

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ В ПОЛОСЕ $OH$ (7—2) СПЕКТРА СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА

Л. М. ФИШКОВА

Среди других эмиссионных вращательно-колебательных полос атмосферного гидроксила в спектре свечения ночного неба полоса  $OH$  (7—2) 6828—7000 ангстрем является наименее изученной. Это объясняется двумя обстоятельствами: во-первых, в большинстве случаев съёмка спектра ночного неба производилась на панхроматической пленке с длинноволновой границей чувствительности  $\sim 6900$  ангстрем, поэтому достаточно отчетливо получались лишь  $R$ - и  $Q$ -ветви полосы (7—2) [1]; во-вторых, полоса (7—2) частично поглощается молекулярным кислородом и парами воды нижних слоев атмосферы.

В Абастуманской обсерватории в течение ряда лет для спектральных наблюдений свечения ночного неба используется отечественная панхроматическая пленка типа Дк и Дн, имеющая максимум чувствительности около 6800 ангстрем и длинноволновую границу чувствительности около 7050 ангстрем. Такая спектральная характеристика указанной пленки дает возможность исследовать распределение интенсивности в полосе  $OH$  (7—2) для  $R$ -,  $Q$ -ветвей и ветви  $P$  до линии  $r_5$ .

В данной статье приводятся результаты спектральных наблюдений полосы  $OH$  (7—2), выполненных в Абастуманской обсерватории с июля 1961 г. по июль 1962 г. Для съёмки спектров использовался спектрограф  $СП-48$ , съёмка производилась в направлении  $\varphi = 67^\circ N$  в области спектра 6000—7000 ангстрем. Метод обработки наблюдений аналогичен описанному ранее [2]. На рис. 1 приводится спектральная характеристика пленки типа Д в области 6600—7050 ангстрем плюс спектральное поглощение оптики спектрографа. Для определения этой характеристики фотографировался спектр калиброванной ленточной лампы накаливания СИ—6 с известной цветовой температурой. Пленка очувствлялась путем кратковременной подсветки перед экспозицией до плотности  $\sim 0,3$ .

На рис. 2 приводятся спектрограмма и регистрируемая полоса  $OH$  (7—2) за 7—8 ноября 1961 г. (Экспозиция  $7^m40^s$ , ширина щели спектрографа 3,5 ангстрема по спектру).

Для всех ночей наблюдений получены абсолютные интенсивности линий полосы  $OH$  (7—2). Всего таким образом обработано 32 спектра за исследованный период. Абсолютные интенсивности определялись путем сравнения с линией  $OI$  6300 ангстрем на этом же спектре, абсолютная



интенсивность которой измерялась в течение всей ночи при помощи калиброванного в абсолютных единицах электрофотометра [2, 3]. Измеренные интенсивности линии 6300 исправлялись за атмосферное поглощение с использованием коэффициентов прозрачности, которые измерены по Полярной звезде при помощи электрофотометра в течение всей ночи наблюдений [3]. Таким образом, и интенсивности полосы  $OH(7-2)$  полученные путем сравнения с интенсивностью линии 6300, оказываются исправленными за общее атмосферное поглощение без учета поглощения в молекулярных полосах. При этом учитывалась зависимость коэффициента прозрачности от длины волны по данным обсерватории Маунт Вильсон [3]. Точность определения абсолютных интенсивностей линий полосы  $OH(7-2)$  зависит как от точности калибровки электрофотометра и измерений на нём линии 6300, так и от точности обработки спектрограмм, составляет в среднем 15—20%.

Как уже упоминалось выше, распределение интенсивности в полосе  $OH(7-2)$  искажается в результате поглощения молекулярным кислородом и парами воды нижних слоев атмосферы. На рис. 3а и 3б приводится спектр поглощения тропосферы в области 6820—6990 ангстрем полученный Курси, Драмметером и Кнестриком [4] при помощи дифракционного спектрографа с дисперсией 8 Å/мм и разрешающей способностью 0,2 ангстрема. Щель спектрографа освещалась вольфрамовой лампой накаливания, находившейся на расстоянии 16 км по горизонтали. Путь светового луча проходил над поверхностью воды и влажность исследованного столба атмосферы соответствовала 22 см осажденной воды, поэтому интенсивность полос поглощения воды на этом спектре очень велика. На рис. 3а и 3б также отмечены прямоугольниками положения линий полосы  $OH(7-2)$ , причем ширина прямоугольников соответствует разрешающей способности использованного нами метода (~3,5 ангс.). Можно убедиться, что свободной от поглощения является только линия  $Q_1$ . На  $R$ -ветви налагаются фраунгоферовы линии, которые могут влиять в том случае, если в спектре свечения ночного неба присутствует слабый фон, обусловленный рассеянным солнечному свету. Положение и глубина этих линий нанесена нами приближенно согласно Бэбкоку [5].

