

К. В. Аликаева

В течение наблюдательного сезона 1967 г. в отделе физики Солнца ГАО АН УССР проводились наблюдения участка солнечного спектра $\lambda\lambda=6327.5-6330.0 \text{ \AA}$. Цель работы — выявление теллурических линий в этой спектральной области и их исследование. Работа выполнялась сотрудниками отдела под руководством Э. А. Гуртовенко.

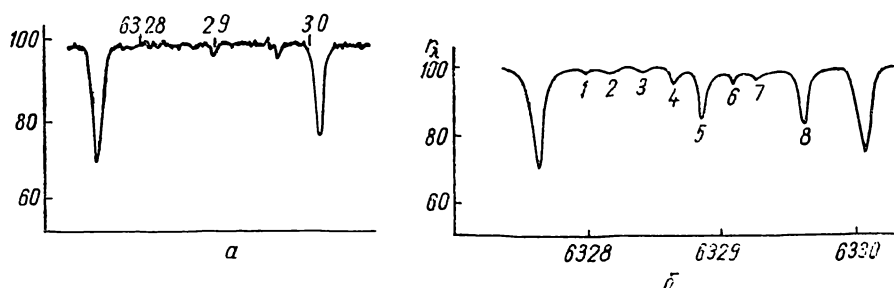


Рис. 1. а — участок солнечного спектра $\lambda 6327.5-6330.0 \text{ \AA}$; б — тот же участок по записям на АЦУ-5 ($z=77^{\circ}17'$; $t=19^h20^m$; 20. VII 1967 г.).

Фотоэлектрические наблюдения избранной области производились на горизонтальном солнечном телескопе АЦУ-5 с монохроматором двойной дифракции. Подробное описание установки дано в [1]. Фотоэлектрическая запись осуществлялась одновременно по двум каналам: основной сигнал поступал на фотоумножитель ЕМ1-6094 (канал № 1), а на фотоумножитель ФЭУ-19А посылался участок спектра Солнца, близкий к регистрируемой области (канал № 2). Второй канал служит для регистрации прозрачности неба. Сигналы обоих каналов записывались с помощью самописцев ЭПП-09. Описание регистрирующей аппаратуры приводится также в [1].

Спектр центра Солнца записывался в IV порядке. Скорость сканирования спектра 9 \AA/сек , линейная дисперсия после двойного прохождения $\approx 0.19 \text{ \AA/мм}$. Продолжительность единичной записи участка $\approx 8 \text{ мин}$.

Если позволяла погода, то наблюдения велись на протяжении всего дня с небольшими перерывами. Вблизи меридиана перерывы между наблюдениями были продолжительностью около 1 ч. У горизонта наблюдения проводились без перерывов. Каждая серия наблюдений состояла из двух записей, следующих друг за другом без паузы. Одна запись производилась в направлении увеличения длин волн (прямая запись), а другая — в противоположном направлении (обратная запись).

Для дальнейшей обработки отобраны дни, когда удавалось провести полный цикл наблюдений на различных расстояниях от меридиана до горизонта: 10 июля, 20 июля, 5 сентября, 26 октября 1967 г. Все записи за эти дни были перестроены в единицах непрерывного спектра Солнца. Положение непрерывного спектра определялось в фиксированных местах данного участка, свободных от линий поглощения, и интерполировалось на всю область. При этом принимались во внимание колебания прозрачности атмосферы во время наблюдений. С помощью записи по второму каналу производилась коррекция непрерывного спектра. При определении длин волн в качестве реперных линий использованы солнечные линии, длины волн которых, согласно [2], равны $\lambda 6327.604$ и 6330.096 \AA .

Для каждой серии результаты обработки прямой и обратной записей усреднялись. Время наблюдения определялось как середина интервала записи всей серии. После усреднения каждая серия относилась к этому моменту, и для него вычислялось соответствующее зенитное расстояние Солнца.

Перейдем к рассмотрению полученного материала. На рис. 1 приведен один из полученных графиков (r_λ, λ) и для сравнения воспроизведен этот же участок из атласа Миннаэрта [3]. Как видно из рисунка, кроме упоминавшихся реперных солнечных линий, в атласе есть лишь две теллурические линии молекулярного кислорода $\lambda = 6328.913$ и 6329.636 \AA (отождествление согласно [2]). На наших же графиках есть линии, не отмеченные ни в атласе Миннаэрта, ни в таблицах Мур. Максимальное число этих линий — шесть.

