

УДК 551.510.534:504.12
502.17

Оригинални научни рад

Original scientific article

Владан Дуцић
Снежана Ђурђић
Наташа Мартић Бурсаћ

АКТУЕЛНО СТАЊЕ ОЗОНСКОГ ОМОТАЧА НА ЗЕМЉИ СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА СРБИЈУ

Апстракт: Циљ рада је преглед најновијих резултата стања стратосферског озона на Земљи и Србији, утврђивање могућих узрока његове динамике, као и пројекције стања стратосферског озона у будућности. Констатовано је да емисије и концентрације супстанци које оштећују озонски омотач опадају, озонски омотач се даље не разграђује, а улога природних фактора у његовој динамици је јаснија и значајнија него што се раније сматрало. У периоду 1979-2005, дошло је до пада концентрације озона над територијом Србије кумулативно за 24,5 DU (7,2%). Међутим, методом флексибилног тренда утврђено је да од пентаде 1992-1996. доминира процес опоравка озонског омотача. Међугодишње варијације концентрације стратосферског озона над Србијом и даље су у функцији природних фактора, као што су Сунчева и вулканска активност.

Кључне речи: озонски омотач, озонске рупе, Србија, CFC, природни фактори.

Abstract: This paper's aim is survey of the most recent results on the stratospheric ozone condition on Earth and under Serbian territory, identification of possible causes of its dynamics, as well as projection of condition of stratospheric layer in the future. The decrease of emissions and concentrations of substances that cause ozone depletion is concluded, ozone layer is not in the state of further decomposition while the role of natural factors in its dynamics is much obvious and more significant than previously considered. During period 1979-2005 the decrease of ozone concentration was noticed under Serbian territory cumulatively for 24.5 DU (7.2%). However, by method of flexible trend it was established that process of ozone layer covering dominated from pentad 1992-1996. Inter-annual variations of stratospheric ozone concentration under Serbia have still been in the function of natural causes such as solar and volcanic activities.

Key words: ozone layer, ozone holes, Serbia, CFC, natural factors.

Увод

Једно од веома актуелних питања које се односи на квалитет животне средине, последњих деценија је сигурно стање озонског омотача на

* Рад представља резултат истраживања на пројектима 146005 и 146010, које финансира Министарство за науку и технолошки развој Републике Србије.

Актуелно стање озонског омотача на Земљи са посебним освртом на Србију

Земљи. За ширу, а не само научну јавност, посебно интересантан је утицај емисија загађујућих супстанци произведених од стране људских активности на оштећења озонског омотача, као и евентуалне последице које та оштећења могу оставити на здравље људи и квалитет живота уопште.

О томе говори и чињеница да озонске рупе постају предмет трговине електронским путем (eBay). У ствари, ради се о спонзорисању одређене web странице (www.theozonhole.com) тако што ће се реклама компаније или организације налазити на свакој страници поменутог сајта. Тај сајт годишње посети преко 2,3 милиона људи и преко њега се обезбеђује јавни приступ садржајима организација и институција као што су NASA, The European Space Agency, Environment Canada...

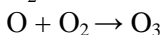
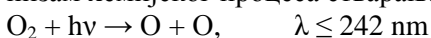
О актуелности теме говори и то да се током Олимпијских игара у Пекингу 2008. године одвијао и програм *Ozone Friendly* са циљем заштите озонског омотача. Наиме, уз подршку кинеског огранка компаније „Volkswagen” користила се расхладна супстанца тзв. R134a уместо класичних CFC компоненти (www.chinadaily.com.cn). Иначе, ове компоненте се не користе још од 2002. године у расхладним уређајима поменуте аутомобилске компаније. Такође, и компанија „Coca-Cola” је користила природне расхладне супстанце као што је CO₂ уместо супстанци које могу да буду узрок истањивања озонског омотача.

Овим радом биће представљени најновији резултати стања стратосферског озона на Земљи, а посебна анализа биће посвећена стању озона над територијом Србије. У раду ће бити изложени резултати усмерени на утврђивање узрока савремене динамике озонског омотача, као и његова могућа будућа динамика према актуелним трендовима. С обзиром на здравствени значај који могу имати концентрације приземног озона биће дат и осврт на њихово стање.

