

ПРОИЗВОДСТВО НА ОЗОН ОТ СЛЪНЧЕВО ПРОТОННОТО СЪБИТИЕ (SPE) НА 20.01.2005

Йордан Тасев¹, Димитринка Томова²

¹Институт за космически изследвания и технологии - Българска академия на науките

²Софийски университет «Св. Климент Охридски», Департамент по езиково обучение,
Катедра природни науки
e-mail: yktassev@bas.bg

Ключови думи: стратосферен озон, слънчево протонно събитие

Резюме: В настоящата работа, въз основа на изчислени профили на йонизация от потока протони генерирани от Слънчево Протонно Събитие от 17, 20 January 2005 (GLE 68 и 69), са изчислени профилите за продукцията на озон за 15 часа. Направено е сравнение, между продукцията на озон на 40, 60 и 80° северна географска ширина от слънчевите протони и измерените профили на стратосферния озон. Получените профили на продукцията на озона имат максимуми на различни височини. Най-високо е разположен максимума на полярни ширини, а най-ниско на средни ширини. Съответно, продукцията на озон е най-голяма на полярни ширини, на 60° N е 1,5% от продукцията на 80° N и на 40° е едва 0,19% от продукцията в полярни ширини.

PRODUCTION OF OZONE FROM THE SPE OF 20.01.2005

Yordan Tassev¹, Dimitrinka Tomova²

¹Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

²Sofia University "St. Kliment Ohridski", Department for Language Teaching and International Students,
Chair of Natural Sciences
e-mail: yktassev@bas.bg

Keywords: stratospheric ozone, Solar Proton Events

Abstract: The ozone production profiles for 15 hours are calculated in the present paper on the base of computed ionization rate profiles from the proton flux generated by the Solar Proton Events from 17 to 20 January 2005 (GLE 68 and 69). A comparison between the ozone production at 40, 60 and 80° degree of Northern latitude is made. The obtained ozone production profiles show maxima at different altitudes. The highest maximum is situated at polar latitudes, the lowest maximum – at middle latitudes. The ozone production is highest at polar latitudes – the production at 60° N is 1.5% from the production at 80° N. At 40° N it is 0.19% from the production at polar latitudes.

Въведение

При настъпване на Слънчево Протонно Събитие (Solar Proton Event), то е съпроводено от различни процеси и явления в земната атмосфера. Едно от основните такива е допълнителната йонизацията, която то предизвиква. Основно тя се генерира от значителния поток от протони, представляващ около 90 - 95% от състава на частиците, достигащи до Земята. В зависимост от мощността на събитието, когато има изхвърляне на поток от слънчеви космически лъчи с енергия над 100 MeV, се наблюдава явлението Ground Level Enhancements. При него има наличие на поток от високо енергетични частици, създаващи каскадни процеси в атмосферата, продуктите от които достигат и земната повърхност, регистрирайки ги в неутронните монитори. Такъв е случаят и със събитията от 17-20 January 2005 (GLE 68 and 69). Оценката на профилите на скоростта на йонизация в резултат на горепосочените процеси, обикновено е трудоемка и проблемна задача, поради сложността на корпускулярно-електромагнитните каскади в атмосферата. Обикновено се изчислява скоростта на йонизация в

началния момент на събитието, или близки до него [1,2,3]. Това, като характеризирание на моментното състояние на йонизацията и процесите и ефектите свързани с нея, е необходимо, но недостатъчно. За да може да се проследи във времето развитието на процеса на йонизация и ефектите от тях, представлява интерес изчислението на йонната продукция в различни моменти. В най-елементарния случай, е определяне профилите на йонизация в началния и крайния момент на изследвания период. В работа [4] е дадена йонната продукция, определена конкретно за събитието от 20 януари 2005 год. При това в работата са дадени профилите на скоростта на йонизация в два различни момента. Първият профил е един час след началото на СПС – 08 часа, а вторият в 23 часа. Изчисленията са за трите ширини 40, 60 и 80° N. Използвайки вече изчислени профили от [4] на скоростта на йонизация от СКЛ по време на СПС от 20.01.2005 за 40, 60 и 80° N се изчисляват профилите на продукцията на озон. Данните за измерените профили на озона са взети от [10].

