

Моделна оценка на ултравиолетов озонометричен спътников експеримент

Доротея Иванови

Институт за космически изследвания, БАН

Моделната оценка и въпросът за оптимално планиране на спътниковите озонометрични експерименти са тясно свързани с повишаване информативността на озонометричните изследвания. При планиране на такива експерименти е необходимо от обективните данни да бъде извлечена максимално полезна информация. Опитът показва, че само усъвършенстването на методите на обработка няма да гарантира надеждна интерпретация на експерименталните данни при положение, че те не съдържат достатъчно информация за обекта на изследване. Необходимо е усъвършенствано физично и математично моделиране на експериментите за определяне на озонния профил, приложимо за спътникови измервания.

За озонометрични изследвания в областта $0,250-0,340 \mu\text{m}$ на ивиците на поглъщане на озона е необходимо да се отчете следното съображение: за вълни с по-къси дължини ($\lambda < 0,292 \mu\text{m}$) слънчевото излъчване се разсейва в слоевете на атмосферата, разположени над максимума на озонната концентрация, и не прониква през озонния слой. В този случай еднократно разсеяното излъчване към спътника, т. е. в надир, за зенитен ъгъл на Слънцето θ_0 и дължина на вълната λ се записва с израза [4]

$$(1) \quad \varphi(\lambda, \theta_0) = F_0(\lambda) \left(\frac{3}{16} \pi \right) (1 + \cos^2 \theta_0) \\ \times \int_0^{z_0} \beta_\lambda(z) \exp \left\{ -(1 + \sec \theta_0) (k_\lambda U(z) + \int_z^{z_0} \beta_\lambda(z') dz') \right\} dz,$$

където $F_0(\lambda)$ е вълнен за атмосферата поток на Слънцето; $\beta_\lambda(z)$ — коефициент на релеевско разсейване; $U(z)$ — количество озон в атмосферен стълб на височина z ; z' — височина на атмосферен стълб, една стъпка над z ; k_λ — коефициент на поглъщане на озона.

За вълни с такава дължина, при която излъчването прониква през озонния слой ($\lambda < 0,292 \mu\text{m}$), смятаме, че е необходимо да се отчетат многократното аерозолно разсейване и отражението от подложната повърхност.

Очевидно задачата твърде много се усложнява от отчитане на процесите на многократно разсейване и се внася твърде голяма неопределеност от необходимостта да се отчитат аерозолното състояние на атмосферата и албедото на подложната повърхност. Във връзка с тези съществени недостатъци на ултравиолетовия метод е възможно да се възстанови озонният профил с добра точност само за височини $z \geq 30$ km.

При решаване на проблема за математичното моделиране за височини над 25–30 km първо извършихме оценка на границите на приближението, описано с уравнение (1), за различни стойности на зенитния ъгъл на Слънцето θ_0 . За целта бяха необходими моделни оценки на редица процеси — многократно разсейване и отражение на подложната повърхност.

Като използваме оценките на влиянието [5] на посочените фактори, можем да направим следните изводи:

1. За произволна геометрия на релаваната задача многократните разсейвания за $\lambda \leq 0,3$ μm не превинават 1%;

2. В интервала 0,30–0,31 μm е необходимо да се отчита вторичното разсейване. Отчитането му може да става с помощта на приблизителна методика, предложена и обоснована в [5].

В [5] влиянието на аерозолното разсейване е оценено по остарял модел, изискващ актуализиране.

Количествени оценки на влиянието на подложната повърхност също не са предвидени.

Във връзка с това разглеждаме специалните оценки на влиянието на аерозолното разсейване и отражението на подложната повърхност за дълговълнови ултравиолетови измервания в четири канала: $\lambda_1 = 0,300$ μm ; $\lambda_2 = 0,302$ μm ; $\lambda_3 = 0,305$ μm ; $\lambda_4 = 0,310$ μm , стриктно и детайлно разработени от авторите [1–3]. След синтезиране на данните за три положения на Слънцето ($\theta = 15^\circ, 45^\circ, 75^\circ$) в табл. 1 са дадени грешките (в проценти), свързани с неотчитането на аерозолното разсейване и отражението на подложната повърхност за три различни стойности на албедото a .

От резултатите в табл. 1 следва, че най-голяма грешка внасят неотчитането на аерозолите и отражението на подложната повърхност. Тази грешка се наблюдава при най-дълговълновия от всички разглеждани канали λ_4 при големи височини на Слънцето ($\theta = 15^\circ$). При това влиянието на аерозолите и на подложната повърхност до голяма степен се компенсират взаимно. Вижда се, че при силно помътняване на атмосферата влиянието на подложната повърхност даже в дълговълновите канали не се отчита въобще (модел II). За $\theta_0 = 15^\circ$ при $\lambda = 0,300$ μm при големи стойности на албедото на подложната повърхност (модел I, $a = 1$) грешката достига до 5%. При силно помътняла атмосфера (модел III, при произволно a) грешката също е около 5%.