На рис. 1, б цифры — номера теллурических линий. Длины волн их определялись с помощью реперных линий. Погрешность при определении λ не превышает 0.01 \AA . В табл. 1 приведены средние по всем наблюдениям значения длин волн этих линий.

На отдельных графиках (r_λ, λ) истинные значения λ теллурических линий отличаются от средних на $0.01—0.02 \text{ \AA}$. Такие смещения линий частично можно объяснить движениями воздушных масс в атмосфере, в меньшей мере — движением Земли по орбите и вращением вокруг оси.

О том, что рассматриваемые линии теллурические, свидетельствует изменение их интенсивности в зависимости от зенитного расстояния. Все без исключения линии наиболее интенсивны при наблюдениях у горизонта, а при приближении к меридиану некоторые из них совсем исчезают.

Наиболее сильная из неопознанных линий — линия № 4. Она присутствует в спектре всегда, глубина ее вблизи горизонта $5—7\%$, а 5. IX 1967 г. ($z = 84^\circ$) остаточная интенсивность этой линии $r_\lambda = 81\%$ (глубина $d_\lambda = 19\%$).

Наиболее слабая линия № 1. Она изредка видна на больших зенитных расстояниях ($z > 70^\circ$) и только в вечернее время.

Линии № 2, 6, 7, как правило, появляются только во второй половине дня. Несмотря на небольшую интенсивность, эти линии просматриваются и на средних высотах ($z = 45^\circ$).

Интересно проследить и сопоставить поведение теллурических линий в течение дня. Были измерены эквивалентные ширины линий по всем сериям. На рис. 2 представлена зависимость эквивалентных ширин (W) от зенитного расстояния (z) за 20. VII 1967 г. Для всех линий W увеличивается к горизонту. Однако ход W не является плавным. На него накладываются нерегулярные кратковременные флуктуации интенсивности. Эти флуктуации нельзя объяснить неточностями наблюдений или обработки, так как они значительно превосходят возможные ошибки. Скорее всего их можно объяснить присутствием на луче зрения атмосферных неоднородностей.

Сопоставление хода W в течение дня для различных линий позволяет выделить две группы линий, характеризующихся синхронным изменением W . Первая группа включает линии № 2, 6, 7, вторая — № 3, 4, 5, 8. Это подтверждается наблюдениями, проведенными в другие дни. По-видимому, линии второй группы, включая неотожествленные линии

Т а б л и ц а 1

№ линии	$\lambda, \text{ \AA}$	Относительная интенсивность	Примечание
1	6328.05	1	
2	6328.27	2	
3	6328.51	3	
4	6328.71	5	
5	6328.913	10	см. [2], [3]
6	6329.12	3	
7	6329.29	2	
8	6329.636	10	см. [2], [3]

№ 3 и 4, принадлежат молекулярному кислороду. Принадлежность линий № 2, 6, 7 установить труднее. Можно привести лишь некоторые косвенные соображения. Эти линии интенсивнее в дни, когда влажность