Изложение

Тъй като йонизацията в атмосферата, реализирана в резултат на потока от СКЛ, основно се генерира от протоните, които са основна част от състава им, то ние първо ще оценим тяхния принос за образуването на озон. Връзката между потока енергия от протоните на СКЛ и скоростта с която се образуват йони получени в резултат на този поток, може да се даде с уравнението, описващо скоростта на образуване и разрушаване на йоните:

$$(1) \quad \frac{dE_p}{dt} \frac{1}{Q} = \frac{dn}{dt} = q(h, \lambda) - \alpha n^2 - \beta N n$$

Където, $Q=35$ eV е енергията, необходима за образуването на една йонна двойка. $q(h, \lambda)$ е скоростта на продукцията от йонни двойки получени чрез модела CORSIKA от формула за йонизацията на космическите лъчи $q(h, \lambda)$ в работа [4]. α и β са съответно коефициенти на рекомбинация и прилепване. При анализа от литературни данни за коефициента на рекомбинация на йонни двойки, съгласно [5, 6, 7] стойността на $\alpha = 4 \cdot 10^{-7} \text{ ion.cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ до $1,8 \cdot 10^{-8} \text{ ion.cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Съпоставяйки тези стойности с максимумите на скоростта на йонизация на профили за 40, 60 и 80° , които са $1,74 \cdot 10^3$, $2,92 \cdot 10^4$, и $1,74 \cdot 10^6$ се показва: че αn^2 за 80° е $4,10^{-7} (1,74 \cdot 10^6)^2 = 6,8 \cdot 10^5 \text{ ion.cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ дори за най- високите стойности на скорост на йонизация (каквато е на 80°) балансно уравнение в квазистационарния случай $dn/dt = q(h, \lambda) - \alpha n^2 = 0$ е съответно $1,74 \cdot 10^6 - 6,8 \cdot 10^5 = 1,06 \cdot 10^6 \text{ ion.cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Както се вижда от получената стойност на горната разлика, порядъкът не се променя на броят йони за 80° N, дори ако ги намалим с αn^2 . За другите ширини стойностите на αn^2 са още по-малки. За коефициента на прилепване β съгласно [5] реалният принос за унищожаване на йоните е 0,2 %. Това означава, че в първо приближение ние може да приемем

