

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.510.4

К. Вароцос, К.Я. Кондратьев

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ УФ-ИЗЛУЧЕНИЕМ СОЛНЦА И СУММАРНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ОЗОНА: РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ В ГРЕЦИИ

С июля 1993 г. в Арголиде, на юго-востоке Греции (37,5°с. ш. и 24°в. д.), где загрязнение воздуха незначительно, проводились измерения УФ-излучения Солнца. Приведенные данные показывают дневной и месячный ход интенсивности ультра-фиолетовой полосы B и ее корреляцию с суммарным содержанием озона в летне-осенний период, когда отмечалась самая низкая концентрация озона в Южной Европе с 1978 г.

1. Введение

Особенность прохождения солнечного ультрафиолетового излучения через атмосферу состоит в доминирующей роли озонного поглощения, которое очень сильно зависит от длины волны и молекулярного рассеяния. Конечно, важным фактором является и облачность. Сплошная облачность снижает интенсивность УФ-излучения, воздействующего на живой организм, примерно на 70 % [1]. Это ослабление практически не зависит от длины волны в пределах УФ-полосы B [2].

Солнечная радиация в УФ-полосе B (280–320 нм) в основном поглощается озоном в стратосфере, причем это поглощение сильно зависит от длины волны, уменьшаясь в сторону больших длин волн. Быстрое изменение поглощения по спектру приводит к вариации интенсивности излучения с длиной волны короче 300 нм на поверхности Земли на три порядка [3]. На распространение солнечного излучения в этом спектральном диапазоне сильное влияние оказывает также рассеяние Рэлея (молекулярное рассеяние).

В настоящее время хорошо известно, что содержание озона в атмосфере определяется как естественными, так и антропогенными факторами [4]. Влияние человека обусловлено двумя важными причинами: использованием фреонов, которые достигают стратосферы, и загрязнением тропосферы. Фреоны инициируют каталитические цепные реакции, которые приводят к разрушению стратосферного озона [5], [4]. Тропосферные примеси NO_x и углеводороды, выбрасываемые промышленными предприятиями и транспортом, приводят к повышенному содержанию атомного кислорода и к увеличению концентрации озона в тропосфере. Следует отметить, что тропосферный озон поглощает рассеянное излучение лучше, чем прямую радиацию [6], [7].

Разложение озона, обусловленное антропогенными факторами, вызвало тревогу общественности о возможных биологических последствиях увеличения ультрафиолетовой радиации на поверхности Земли [8]. Чувствительность глаз к ультрафиолетовому излучению была подтверждена документально на экспериментах с животными и с человеком. Вредность ультрафиолета для глаз проявляется в остром фотокератите. Он, вероятно, также влияет на развитие катарактогенеза и способствует старческой мужской дегенерации [9]. Известно, что излучение УФ-полосы B канцерогенно и что облучение солнечным светом вообще играет главную роль при возникновении рака кожи [10]. УФ-излучение влияет также на растения, жизнь океана и в целом на экосистемы как на суше, так и на море [11].

Чтобы лучше понять эффекты изменения интенсивности УФ-излучения в полосе B на биологические системы, необходимо провести измерения интенсивности этого излучения. Данные, представленные в настоящей статье, характеризуют естественные дневные и месячные вариации интенсивности в УФ-полосе B в местности с низким уровнем загрязнения воздуха и взаимосвязь интенсивности солнечной УФ-радиации и суммарного содержания озона в 1993 г. – в период, когда была зарегистрирована самая низкая концентрация озона за все время наблюдения в Южной Европе.

2. Техника эксперимента

2.1. Техническое измерение интенсивности в УФ-полосе В

Излучение в УФ-полосе В измерялось с помощью серийного пиранометра UVB-1 (США). Чувствительность прибора $2,5 \text{ В}\cdot\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$, а его угловая характеристика – более 5 % для зенитных углов 0° – 60° . В UVB-1 используется люминофор, чтобы преобразовать УФ-свет в видимый, который точно регистрируется твердотельным фотодиодом. Солнечное излучение, как прямое, так и рассеянное, пропускается через защитные купола. Видимый свет, за исключением небольшой части красного, поглощается первым фильтром – зачерненным стеклом, пропускающим ультрафиолет. Свет, прошедший через этот фильтр, попадает на люминофор. Тот поглощает ультрафиолет и переизлучает в основном в зеленой части спектра. Второй – зеленый фильтр, пропускает свет через люминофор, но задерживает красный свет, прошедший через зачерненное стекло.