Озон у природи – настанак и разградња

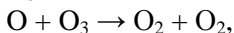
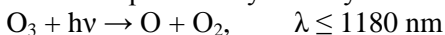
Највеће концентрације озона (O₃) налазе се у стратосфери, на висинама од 12 до 50 km изнад Земљине површине. Просечне концентрације озона на тим висинама имају вредности од само 0,6 ppм.

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:



Према Дјоминову и сарадницима (Djominov 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 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 истањања озонског омотача за 2006. годину” сматрају да дугорочно слабљење глобалног озона не може бити резултат само промена у Сунчевом зрачењу (http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/).

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. Привремена редукција Сунчевог зрачења је била посебно изражена након 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 износе високо реактивног гаса хлормонооксида (ClO). Вредност ClO је пропорционална укупној количини реактивног хлора у стратосфери. Дакле, до повећане разградње озона долази и услед раста концентрација ClO. Ерупције оба вулкана су оставиле последице по глобално слабљење озона у наредном вишегодишњем периоду. 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.

Осим у стратосфери, озон се налази и у тропосфери где представља секундарну загађујућу супстанцу насталу као резултат фотохемијских реакција између једињења азотових оксида (NOx) и испарљивих органских супстанци. Доказано је да у концентрацијама од 80 ppb тропосфер-

Актуелно стање озонског омотача на Земљи са посебним освртом на Србију

ски озон има штетно дејство на вегетацију и људско здравље. Негативно дејство приземног озона на вегетацију манифестује се кроз инхибицију хлорофила и самим тим успорен процес фотосинтезе и раста биљака (Chang & Terwilliger, 2000).

Изложеност високим концентрацијама озона у ваздуху носи ризик по здравље, стварајући тешкоће при дисању, смањење способности рада плућа и подстиче астматичне нападе. Повећање приземног нивоа озона настаје услед загађења које емитују аутомобилски издувни гасови и индустријска производња, тако да је приземни озон тренутно једна од загађујућих супстанци којој се придаје велика пажња широм Европе (McKendry & Lundgren, 2000).

Процењено је да су вредности површинског озона порасле од прединдустријског периода. Поређењем резултата посматрања у вишим географским ширинама од краја 19. века до прве половине 20. века са резултатима из 1990-их година, уочен је глобални пораст озона, исто као и у урбаним срединама. Ипак, у умереним географским ширинама северне хемисфере забележени су опадајући трендови вредности површинског озона, или пак стагнација.

Према последњим подацима које је изнела ЕЕА у техничком извештају „Атмосферско загађење озоном на подручју Европе током лета 2007. године”, концентрације приземног озона над Европом биле су током лета 2007. најниже у протеклој деценији. На простору северне Европе, у поређењу са истим периодом у 2006. години, МДК од $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ нису ниједном прекорачене (<http://reports.eea.europa.eu>).

Преглед актуелних сазнања о динамици озонског омотача и пројекцији будућег стања

Према документу „Извештај о научним проценама истањења озонског омотача за 2006. годину” (http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/) дат је преглед најважнијих закључака о динамици озонског омотача и супстанцама које га оштећују.

Супстанце које уништавају озонски омотач: укупно присуство гасова насталих антропогеном производњом који могу да оштете озонски омотач, наставља да опада од достигнутих максималних вредности у периоду 1992-1994. До 2005. год. укупно присуство антропогено насталих гасова који оштећују озонски омотач опало је за близу 8-9% од максималних вредности из периода 1992-1994. Укупна магнитуда овог пада може се приписати променама у емисијама и сагласна је са њиховим животним веком у атмосфери и нашим познавањем процеса транспорта кроз атмосферу.

Глобални озон (60° - 60° северне и јужне географске ширине): 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 и са претходним налазима.

Поларни озон: наставља се озбиљно истањење озонског омотача за време стратосферских зима. Метеоролошка варијабилност има и даље значајну улогу у посматраним варијацијама озона у областима око оба пола у неколико претходних година.

Рецентне промене глобалног озона: идентификација сигнала Соларног циклуса у посматраном озонском омотачу била је олакшана јер у протеклих 15 година није било јаким 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.

Промене UV зрачења: посматрајући промене у UV зрачењу на местима где је смањена загађеност ваздуха запажа се да су те вредности у паду од касних 1990-их година. Међутим, на неким мерним станицама у умереном појасу северне хемисфере, површинско UV зрачење наставља да расте брзином од неколико процената по декади. Овај раст се не може објаснити само осиромашењем озонског омотача него и опадајућим тенденцијама густине честица аеросола и аеро загађењем од почетка 1990-их година и делимично смањењем облачности што је потврђено сателитским осматрањима.

