

И. А. ХВОСТИКОВ и Н. Д. ЕРШОВА

**НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ОЗОННОГО СЛОЯ ПРИ ВОСХОДЕ И ЗАХОДЕ  
СОЛНЦА И ВОПРОС ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫСОТЫ ОЗОННОГО СЛОЯ**

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 27 VI 1938)

1. В настоящем сообщении излагаются некоторые опыты и соображения, показывающие, что вопрос о распределении атмосферного озона по высоте требует повидимому существенного своего пересмотра.

Как известно, для вычисления зависимости концентрации озона от высоты пользуются результатами наблюдений над так называемым явлением обращения (Umkehr-Effekt), наблюдаемым в ультрафиолетовой области спектра рассеянного света неба.

Однако данные, полученные Родионовым, Павловой и Ступниковым<sup>(1)</sup> во время высокогорных наблюдений летом 1937 г., показывают, что кривая с минимумом имеет место не только для рассеянного света, но и для прямых солнечных лучей (для  $\lg \frac{I_{\lambda_1}}{I_{\lambda_2}}$ ), причем положение минимума кривой примерно то же самое.

Если для рассеянного света неба объяснение эффекта обращения, данное Добсоном и Гётцем, является принципиально вполне приемлемым, то для прямых солнечных лучей оно непригодно. Приходится предположить, что либо изменяется содержание озона, либо же имеет место большая (аномальная) рефракция солнечных лучей с меньшей длиной волны. Предположение об изменении содержания озона при восходе и заходе солнца всегда отклоняется по тем соображениям, что ночные наблюдения дают примерно то же содержание озона, что и днем.

Для объяснения эффекта, наблюдаемого Родионовым, Павловой и Ступниковым, остается, как указывают эти авторы, предположение об аномальной рефракции<sup>(1)</sup>.

Однако предварительный подсчет, произведенный одним из нас, показывает, что если представлять себе наличие аномальной рефракции ультрафиолетовых лучей в атмосфере как результат аномальной дисперсии вблизи полосы поглощения [такие явления повидимому должны иметь место в атмосфере<sup>(2,3)</sup>], то озон в виду малого его содержания не может оказать влияния на величину показателя преломления. Ход явления должен определяться поглощением кислорода, которое лежит в области гораздо меньших длин волн (2 000 Å и менее) и не может дать заметной разницы для показателя преломления для столь близких между собой длин волн ( $\lambda = 2\ 950, 3\ 021, 3\ 125$  и  $3\ 260$  Å), к которым относятся наблюдения Родионова, Павловой и Ступникова. С другой стороны, вопрос об аномальной рефракции

в этой области спектра может быть решен и прямым опытом. Если рефракция для  $\lambda_1 = 3\,021$ ,  $\lambda_2 = 3\,125$  и  $\lambda_3 = 3\,260$  Å различна и для  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  она больше, чем для  $\lambda_3$ , то, фотографируя при нужных зенитных расстояниях диск солнца фотокамерой с кварцевым объективом сквозь светофильтры, пропускающие только соответственно свет с длиной волны  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  и  $\lambda_3$ , мы должны были бы получить различное видимое положение солнца на небе в одни и те же моменты времени (для  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  более высокое, чем для  $\lambda_3$ ). Если опыт в таком виде в настоящее время неосуществим (благодаря невозможности изготовления указанных светофильтров), то его легко можно провести несколько иным, но столь же наглядным способом.

2. Сфокусируем кварцевым объективом диски солнца на щель кварцевого спектрографа так, чтобы изображение диска  $d$  (фиг. 1) занимало только часть длины щели  $S$ . Пусть  $d$  есть изображение диска солнца, даваемое лучами с длиной волны  $\lambda_3$ .



Фиг. 1.

Если рефракция лучей  $\lambda_1$  больше, чем рефракция лучей  $\lambda_3$ , то изображение солнечного диска в лучах  $\lambda_1$  будет занимать иное положение  $d'$  на щели. Задача сводится к фотографированию описанным способом спектра солнечных лучей при зенитных расстояниях  $75-90^\circ$ : если имеет место большая рефракция для лучей, длина волны которых меньше, то со стороны коротковолнового края спектра должен иметь место изгиб спектра. Величина изгиба может служить для точного определения величины рефракции, так как высота спектра очевидно соответствует углу в  $0.5$  (угловой размер солнца).

Фотографирование ультрафиолетового спектра солнечных лучей при зенитных расстояниях порядка  $80-90^\circ$  встречается со следующей трудностью: благодаря непропорционально сильному поглощению ультрафиолетовых лучей (по сравнению с видимыми) при больших зенитных расстояниях солнца требуется столь большая экспозиция, что видимый спектр получается крайне переэкспонированным и имеет место чрезмерное обилие рассеянного видимого света, что делает спектрограммы непригодными для фотометрирования. Поэтому в таких случаях всегда прибегают к двойному спектральному разложению (например известные спектрографы Добсона), что однако исключает возможность следить за видимым положением солнечного диска и нарушает указанную схему опыта.