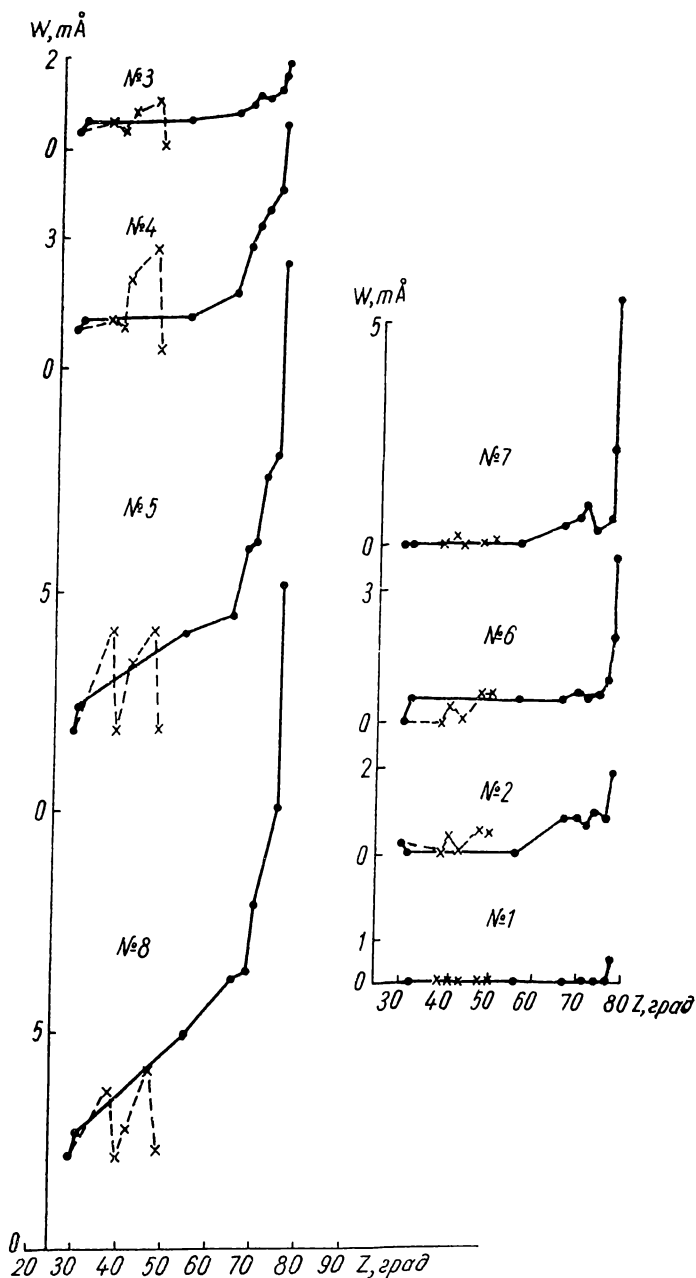


Рис. 2. Изменение эквивалентных ширин теллурических линий 20. VII 1967 г.
 — — — — — утренние наблюдения, ————— вечерние наблюдения.

выше. На рис. 3 приведены эквивалентные ширины линии № 7 за 20. VII, 5. IX и 26. X 1967 г. Согласно данным Киевского института метеорологии, влажность в эти дни в приземном слое была соответственно 28, 49 и 71% ($t=14^{\text{h}}30^{\text{m}}$). На зенитном расстоянии $z=55^{\circ}$ 20 июля эта линия уже не видна, тогда как в другие дни она была видна и на меньших z . Возможно, линии № 2, 6, 7 принадлежат водяному пару.

Особо выделяется линия № 1, но она наблюдается очень редко, и поэтому делать какие-либо предположения относительно нее трудно.

С состоянием атмосферы тесно связана форма профилей теллурических линий. Показательны в этом отношении полные ширины линий. В течение дня они претерпевают небольшие изменения в пределах

Таблица 2

$z, \text{град}$	Линия №2		Линия №4		Линия №8		Линия №6	
	20.VII	5.IX	20.VII	5.IX	20.VII	5.IX	20.VII	5.IX
50	—	—	0.09	0.19	0.11	0.25	—	0.13
67	0.12	0.17	0.11	0.20	0.19	0.39	0.09	0.27
71	0.12	0.15	0.15	0.28	0.18	0.23	0.10	0.14

нескольких сотых долей ангстрема. Но в различные дни их ширины могут сильно отличаться, что видно из табл. 2. Наиболее широкие крылья отмечаются 5. IX и 26. X 1967 г. Так, 26. X уже на зенитном расстоянии $z=72^{\circ}45'$ переналожение крыльев линий приводит к понижению уровня континуума в исследуемом участке спектра, которое на $z=80^{\circ}$ усиливается и достигает 6%. Однако 5. IX на тех же зенитных расстояниях понижения уровня континуума еще нет. Оно становится заметным лишь на $z=81^{\circ}19'$ (рис. 4). На записях 10. VII и 20. VII переналожение крыльев почти не возникает.

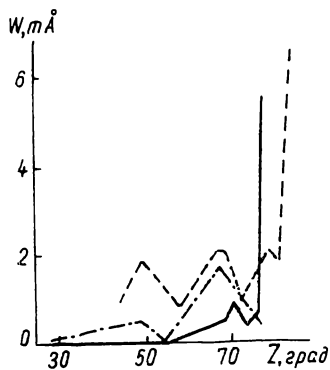


Рис. 3. График W линии $\lambda 6329.29 \text{ \AA}$ (№ 7).
— 20. VII, - - - 5. IX.
- - - 26. X.

