

Т. П. ТОРОПОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДЯНОГО ПАРА, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ В АТМОСФЕРЕ, СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 7 VII 1952)

Летом 1951 г. на горной обсерватории Института астрофизики АН Каз. ССР, расположенной на высоте 1400 м над уровнем моря, производились определения количества водяного пара, содержащегося во всей толще атмосферы, спектроскопическим методом. Для этого определялось относительное пропускание солнечной радиации в узком интервале длин волн внутри полосы поглощения водяного пара, находящейся в близкой инфракрасной части солнечного спектра с максимумом поглощения при $\lambda = 0,94 \mu$.

Наблюдения проводились на большом солнечном спектрографе конструкции В. Г. Фесенкова. Дисперсия в исследуемой области составляла 84 \AA на 1 мм. В фокальной плоскости объектива камеры спектрографа помещалась щель шириной в 0,35 мм. Через эту щель солнечная радиация падала на серно-серебряный фотоэлемент. Фотоэлемент вместе со щелью мог перемещаться вдоль спектра. Ширина входной щели спектрографа была равна 0,04 мм. Фототок измерялся при помощи зеркального гальванометра ПС-26.

Стабильность показаний серно-серебрянных фотоэлементов исследовалась в лаборатории института Г. Лифшицем с гальванометром ГПГ-2. Используемый в данной работе фотоэлемент был исследован дополнительно автором совместно с Г. Лифшицем. Для этого фотоэлемент подвергался периодически освещению постоянным потоком света от лампочки, находящейся на определенном расстоянии от фотоэлемента. Фототок измерялся при помощи того же гальванометра ПС-26, с которым проводились наблюдения. Постоянство тока в цепи поддерживалось при помощи потенциометрической установки. Режим освещения и затемнения фотоэлемента во время исследования совпадал с режимом в период наблюдений. Подобные исследования показали, что в течение 2 час. работы чувствительность фотоэлемента постепенно падает на 1—1,5%. Это вносит лишь незначительную систематическую ошибку, которая находится в пределах погрешности измерений. Никаких резких колебаний чувствительности фотоэлемента, которые, как это будет видно дальше, только и могли играть роль при определении содержания водных паров, обнаружено не было.

Отсутствие резких колебаний чувствительности используемого фотоэлемента подтверждается также спектрограммами исследуемой части солнечного спектра, полученными фотоэлектрическим методом. Пример двух таких спектрограмм приведен на рис. 1. Нижняя кривая соответствует зенитному расстоянию Солнца $z_{\odot} = 71^{\circ}$, верхняя $z_{\odot} = 59^{\circ}$. Обе кривые, как видно из рисунка, хорошо согласуются между собой.

На спектрограммах видны две глубокие полосы поглощения водяного пара: одна с максимумом при $\lambda = 0,94 \mu$, вторая при $\lambda = 1,13 \mu$. Вторая полоса для наблюдений использована не была, так как лежит в области, близкой к границе спектральной чувствительности фотоэлемента.

Наблюдения проводились в период с 25 III по 20 IX 1951 г. Всего было проведено 26 дней наблюдений. Из них в течение 5 дней наблюдения проводились как до, так и после полудня, в остальные дни только в утренние часы. Для каждого дня наблюдений измерялась интенсивность радиации I_λ внутри полосы поглощения ($\lambda = 0,94 \mu$) и вне ее $I_{\lambda'}$ ($\lambda' = 1,01 \mu$) для разных моментов времени. Если пренебречь изменением коэффициента прозрачности с длиной волны на участке спектра между $\lambda = 0,94 \mu$ и $\lambda = 1,01 \mu$, то отсчет $I_{\lambda'}^0$ с точностью до постоянной определит интенсивность непрерывного спектра I_λ^0 , соответствующую $\lambda = 0,94 \mu$ (1):

$$I_\lambda^0 = c I_{\lambda'}^0.$$

Таким образом, относительное пропускание b_λ в узком участке спектра внутри полосы поглощения определится отношением

$$b_\lambda = \frac{I_\lambda}{I_\lambda^0} = \frac{I_\lambda}{c I_{\lambda'}^0}, \quad (1)$$

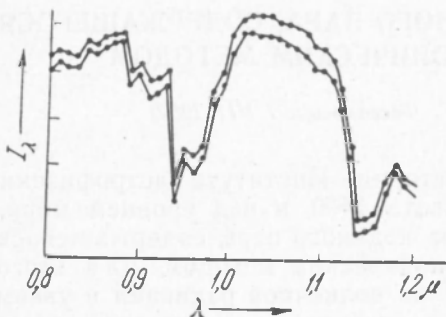


Рис. 1. Спектрограмма части солнечного спектра, полученная фотоэлектрическим методом 25 VI 1951 г.

или же с точностью до постоянной c может характеризоваться отношением $I_\lambda/I_{\lambda'}^0$. Отношение (1) характеризует количество водяных паров, производящих поглощение.

Наблюдения проводились без фильтра. Для оценки влияния рассеянного света были проведены специальные сравнения отношений $I_\lambda/I_{\lambda'}^0$ при наблюдении с красным фильтром и без фильтра. Эти отношения в пределах точности наблюдений оказались одинаковыми.