Пројекције стања озонског омотача и површинског UV зрачења: мало је вероватно да ће средње вредности озона у умереним ширинама значајно опадати испод најнижих вредности из 1990-их година, зато што је присуство супстанци које оштећују озонски омотач већ достигло максимум и сада се налази у паду.

Пројекције стања озона за 21. век: просечне вредности у умереним ширинама по вертикалном стубу озона биће у порасту за 1% до 2,5% у периоду између 2000. и 2020. године, достижући вредности из 1980. године у исто време или пре него што EESC¹ у истом региону опадне до вредности из 1980. године (предвиђа се за период 2040-2050). До 2100. године, озон би требало да престигне вредности из 1980. године за 5%.

¹ EESC (Equivalent Effective Stratospheric Chlorine) или еквивалентни стратосферски хлор је показатељ који доводи у везу укупни стратосферски хлор и бром са нивоом тропосферских халокарбоната. Емпиријски је утврђено да је потребно око три године да се супстанца инфилтрира у доње слојеве стратосфере од тренутка испуштања у тропосферу.

Актуелно стање озонског омотача на Земљи са посебним освртом на Србију

На основу претходног, аутори документа „Извештај о научним проценама истањења озонског омотача за 2006. годину” (http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/) закључују да су велике рупе у озонском омотачу изнад Антарктика и даље присутне. Истањење озонског омотача над Антарктиком не показује тренд раста од касних 1990-их година и од 2000. године нивои концентрација озона су неких година били чак и у порасту. Ове промене, евидентне у различитим географским ширинама и на основу различитих дијагностичких мерења, резултат су повећања динамичких активности саме атмосфере и нису последица смањења концентрација супстанци које могу да оштете озонски омотач.

Очигледно, у најновијем извештају UNEP-а примећује се да су информације везане за озонски омотач повољније него раније (www.unep.ch/ozone/unepwmo-sa2002.shtml). Наиме, присуство гасова насталих антропогеном производњом који могу да оштете озонски омотач наставља да опада, док су вредности вертикалног стуба озона у умереним ширинама за период 2002-2005. биле исте као у периоду 1998-2001. године, што значи да је силазни тренд заустављен.

У претходних неколико година, на промене поларног озона уочен је утицај метеоролошке варијабилности, дакле природних фактора. Идентификован је сигнал Соларног циклуса у колебању озонског омотача јер у протеклих 15 година није било јаким вулканских ерупција. Види се и да је повећана процена удела Сунчевог зрачења у стварању озона на 2-3%.

На местима где је смањена загађеност ваздуха запажа се да су вредности UV зрачења у паду од касних 1990-их година.

Дакле, пресек стања показује да емисије и концентрације супстанци које оштећују озонски омотач опадају, озонски омотач се даље не разграђује, а улога природних фактора у његовој динамици је јаснија и значајнија него што се раније сматрало. Ни у перспективи нема ничег драматичног. Па ипак, медији а и део научно јавног мњења, по инерцији преносе нека упозорења и сопствене научно неутемљене визије о могућој антропогеној озонској катастрофи.

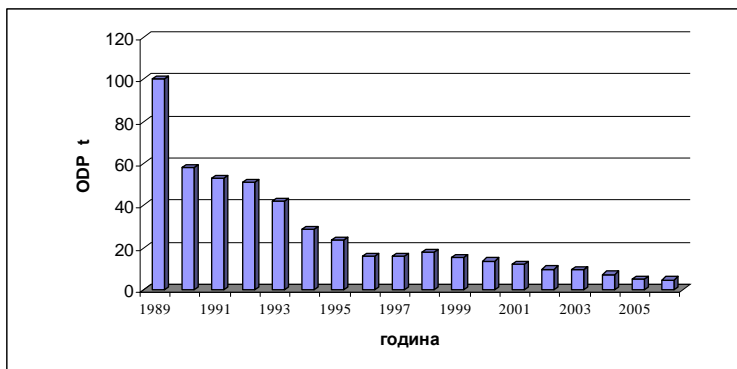
Савремене емисије загађујућих супстанци које оштећују озонски омотач

Убрзо након доношења Монреалског протокола, 1987. године и његове ратификације у водећим индустријским земљама, дошло је до драстичног пада производње супстанци које могу да оштете озонски омотач. Мерено преко тзв. потенцијала оштећења озона (ODP), већ 1990. године, само годину дана након референтне 1989, производња се смањила за читавих 41,8% (Слика1).