Таким образом, можно предположить, что для линии  $Q_1$  измеряется истинная абсолютная интенсивность. Тогда из известных относительных интенсивностей линий в полосе  $OH(7-2)$  по абсолютной интенсивности линии  $Q_1$  можно определить внеатмосферные абсолютные интенсивности остальных линий и, стало быть, полную внеатмосферную интенсивность полосы  $OH(7-2)$ . Относительную интенсивность линий в полосе  $OH(7-2)$  можно получить, если известна вращательная температура гидроксильного излучения,  $T_{OH}$ . В таблице 1 приводятся вычисленные относительные интенсивности линий полосы  $OH(7-2)$  в зависимости от  $T_{OH}$ . Вычисления производились по формуле

$$I \sim \nu^4 i(J) \exp\left(-\frac{1450 \cdot 10^{-3}}{T} F\right), \quad (1)$$

где  $i(J)$  и  $F$ —фактор интенсивности и энергия вращательного состояния, взятые из [1]. Интенсивность линии  $Q_1$  для всех  $T_{OH}$  принята за единицу.

Таблица 1

$\lambda \text{Å}$ \diagdown $T_{OH}$	180°K	200°K	220°K	240°K	260°K	280°K	300°K
$R_2$	6828,5	0,765	0,809	0,845	0,874	0,900	0,924
$R_1$	6834,2	0,720	0,720	0,720	0,720	0,720	0,720
$r_1$	6842,2	0,197	0,219	0,229	0,254	0,274	0,287
$Q_1$	6863,9	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$Q_2$	—	0,359	0,379	0,395	0,406	0,421	0,431
$Q_3$	6878,8	0,122	0,138	0,153	0,167	0,179	0,188
$P_1$	6889,2	0,182	0,214	0,234	0,251	0,267	0,280
$P_2$	6898,0	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690	0,690
$P_3$	6912,0	0,241	0,279	0,312	0,342	0,373	0,398
$P_4$	6920,6	0,725	0,765	0,799	0,825	0,850	0,871
$P_5$	6939,0	0,189	0,229	0,276	0,310	0,352	0,384
$P_6$	6948,5	0,485	0,548	0,605	0,660	0,710	0,745
$P_7$	6967,0	0,106	0,141	0,179	0,228	0,254	0,291
$P_8$	6976,9	0,240	0,297	0,358	0,409	0,470	0,515

Вращательная температура гидроксильного излучения определялась нами для каждой ночи наблюдений по распределению интенсивности в  $R$ -ветвях полос  $OH(9-3)$  и  $OH(6-1)$  [2]. Можно считать, что  $T_{OH}$  по полосе  $OH(7-2)$  будет близка к средней из  $T_{9-3}$  и  $T_{6-1}$ , так как  $T_{9-3}$  отличается от  $T_{6-1}$  только в периоды больших возмущений, причем не более чем на 40° K. Тогда из абсолютной интенсивности линии  $Q_1$  и относительных интенсивностей остальных линий соответственно измеренной для данной ночи  $T_{OH}$ , оказалось возможным определить внеатмосферные значения абсолютной интенсивности линий полосы  $OH(7-2)$  и таким образом судить о величине поглощения этой полосы в нижних слоях атмосферы. Результаты приводятся в таблице 2. В первом столбце — наблюдаемые в направлении  $z=67^\circ N$  интенсивности линий полосы  $OH(7-2)$ .