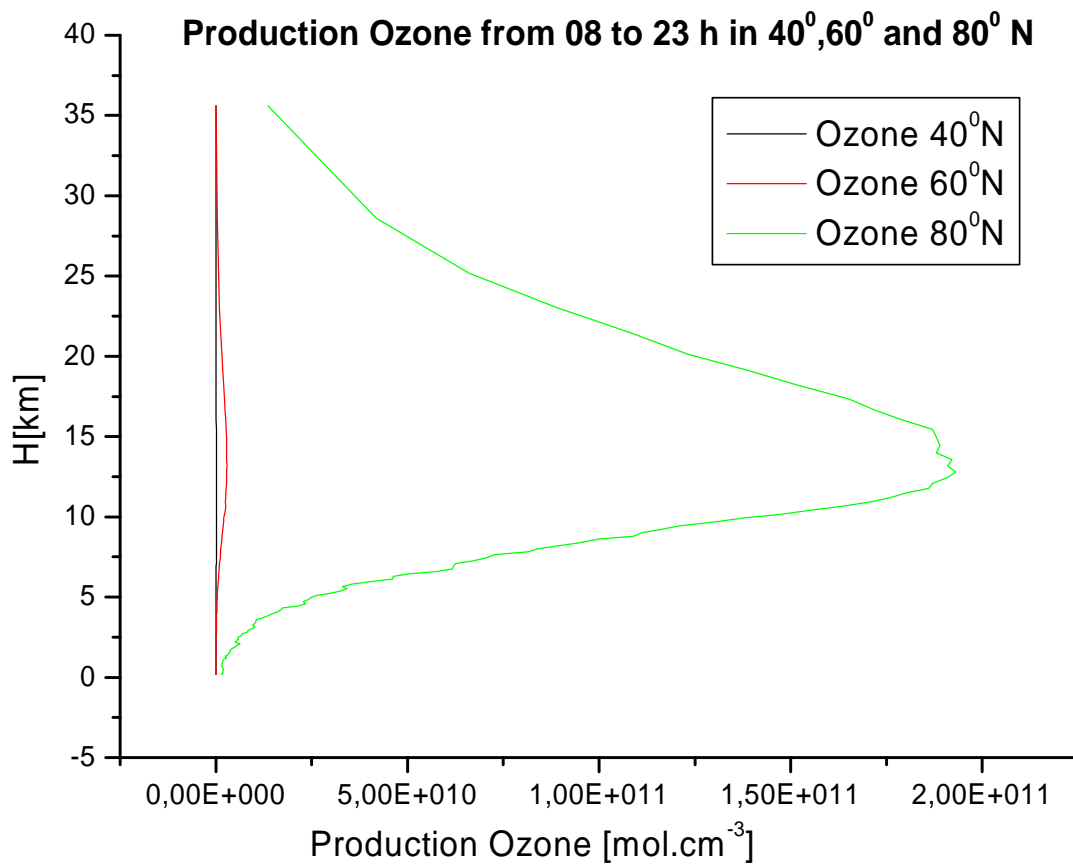
$$(2) \quad \frac{dE_p}{dt} \frac{1}{Q} = \frac{dn}{dt} = q(h, \lambda)$$

Използвайки експерименталните данни за оценка радиолизата на кислородно - азотна газова смес, може да се изчисли скоростта на производство на озон. При смес от кислород и азот, която се облъчва с радиация, се генерира озон и азотни окиси. С добро приближение може да се приеме сместа от кислород и азот за описание на въздуха. При облъчване на влажен въздух също се образува озон, азотни окиси и азотна киселина. Когато има относително висока мощност на дозата $I = 3,2 \cdot 10^{10} \text{ Gr/s}$ основният продукт се явява озона. Азотния окис е пренебрежимо малък, тъй като G – продукцията на брой молекули азот от 100 eV е под единица. Затова за въздуха при налягане 530 hPa се взима $G(\text{O}_3) = 10,3 \text{ mol}/100 \text{ eV}$ [8]. Отчитаме факта, че за образуването на една йонна двойка са необходими 35 eV. От тук, за нашите цели в първо приближение, за изчисляване вертикалното разпределение на скоростта на образуване на озон в атмосферата в резултат на СКЛ, като основен източник на йонизация се взима потока протони и се определя чрез уравнението от [9]:

