

**А.А. Елисеев, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, А.Г. Колесник,
О.В. Раводина, Н.В. Редькина, З.С. Теодорович**

ИССЛЕДОВАНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ РАДИАЦИИ СОЛНЦА НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

В Томске (56,5° северной широты, 85° восточной долготы) начаты регулярные измерения УФ-радиации Солнца и неба. Приводятся абсолютные значения плотности мощности полного излучения в зависимости от высоты стояния Солнца. В ясные безветренные дни в области *A* наблюдался «эффект ножниц». Авторы объясняют его транспортно-промышленными выбросами аэрозоля в атмосферу.

Настоящая статья посвящена изучению ультрафиолетовой (УФ) радиации Солнца, достигающей поверхности Земли. Как известно [1], радиация оказывает сильное воздействие на биологические объекты, в том числе и на людей.

Действие УФ-излучения в интервале длин волн от 200 до 400 нм на человека противоречиво. Поэтому принято разделять этот интервал на три области *A*, *B* и *C*. Излучение области *B* (длины волн 280 – 315 нм) обладает наибольшей эритемной эффективностью, т. е. наибольшей способностью вызывать эритему (расширение мельчайших капилляров кожи и сопутствующие этому процессы). Благотворное в малых дозах эритемное воздействие оказывается отрицательным в больших дозах, так как сильная эритема – это уже воспалительный процесс. Излучение области *B*, кроме эритемного, обладает общетерапевтическим и антирахитическим действием. УФ-излучение области *A* (325 – 400 нм), прилегающей к видимому излучению, менее эффективно биологически, но тоже оказывает эритемное и загарное действие. Область *C* (длины волн меньше 280 нм) обладает мощным бактерицидным действием и вообще оказывает негативное воздействие на живой организм. Ввиду эффективного и разностороннего воздействия УФ-излучения на живые организмы, облучение человека и животных УФ-излучением должно строго дозироваться.

УФ-излучение воздействует на многие органические вещества, применяемые человеком, например полимеры, пластмассы, красители и т.п. Известно также [2], что УФ-излучение играет важную роль в протекающих в атмосфере фотохимических процессах, в частности таких, как процессы смогообразования.

Наконец, потоки УФ-излучения на поверхности Земли непосредственно связаны с общим содержанием озона в атмосфере.

Исходя из изложенного выше, становится понятной необходимость постоянного контроля потоков солнечного УФ-излучения на поверхности Земли. Сотрудниками Сибирского физико-технического института при Томском госуниверситете начаты регулярные измерения потоков УФ-излучения в спектральных областях *A*, *B* и *C*.

Для этого разработан и изготовлен фильтровый УФ-спектрофотометр, приемной антенной которого служит кварцевый полушар, обращенный выпуклой стороной вверх. Полушар обеспечивает сбор излучения в телесном угле 0,6 π, что соответствует плоскому углу при вершине конуса сбора 90°. При горизонтальном положении прибора прямое излучение Солнца попадет на вход прибора только в том случае, если высота стояния Солнца больше 45°.

Спектральная часть прибора реализована в виде блока, содержащего 3 светофильтра в соответствии с областями *A*, *B* и *C* ультрафиолета. Характеристики использованных фильтров приведены в табл. 1. В этой таблице введены следующие обозначения: λ_{\max} – длина волны максимума пропускания светофильтра; $\Delta\lambda_{0,5}$ и $\Delta\lambda_{0,1}$ – спектральная ширина полосы пропускания светофильтра, измеренная на половине максимума пропускания и на 0,1 максимума пропускания, T – пропускание светофильтра в максимуме.

В качестве фотоприемника использован фотоумножитель с теллуру-рубидиевым фотокатодом: ФЭУ-170. Выбор этого фотоумножителя определяется следующим обстоятельством. Поток УФ-излучения в области *C* на несколько порядков слабее, чем поток излучения в области *A*. Поэтому необходимо, чтобы чувствительность фотоприемника в области *C* была значительно выше, чем в области *A*. Теллурурубидиевый фотокатод имеет максимум чувствительности в области 200 – 220 нм. В табл. 1 C_λ показывает, какую долю (в %) составляет чувствительность фотокатода на указанной длине волны от максимальной чувствительности, принятой за 100%. УФ-спектрофотометр имеет цифровую индикацию. Погрешности измерений УФ-спектрофотометра складываются из двух составляющих: случайная ошибка непосредственного измерения фотометром и погрешности градуировки фотометра.