Тринаест година касније (2002.), производња је пала на испод 10% првобитне, чиме је елиминисана могућност да ове материје у будућности

Actual condition of ozone layer on Earth with a special review on Serbia

имају битнији утицај на динамику озонског омотача Земље. Примена нових супстанци у расхладној техници и другим областима, условила је даљи пад производње материја које поседују ODP, тако да је по подацима за 2006. смањење у односу на референтну 1989. годину износило више од 95%. Пад производње хлорофлуороугљоводоника, популарних фреона (Табела 1) био је још већи и њихов удео у потенцијалном оштећењу озона је у 2006. износио безначајних 3% (http://ozone.unep.org/data_reporting/).



Слика 1. – Глобална производња супстанци које могу да оштете озонски омотач

Табела 1. - Производња супстанци које могу да оштете озонски омотач (глобално стање)

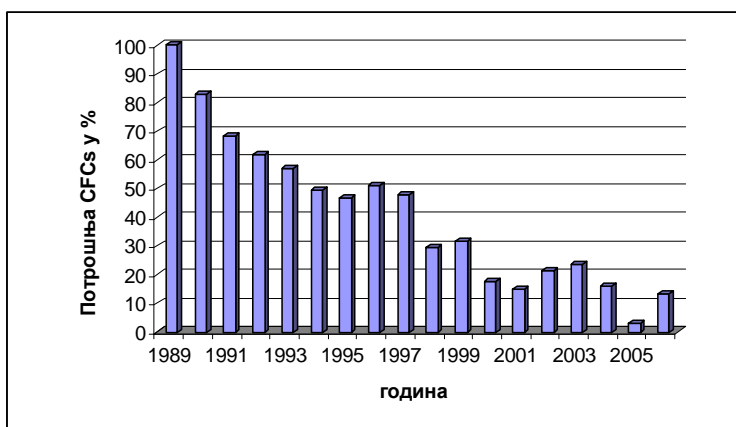
Година	ODP (t)	%	CFCs (t)	%
1989	1.756.963	100	1.045.998	100
1990	1.021.802	58,2	764.284	73,1
1991	930.532	53,0	664.310	63,5
1992	899.596	51,2	590.809	56,5
1993	741.749	42,2	506.031	48,4
1994	503.398	28,7	338.462	32,4
1995	413.709	23,5	253.768	24,3
1996	283.596	16,1	151.617	14,5
1997	282.482	16,1	158.755	15,2
1998	314.591	17,9	146.832	14,0
1999	268.804	15,3	146.780	14,0
2000	243.672	13,9	133.029	12,7
2001	214.120	12,2	100.934	9,6
2002	174.125	9,9	93.825	9,0
2003	171.405	9,8	82.854	7,9
2004	130.227	7,4	69.932	6,7
2005	92.605	5,3	49.558	4,7
2006	84.048	4,8	31.762	3,0

Извор: http://ozone.unep.org/data_reporting/data_access

Актуелно стање озонског омотача на Земљи са посебним освртом на Србију

Србија није произвођач ових материја, али јесте потрошач. У Србији је потрошња материја које имају потенцијал оштећења озона пре доношења Монреалског протокола износила око 2700 тона. Већ 1989. она се смањила за више од трећине, да би се тај пад наставио, уз извесна колебања до 2005., када је потрошња пала на мање од 2% од првобитне.

Подаци за 2006. годину указују на извесно повећање потрошње и то на 234 тоне, (Слика 2.) што би се можда могло довести у везу са већим коришћењем јефтиних раскладних уређаја застареле технологије. Иако је потрошња и даље испод 10% у односу на 1986., требало би спровести ригорознију контролу увоза клима уређаја, да се тај тренд не би наставио.



Слика 2. - Потрошња CFC_s једињења за Србију у периоду 1989-2006.

Стање озонског омотача у Србији – извори података и методологија истраживања

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 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).² Због техничких проблема крајем октобра 1994. наступио је прекид у осма-

² Обрађени су подаци мерења следећих сателита: NIMBUS 7 (1978.- 1993.); Meteor-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>).