Интенсивность флуоресценции измеряется с помощью твердотельного (GaAsP) фотодиода. Усилитель с температурной стабилизацией вольт-амперной характеристики управляет линейным усилителем, в результате чего на выходе получается сигнал постоянного тока с напряжением 0–5 В. Стеклопленочные фильтры, люминофор и фотодиод находятся при температуре $+45^\circ\text{C}$, чтобы выходной сигнал не был чувствителен к излучениям температуры окружающей среды. Датчик помещен в прочный формовой алюминий для постоянной подстройки его положения в системе. Узел продувался сухим воздухом перед герметизацией и имел индикатор влажности. Кроме того, он снабжался прозрачным для УФ-света стеклянным куполом.

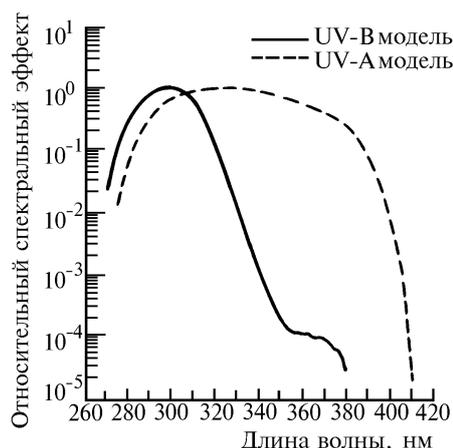


Рис. 1. Относительная спектральная характеристика параметра UVB-1

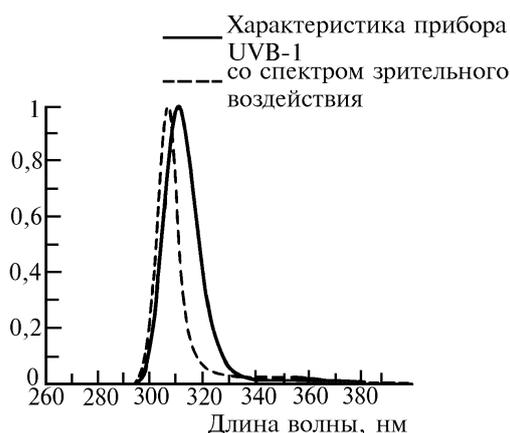


Рис. 2. Свертка спектра солнечного излучения с эритемальным спектром и относительная спектральная характеристика пиранометра UVB-1

Спектральная кривая прибора определяется прежде всего спектром поглощения люминофора, который, в свою очередь, зависит от толщины и однородности слоя. Типичные спектральные кривые использованного прибора показаны на рис. 1. Относительная спектральная характеристика подобна спектру эритемального действия и хорошо подходит для измерения эритемального эффективного солнечного излучения. Свертка спектра солнечного излучения с относительной спектральной характеристикой (зенитный угол 30°) показана на рис. 2. Область наложения эритемально эффективного солнечного излучения и диапазона эффективного измерения прибора существенно не меняется с изменением зенитного угла до 60° , и, следовательно, выходной сигнал может быть использован для определения эритемально эффективной экспозиции.

2.2. Техника измерения полной концентрации озона

Измерения суммарной концентрации озона, представленные в данной статье, были выполнены с помощью спектрофотометра Добсона (N118). Этот спектрофотометр является

стандартным прибором для таких измерений с 1927 года, когда он был сконструирован [12]. Он состоит из двух монохроматоров, один из которых разлагает излучение в спектр, а другой служит для устранения рассеянного излучения. Если используется прямой солнечный свет, то полная концентрация озона обычно измеряется по двум парам линий – *A* и *D*, *A* – с длинами волн 305,5 и 325,4 нм, а *D* – 317,6 и 339,8 нм [13].

3. Результаты и их обсуждение

Данные по УФ-излучению Солнца, представленные в данной статье, являются нескорректированными измерениями с помощью пиранометра UVB-1. На рис. 3 представлена интенсивность УФ-света в широком спектральном диапазоне и в полосе *B* для безоблачного дня (24.09.1993). Задержка примерно в полчаса между кривыми является искусственной и обусловлена техникой записи данных. Следует отметить, что пики кривых на рис. 3 не отражают их действительного соотношения.