Т а б л и ц а 1

Спектральные параметры спектрофотометра

Область ультрафиолета	λ_{\max} , нм	$\Delta\lambda_{0,5}$, нм	$\Delta\lambda_{0,1}$, нм	<i>T</i> , %	C_λ , %
<i>A</i>	353	63	80	27	3
<i>B</i>	281	24	60	25	10
<i>C</i>	260	22	50	30	25

Для оценки случайной погрешности измерений сделаны 32 измерения излучения неба через 5 с одно от другого в условиях стабильной атмосферы (безветренно и безоблачно). При этом дисперсия результатов была меньше 0,5%. Эту величину следует считать верхним пределом случайной погрешности измерения. Погрешности градуировки настолько велики, что, используя полученные абсолютные значения плотности мощности излучения, можно говорить лишь о порядке величины.

Измерения потоков УФ-излучения проводились в Томске в мировые геофизические дни (16 – 18 февраля, 16 – 18 марта, 20 – 22 апреля, 18 – 20 мая 1993 года). Не реже одного раза в час (иногда чаще) измерялось излучение при горизонтальном положении прибора. В дни и часы, когда Солнце не было закрыто тучами, проводились измерения и при наклонном положении прибора, чтобы зафиксировать прямое излучение или, наоборот, чтобы исключить его.

В Томске лишь в мае, июне и июле Солнце поднимается чуть выше 45°. Поэтому почти все измерения, выполненные при горизонтальном положении прибора, дают информацию о рассеянном УФ-излучении, т.е. об УФ-радиации неба.

В безветренные ясные дни зависимость рассеянного УФ-излучения от времени дня выглядит симметричной колоколообразной кривой. В ветреные дни <колокол> не гладкий. Разброс точек относительно среднего в ветреную, но безоблачную погоду может достигать 3%. В ветреную и облачную погоду разброс точек возрастает более чем на порядок и показания прибора меняются поминутно. В отдельные моменты величина измеряемого излучения падает почти в 10 раз.

В отдельные дни и часы на гладких кривых суточных вариаций потоков УФ-излучения наблюдаются провалы глубиной 30 – 70% и продолжительностью от 1 до 3 ч, которые не всегда можно объяснить видимой облачностью. Подобный провал наблюдался 18 февраля между 8 и 11 ч по Гринвичу. Наиболее вероятной причиной наблюдаемых провалов являются вариации аэрозольной составляющей атмосферы.

В пасмурные дни, когда все небо выглядит равномерно белым, УФ-поток рассеянного излучения оказывается больше, чем в ясные солнечные дни. Например, в пасмурные дни 17 и 18 февраля <колокол *A*> примерно на 20% выше в максимуме, чем в солнечный день 16 февраля. В областях *B* и *C* этот эффект был слабее.

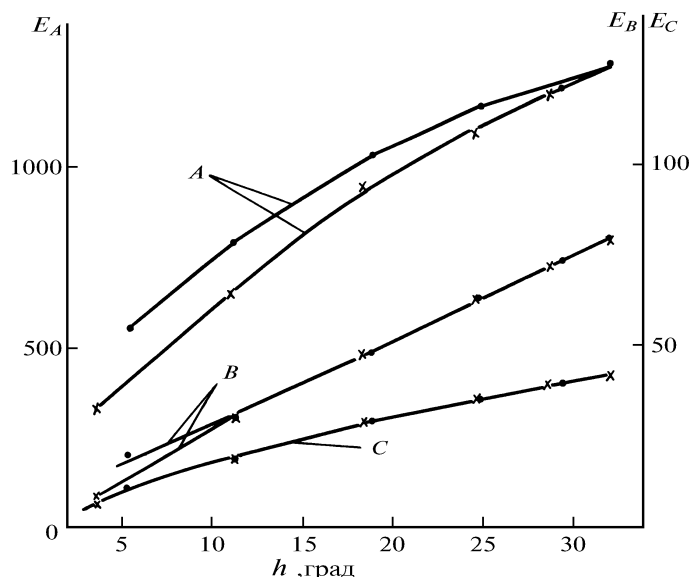
Помимо измерений потока УФ-излучения проводились расчеты высоты стояния Солнца и были построены зависимости потока УФ-излучения от высоты стояния Солнца. В табл. 2 приведены абсолютные значения плотностей мощности облучения (усредненные по дням и месяцам для различных высот стояния Солнца, выраженные в мВт/нм·м²).