трању све до половине 1996. године. Из тог разлога били смо принуђени да вршимо интерполације података о озону на основу приземне станице Ароса у Швајцарској. 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 извојени потребни подаци.

Годишњи ток концентрације озона у Србији

Годишњи ток промене концентрације стратосферског озона, у периоду 1979-2005, над територијом Србије је правилан. Од минимума у октобру (286,4 DU) он се постепено повећава до априла када износи 373,5 DU, након чега се поново постепено смањује ка октобру месецу.

Средња годишња вредност концентрације озона над Србијом износи приближно 330 DU (Табела 2.), и већа је од планетарне (65° с.г.ш.–65° ј.г.ш.) за читавих 40 јединица. У односу на средњу годишњу концентрацију за северну хемисферу, дебљина озона изнад наших крајева је већа за 23 DU (www.johnstonsarchive.net/environment). Србија се налази на географским ширинама изнад којих је просечна годишња дебљина озонског омотача релативно висока. Самим тим, здравствени ризик од смањења концентрације озона је сразмерно мањи.

Табела 2. - Годишњи ток промена концентрације стратосферског озона над територијом Србије (DU)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год.
333,3	356	364,6	373,5	359,8	345,1	327,2	313,5	302,9	286,4	289,4	310,7	330,2

Извор: www.johnstonsarchive.net/environment

Тренд промена 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

Актуелно стање озонског омотача на Земљи са посебним освртом на Србију

(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. Међутим, како је већ констатовано, дебљина озонског омотача у нашим крајевима је за више десетина DU већа од средњих планетарних вредности.

Полазећи од методе флексибилног линеарног тренда који су користили Кришчин и Борковски (Krzyściń, Borkowski, 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 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 минималних вредности. У Србији је то пентада 1992-1996. Од тог периода па до 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 (Слика 3). 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 доми-

нира 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 експлозије вулкана Ел Чичон.

Из свега изнетог 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.



Слика 3. - Промене дебљине озонског омотача (концентрације) изнад територије Србије

Појава озонских рупа над територијом Србије

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.

Актуелно стање озонског омотача на Земљи са посебним освртом на Србију

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.

Године 1999. били смо сведоци бомбардовања наше државе и енормно великог свакодневног броја авионских прелета. Према подацима НАТО-а у просеку је било преко 2000 борбених летова дневно, односно за готово три месеца трајања бомбардовања изведено је преко 60000 летова. После бомбардовања доста се причало, између осталог и о аерозагађењу, које засигурно није изостало после толиког броја летова, али и о томе да је озонски омотач изнад нас заправо потпуно уништен. С обзиром да борбени авиони лете на самој граници стратосфере, а шпијунски (Авах) лете и унутар стратосфере, а имајући у виду да се у авионском гориву налази штетни хлор, било је и логично очекивати да се то одрази на озонски омотач.

Према измереним вредностима, озонска рупа, се у 1999. години јавила два пута пре бомбардовања, а затим још једном у децембру, углавном изнад севера земље. Током 2000. године она се јавља само једном (у новембру), а 2001. године се не појављује уопште. Према овим подацима не можемо да повежемо појаву озонских рупа са бомбардовањем. Међутим, ако посматрамо датуме када је вредност озона изнад Србије падала испод 250 DU, примећујемо појаву која се десила само 1999. године. По први пут откако се врше мерења регистроване су септембарске вредности које су испод 250 DU. Како ове вредности нису карактеристичне за септембар, може се закључити да је дошло до неких аномалија те године, али да оне, срећом, нису биле драстичне и опасне као што би се могло очекивати. С друге стране, то се догодило пуна три месеца након завршетка бомбардовања, тако да је ову аномалију тешко са сигурношћу довести у везу са стратосферним аерозагађењем.

Закључак

У Србији је потрошња супстанци које имају потенцијал оштећења озона пре доношења Монреалског протокола износила око 2700 t. Већ 1989. она се смањила за више од трећине, да би се тај пад наставио, уз извесна колебања до 2005. године, када је потрошња пала на мање од 2% од првобитне. Подаци за 2006. годину указују на извесно повећање потрошње што би се можда могло довести у везу са већим коришћењем јефтиних расхладних уређаја застареле технологије.