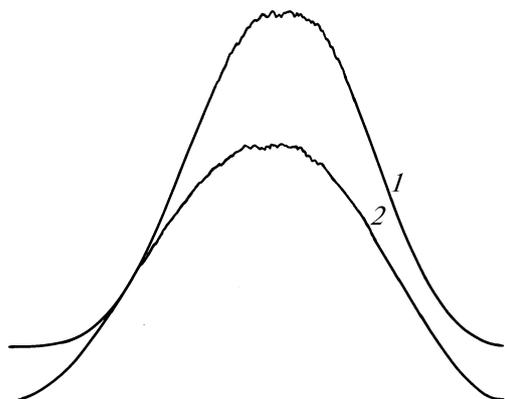


Рис. 3. Интенсивность широкополосного УФ-излучения Солнца (1) и излучения в УФ-полосе *B* (2) для безоблачного дня 24.09.1993, измеренные в Арголиде

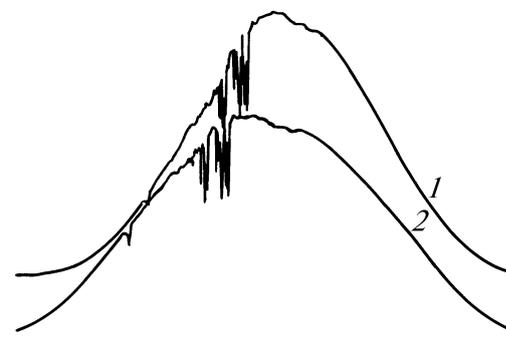


Рис. 4. То же, что и на рис. 3, но для частично облачного дня с 10.00 до 11.00

На рис. 4 приведены те же данные, что и на рис. 3, но для облачного дня с 10.00 до 11.00 при низкой температуре воздуха. Показано снижение интенсивности в УФ-полосе *B* в момент, когда облако пересекает линию, соединяющую Солнце и приемник. Следует подчеркнуть, что это снижение зависит от свойств облака. Однако, как видно из рис. 4, соотношение между интенсивностями в УФ-полосе *B* и широкополосного УФ-излучения практически не зависит от свойств облака (см. также рис. 5).

Данные рис. 5 (случай сплошной облачности) подтверждают вывод Джозефсона [1], что при сплошной облачности ослабление света в УФ-полосе *B* достигает 70%. Следует заметить вновь, что ослабление в этой полосе за счет облачности практически не зависит от длины волны [2].

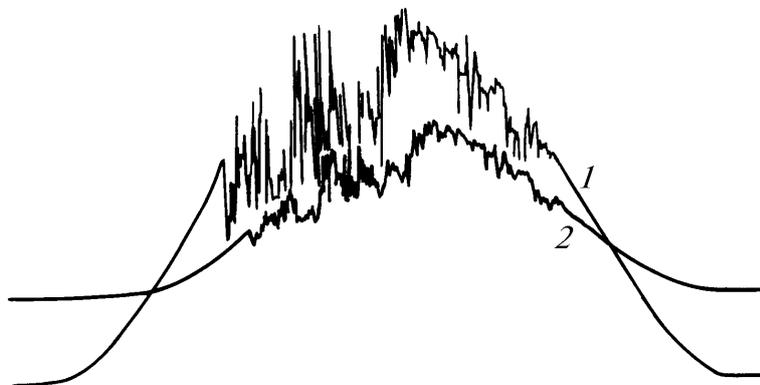


Рис. 5. То же, что и на рис. 3, но для сплошной облачности

С 10 по 18 сентября 1993 небо было постоянно безоблачным. В течение этого периода измерялось полное содержание озона с помощью спектрофотометра Добсона N118. Оно было минимальным за весь период измерений начиная с 1978 г. Полное содержание озона и интенсивность излучения в УФ-полосе В приведены на рис. 6 для того, чтобы показать взаимосвязь этих двух величин. Концентрация озона к концу периода несколько повышалась, тогда как интенсивность в УФ-полосе В снижалась. Это не удивительно, так как чем выше полоса содержания озона, тем сильнее ослабление света в УФ-полосе В. Из рис. 6 видно также, что такая же закономерность имеет место и для дневных изменений концентрации озона и интенсивности в УФ-полосе В.