Следователно при дистанционни озонметрични експерименти при $\theta_0 = 15^\circ$ е желателно да се използват вълни с $\lambda \leq 0,300$ μm .

За $\theta_0 = 45^\circ$ тази граница се вдига до 0,302 μm .

За зенитните ъгли на Слънцето с големи стойности ($\theta = 75^\circ$) за дистанционни измервания могат практически да се използват (както се вижда от табл. 1) всички разглеждани канали за измерване, без да се отчитат своствата на аерозолите и подложната повърхност.

Въз основа на проведената моделна оценка и обективните озонметрични данни [5] определяме условията за пресмятане в разглежданата ултравиолетова област на спектъра:

1. В интервала 0,260–0,300 μm се отчита само еднократното разсейване;

Таблица 1

Радиационен модел*	Алbedo	$\theta_0 = 15^\circ$				$\theta_0 = 45^\circ$				$\theta_0 = 75^\circ$			
		λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
I	$a=0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$a=0,1$	0,51	1,1	4,3	7,8	0,18	0,42	2,4	5,4	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	0,50
	$a=1$	5,2	12	48	88	1,9	4,3	26	53	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	0,77	5,0
II	$a=0$	0,91	1,6	5,4	8,6	0,18	0,51	0,51	7,1	0,62	0,65	0,70	0,89
	$a=0,1$	0,91	1,6	5,1	8,0	0,18	0,51	0,51	6,9	0,62	0,65	0,70	0,89
	$a=1$	0,39	0,73	1,9	2,1	0,12	0,33	0,33	4,7	0,62	0,65	0,70	0,89
III	$a=0$	4,9	10	31	45	1,7	3,8	3,8	39	0,67	0,88	1,1	3,6
	$a=0,1$	4,9	10	31	45	1,7	3,8	3,8	39	0,67	0,88	1,1	3,6
	$a=1$	4,9	10	31	45	1,7	3,8	3,8	39	0,67	0,88	1,1	3,6

* Радиационни модели: I — атмосфера без аерозоли; II — силно замърсена атмосфера, непрозрачна с приземна видимост $D=5$ km (модел 1987 [6]) и с оптическа плътност на аерозолите при $\lambda=0,300$ μm , равна на 1,6; III — силно непрозрачна атмосфера с аерозолно разпределение както при II, но с конфигурирани слоеве: тропосферен ($z_{\text{max}}=2$ km, $N_{\text{max}}=10$ NM), стратосферен ($z_{\text{max}}=20$ km, $N_{\text{max}}=10$ NM), където NM е концентрацията на аерозоли по модел [6] в съответното ниво. Оптическата плътност на аерозолите е 4,2 при ниво $\lambda=0,300$ μm .

2. В интервала 0,300—0,310 μm приблизително се отчита вторичното разсейване;

3. В зависимост от стойността на зенитния слънчев ъгъл измерванията да се извършват в този спектрален диапазон, в който могат да бъдат пренебрегнати аерозолното разсейване и отражението на подложната повърхност.

Необходимо е при следващи изследвания моделната оценка да се извърши в по-широк диапазон — от 0,100 до 0,400 μm , за осигуряване на нов тип спътникови озонотрични експерименти, залегнали в Световната програма за изследване на атмосферния озон.

Литература

1. Бирюлина, М. С. Моделирование априорного ансамбля решений обратной задачи и устойчивость оптимального спутникового эксперимента. — Метеоролог. и гидролог., 1981, № 4.
2. Бирюлина, М. С., Ю. М. Тимофеев. О точности определения озона по данным измерений уходящего теплового излучения на ИСЗ „Метеор-28“. — Тез. докл. III всесоюз. совещ. по атмосферной оптике и актинометрии, Томск, 1983.
3. Бирюлина, М. С., Ю. М. Тимофеев. Учет взаимокорреляционных связей озона и температуры при зондировании атмосферы со спутника. — Тез. докл. III всесоюз. совещ. по атмосферной оптике и актинометрии, Томск, 1983.
4. Mather, C. S. A review of some aspects inferring ozone profiles by inversion of UV-radiation measurements. — Proc. Workshop Amer. Res. Center, NASA, TMX-62, 150, 1972.
5. Aruga, T., T. Igaraishi. Vertical distribution of ozone: a new method of determination using satellite measurements. Trend in total ozone. — Appl. Optics, 15, 1976, No 1.
6. Mc Clatchey, R. A., H. J. Belle. Report of the IAMAR Radiation Commission Working Group on a standard radiation atmosphere. Seattle, Washington, USA, 29. Aug., 1987.

Постъпила на 20. III. 1993 г.

UV-radiation ozone satellite measurements modelling

Dorotea Ivanova

(S u m m a r y)

In the present work matematics of ozone profile inversion has been described.

On the basis of satellite ozone measurements of total ozone content in the atmosphere and vertical ozone distribution, some conclusions, as well as recommendations for the optimization of UV-radiation ozone space research, are drawn. Backscattered UV-earth radiance satellite modelling is given. Using different albedo characteristics a new describing of UV-radiation ozone satellite measurements modelling has been discussed.