$$(3) \quad \frac{dN_{O_3}}{dt} = G(O_3) \frac{dEp}{dt} \frac{1}{Q}$$

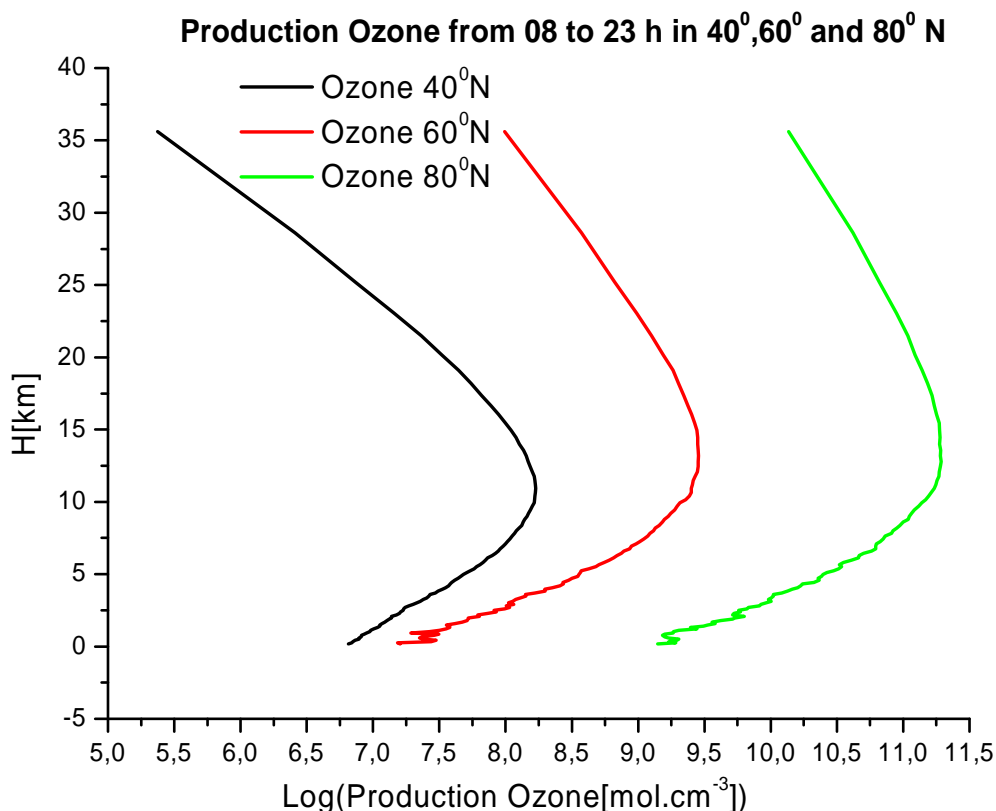
Изчислявайки скоростта на продукцията от йонни двойки от (2) в първия случай за UT 08:00 часа, получаваме от (3) скоростта на образуване на озон в този час. След това изчисляваме скоростта на продукцията от йонни двойки за UT 23:00 часа и изчисляваме от нея скоростта на образуване на озон в 23:00 часа. Определяме средната скорост на образуване на озон между тези два момента. Умножавайки я по целият часов интервал, получаваме продукцията на озона N_{O_3} за тези 15 часа. Тази процедура се използва и за трите ширини 40, 60 и 80° N.

Получените профили за продукцията на озон само от протоните в резултат на йонизацията и верижните процеси протичащи във стратосферата и високата атмосфера са дадени на фигура 1 и фигура 2.



