

С. Ф. РОДИОНОВ и Е. Н. ПАВЛОВА

## ОБ ИЗЛУЧЕНИИ АТМОСФЕРНОГО НАТРИЯ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 12 V 1949)

Исследование излучения атмосферного натрия имеет существенное значение как для общей проблемы строения атмосферы, так и в особенности для исследования восходящих потоков в стратосфере, благодаря которым слой натрия (повидимому, земного происхождения) простирается до высот 80—100 км.

Особенный интерес представляют спектрофотометрические исследования излучения в сумерки, когда слой натрия освещается прямыми лучами солнца, находящегося за горизонтом, а интенсивность рассеянного солнечного света невелика, и линия  $D$  натрия вполне различима на фоне рассеянного света сумеречного неба. М. Ф. Вуксом и В. И. Черняевым<sup>(1)</sup> в 1937 г. обнаружена так называемая „вспышка“ линии  $D$  натрия: линия, наблюдаемая в сумерки, оказывается на 2—3 порядка более интенсивной, чем ночью.

На основании хода интенсивности излучения со временем в течение сумерек многими авторами<sup>(2)</sup> были сделаны попытки определения высоты слоя натрия в стратосфере (во всяком случае, верхней границы слоя):

Фотографический метод исследования спектра сумерек обладает тем существенным недостатком, что вследствие малой интенсивности излучения применяются обычно спектрографы большой светосилы, обладающие очень малой дисперсией. Дисперсия прибора Вукса и Черяева составляла в желтой области спектра  $1400 \text{ \AA} / \text{мм}$ . Тем не менее минимальное время экспозиции не могло быть сделано меньше 6 мин., а, стало быть, и детальное исследование „вспышки“, продолжавшейся всего 20—25 мин., оказалось затруднительным.

Настоящая работа, выполненная в составе Эльбрусской комплексной экспедиции Академии наук СССР осенью 1948 г., представляет попытку применения фотоэлектрического метода к исследованию спектра сумеречного неба.

Для измерения интенсивности излучения сумеречного неба применялся спектрофотометр, состоящий из монохроматора постоянного отклонения и фотометра с фотоэлектрическим умножителем.

Нами был использован монохроматор М-1 Экспериментальных мастерских Физического института ЛГУ со светосилой  $F/4,5$  и дисперсией  $135 \text{ \AA} / \text{мм}$  в области  $5900 \text{ \AA}$ . Фотометр, разработанный в лаборатории фотометрии НИФИ ЛГУ<sup>(3)</sup>, состоял из ФЗУ с сурьмяно-цезиевым катодом системы Л. А. Кубецкого<sup>(4)</sup> и однокаскадного лампового усилителя постоянного тока. Измерения вечерних сумерек производились на высоте 2200 м (Адыл-Су, Кавказ).

Прибор направлялся под углом к горизонту  $30^\circ$  в направлении на юг или на юго-запад (результаты в обоих случаях были одинаковы).

По наступлении сумерек в быстром темпе производились измерения фототока в зависимости от длины волны в области от 5825 до 5929 Å, через каждые 4,3 Å. Измерение одного такого спектра занимало от 1 до 2 мин. Типичные данные таких измерений для одного из дней (вечерние сумерки) приведены на рис. 1. Каждая из кривых соответствует неко-

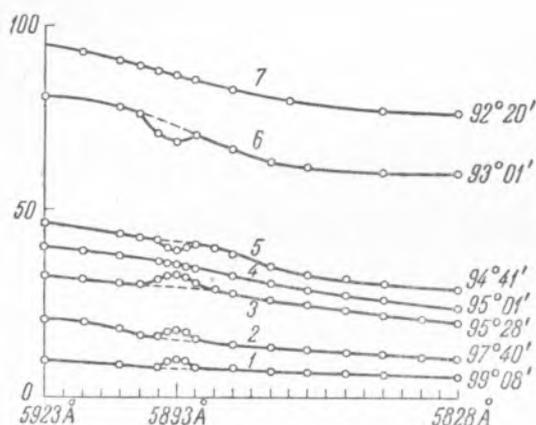


Рис. 1. Спектры сумеречного неба

торому среднему значению зенитного расстояния солнца, обозначенному на рис. 1. Все кривые рис. 1 охватывают временной интервал около 20 мин.