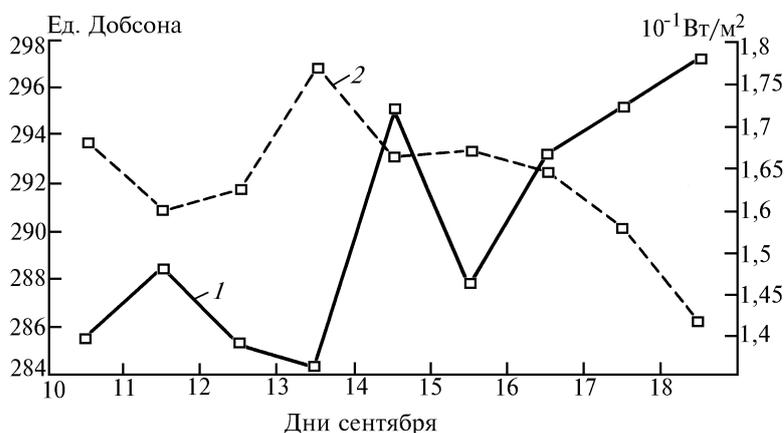


Рис. 6. Полное содержание озона в единицах Добсона (кривая 1) и интенсивность света (2) в УФ-полосе В, достигающего поверхности земли в Арголиде

1. Josefsson W. Solar ultraviolet radiation in Sweden, SMHI Reports: Meteorology. 1986. N 53. P. 71. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, (S-60176 Norrköping, Sweden), Oct. 1986.
2. Frederick J.E. and Alberts A.D. // Geophys. Res. Lett. 1991. N 18 (10). P. 1869-1871.
3. Webb A.R. // J. Appl. Met. 1992. N 31. P. 212-216.
4. Kondratyev K.Ya. Global Ozone Dynamics. Moscow. VINITI, 1989. 212 p. (in Russian).
5. Farman J.C., Gardier B.G., and Shaklin J.D. // Nature. 1985. 315. P. 207-210.
6. Bruhl C. and Crutzen P.J. On the disproportionate role of tropospheric ozone as a filter against solar UV-B radiation // Geophys. Res. Lett. 1989. N 16 (7). P. 703-706.
7. Varotsos C., Kalabokas P., Vlasi A., Katsambas A., Stratigos J., and Antoniou C. 1994 a: The biologically active solar ultraviolet radiation in relation to the surface ozone and the wind field, Toxic. Envir. Chemistry (submitted).
8. Varotsos C., Asimakopoulos D.N., Katsambas A., and Stratigos J. 1994 b: On the ozone-related changes in biologically active solar ultraviolet radiation reaching the earth's surface, Toxic. Envir. Chemistry (in press).
9. Rosenthal F.S., Safran M., and Taylor H.R., 1985. The ocular dose of ultraviolet radiation from sunlight exposure // Photochemistry and Photobiology. 1985. N 42 (2). P. 163-171.
10. Henriksen T.A., Dahlback S.H., Larsen H., and Moan J. // Photochem. Photobiol. 1990. V. 51(5) P. 579-582.
11. Anderson I. Crops threatened by increases in ultraviolet. New Scientist. 1990. N 26. P. 1737.
12. Dobson G.M. // Proceedings Physical Society. 1931. N 43. P. 324-339.
13. Varotsos C. and Cracknell A.P. // Int. J. Rem. Sensing. 1993. N 14. P. 2053-2059.

Афинский университет, Греция
Исследовательский центр экологической безопасности, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию
1 апреля 1994 г.

C. Varotsos, K.Ya. Kondratyev. **Interrelationship between Solar Ultraviolet Radiation and Total Ozone Content: Observations in Greece.**

Measurements of the solar ultraviolet radiation have been made at Argolida, location not influenced by air pollution, south-east Greece (37.5°N, 24°E), since July 1993. The data presented here show the daily and monthly variability within the ultraviolet-B wave band and its relation to total ozone amount during the summer-fall period, mainly characterized by the lowest total ozone values ever observed in Southern Europe since 1978.