Фиг. 1

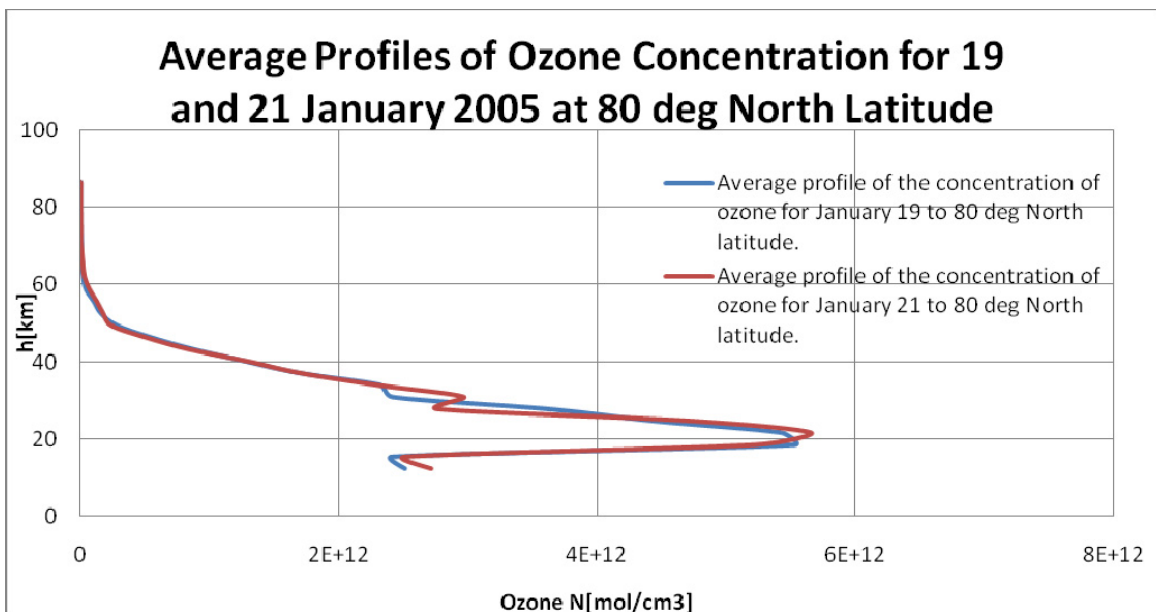
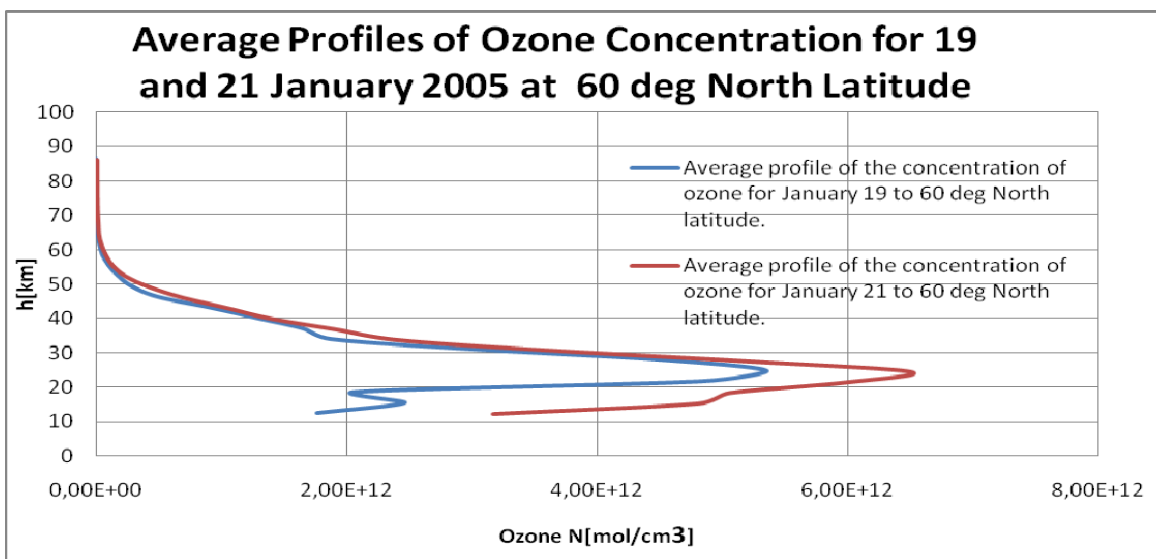
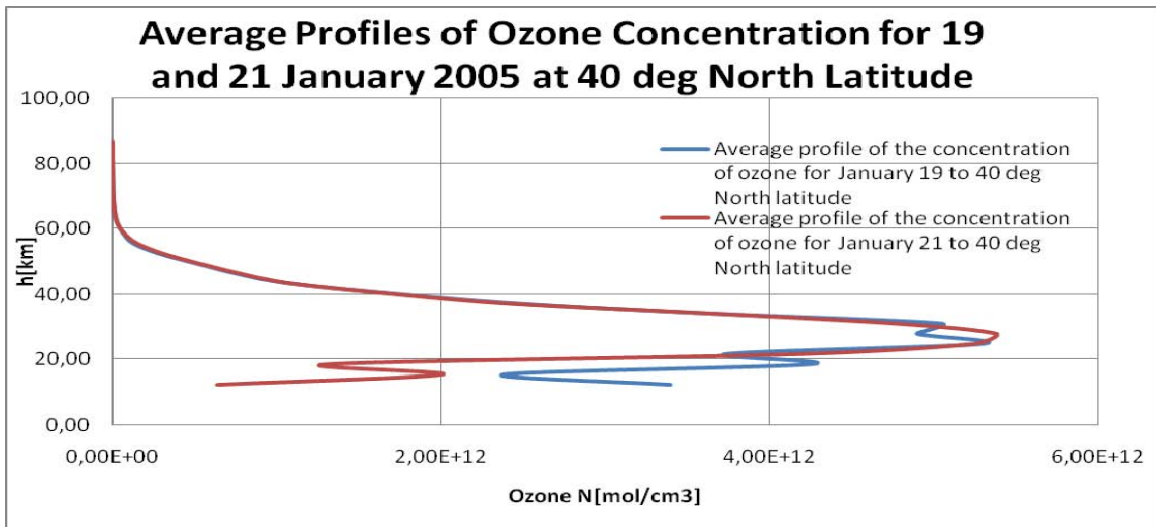
На първата фигура е използвана линейна скала на изобразяване на продукцията на озона за тези петнадесет часа, след протонното събитие. На втората фигура същите профили но дадени в десетичен логаритъм по оста за концентрацията.