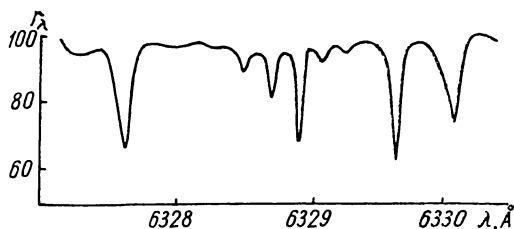


Рис. 4. Переналожение крыльев теллурических линий ($z=84^{\circ}30'$; $t=19^{\text{h}}00^{\text{m}}$; 5. IX 1967 г.).

Поскольку форма контура теллурических линий обусловлена затуханием, то степень переналожения линий определяется постоянными затухания γ , а те, в свою очередь, зависят от физического состояния атмосферы. Сопоставление с данными об атмосферном давлении и с ходом температуры в приземных слоях (H — до 30 км) за дни наблюдений не дает ответа на вопрос о причинах появления широких крыльев линий в некоторые дни. Решение вопроса, по-видимому, следует искать в динамическом состоянии атмосферы. Но материал, которым мы располагаем, не позволяет это сделать.

С имеющимися спектральными данными была предпринята попытка определить эффективную высоту слоя атмосферы, ответственного за образование теллурических линий. Обозначим высоту этого слоя H , толщину — h , R — радиус Земли, oz — направление на зенит (рис. 5). Поскольку эквивалентная ширина пропорциональна воздушной массе, то

$$W \sim M_z \sim x \sim \frac{h}{\cos \alpha}.$$

При этом предполагается, что атмосфера однородна. Отношение эквивалентных ширин на двух зенитных расстояниях

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\cos \alpha_2}{\cos \alpha_1}. \quad (1)$$

Из треугольника, образованного радиусом Земли и стороной $R+H$ (см. рис. 5), имеем

$$\frac{R+H}{\sin z} = \frac{R}{\sin \alpha}. \quad (2)$$

Используя соотношения (2) и (1), получим

$$\frac{W_1^2}{W_2^2} = \frac{(R+H)^2 - R^2 \sin^2 z_2}{(R+H)^2 - R^2 \sin^2 z_1}. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет определить высоту слоя H . Определения по этой формуле не отличаются высокой точностью, так как условие однородности атмосферы не выполняется, о чем свидетельствуют флуктуации W . Кроме того, накладываются ошибки определения эквивалентных

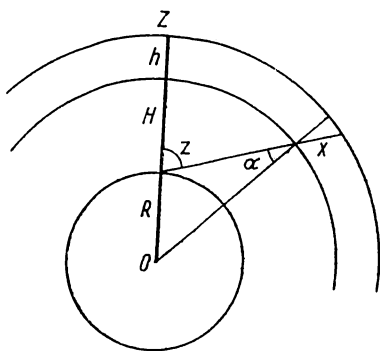


Рис. 5. Схема для определения высоты образования теллурических линий.

ширин линий, особенно слабых. Поэтому вычисления носят характер прикидки. Но даже такие грубые оценки позволяют сделать некоторые выводы. Эти вычисления показывают, что линии, отнесенные ко второй группе, образуются на высотах 30—180 км. Средняя высота слоя, ответственного за линии O_2 , составляет ≈ 90 км. Согласно [4], зона молекулярного кислорода простирается до высоты ≈ 100 км, причем содержание O_2 до этой высоты несколько нарастает. Выше 100 км содержание O_2 быстро уменьшается. Таким образом, наши вычисления согласуются с данными геофизических исследований.

Вычисление высоты с использованием линий № 2, 6, 7 лежит за пределами возможной точности, что приводит к значениям $H=0$. Здесь мы имеем дело с линиями, которые образуются непосредственно в приземном слое.

Таковы выводы, которые можно получить на основании проведенных наблюдений. Более детальный анализ возможен при наличии большого количества наблюдений, а также сопоставлении их с данными метеорологических и геофизических исследований.

В заключение считаю своим долгом выразить благодарность Э. А. Гуртовенко, руководившему работой, и сотрудникам отдела физики Солнца, помогавшим при наблюдениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуртовенко Э. А. — Астрометрия и астрофизика, 8, 1969.
2. Moore S. E., Minnaert M. G. J., Houtgast J. The Solar Spectrum, NBS Monograph 61, 1966.
3. Minnaert M., Mulders G. F. W., Houtgast J. Photometric Atlas of the Solar Spectrum, 1940.
4. «Успехи СССР в исследовании космического пространства». «Наука», М., 1968.