В связи с этим мы произвели фотографирование ультрафиолетового спектра солнечных лучей с соблюдением всех условий, необходимых для выполнения указанной выше простой схемы. Фотографирование производилось в июне 1938 г. на светофильном спектрографе Hilger ( $F:3$ ) в Москве и на станции, находящейся в 40 км от Москвы (село Зеленая Слобода). Полученные спектрограммы показывают, что в пределах зенитного расстояния солнца от  $87$  до  $75^\circ$  в интервале длин волн  $3\,050-3\,500$  Å явление дополнительной рефракции отсутствует (точность наших измерений— $10'$  рефракции). Таким образом можно определенно утверждать, что явление, наблюдаемое Родионовым, Павловой и Ступниковым для  $\lambda = 3\,021$ ,  $3\,125$  и  $3\,260$  Å, не может быть объяснено аномальной рефракцией.

3. Экстремальная форма кривой для  $\lg \frac{I_{\lambda_1}}{I_{\lambda_2}}$  для рассеянного света и для прямых солнечных лучей может быть объяснена весьма просто и естественно. Равновесие озонного слоя определяется следующими (в числе прочих) реакциями:

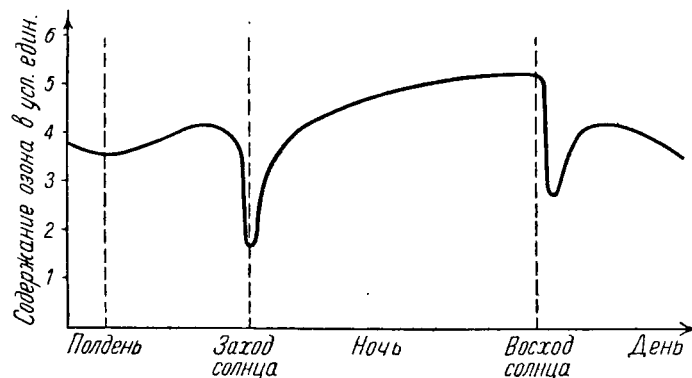


Реакция (1) является, как известно, необходимой предпосылкой для образования озона, а реакция (2) ведет к убыли озона. Частота  $\nu_1$  соответствует участку спектра  $\lambda \leq 1850 \text{ \AA}$ , а  $\nu_2$  — участку  $2200\text{--}2900 \text{ \AA}$ .

Что случится, если интенсивность солнечных лучей частоты  $\nu_1$  уменьшится при неизменной интенсивности для  $\nu_2$ ? Это приведет к убыли озона. Но если подсчитать, на какую высоту  $h_m$  приходится максимум поглощения лучей  $\nu_1$  (поглощение кислородом), то получается известная формула Чепмана:

$$h_m = H \ln A \rho_0 \frac{H}{\cos x},$$

где  $H$  — высота приведенной атмосферы,  $A$  — коэффициент поглощения света частоты  $\nu_1$ ,  $\rho_0$  — плотность у поверхности земли,  $x$  — зенитное расстояние солнца. При увеличении  $x$   $h_m$  возрастает. Это означает, что по мере при-



Фиг. 2.

ближения солнца к горизонту эффективный слой поглощения лучей кислородом может оказаться существенно выше озонного слоя: лучи света с частотой  $\nu_1$  будут доходить до высот, где образуется озон (озонный слой), ослабленными. Но в виду концентрированного распределения озона по высоте максимум поглощения света  $\nu_2$  озоном будет сохранять свою высоту — это есть высота озонного слоя. Другими словами, свет частоты  $\nu_2$  будет по-прежнему поглощаться главным образом в озонном слое и будет производить с прежней скоростью разрушение молекул озона.

В результате должна иметь место *убыль озона*. Эта убыль озона является непродолжительной. После захода солнца, когда лучи с частотой  $\nu_2$ , разрушающие молекулы озона, перестают действовать, должно иметь место увеличение содержания озона за счет воссоединения молекул кислорода  $O_2$  с атомами  $O$ , остающимися в атмосфере в определенном количестве и после захода солнца. В результате содержание озона ночью может не только достигнуть дневной величины, но даже и превысить ее. Если освещение атмосферы ультрафиолетовыми солнечными лучами является необходимой предпосылкой для существования атмосферного озона (эти лучи производят атомный кислород путем диссоциации), то в то же время при уже имеющемся наличии атомного кислорода дневные условия (освещения атмосферы ультрафиолетовыми лучами) являются *менее благоприятными* для озона, чем ночные: разрушающее действие лучей с частотой  $\nu_2$  превышает действие лучей  $\nu_1$ , содействующих образованию озона. Это непосредственно подтверждается суточным ходом озона: минимум в середине дня. По этим причинам указанная нами *убыль озона*

при больших зенитных расстояниях солнца компенсируется после захода солнца.

Суточный ход содержания озона, которого можно ожидать с точки зрения изложенных выше соображений, представлен на фиг. 2.

Кратковременная убыль озона после восхода и перед заходом солнца может полностью объяснить и явление обращения (Umkehr-Effekt) и эффект, наблюдаемый Родионовым, Павловой и Ступниковым.

Но в этом случае общепринятое истолкование явления обращения оказывается недостаточным, что может потребовать пересмотра методики и результатов определения содержания озона на разных высотах атмосферы.

Отдел стратосферы Института  
теоретической геофизики.  
Академия Наук СССР.  
Москва.

Поступило  
28 VI 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> С. Родионов, Е. Павлова и Н. Ступников, ДАН, XIX, № 1—2 (1938). <sup>2</sup> И. Хвостиков, УФН, № 2 (1937). <sup>3</sup> И. А. Хвостиков, свечение ночного неба (1937).