Фиг. 2

Полученият профил за продукцията на озон на 40⁰ северна ширина има максимум на височина $H[\text{km}] = 10,9$ и $N_{O_3} [\text{mol.cm}^{-3}] = 1,69\text{E}+08$. Съответно на 60⁰ северна ширина има максимум на височина $H[\text{km}] = 13,7$ и $N_{O_3} [\text{mol.cm}^{-3}] = 2,85\text{E}+09$. И на 80⁰ северна ширина максимума е на височина $H[\text{km}] = 12,78$ и $N_{O_3} [\text{mol.cm}^{-3}] = 1,93\text{E}+11$. Както се вижда на по-ниски ширини максимума на концентрацията на озона е по-ниско в атмосферата (в случая с 40 северна ширина) от тези на високи ширини (60 и 80⁰ северни ширини). Това може да се обясни с различните профили на скоростта на йонната продукция. Получената продукция на озон само от потока протони по целия профил за първи път дава приноса на СКЛ към съдържанието на озона в стратосферата за конкретно събитие. Освен това тази оценка по трите ширини (40, 60, 80⁰) в северното полукълбо могат процентно да определят и концентрацията на озона. Ако приемем, че продукцията на озон е 100% на 80⁰ N то за 60⁰ N продукцията на озона е 1,5 % . Съответно продукцията на озона на 40⁰ N спрямо тази от 80⁰ N е едва 0,19%. Тези процентни разпределения на концентрацията на озона най-добре се показват на фигура 1, където е използвана линейна скала на изобразяване на продукцията на озона.