У периоду 1979-2005. кумулативни губитак озона над Србијом износи 7,2%, што је у складу са променама у суседним земљама на нашим географским ширинама. Од пентаде 1992-1996. па до 2001-2005. флекси-

билни тренд показује позитивне вредности у шест од десет случајева, из чега се може закључити да је претпоставка о опоравку озонског омотача оправдана. Подударност између периода максимума концентрације озона у нашим крајевима и Волфовог броја, као и минимума озона и вулканске активности, указује на доминацију природних фактора у његовој међугодишњој варијабилности.

Над већим делом територије Србије, у периоду 1979-2005. озонске рупе су се јављале само 1-2 пута и то у јесен и зиму, када је индекс UV зрачења низак. Осим тога, само три пута су биле већих димензија, али и онда су заузимале површину мању од половине територије Србије.

У целини гледано, опште стање озонског омотача изнад Србије је задовољавајуће. Иако су вредности ниже него крајем осамдесетих, силазни тренд је заустављен и већ десетак година присутан је лагани узлазни тренд. С обзиром да је производња супстанци које имају потенцијал за оштећење озона последњих двадесет година опала за више од 90%, није реално очекивати да би људи могли изазвати било какву озонску катастрофу у будућности.

Литература

- *** (2000). *The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, UNEP.
- *** (2001). *The Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer*, UNEP.
- Benedick, R. (1991). *Ozone Diplomacy, New Directions in Safeguarding the Planet*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Chang, E. & Terwilliger, V. (2000). The effects of air pollution on vegetation from a geographic perspective. *Progress in Physical Geography*, 24(1), 53-74.
- Дуцић, В. и Ђурђић, С. (2005). Стање и динамика озонског омотача Земље са освртом на Монреалски протокол. *Гласник Српског географског друштва*, 85(1), 49-56.
- Dyominov I.G., Zadorozhny A.M. & Larin I.K. (2003). Response of the Earths ozone layer to anthropogenic pollution of the atmosphere. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 00532.
- Krzyściń, J. W., 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, 47-69.
- McKendry, I.G., Lundgren, J. (2000). Tropospheric layering of ozone in regions of urbanized complex and/or coastal terrain: a review. *Progress in Physical Geography*, 24(3), 329-354.
- http://ozone.unep.org/Data_Reporting/Data_Access/
- http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2006/02-Executive_Summary

http://reports.eea.europa.eu/technical_report_2008_5/
<http://jwoczk.gsfc.nasa.gov>
www.chinadaily.com.cn/sports/2007-09/27/content_6140262.htm
www.johnstonsarchive.net/environment
www.qos2004.gr/files/113.doc
www.science.nasa.gov/headlines/y2006/images/ozone/20questions.pdf
www.theozonehole.com
www.wmo.ch

Vladan Ducić
Snežana Đurđić
Nataša Martić Bursać

ACTUAL CONDITION OF OZONE LAYER ON EARTH WITH A SPECIAL REVIEW ON SERBIA

Summary

The latest assessment of UNEP on ozone layer is more favorable than before. Actually, the abundance of gases produced by anthropogenic emissions that may cause ozone layer depletion still decreased, while values of total column ozone in mid-latitudes for period 2002-2005 were the same as for period 1998-2001 meaning that the decreasing trend stopped. The solar cycle signal in fluctuations of ozone layer is identified and evaluation of solar radiation ratio in ozone production increased on 2-3%. The projections of ozone condition for the 21st century show that mean values in mid-latitudes for total column ozone will rise for 1% to 2.5% in period between 2000 and 2020. Before Montreal Protocol, the consumption of substances that may cause ozone layer depletion was around 2,700 tones in Serbia. In 1989, it already reduced for more than a third, the decline continued with some fluctuations until 2005 when consumption decreased on almost 2% from the starting value. In the period 1979-2005 cumulatively ozone loss under Serbian territory was 7.2% which is in accordance with changes of the surrounding countries of the same latitudes. From pentad 1992-1996 and to 2001-2005, flexible trend shows positive values in six cases out of ten. Therefore, it is possible to conclude that presumption of ozone layer recovering is reasonable. Under major part of Serbian territory during period 1979-2005, the ozone holes appeared only once or twice, specifically during autumn and winter season when UV index radiation was low. Compatibility between maximum ozone concentration period and Wolf's number in our region, as well as ozone minimum and volcanic activity, indicate the domination of the natural factors in their inter-annual variability. Considering that production of substances which have potential for ozone depletion has declined for more than 90% in the last twenty years, it is not realistic to expect that anthropogenic influence could be the major cause of any ozone catastrophe in the future.