На кривых 1, 2, 3 (рис. 1) совершенно отчетливо видна вспышка линии  $D$  Na; разрешить дублет оказалось невозможным, так как измерения велись при сравнительно больших щелях ( $d = 0,12$  мм).

Значительный интерес представляет тот факт, что линии испускания предшествует линия поглощения, ясно видимая на рис. 1 (кривые 5 и 6), переходящая при  $Z_{\odot} = 95^{\circ}$  в испускание. Эта неоднократно наблюдавшаяся нами смена поглощения испусканием особенно ясно видна на сводной кривой, объединяющей все полученные нами результаты (рис. 2). По оси ординат отложены в относительных единицах

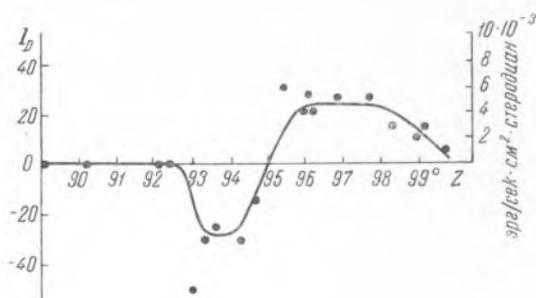


Рис. 2. Интенсивность линии  $D$  атмосферного натрия при различных зенитных расстояниях солнца

величины  $I_D$ , представляющие разность между интенсивностью сумеречного света при  $\lambda = 5893$  Å и фоном (рассеянный солнечный свет — пунктир на рис. 1). Положительные величины  $I_D$  соответствуют излучению, а отрицательные — поглощению. По оси абсцисс отложены соответствующие величины зенитного расстояния солнца.

Как видно из рис. 2, при зенитных расстояниях, меньших  $92^\circ$ ,  $I_D = 0$ , т. е. в пределах точности измерения не наблюдается ни испускания, ни поглощения (например кривая 7 рис. 1) — обнаружение их на ярком фоне рассеянного солнечного света невозможно.

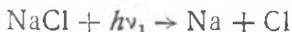
Окончание „вспышки“ линии  $D$ , соответствующее погружению в тень земли всего слоя атмосферного натрия, по нашим данным, имеет место при  $Z_\odot = 99^\circ 48'$ , что дает (без учета рефракции) для верхней границы слоя Na 93 км, в согласии с данными Брикара и Каствлера (5).

Величины интенсивности линии испускания, определенные в абсолютных единицах (рис. 2), также находятся в неплохом согласии с данными Брикара и Каствлера (5).

Наличие линии поглощения с центром тяжести  $5893 \text{ \AA}$  может быть, по нашему мнению, объяснено только путем предположения, что наблюдаемая линия поглощения принадлежит также атмосферному натрию. Возможность отождествления с фраунгоферовой линией  $D$  отпадает, так как линия поглощения не наблюдалась нами днем. Кроме того, глубина фраунгоферовой линии недостаточна для наблюдения ее со столь широкой щелью, как в нашем случае. Что касается полосы  $D$  водяного пара ( $6000\text{—}5850 \text{ \AA}$ ), которая могла бы проявиться в сумерки, когда солнечные лучи проходят большую толщу атмосферы, то эта полоса значительно шире наблюдаемой нами — ширина линии на спектрах рис. 1 составляет всего  $9 \text{ \AA}$ . Полоса же воды в условиях наблюдения (большая ширина щели) должна наблюдаться с неразрешенной структурой в виде полосы поглощения с шириной  $\sim 150 \text{ \AA}$ . Таким образом, возможность объяснения явления поглощением  $\text{H}_2\text{O}$ , с нашей точки зрения, также отпадает.