Для контроля измерялась интенсивность радиации не только для $\lambda = 0,94 \mu$, но также еще для нескольких соседних длин волн λ внутри полосы поглощения. Когда для всех этих λ были построены кривые зависимости $I_\lambda/I_{\lambda'}^0$ от атмосферной массы в направлении на Солнце, то оказалось, что все эти кривые подобны (см. рис. 2). Следовательно, отношения $I_\lambda/I_{\lambda'}^0$ для всех λ внутри полосы поглощения имеют один и тот же дневной ход и могут характеризовать количество водяного пара в атмосфере, производящего поглощение.

Для того чтобы оценить содержание водяного пара в атмосфере в сантиметрах осажденной воды, была проведена приближенная калибровка по аэрологическим данным, полученным в Алмаатинской геофизической обсерватории. Такие данные были получены для 20 дней наблюдений. Калибровочная кривая приведена на рис. 3. На оси абсцисс отложено содержание водяных паров в вертикальном столбе атмосферы, полученное на основании аэрологических данных, q , на оси ординат — отношения $I_\lambda/I_{\lambda'}^0$, полученные из наблюдений. Определения производились для момента времени, когда атмосферная масса в направлении на Солнце (m_\odot) была равна 3. Поскольку калибровка производилась по отношениям $I_\lambda/I_{\lambda'}^0$, то для получения количества водяного пара в сантиметрах осажденной воды определять постоянную c в выражении (1) не было надобности. Количество водяных паров в вертикальном столбе атмосферы за наблюдаемый период колебалось

от 0,3 до 2,2 см осажденной воды. Содержание водяного пара после полудня всегда оказывалось больше, чем до полудня, что соответствует дневному ходу прозрачности.

Попутно с определением содержания водяного пара для 15 дней были определены коэффициенты прозрачности атмосферы для $\lambda = 1,01 \mu$ по способу Бугера и вычислены соответствующие оптические толщи атмосферы.

Оптическую толщину атмосферы можно представить в виде суммы

$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda, R} + \tau_{\lambda, t} + \tau_{\lambda, w},$$

где $\tau_{\lambda, R}$ — релейская составляющая оптической толщи, $\tau_{\lambda, t}$ — составляющая, обусловленная сухими аэрозолями, и $\tau_{\lambda, w}$ — составляющая, обусловленная водяным паром.

Пусть $a_{\lambda, w}$ — прозрачность массы водяных паров на пути светового луча, эквивалентной 1 см осажденной воды; w — количество водяного пара, содержащегося в атмосфере, и выраженное в сантиметрах осажденной воды. Тогда

$$\tau_{\lambda, w} = w \ln a_{\lambda, w}; \quad \tau_{\lambda} = \tau_{\lambda, R} + \tau_{\lambda, t} + w \ln a_{\lambda, w},$$

откуда

$$\tau_{\lambda, t} = \tau_{\lambda} - \tau_{\lambda, R} - w \ln a_{\lambda, w}.$$

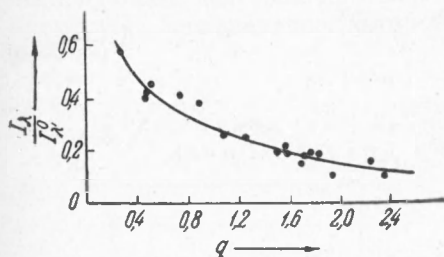


Рис. 3. Калибровочная кривая

Фоуля⁽³⁾. Затем были определены отношения $\tau_{\lambda, R}/\tau_{\lambda}$, $\tau_{\lambda, w}/\tau_{\lambda}$, $\tau_{\lambda, t}/\tau_{\lambda}$.

В среднем за наблюдаемый период роль отдельных составляющих оптической толщи для $\lambda = 1,01 \mu$ представляется следующими цифрами:

$$\frac{\tau_{\lambda, R}}{\tau_{\lambda}} = 0,13; \quad \frac{\tau_{\lambda, w}}{\tau_{\lambda}} = 0,21; \quad \frac{\tau_{\lambda, t}}{\tau_{\lambda}} = 0,66.$$

Эти цифры показывают, что сухие аэрозоли играют большую роль в ослаблении света в данной местности, по крайней мере, в летний период.

Институт астрофизики
Академии наук Каз.ССР
Алма-Ата

Поступило
5 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. Opt. Soc. Am., 35, № 9 (1945). ² К. Я. Кондратьев, Перенос длинноволнового излучения в атмосфере, 1950. ³ В. Г. Фесенков, Геофиз. бюлл. № 40, Гос. геофиз. ин-т, М. (1950).

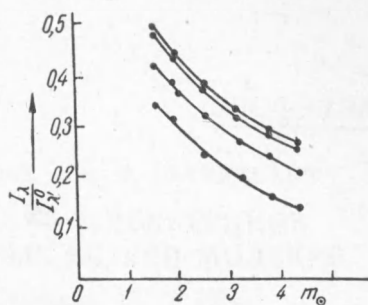


Рис. 2. Зависимость отношений $I_{\lambda}/I_{\lambda}^0$ от атмосферной массы в направлении на Солнце (m_{\odot}) для разных участков полосы поглощения. 15 VI 1951 г.