Таблица 2

	$I_{набл. z=67^\circ}$ (рэлей)	$I_0, z=67^\circ$ (рэлей)	$\tau^{мз}$	$\tau$	$I_{набл. z=0^\circ}$ (рэлей)
$R_2$	40,7	57,7	0,70	0,87	26,8
$R_1$	37,0	48,4	0,77	0,90	18,2
$r_1$	10,2	16,7	0,61	0,82	5,7
$Q_1$	67,5	67,5	1,00	1,00	28,2
$Q_2$	< 1,0	26,0	< 0,04	< 0,28	< 3,0
$Q_3$	9,9	10,8	0,92	0,97	4,4
$P_1$	12,2	16,3	0,75	0,89	6,0
$P_2$	6,0	47,0	0,13	0,45	8,8
$P_3$	19,6	22,3	0,88	0,95	8,8
$P_4$	26,3	54,5	0,48	0,74	10,9
$P_5$	12,4	20,4	0,61	0,82	7,0
$P_6$	25,6	39,8	0,65	0,85	14,1
$P_7$	8,5	15,5	0,55	0,77	4,9
$P_8$	16,0	28,2	0,57	0,80	9,4



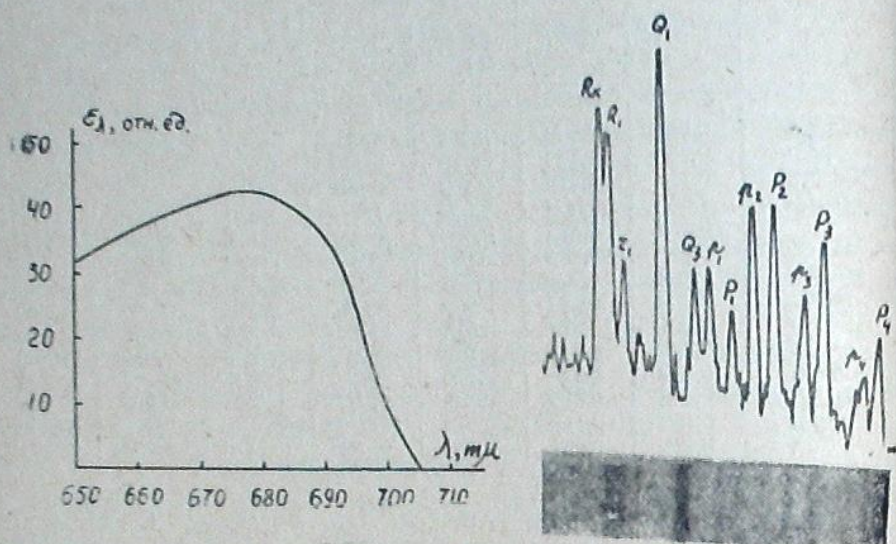


Рис. 1.

Рис. 2.