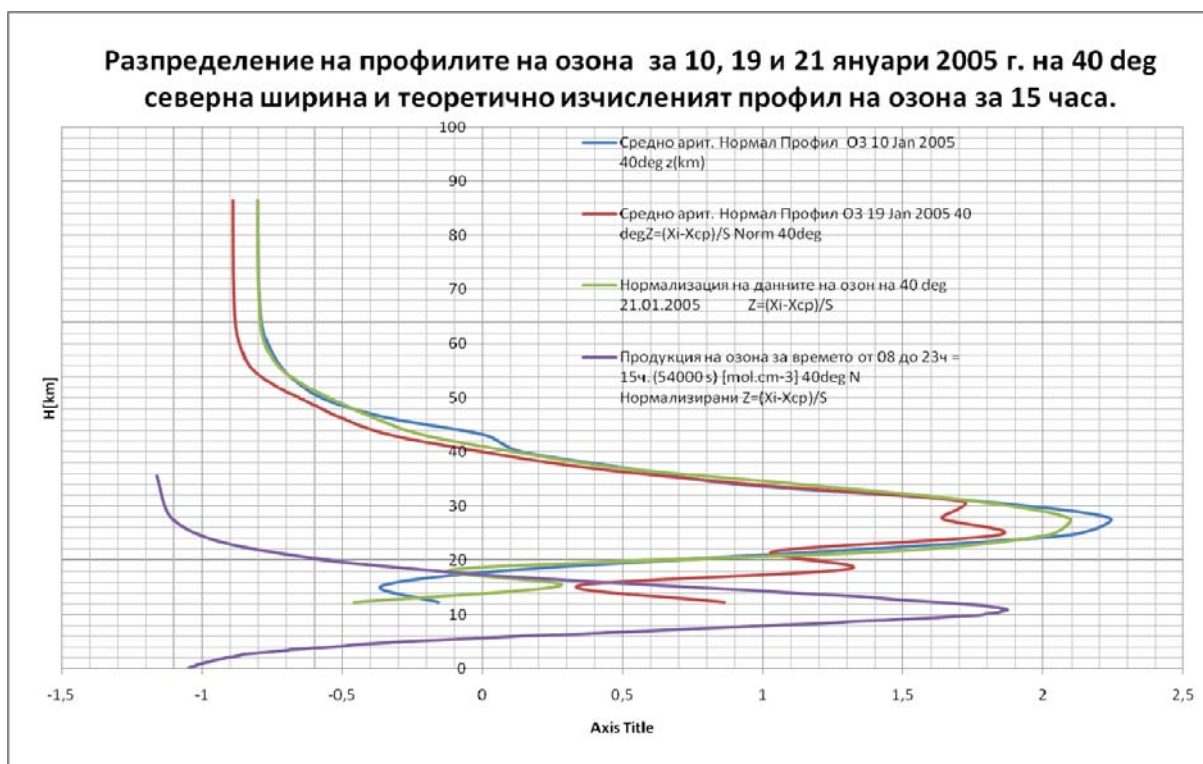
Като проверка за образуването на озон, може да послужи разглеждането на състоянието на профили на концентрацията на стратосферния озон. Използваме реално измерени данни от мисията AURA и инструмента Microwave Limb Sounder (MLS) [10] измерващ профили на озона. За целта се изчертават среднодневните профили на озона от 19 януари 2005, за трите северни географски ширини 40, 60 и 80⁰, центрирани към Гринуичкия меридиан. Същата процедура извършваме и за профили на озона, но за 21 януари. Така се приближаваме максимално до зададените по-горе условия на теоретичната оценка. Сега сравнявайки средните профили на концентрацията на озон от 19 и 21 януари, на различни ширини, може да се забележи евентуалната тенденция в концентрацията му. На фигура 3 са показани и трите комбинации от профили. Независимо от това, че в разпределението на озона по височина може да имат влияние и динамичните фактори, то ясно се вижда, че тенденцията е на увеличение на озона.



Фиг. 3

Нещо повече, при сравнението на профилите, от непосредствените измервания, в трите ширини (фигура 3) се забелязва следното: На високи ширини 80° N, почти не се различават профилите от 19 и от 21 януари. Това може да бъде обяснено с факта, че на високи ширини проникват значително по лесно и по-ниско енергетичните частици, поради по-малкия геомагнитен праг и там се поддържа една постоянна продукция на озон от тях. На 60° N, виждаме една чувствителна разлика в профилите. Това може да се обясни с това, че в този период геомагнитният праг се е понижил и значително се е увеличила йонизацията, от там и продукцията на озон. Що се отнася до 40° N, профилите малко се различават с леко увеличение от 21 януари. Това може да се обясни с това, че на тези ширини промяната на геомагнитният праг, а от там и йонизацията водещи до продукцията на озон са незначителни. Това може да се види ясно на фигури 1 и 2.