Согласно современным представлениям, сумеречное свечение атмосферного натрия является, повидимому, резонансной флуоресценцией, возбуждаемой солнечным светом.

По нашему мнению, наличие линии  $D$  поглощения Na в сумерки может быть объяснено тушением резонансной флуоресценции Na, образующегося вследствие диссоциации молекул NaCl (морского происхождения) в более низких слоях атмосферы. Слой атомов Na возникает вследствие диссоциации молекул NaCl под действием солнечной радиации ( $\lambda < 2400 \text{ \AA}$ ) согласно реакции (6,2)

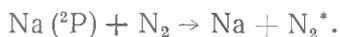


или



Этот слой может начинаться от высот, где интенсивность ультрафиолетовой радиации указанных длин волн достаточно велика, т. е. от 20—30 км.

При малых  $Z_\odot$  нижние части этого слоя могут обусловить наличие линии  $D$  поглощения в спектре неба, так как флуоресценция атомов натрия в этих слоях должна тушиться вследствие ударов второго рода с молекулами азота согласно реакции:



Подсчет, основанный на данных Манкопфа (7) о тушении резонансной флуоресценции Na молекулами  $\text{N}_2$  в лабораторных условиях, показывает, что количество азота на высотах 30—40 км уже достаточно для ослабления резонансной флуоресценции Na практически до нуля. Следует отметить, что наблюдение линии  $D$  поглощения в спектре неба делается возможным только при  $Z_\odot > 92^\circ$  (по нашим данным),

когда достаточно уменьшается интенсивность рассеянного света солнца. По мере поднятия вверх границы тени Земли, атомы Na в нижних, не освещаемых солнцем слоях рекомбинируют с Cl, O и т. п.; в то же время верхние части слоя на высотах больше 30—40 км, где уже нет тушения флуоресценции, продолжают излучать линию D, которая и проявляется, наконец, в спектре неба в виде „вспышки“ линии D. С этой точки зрения начало вспышки отнюдь не определяет нижней границы слоя, а обусловлено игрой таких факторов, как распределение Na (или NaCl) по высоте, тушащим действием азота, радиационным балансом на этих высотах и т. п.

Таким образом, полученные нами данные, как нам кажется, свидетельствуют о наличии Na не только на высотах 60 км и выше, но и значительно меньших.

То обстоятельство, что сумеречная линия поглощения не наблюдалась раньше, по нашему мнению, следует объяснить недостатками применявшихся до сих пор фотографических методов. Как известно, при большой стетосиле и малой дисперсии спектрографа обнаружить линию испускания значительно легче, чем такую же (по контрастности) линию поглощения.

В заключение выражаем искреннюю благодарность руководству Эльбрусской экспедиции Академии наук СССР за создание хороших условий для работы в трудной высокогорной обстановке.

Научно-исследовательский  
физический институт  
Ленинградского государственного университета  
им. А. А. Жданова и  
Эльбрусская комплексная научная экспедиция  
Академии наук СССР

Поступило  
12 V 1949

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> В. И. Черняев и М. Ф. Вукс, ДАН, 14, 77 (1937). <sup>2</sup> И. А. Хвостиков, УФН, 30, 184 (1946). <sup>3</sup> С. Ф. Родионов, А. Л. Ошерович, Е. Н. Павлова и Л. М. Фишкова, ЖТФ, 19, 184 (1949). <sup>4</sup> С. М. Файнштейн, ДАН, 56, 149 (1947). <sup>5</sup> J. Bricard et A. Kastler. Ann. Geoph., 1, 1 (1944). <sup>6</sup> А. Н. Теренин, Фотохимия паров солей, 1934. <sup>7</sup> R. Maupkorf. Z. f. Phys., 36, 315 (1926).