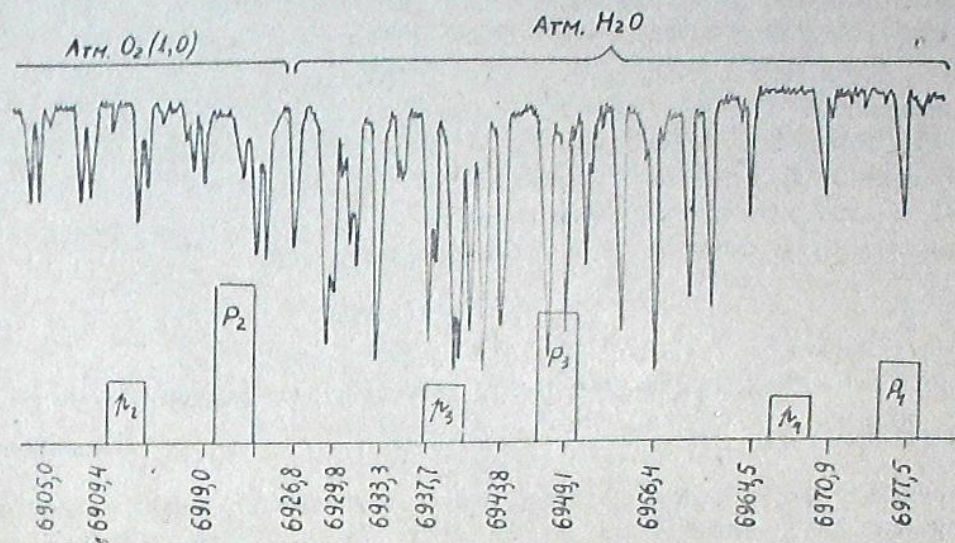


Рис. 3а

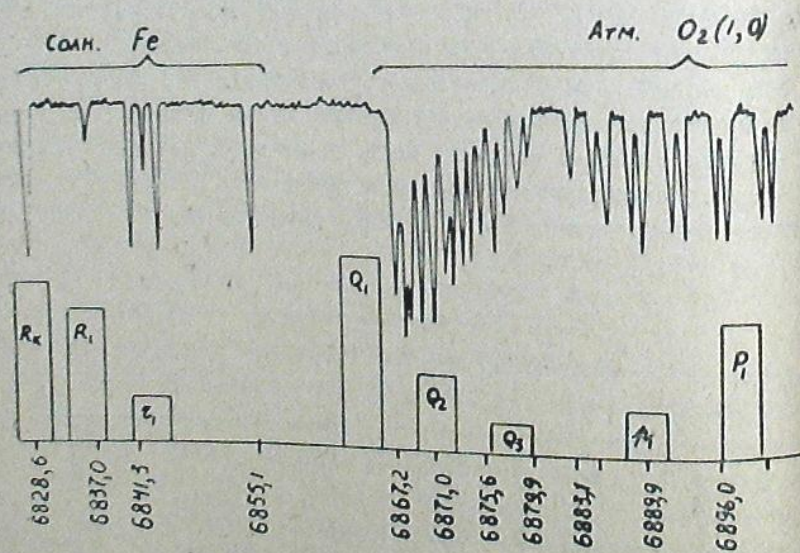


Рис. 3б.

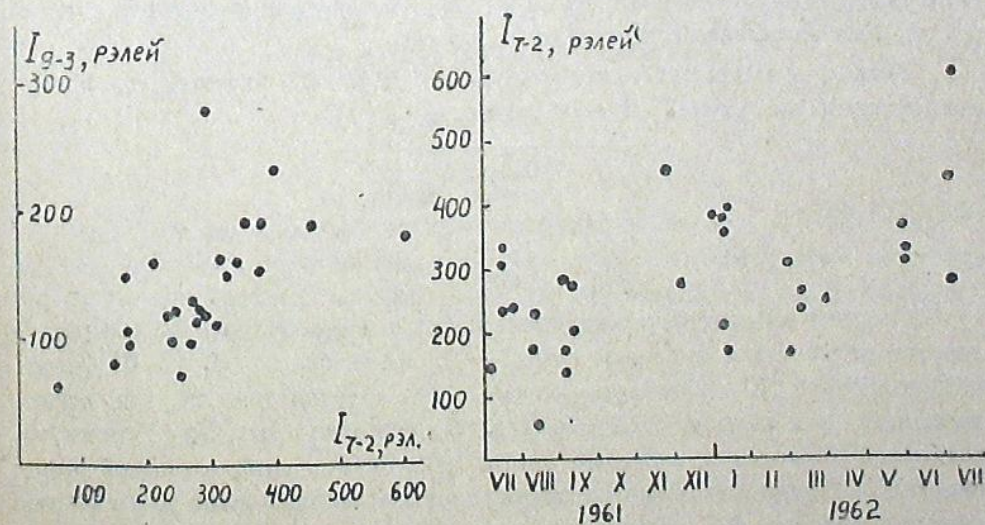


Рис. 4.

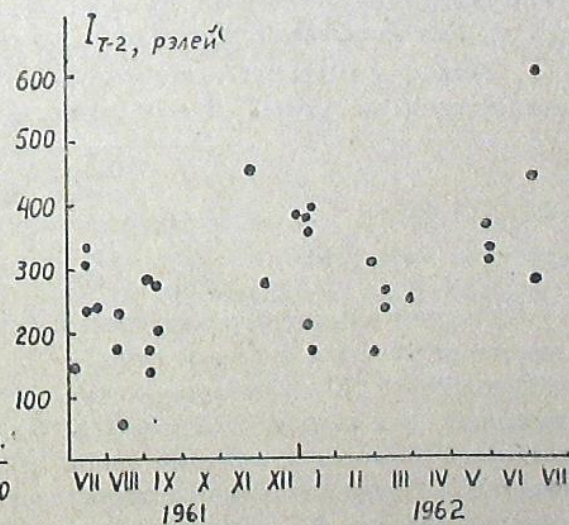


Рис. 5.