В этой же таблице в круглых скобках даны относительные значения плотностей мощности, причем плотность мощности при длине волны 352 нм (область *A*) принята за 1. Эти результаты однозначно говорят о том, что доля ультрафиолета областей *B* и *C* в рассеянном излучении растет с подъемом Солнца.

Плотность мощности облучения поверхности Земли в зависимости от высоты стояния Солнца для разных длин волн (мВт/нм·м²)

Длина волны, нм	Высота стояния Солнца, град			
	10	20	30	40
353 (A)	$6 \cdot 10^1$ (1)	$13 \cdot 10^1$ (1)	$23 \cdot 10^1$ (1)	$27 \cdot 10^1$ (1)
281 (B)	$6 \cdot 10^{-2}$ (10^{-3})	$16 \cdot 10^{-2}$ ($1,1 \cdot 10^{-3}$)	$35 \cdot 10^{-2}$ ($1,5 \cdot 10^{-3}$)	$52 \cdot 10^{-2}$ ($1,9 \cdot 10^{-3}$)
260 (C)	$9 \cdot 10^{-3}$ ($1,6 \cdot 10^{-4}$)	$26 \cdot 10^{-3}$ ($1,9 \cdot 10^{-4}$)	$52 \cdot 10^{-3}$ ($2,2 \cdot 10^{-4}$)	$69 \cdot 10^{-3}$ ($2,6 \cdot 10^{-4}$)

В табл. 2 обращают на себя внимание высокие плотности мощности в областях B и C. Даже если величины в области A занижены на порядок, а в области C – завышены на порядок, все равно мы получаем в излучении отношение $E_C/E_A \approx 10^{-6}$, т. е. очень большую величину. Это является следствием того, что светофильтры, использованные нами для выделения областей B и C, имеют очень широкие крылья (см. $\Delta\lambda_{0,1}$ в табл. 1). Фактически светофильтр C пропускает излучение до 310 нм, а светофильтр B – до 330 нм. То есть при регистрации области C мы регистрируем частично и область B, а при регистрации B – частично и область A. Таким образом, результаты для областей B и C следует считать существенно завышенными, если ориентироваться на общепринятое выделение областей, указанное в начале статьи.



Зависимость плотности мощности УФ-облучения от высоты стояния Солнца для спектральных областей A, B, C (16 марта 1993 г.): точки – восход Солнца; крестики – закат

В ясные безветренные дни (16 февраля, 16 марта) в области A наблюдался «эффект ножниц», который проявляется в том, что кривая зависимости потока излучения от высоты Солнца при опускании его не совпадает с той же кривой, построенной при подъеме Солнца (см. рисунок), причем кривая заката проходит ниже, чем кривая восхода. Возможно, это связано с транспортно-промышленными выбросами аэрозоля в атмосферу, которые происходят преимущественно в светлое время суток. В областях B и C этого эффекта мы не увидели. В ветреные дни (17, 18 февраля, 17, 18 марта, все дни наблюдений в апреле и мае) этот эффект, если и был в области A, то маскировался флуктуациями, связанными с нестабильностью атмосферы.

В дальнейшем планируется регулярное слежение за уровнем УФ-радиации в Томске.

1. Б е л и н с к и й В.А. и др. Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба. М.: Изд-во МГУ, 1968.
2. G r a e d e l Т. Е. // React. and Process. Berlin e. a., 1980. P. 107 – 143.

Сибирский физико - технический
институт им. В. Д. Кузнецова
при Томском госуниверситете им. В.В. Куйбышева

Поступила в редакцию
13 октября 1993 г.

A.A. Eliseev, I.I. Ippolitov, M.V. Kabanov, A.G. Kolesnik, O.V. Ravodina,
N.V. Red'kina, Z.S. Teodorovich. **Study of the UV Solar Radiation Reaching the Earth's Surface.**

We have started regular measurements of the solar and sky ultraviolet radiation in Tomsk (56° 5' N, 85° E). In this paper we present absolute values of the power density of total irradiance as a function of the Sun elevation angle. During clear and windless days we have observed the <scissors effect> in the A spectral region that we explain by the influence of industrial, including urban transports, emissions into the atmosphere.