда је утврђено да је минимум концентрације био 1993., а од тада је присутан процес обнављања озонског омотача.

Новија истраживања указују на јаснију и значајнију улогу природних фактора, пре свега Сунчеве активности на динамику озонског омотача. И подаци за Србију показују да се екстремне вредности озонског омотача подударују са екстремним вредностима Сунчеве и вулканске активности.

Имајући то у виду, урадили смо прелиминарно истраживање могуће везе између укупно 11 параметара Сунчеве активности и динамике озонског омотача над Србијом. Највишу статистички сигнификантну вредност Пирсоновог коефицијента корелације добили смо за поларне факуле јужне Сунчеве хемисфере. Поларне факуле представљају локална магнетна поља у вишим хелиографским ширинама и идентификују се са вертикалном компонентом Сунчевог магнетног поља.

Поларне факуле показују антифазну синхроност са стратосферским озоном над Србијом, што указује да оне доприносе разградњи озона. У посматраном периоду 1979-1999. присутно је потпуно антифазно подударање и максималних и минималних покретних петогодишњих вредности обе појаве, што се не види ни код једног другог познатог појединачног фактора генезе или деструкције озона. Повећање вредности коефицијента корелације за померај од једне године у умереним ширинама може да указује на утицај атмосферске циркулације на постепену прераспodelу стратосферског озона. У литератури није описан механизам утицаја поларних факула на озон, па је указано на неке могуће узрочне везе, преко Сунчеве короналне активности и Сунчевог ветра, али је хипотеза још увек спекулативног карактера.

ЛИТЕРАТУРА

- Callis, L. B., Natarajan, M. and J. Lambeth J. (2000). Calculated upper stratospheric effects of solar UV flux and NO_x variations during the 11-year solar cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 27, p.3869-3872.
- Dyominov I.G., Zadorozhny A.M., and Larin I.K. (2003). Response of the Earth's ozone layer to anthropogenic pollution of the atmosphere. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, p.00532.
- Evren S. (2000). Facular Structures on Cool Stars. In *International Workshop: Magnetic Activity in Cool Stars*.
- Hoyt, D. V., and Schatten K. (1997). *The Role of the Sun in Climate Change*. New York: Oxford University Press.
- Jiang, Y., Chen, H., Shen, Y., Yang, L. and Li, K. (2007). Ha dimming associated with the eruption of a coronal sigmoid in the quiet Sun. *Solar Physics*, 240 (1), p. 77-87.
- Krzyściński, J. W. and Borkowski, J. L. (2008). Variability of the total ozone trend over Europe for the period 1950-2004 derived from reconstructed data. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8, p. 47-69.
- Thorne, R. M. (1977). Energetic radiation belt electron precipitation: A natural depletion mechanism for stratospheric ozone, *Science*, 197, p. 287-289.
- Zhang M. and Zhang H.Q. (1999). Different magnetic features between solar polar and equatorial magnetic fields. *Astron. Astrophys.* 352 p.317-320.

http://ozone.unep.org/Data_Reporting/Data_Access/

http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2006/02-Executive_Summary

<http://jwoczk.gsfc.nasa.gov>

www.johnstonsarchive.net/environment

www.qos2004.gr/files/113.doc

http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/class/Chap_6

S u m m a r y

DYNAMICS OF OZONE LAYER UNDER SERBIA AND SOLAR ACTIVITY
-previous statement-

During the period 1979-2005 it was noticed statistically significant decrease of ozone concentration under Serbian area, cumulatively for 24,5 DU (7,2%), or 9,4 DU (2,8%) per decade. Those changes are in concordance with changes in neighboring countries (Bucharest 1980-2003, cumulatively decrease 8,1%). The similar values are given for other area in the same latitudes as ours.

The data are shown that the global ozone minimum was in 1993, while it was noticed in the mid latitudes during 1996. Under Serbian area, the minimum was shown in the same time as on the global scales, in 1993. For the Serbian area, we applied flexible trend of pentad values with one year lag, and more precisely with beginning of pentad when trend was for the first time in positive sign from the period of absolutely minimal values. In the Serbia it was pentad 1992-1996. From that period to the pentad 2001-2005, flexible trend shows positive values in the six from the ten pentads (60%) which leads to the conclusion that the assumption of ozone recovery is reasonable.

The maximal values are noticed in the first years of sequences, and during the 1981, its thickness was 347 DU, while minimum of just 312 DU was noticed in 1993. If we analyzed three maximal values of ozone thickness in the range, as average value, than it could be noticed that in period 1979-1981 its thickness was average 346,3 DU, which is absolutely coincide with maximal three year value of Wolf's number in the observed period of 150,1 units. It is completely concurred with observed causality that solar radiation has domination in the process of ozone creating. The lowest value of 312 DU was noticed two years after eruption of volcano Mt. Pinatubo that was the largest volcanic eruption in the last 40 years. After all, it is obvious that interannual variations of stratospheric ozone concentration are still in the function of natural causes, as solar and volcanic activities.

According to that, we did preliminary research of possible relation between 11 parameters of solar activity and dynamics of ozone layer under Serbia. The highest statistically significant value of Pearson's correlation coefficient we found for the polar faculae of Sun's southern hemisphere. The polar faculae are local magnetic fields in highest heliographic latitudes and they are identified with vertical component of solar magnetic field.

The polar faculae show antiphase synchronous with stratospheric ozone under Serbia, which shows that they contribute to the ozone depletion. In the observed period 1979-1999, presence of antiphase adequacy and maximal and minimal moving average pentad values of both features is obvious, that is not noticed neither any outstanding individual factor of creation or ozone destruction. A value increase of correlation coefficient with one year lag in mid latitudes may indicate on the influence of atmospheric circulation to the gradual distribution of stratospheric ozone. In the literature isn't described a mechanism of polar faculae influences to the ozone, and for now, according to that, is indicated on the possible causal relations with speculative character.