И накрая са сравнени за една ширина 40° северно, профилите от измерените стойности на озона и профилите, изчислени в резултат на потока слънчеви протони (фигура 4). Дадени са среднодневните и нормирани профили на измерените озон на 10, 19 и 21 януари 2005 год. и теоретично изчисления профил на озона за 15 часа. Ясно се вижда, че изчисленият профил, дори само за тези 15 часа, е съизмерим с профилите от 19 и 21 януари. При положение, че тази теоретична количествена оценка в никакъв случай не може да претендира за пълнота, може със сигурност да се отбележи наличието на принос на потока протони в профилите на озона.



Фиг. 4

Заклучение

Получените резултати показват, че продукцията на озон от потока слънчеви протони има своя принос в общото състояние и разпределение на озона по неговия профил. Въпреки, че на високи ширини 80° продукцията на озон е най-голяма, то максимума му се намира най-високо в атмосферата. Това се дължи на значително по-ниския геомагнитен праг на отрязване на енергетичните частици. Поради този факт, голямо значение имат частиците с ниски енергии. Те са, освен това, със значително по-голяма интензивност, но поради относително по-ниските си енергии проникват до по-големи височини. Така се оформя максимума на йонизация на по-голяма височина. От тук и максимума на продукцията на озона се получава на по-голяма височина.

При по-ниски ширини, като при 40° N, геомагнитният праг е по-висок, около 5,5GV и заложената начална енергия в спектъра е по-висока. Тези по-високо енергетични частици имат по-висока проникваща способност и съответно оформят по-ниско в атмосферата максимума на йонизация. Съответно, и продукцията на озон ще има максимум по-дълбоко в атмосферата.

Тези количествени оценки за изчисление на профилите на продукцията на озон дават възможност още веднъж да се интерпретира и появата на втори максимум на средни ширини. Той съвсем естествено се оформя от йонизацията, предизвикана от галактически космически лъчи при спокойни условия и от слънчеви космически лъчи при слънчеви протонни събития.

Литература:

1. M i s h e v, A., P. I - Y. V e l i n o v, Atmosphere Ionization Due to Cosmic Ray Protons Estimated with Corsika Code Simulations. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences 60(3), 2007, 225-230.
2. V e l i n o v, P. I - Y., A. M i s h e v. Solar Cosmic ray induced ionization in the Earth's atmosphere obtained with Corsika code simulations. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences 61(7), 2008, 247-932.
3. U s o s k i n, I. G., G. A. K o v a l t s o v, Cosmic ray induced ionization in the atmosphere: Full modeling and practical applications, J. Geophys. Res., 111, D21206, 2006.
4. M i s h e v, A., P. V e l i n o v, L. M a t e e v. Atmospheric ionization due to solar cosmic rays from 20 January 2005 calculated with Monte Carlo simulations. Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences 63(11), 2010, 1635-1642.
5. С м и р н о в, Б. М. Экологические проблемы атмосферы Земли. Успехи физ. наук, 1975, т.117, вып. 2, 313-332.
6. W e b e r, W. J. Geoph. Res., 67, №13, 1962, 5091.
7. S w i f t, D. W., J. Atm. Terr. Phys. 23, 1961, 29.
8. W i l l i s, C., B o y d A. W., Excitation in the radiation chemistry of inorganic gases. Inter. J. Radiat. Phys. and Chem., 8, 1-2, 71-111, 1976.
9. O s e c h k i n, В. В., G n i l o v s k o i E. V., K o n d r a t o v i c h K. V. О воздействии галактических космических лучей на формирования весеннего максимума общего одержания озона в полярных и субполярных районах. Доклады АН СССР, т305, №4, 1989.
10. <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni>