

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЪДЪРЖАНИЕ НА ОЗОНА ЧРЕЗ GUV 2511 В СТАРА ЗАГОРА

Ролф Вернер<sup>1</sup>, Боян Петков<sup>2</sup>, Димитър Вълев<sup>1</sup>, Атанас Атанасов<sup>1</sup>, Венета Гинева<sup>1</sup>,  
Андрей Кириллов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
<sup>2</sup>Институт за атмосферните науки и климата, Съвет за Национални изследвания, Болоня, Италия  
<sup>3</sup>Полярен геофизичен институт, Апатити, Русия  
e-mail: rolwer52@yahoo.co.uk

**Ключови думи:** Озон, наземни измервания

**Резюме:** През февруари 2015 г. в Стара Загора беше инсталиран наземен ултравиолетов радиометър (GUV) 2511. Уредът GUV 2511 е предназначен за измерване на преминаващата през атмосферата слънчева радиация с дължина на вълната 305, 313, 320, 340, 380, 395 nm и на радиацията във видимата област 400-700 nm. Уредът позволява получаването на общото съдържание на озона (OCO) в атмосферата, определянето на UV индекса и пресмятането на оптичната дебелина на облачната покривка. В работата са представени първите резултати от измерванията. Методологията да се извлече OCO от измерванията се основава на изчисляването на отношението 314 nm/340 nm чрез тропосферния UV и VIS (TUV) модел за радиационния пренос. Получените за деня отношения 314 nm/340 nm са апроксимирани с полином, за да се намали влиянието на облачността при определянето на концентрацията на озона. Получените резултати са сравнени с OCO, определено по измервания на Ozone Monitoring Instrument (OMI) на борда на спътник Aura. Корелацията между стойностите на OCO, определени от OMI и GUV 2511 за местоположението на Стара Загора, е по-добра от 0.97.

## OZONE DETERMINATION BY GUV 2511 MEASUREMENTS AT STARA ZAGORA

Rolf Werner<sup>1</sup>, Boyan Petkov<sup>2</sup>, Dimitar Valev<sup>1</sup>, Atanas Atanassov<sup>1</sup>, Veneta Guineva<sup>1</sup>,  
Andrey Kirillov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
<sup>2</sup>Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC), CNR, Bologna, Italy  
<sup>3</sup>Polar Geophysical Institute (PGI), Apatity, Russia

**Keywords:** Ozone, ground-based measurements

**Abstract:** In February 2015 a Ground-based Ultraviolet Radiometer (GUV) 2511 was installed in Stara Zagora. The GUV 2511 instrument is designed for measurements of the downwelling global irradiances at 305, 313, 320, 340, 380, 395 nm and of the irradiance in the visible range of 400-700 nm. The instrument allows obtaining of the total column ozone (TCO) in the atmosphere, the determination of the UV-index and the retrieval of cloud optical thickness. In the paper the first measurements results are presented. The methodology to retrieve TCO from the measurements is based on the 313/340 nm ratio simulations by radiation transfer Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) model. The daily obtained 313/340 nm ratios were approximated by a polynomial determined by trimmed regression to reduce the cloudiness impact on the determination of ozone. The obtained results were compared with TCO determined by the Ozone monitoring instrument (OMI) onboard Aura satellite. The correlation between the OMI Aura TCO values and the TCO GUV 2511 values both for the Stara Zagora location is better than 0.97.

### Въведение

Регулярните наблюдения на UV радиация за определяне на общото съдържание на озона (OCO) във вертикален атмосферен стълб с единица площ започва със създаването на Добсън спектрометъра през 1924 г. [1]. След Международната Геофизична година 1957 е изградена глобална мрежа за наземни измервания на озона, състояща се главно от Добсън и

Брюър спектрометри с типична спектрална разделителна способност около 1 nm. Добсън и Брюър спектрометрите са използвани широко за калибровка на други наземни инструменти и за валидация на спътникови измервания на озона. Добсън спектрометрите позволяват определянето на ОСО с точност 1% при директни наблюдения на слънцето и 2-3% при наблюдения в зенит [2]. Грешката при извличането на озона с Брюър инструменти е около 1% [3]. Balis et al., 2007 [4], са получили средно съвпадение по-добро от 1% за данните от OMI-TOMS и по-добро от 2% за данните от OMI-DOAS с наземни наблюдения. Stamnes et al. [5] показват, че с помощта на спектрометри с висока разделителна способност от около 0.5 nm ОСО и абсорбционните свойства на облаците могат да се определят много точно. През 90-те бяха разработени широкофилтърни инструменти, за да се увеличи общото покритие на измерванията. Широкофилтърните инструменти само с няколко филтри позволяват също и определянето на биологичната UV доза, общото количество на озона и оптичната дебелина на облаците [6]. През февруари 2015 г. един наземен ултравиолетов радиометър (GUV) 2511 беше инсталиран в Стара Загора. Инструментът GUV 2511 е предназначен за измервания на преминаващата през атмосферата слънчева радиация в шест широкоивични канала и на радиацията във видимата област от 400 до 700 nm. Инструментът позволява получаването на ОСО в стълб на атмосферата, определянето на UV-индекса и пресмятането на оптичната дебелина на облачната покривка. В работата е описана методологията на извличане на ОСО и са представени първите резултати.

### Основни оптико-технически характеристики на инструмента GUV 2511

Инструментът GUV измерва глобалната радиация на 305, 313, 320, 340, 380 и 395 nm с ширина на ивицата на пропускане при  $\frac{1}{2}$  от максимума 10 nm, както и биологично активната радиация във видимата спектрална област от 400 до 700 nm. Филтърът при 313 nm е добавен в инструмента GUV тип 2511 за разлика от предишния GUV тип 511, за да се осигури определянето на озона при по-големи зенитни ъгли (около 80°), при които абсорбцията при 305 nm е много силна. Всички канали имат собствен фотодиод с усилвател. Входното прозорче на инструмента се състои от тefлонов разсейвател на кварцова основа. Косинусовата грешка на инструмента е по-малка от 3% за зенитни ъгли до 65° и от 7.5% за зенитни ъгли до 82° [7]. Нагряваща покривка, поставена в главата на инструмента, стабилизира фотодиодите, филтрите и усилвателите при температура 50°C. Част от топлината се използва за затопляне на разсейвателя и за да го пази чист от лед и сняг. Разтопеният сняг или дъждовните капки върху разсейвателя и придържания го пръстен се отвеждат настрани през дренажни каналчета.

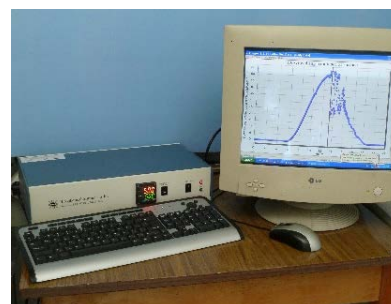
Работата на инструмента се осъществява от контролер, включващ управление на захранването, контрол и регулиране на температурата и предаване на данните чрез сериен интерфейс RS232.



Фиг.1. Инструментът GUV 2511 на покрива на обсерваторията.

Главното преимущество на инструментите GUV е, че те нямат движещи се компоненти и следователно работят много стабилно. Освен това измерванията се извършват много бързо.

Инструментът GUV беше инсталиран през декември 2014 г. на покрива на Обсерваторията в Стара Загора (Фиг.1). В периода от декември 2014 г. до януари 2015 г. бяха извършени тестови измервания, а регулярните измервания



Фиг.2. Контролерът на инструмента и монитърът в контролната стая.

започнаха през февруари 2015 г. Обсерваторията е разположена на 3 km от гр. тара Загора на височина 430 m, около 250 m по-високо от централните части на града. Наоколо няма високи сгради, така че е осигурена пряка видимост към небето. Инструментът е свързан с компютър през RS232 с кабел, дълъг 50 m. Фиг.2 представя контролера и монитора, показващ хода на измерванията в контролната стая.

## Основни принципи на измерванията на OMI-Aura

Инструментът за мониторинг на озона (OMI) е инсталиран заедно с други уреди на платформата за системата за наблюдение на Земята (EOS) на спътника Aura. Синхронизираната със слънцето орбита на Aura позволява извършването на измервания над едно и също място на земята приблизително по едно и също средно слънчево време всеки ден. OMI е спектрометър за измерване на обратното разсейване на слънчевата радиация в надир в ултравиолетовата и видимата област (UV/VIS) със спектрална разделителна способност 0.42 nm в канала UV-1 (270 nm ÷ 310 nm) и 0.45 nm в канала UV-2 (310 nm ÷ 365 nm). Спектрометърът предоставя за един ден почти пълно покритие от измервания над Земята с пространствена разделителна способност 13 km x 24 km [8].

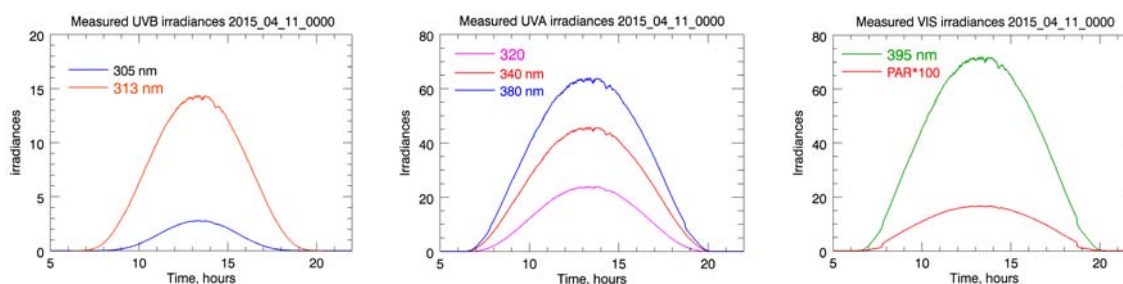
За да се извлече OCO от измерванията на OMI са използвани два различни алгоритъма. Единият от тях се основава на алгоритъма TOMS Версия 8, разработен за извличане на озона от данните от Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) (озоновите данни OMI-TOMS). Вторият е базиран на техниката Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) (озоновите данни OMI-DOAS). Спътниковите данни за озона от OMI са валидирани с помощта на наземни Брюър и Добсън спектрометри. Намерени са значителни несъответствия между озоновите данни OMI-DOAS и наземните данни в зависимост от зенитния ъгъл [4, 9]. За разлика от това Ialongo et al. [10] не са намерили несъответствия с наземните данни нито за озоновите данни OMI-TOMS, нито за OMI-DOAS данните.

В настоящата работа като първо приближение използваме данните OMI-TOMS за сравнение с резултатите от нашите измервания. OMI-TOMS данните за озона (OMTO3) са достъпни със стъпка 1°x1° на <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/ozone/> (OMI-Aura Global Ozone Data). Тези данни са интерполирани билинейно за местоположението на Обсерватория Стара Загора (северна георг. шир. 42.413°, източна георг. дълж. 25.633°). В случаите, когато местоположението на Стара Загора се оказва близо до границата на зрителното поле на OMI, разпределението на озона се интерполира за допълнително местоположение в близост до Стара Загора, позволяващо да се използват данните от съседния пиксел на мрежата. Обикновено когато местоположенията не са в края на зрителното поле, разликите в стойностите на озона за двете местоположения не са по-големи от 2 DU. В края на зрителното поле обаче тези разлики се оказват по-големи от 30 DU и в тези случаи се взема по-високата стойност на озона. Спътникът Aura преминава над България около 13:30 ч. местно време с отклонение до около 50 мин. поради пертурбацията на спътниковата орбита и отклоненията на истинското слънчево време от средното слънчево време. Допълнителна разлика във времето от около 40 мин. се получава и поради отклонението на ъгъла на наблюдение от надир.

Aura е част от така наречената A-свита (A-train), състояща се от 5 спътника с близки орбити, които преминават през едно място в пространството за 8 мин., което позволява да се използва допълнителна информация.

## Предварителни резултати

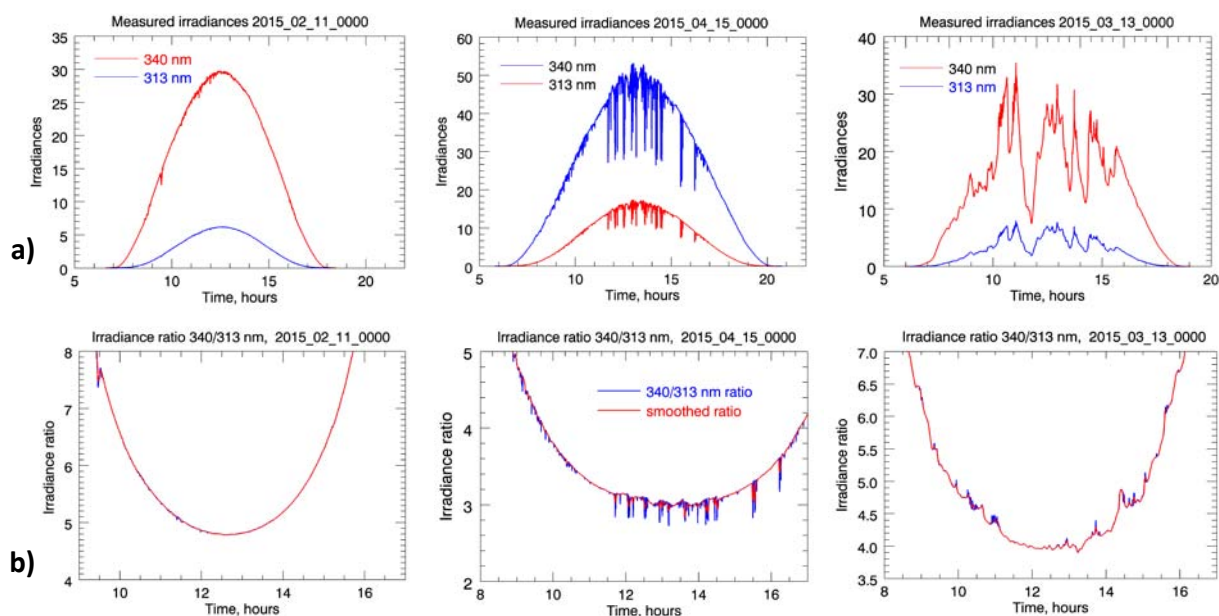
От февруари до средата на юни 2015 г. бяха проведени ежедневни измервания със



Фиг. 3. Измерени излъчвания (дадени в  $\mu\text{Вт}/\text{см}^2\text{nm}$ ) от всички канали на GUV 2511

стъпка 10 сек. с някои прекъсвания по технически причини. На Фиг.3 е представен един пример от измерванията от всички канали на GUV 2511 през един ясен ден (11 април 2015 г.). Максимумите на радиацията се наблюдават на обяд около 12:30 ч. местно време или 13:30 ч. местно лятно време. Дневните максимуми на радиацията се изменят в зависимост от зенитния ъгъл. Минималният зенитен ъгъл при лятно слънцестояне е 19.25° и при зимно слънцестояне зенитният ъгъл не надвишава 66.12° за географската ширина на Стара Загора.

Около 70% от измерената радиация е концентрирана във времеви интервал от 3 часа преди обяд до 3 часа след обяд.



Фиг.4.а) Измерени излъчвания при 313 нм и 340 нм, дадени в  $\mu\text{Вт}/(\text{cm}^2\text{нм})$ , за дни с различна облачност; б) отношения на излъчванията (виж текста).

Фиг. 4а показва наблюдаваното излъчване през дни с различна облачност: през един почти ясен ден (в ляво), през един ден с бързо изменение на облачната покривка пред слънчевия диск (в средата) и през един ден с висока облачност (в дясно). Фиг.4б представя отношенията на радиациите за същите дни. Наблюдаваната радиация е много по-чувствителна към изменения в облачността от получените отношения на радиациите. Високо честотни изменения са получени за дни с много бързо изменение на облачността, вероятно свързано с наличието на перести облаци (цируси) (в средата на Фиг.4б). Измененията на радиацията на 340 нм са малко повече от 40% от максималната ѝ стойност. При 313 нм измененията достигат около една трета от максималната стойност по обяд. А полученото отношение на тези радиации е много стабилно. То варира само около 10%, а след изглаждане вариацията намалява до стойности по-малки от 5%. В случая на силна облачност измененията са с понискофестотен характер и отношенията на радиацията намаляват приблизително с 0.5, което води до голяма грешка при определяне на ОСО. Силната облачност често е свързана с ниски облаци и валежи.

## Методология на определянето на ОСО

### Предварителна обработка на данните

За да се намали влиянието на облачността, е приложена следната предварителна обработка на данните:

1. Ако средната радиация при 340 нм между 10:30 и 14:30 локално време е по-ниска от пресметнатата приблизително месечна стойност (около 1/3 от средната месечна стойност за ясни дни) допускаме, че определянето на озона ще бъде погрешно поради силна облачност.
2. Отношенията са изгладени допълнително с пълзяща правоъгълна функция за 17 стойности, т.е. за 170 сек. Изгладените отношения са показани с червена линия на Фиг.4б на фона на синята линия на оригиналните отношения. Най-голям ефект има изглаждането в случаи на бързо изменение на облачната покривка (Фиг.4б, по средата). След прилагането на изглаждането по 17 точки (съответстващи на 170 сек.) максималното изменение на отношенията на излъчванията намалява до 0.1, което би довело до грешка от 10 DU при определянето на озона (сравни с таблицата на Стамнес – Фиг.5).

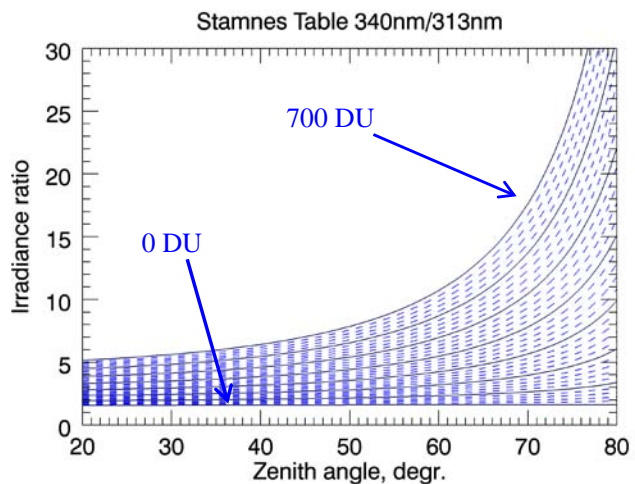


- При силна облачност измененията на отношенията на радиациите в пиковите варират до 0.5 (виж напр. дясната част на Фиг.4б), което води до значими грешки при определянето на ОСО. Поради това за дневния ход на всяко отношение е определена една горна обвивка по следната процедура: Първо дневните наблюдения са разделени на интервали с дължина 1000 сек. (т.е. около 16.7 мин.) и във всеки интервал са определени максималната стойност и нейното положение. Развитието на максимумите във времето се апроксимира с полином от нисък ред и регресия, като се изключват трите максимума с най-голямо квадратично отклонение от полинома (trimmed regression).

Бяха проведени измервания през 244 дни от изучавания период. При прилагане на процедурата, описана по-горе в т.1, силна облачност беше установена за 27 дни и тези измервания не са включени при по-нататъшните разглеждания. За 6 дни полиномът показва силни осцилации, които не позволяват определянето на ОСО с висока точност. Броят на почти ясните дни беше получен чрез преглед на дневния ход на излъчването при 340 nm. По тази субективна оценка 77 дни бяха определени като почти безоблачни. За 139 дни бяха установени съвпадения с измерванията на OMI. 56 от тях са на безоблачни дни.

### Пресмятане на таблицата на Стамнес за местоположението на Стара Загора

С инструментите GUV се измерват общата, дифузната и пряката радиация. Отношението на радиациите на различни дължини на вълната зависи от свойствата на разсейване на частиците и молекулите във въздуха, а също и от елевацията на слънцето, т.е. от дължината на пътя за абсорбция през атмосферата. Затова ОСО не може да бъде определено директно от получените от наблюденията отношения на радиациите, както е възможно при Добсън и Брюър спектрометрите за директни слънчеви измервания. За да се определи ОСО от отношения UVA/UVB е необходимо моделиране с помощта на модели за радиационния пренос, включващи UV спектралната област. Тук ние използваме Тропосферния модел за ултравиолетовата и видимата област (Tropospheric Ultraviolet and Visible (TUV) radiation model), версия 4.1, разработен от Madronich [11], в който параметрите на Релеевското разсейване се пресмятат чрез подобрен алгоритъм за стандартни атмосферни условия [12, 13]. Спектрите са пресметнати за географското местоположение (виж горе) на Обсерватория Стара Загора за различни ОСО от 0 до 700 DU със стъпка 20 DU и зенитни ъгли от 20° до 90° със стъпка 1°. Използвано е алbedo на земната повърхност 0.2 като входен параметър. Използваме средния озонов профил от U.S. Standard Atmosphere 1976, тъй като реалният озонов профил има забележимо влияние върху извличането на озона само за големи зенитни ъгли [4]. Средният озонов профил е част от библиотеката на модела TUV. Получените спектри са умножени с относителните функции на филтрите, апроксимирани с Гаусова функция с ширина на  $\frac{1}{2}$  от максимума 10 nm. Отношенията на радиациите на 340 nm и 313 nm са пресметнати за отбелязаните по-горе ОСО и зенитни ъгли (таблица на Стамнес, виж Фиг.5). Съдържанието на озона е определено чрез интерполация на пресметнатите таблици за отношенията, получени от измерванията на радиациите и за зенитни ъгли, каквито са били по време на измерванията. Зенитните ъгли са пресметнати по астрономически алгоритъм (виж [14]).



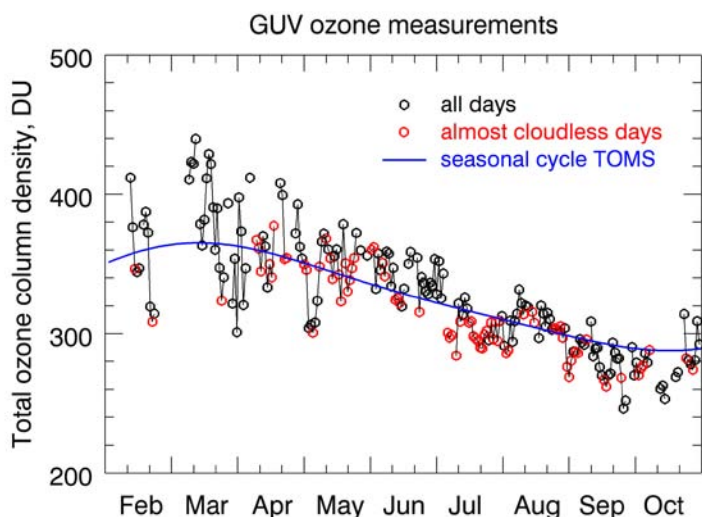
Фиг. 5. Пресметнатата таблица на Стамнес за Стара Загора (алbedo на земната повърхност 0.2)

За извличането на ОСО чрез интерполация на таблицата на Стамнес за съответните зенитни ъгли в 13:30 ч. местно време се използват отношенията от обвивките. Отношенията на радиациите (с точност до константа) зависят от реалните функции на филтрите (по-коректни от спектралната апаратна функция). Нашият инструмент GUV не е калибриран по стандартен Добсън или Брюър спектрометър. Затова правим регресия на нашите резултати за ОСО с тези от спътника OMI, като използваме различни положения на максимумите относно дължините на

вълната за функциите на филтрите при 313 нм и 340 нм в процедурата за пресмятане по таблицата на Стамнес. Най-добри резултати за ОСО се получават с филтри, центрирани на 340 нм и 313.55 нм. Този подход не ни позволява да установим наличието на систематична грешка между двете измервания – от GUV и OMI. Balis et al., 2007 [4], са намерили систематична грешка между продуктите OMI-TOMS и ОСО на средни ширини по наземни измервания по-малка от 1%. Не е установена чувствителност на резултатите спрямо различни стойности на албедото в интервала от 0.05 до 0.5.

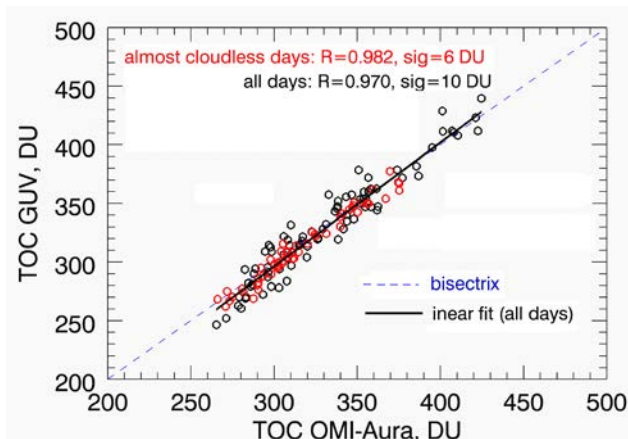
## Резултати

Определеният времеви ред за ОСО за периода от инсталацията на GUV 2511 през февруари 2015 г. до края на октомври 2015 г. е показан на Фиг.6. Последователните дневни стойности на озона от GUV са свързани с линия. Дългите прекъсвания бележат периоди без данни поради технически причини. Прекъсванията от няколко дни са вследствие на лошо време или на силна облачност. Полученото ОСО (Фиг.6) следва плътно многогодишните сезонни средни стойности, дадени със зелена удебелена непрекъсната линия, определени по измерванията на TOMS, като се наблюдава типичния за средни ширини максимум на озона през март и по-големи вариации през пролетта. ОСО за почти безоблачни дни, показани с червени кръгчета, са много близо до сезонните средни стойности на TOMS. При облачни дни, първо, се наблюдават по-големи отклонения, и второ, тези стойности обикновено са по-големи от стойностите за ясни дни.



Фиг. 6. ОСО за Стара Загора, определено за наблюдателния период февруари-юли 2015 (черни кръгчета, свързани с непрекъсната линия при непрекъснати измервания). Стойностите на ОСО за Стара Загора за ясни дни са показани с червени кръгчета. Сезонните средни стойности на ОСО от TOMS са представени с дебела синя непрекъсната линия.

Фиг. 7 показва нашите наземни измервания и данните за озона от спътника OMI за дни, в които са проведени измервания и с двата инструмента. Фигурата представя резултата от линейната регресия на нашите ОСО данни от GUV 2511 спрямо OMI ОСО. Ясно се вижда, че наблюдаваните от нас стойности на ОСО съвпадат много добре с ОСО от спътника OMI.

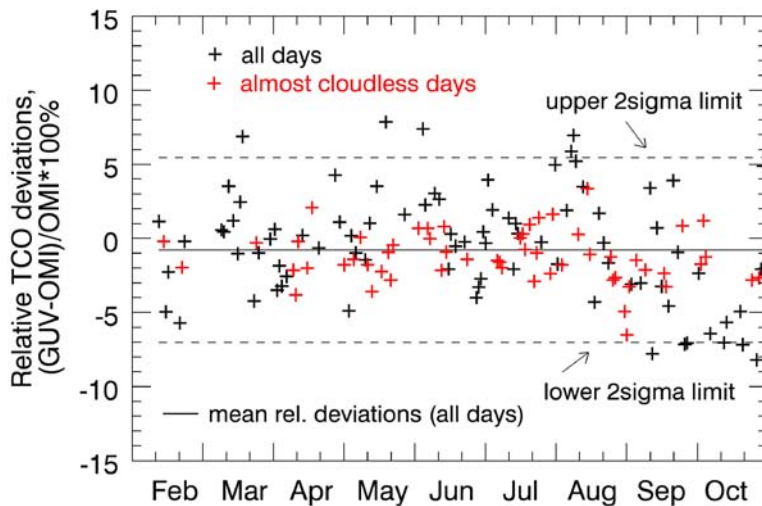


Фиг.7. Линейна връзка между данните за ОСО от GUV и OMI. Дебелата линия представлява регресионната права.

Наклонът на линията на най-добро напасване между ОСО от GUV и OMI за всички дни е 1.057 и

грешката е  $\sigma = 0.023$ . За ниво на значимост 0.05 този наклон се различава от 1. Намерен е коефициент на корелация 0.970, което означава, че обяснената девиация на отклоненията на стойностите на озона от GUV от тези от OMI е около 0.941. Този резултат е сравним с намерената корелация 0.97 между ОСО от Брюър спектрометър в станция Рим и OMI-TOMS ОСО за 574 едновременни наблюдения [10]. Наблюдаваните ОСО в почти безоблачни дни, показани с червени кръгчета, корелират по-добре с OMI ОСО и обяснената девиация е 0.964. Макар и съответствието между GUV и OMI ОСО да е много добро, очевидно е, че при нашата процедура на извличане на озона остава влияние от облачността. Vogeat et al., 2012 [15], съобщават за надценяване на стойностите на озона по измервания от GUV инструмент в облачни дни през април 2010 г.

Относителните грешки на определените от нас ОСО по отношение на OMI ОСО са



Фиг. 8. Получени относителни отклонения на ОСО по данните от инструмента GUV от резултатите от OMI. Непрекъснатата хоризонтална линия представлява средната грешка, която се очаква да е близка до 0. С пунктирните линии е отбелязан доверителният интервал  $2\sigma$ .

показани на Фиг.8. Максималните грешки не надвишават 9%. Средното стандартно отклонение е около 3.1%. Това означава, че 95% от грешките при дневните стойности на ОСО са по-малки от 6.2%. Средната грешка не е точно нула, но това не е систематична грешка. Причината е поради не съвсем точно определеното положение на максимума на филтъра, с който се измерва радиацията около 313 nm.

### Закljučения

Данните за ОСО, извлечени от наземни UV измервания с инструмента GUV 2511 в Стара Загора, са в добро съгласие с данните от OMI на спътника Aura, получени посредством алгоритъма TOMS v.8. Получена е корелация 0.97 между нашите ОСО от наземни измервания и ОСО от спътниковите измервания от OMI. Все пак не може да бъде установено наличието на систематично отклонение между резултатите от двата прибора, понеже нашият уред не е калибриран по Добсън спектрометър или Брюър инструмент. Въпреки всичко нашите измервания позволяват определянето на дневния ОСО с грешка 3.1%, съответстваща на около 10 DU. Установено е влияние на облачността върху точността на определяне на ОСО. Предвиждаме подобряване на процедурата на извличане на озона. За да се подобри качеството на резултатите за ОСО, е необходим и по-подробен анализ за прецизно определяне на функциите на пропускане на филтрите. Също така предвиждаме тестване на извличането на ОСО с други комбинации от филтри. Необходимо е нашият инструмент да бъде калибриран с помощта на еталонни озонови спектрометри. Като цяло можем да направим заключението, че в бъдеще могат да се очакват наземни данни за озона с високо качество за местоположението на Стара Загора.

### Благодарности

Инструментът GUV 2511 беше осигурен по проекта BG161PO003-1.2.04-0053 "Information Complex for Aerospace Monitoring of the Environment" (ICASME), реализиран с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика 2007-2013“, съфинансиран Европейския фонд за регионално развитие и националния бюджет на Република България.

## Литература:

1. Dobson, G. M. B. Forty Years' Research on Atmospheric Ozone at Oxford: A History, *Appl. Optics*, 7(3), 387-405, 1968.
2. Basher, R. E. Review of the Dobson spectrophotometer and its accuracy, *Global Ozone Res. Monit. Proj., Rep. 13*, World Meteorol. Organ., Geneva, Switzerland, Dec. 1982, (Available at <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ozww/dobson/papers/report13/report13.html>)
3. Kerr, J. B., Asbridge, I. A. and W. F. J. Evans. Intercomparison of total ozone measured by the Brewer and Dobson of Ozone Monitoring Instrument total ozone column measurements using Brewer and Dobson spectrophotometer ground-based observations, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 112, D24S46, doi:10.1029/2007JD008796, 2007.
4. Stamnes, K., Slusser, J. and M. Bowen, Derivation of total ozone abundances and cloud effects from spectral irradiance measurements, *Appl. Optics*, 30(30), 4418-4426, 1991.
5. Dahlbeck, A. Measurements of biologically effective UV doses, total ozone, and cloud effects with multichannel, moderate bandwidth filter instruments, *Appl. Optics*, 35(33), 6514-6521, 1996.
6. Bernard, G., Booth, Ch. R. and J. C. Ehranjian. Real-time ultraviolet and column ozone from multichannel ultraviolet radiometers deployed in the National Science Foundation's ultraviolet monitoring network, *Optical Engineering* 44(4), 041011-1 - 041011-12, 2005.
7. Levelt, P. F., van den Oord, G. H. J., Dobber, M. R., Mälkki, A., Visser, H., de Vries, J., Stamnes, P., Lundell, J. and H. Saari. The Ozone Monitoring Instrument, *IEEE Trans. Geo. Rem. Sens*, 44, 5, 1093-1101, 2006.
8. Buchard, V., Brogniez, C. Auriol, F., Bonnel, B., Lenoble, J., Tanskanen, A., Bojkov, B., and P. Veefkind. Comparison of OMI ozone and UV irradiance data with ground-based measurements at two French sites. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 4517-4528, 2008.
9. Ialngo, I., Casale, G. R. and A. M. Siani. Comparison of total ozone and erythemal UV data from OMI with ground-based measurements at Rome station, *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 3283-3289, 2008.
10. Madronich, S. UV radiation in the natural and perturbed atmosphere, in *Environmental Effects of UV (Ultraviolet) Radiation*, M. Tevini, ed., Lewis, Boca Raton,, 17-69, 1993.
11. Tomasi, C., Vitale, V., Petkov, B., Lupi, A. and A. Cacciari. Improved algorithm for calculations of Rayleigh-scattering optical depth in standard atmospheres, *Appl. Opt.*, 44, 3320-3341, 2005.
12. Petkov, B., Vitale, V., Tomasi, C., Bonafé, U., Scaglione, S., Flori, D., Santaguida, R., Gausa, M., Hansen, G. and T. Colombo. Narrowband filter radiometer for ground-based measurements of global ultraviolet solar irradiance and total ozone, *Appl. Optics*, 45(18), 4383-4395, 2006.
13. Meeus, J. *Astronomische Algorithmen*, Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig-Berlin-Heidelberg, 1993
14. Bogeat, J. A., Piedehierro, A. A., Serrano, A., Cancillo, M. L., Obregón, M. A. and R. Benítez. Measurements of total ozone amount over Badajoz (Southwestern Spain) by means of a GUV multiband radiometer, *Opt. Pura Apl.* 45 (1) 39-43, 2012.