средние за последованный период, во втором столбце — внеатмосферная интенсивность  $I_0$ , вычисленные только что описанным способом. Величины  $\tau_m = I_{набл.}/I_0$  представляют собой коэффициенты пропускания линий слоев атмосферы, обязанные только поглощению в полосах  $O_2$  и  $H_2O$ , причем в данном случае ( $z=67^\circ$ ) атмосферная масса  $m_z=2,546$ .

В таблице 2 приводятся также коэффициенты пропускания  $\tau$  для наблюдений в зените ( $m_z=1$ ). Разумеется, измеренные таким образом коэффициенты  $\tau$  будут зависеть от разрешающей способности метода. Знание коэффициентов  $\tau$  позволяет из интенсивностей линий полосы (7—2), наблюдаемых в данном направлении  $z$ , получить интенсивности которые будут наблюдаться в любом направлении  $z'$ :

$$I_z' = I_z \frac{V_z'}{V_z} \tau (m_z' - m_z), \quad (2)$$

где  $V_z$  и  $V_z'$  — функции ван-Райна, зависящие от высоты излучающего слоя:  $V_z = \left(1 - \frac{\sin^2 z}{(h+1)^2}\right)^{-1/2}$ , здесь  $h = \frac{H}{R}$ ,  $H$  — высота светящегося слоя,  $R$  — радиус Земли. Согласно ракетным данным [6] высота максимум эмиссии  $OH$  находится на высоте около 78 км. Тогда, например, для  $z=67^\circ$  получим  $V_z=2,40$ . Вычисленные по формуле (2) средние интенсивности линий полосы (7—2) для наблюдений в зените приводятся в последнем столбце таблицы 2.

Из таблицы 2 видно, что сильнее всего поглощаются линии  $Q_1$  и  $P_1$ . Поглощение линий  $p_2$ ,  $P_2$ ,  $p_4$  и  $P_4$  зависит от содержания водяных паров в атмосфере и поэтому меняется от ночи к ночи соответственно вариациям содержания водяных паров над Абастумани в течение года от 0,5 до 3 см осаждаемой воды от зимы к лету.

Полная средняя интенсивность полосы  $H$  (7—2), наблюдаемая и внеатмосферная для  $Oz=67^\circ$  и  $z=0^\circ$  равна:

$z$	$I_{набл.}$ (рэлей)	$I_0$ (рэлей)
$0^\circ$	145	184
$67^\circ$	271	442

Средняя внеатмосферная интенсивность полосы  $OH$  (7—2), 184 рэлей меньше интенсивности полосы  $OH$  (7—2), вычисленной Н. Н. Шефовым (280 рэлей) [1]. Такое различие скорее всего объясняется тем, что исследованный нами период (1961—1962 г. г.) относится к периоду минимума солнечной активности, так как многолетние наблюдения вариаций эмиссии  $OH$  [7] показали, что в годы минимума солнечной активности интенсивность эмиссии  $OH$  может быть меньше средней на 40—50%. Кроме того, в измеренные нами полные интенсивности не входит ряд слабых линий после  $P_4$ .

Вариации наблюдаемой интенсивности полосы (7—2) хорошо коррелируют с вариациями интенсивности других полос  $OH$ . Это видно из

рис. 4, на котором интенсивности полосы (7—2) сравниваются с интенсивностями полосы (9—3).

В течение периода наблюдений с июля 1961 г. по июль 1962 г. интенсивность полосы  $OH$  (7—2) достигала наибольшего максимума в ноябре, вторичный максимум имел место в июле, при этом максимальные величины интенсивности в направлении  $z=67^\circ N$ , не исправленные за поглощение, достигали 420 рэлей, а минимальные — 150 рэлей (рис. 5). Полученные сезонные вариации полосы (7—2) совпадают с сезонными вариациями других полос гидроксильного излучения верхней атмосферы [7].

Сентябрь, 1965.

### ღამის ცის ნათების სპექტრის $OH$ (7—2) ზოლში ინტენსივობის განაწილების შესახებ

ლ. ფიშკოვა

(რეზიუმე)

აბასთუმანში ღამის ცის ნათების სპექტრალური დაკვირვების საფუძველზე მიღებულია  $OH$  (7—2) — ზოლში აბსოლუტური ინტენსივობის განაწილება, მისი ცვლილებები და შთანთქმა  $O_2$  და  $H_2O$ -ით ატმოსფეროს ქვედა ფენებში.

### ON THE INTENSITY DISTRIBUTION IN $OH$ (7—2) BAND OF AIRGLOW SPECTRUM

L. M. FISHKOVA

(Summary)

Data on the absolute intensity distribution in  $OH$  (7—2) band of airglow spectrum, its variations and absorption in lower atmosphere  $O_2$  and  $H_2O$  are obtained on the basis of spectrographic observations in Abastumani in 1961—1962.

### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас спектра излучения ночного неба  $\lambda\lambda$  3000—12400 Å. Институт Физики Атмосферы АН СССР, Москва, 1962.
2. Фишкова Л. М. Вращательная температура гидроксильного излучения верхней атмосферы. Бюлл. Абастум. астрофиз. obs. 1962, № 29, 55—76.
3. Фишкова Л. М., Маркова Г. В. Некоторые результаты электрофотометрических наблюдений эмиссий  $OI$ ,  $Na$ ,  $OH$  и непрерывного фона в свечении ночного неба. Бюлл. Абастум. астрофиз. obs., 1959, № 24, 161—178.



4. Curcio J. A., Drummeter L. F., Knestrick G. L. An atlas of the absorption spectrum of the lower atmosphere from 5400 Å to 8520 Å. Applied Optics, 1964, 3, № 12, 1401—1409.
5. Babcock H. D., Moore C. E. The Solar Spectrum  $\lambda$  6600 to  $\lambda$  13495. Washington, 1947.
6. Тарасова Т. М. Прямые измерения светимости ночного неба. Астрон. циркуляр СССР, 1961, № 222.
7. Фишкова Л. М. Сезонные и годовые вариации интенсивности свечения ночного неба в Абастумани. Сборник статей „Полярные сияния и свечение ночного неба“ серия МГГ, Изд-во АН СССР, 1962, № 9, 5—9.

## ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕЧЕНИЯ СУМЕРЕЧНОГО НЕБА

Т. Г. МЕГРЕЛИШВИЛИ, Т. И. ТОРОШЕЛИДZE и И. А. ХВОСТИКОВ

В Абастуманской астрофизической обсерватории проведены систематические измерения свечения сумеречного неба в разных участках спектра, причем полученные результаты частично опубликованы [9, 10, 42, 43, 47, 55]. Поскольку они представляют интерес для практических целей (например, для характеристики светового режима во время сумерек и др.), а также и для ряда научных задач физики верхней атмосферы, мы представляем в настоящей статье обобщенное изложение указанных результатов. Наряду с наблюдениями, проводившимися в Абастуманской обсерватории, нами использованы также результаты, полученные другими исследователями. Это позволило придать изложению более законченный вид и сформулировать некоторые выводы в более общем виде.

Большая часть опубликованных измерений яркости сумеречного неба выполнялась не в абсолютных, а в относительных единицах, что затрудняет сопоставление данных, полученных разными авторами. Поэтому, мы вынуждены, использовать во многих случаях также и относительные единицы.

Обзор состоит из трех частей. В первой, вводной части дана общая характеристика сумеречного неба с фотометрической и спектрофотометрической точек зрения. Во второй части более подробно рассмотрены данные о распределении спектральной яркости по сумеречному небу в зависимости от зенитного расстояния Солнца в разные сезоны, отдельно для утренних и вечерних сумерек. В третьей части изложены результаты изучения изменений интенсивности отдельных линий сумеречного свечения атмосферы.

1. Общая характеристика результатов фотометрических и спектрофотометрических исследований сумеречного неба. Днем, после полудня, по мере увеличения зенитного расстояния Солнца ( $Z_0$ ), яркость неба в зените убывает, но в сумерках после захода Солнца, убывание сильно ускоряется. Если усреднить данные измерений яркости неба в зените, выполненных без светофильтров для разных зенитных расстояний Солнца, то получится кривая, согласно вычислениям Брунера [5], схематически показанная на рис. 1. На этой кривой поясняется принятое разделение сумерек на три стадии. Самая светлая часть сумерек называется гражданскими сумерками ( $Z_0 \leq 96^\circ$ ).