

Т. Г. МЕГРЕЛИШВИЛИ

**О ВЛИЯНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЦВЕТА СУМЕРЕК НА РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКИХ СЛОЕВ АТМОСФЕРЫ СУМЕРЕЧНЫМ
МЕТОДОМ**

(Представлено академиком С. И. Вазиловым 10 X 1946)

Как уже сообщалось ⁽¹⁾, нами с помощью высокочувствительного электрофотометра были установлены своеобразные изменения колор-эквивалента сумеречного неба, а именно: посинение неба в зените, обнаруженное в 1938 г. И. А. Хвостиковым и его сотрудниками ⁽²⁾ для зенитных расстояний Солнца $z_{\odot} \leq 98^{\circ}$ продолжается, по нашим измерениям, до $z_{\odot} \cong 100^{\circ}$, а при дальнейшем погружении Солнца под горизонт уменьшается ⁽¹⁾.

Большая величина обнаруженных изменений цвета сумерек побудила нас исследовать вопрос о влиянии этих изменений на результаты фотометрирования сумеречного неба. Дело в том, что во всех работах по фотометрическому анализу сумерек, опубликованных до появления статьи И. А. Хвостикова ⁽²⁾, авторы не принимали во внимание возможных изменений цвета сумерек, а поэтому результаты фотометрирования могут содержать значительную погрешность. Если через $f_1(\lambda)$ мы обозначим функцию, характеризующую распределение энергии в спектре исследуемой радиации, а через $f_2(\lambda)$ — спектральную чувствительность фотометра, то измеренная интенсивность определяется интегралом $\int f_1(\lambda) f_2(\lambda) d\lambda$. Ясно, что изменение цвета радиации, т. е. функции $f_1(\lambda)$, повлечет за собой изменение измеренной этим фотометром интенсивности I . Важно, кроме того, что измерения другим прибором, с другой $f_2(\lambda)$ дадут для изменения I другой результат. Таким образом, результаты фотометрирования сумерек, выполненные, скажем, визуально, фотографически и фотоэлементом, могут быть неверными каждый в отдельности и несравнимы друг с другом.

Так, например, в обширной работе Н. М. Штауде по определению плотности и температуры высоких слоев атмосферы из фотометрических наблюдений сумерек ⁽³⁾ подробно сопоставляются кривые, полученные ею и В. Г. Фесенковым путем фотографических и визуальных измерений; эти кривые имеют разный ход. Не является ли причиной этих различий указанный „аппаратурный эффект“, т. е. влияние изменений цвета сумерек благодаря различной спектральной чувствительности газа и фотопластин? Не вызван ли этим же аппаратурным эффектом, хотя бы частично, избыток света при рассеянии высокими слоями, выявленный вычислениями Н. М. Штауде ⁽³⁾? Далее, наблюдения В. Г. Фесенкова ⁽⁴⁾ и Н. М. Штауде в СССР, Bauer'a, Danjon'a и Langgevin'a ⁽⁵⁾ на Монблане, Hulbert'a ⁽⁶⁾ в США, наблюдения Link'a ⁽⁷⁾, Start'a ⁽⁸⁾ в горных условиях выполнены различными методами: визуально, фотографически, с помощью фотоэлементов разного типа.

Приводимые ниже расчеты показывают, что влияние аппаратурного

эффекта значительно. Методика наших расчетов не претендует на полную строгость, наша задача была ориентироваться в порядке величин. В основу мы положили типичный ход CE (см. столбец 2 в таблице, где B_ϕ и $B_{ж}$ — яркости неба, измеренные через фиолетовый и желтый

z_\odot	$CE = -2,5 \log \frac{B_\phi}{B_{ж}}$	$I(z_\odot)$		$\log I_\phi$	$\log v$	h_c в км		h_c в км	p в мм Hg	
		фот.	виз.			фот.	виз.		фот.	виз.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
94°,0	-0,83	1,00	1,00	-0,92	-0,86	36	31	35	6,54	5,51
94°,5	—	1,01	0,99	-1,12	-1,12	41	36	45	2,11	1,45
95°,0	-0,93	1,11	0,98	-1,35	-1,40	46	41	55	0,71	0,57
95°,5	—	1,19	0,93	-1,58	-1,63	52	47	65	0,30	0,20
96°,0	-1,06	1,25	0,99	-1,93	-1,93	58	53	75	0,13	0,08
96°,5	—	1,27	0,98	-2,10	-2,18	65	60	85	0,08	0,04
97°,0	-1,16	1,30	0,98	-2,40	-2,50	73	67	95	0,036	0,023
97°,5	—	1,32	0,98	-2,63	-2,79	80	74	105	0,020	0,015
98°,0	-1,25	1,33	0,98	-2,90	-3,04	88	82	115	0,014	0,010
98°,5	—	1,35	0,98	-3,10	-3,24	97	90			
99°,0	-1,30	1,36	0,98	-3,31	-3,44	107	100			
99°,5	—	1,36	0,98	-3,45	-3,56	117	110			
100°,0	-1,31	1,36	0,99	-3,53	-3,70	127	121			
100°,5	-1,27	1,36	0,93	-3,72	-3,85	138	132			

фильтры, соответственно) и сопоставление аппаратного эффекта при фотографических и визуальных измерениях сумерек.

Обозначим через $f_s(\lambda)$ функцию, дающую распределение энергии в спектре солнечных лучей, освещающих высокие слои атмосферы в сумерки. Распределение энергии в спектре зенитного сумеречного (рассеянного) света будем считать заданным функцией $f_d(\lambda) = \lambda^{-4} f_s(\lambda)$, т. е. считая рассеяние рэлеевским и пренебрегая влиянием многократного рассеяния. Далее, пусть $f_3(\lambda)$ дает спектральную прозрачность атмосферы для вертикального луча. Тогда спектральный состав света, приходящего в фотометр, направленный в зенит, дается функцией $f_1(\lambda) = \lambda^{-4} f_s(\lambda) f_3(\lambda)$. Если, попрежнему, $f_2(\lambda)$ — спектральная чувствительность фотометра, то измеренная интенсивность

$$I = \int \lambda^{-4} f_s(\lambda) f_3(\lambda) f_2(\lambda) d\lambda.$$

Для $f_s(\lambda)$ мы взяли стандартные данные о внеатмосферном спектральном составе солнечных лучей, $f_3(\lambda)$ — по данным обсерватории Маунт-Вильсон, а в качестве $f_2(\lambda)$ первоначально взята кривая чувствительности пластин Iford Monarch (кривая $f_2(\lambda)$ на рис. 1), которыми пользовалась Н. М. Штауде⁽³⁾. I вычислено графически, и найденное значение отнесено к $z_\odot = 94^\circ$ (начальный момент измерений CE). Для $z_\odot > 94^\circ$ вместо $f_d(\lambda) = \lambda^{-4} f_s(\lambda)$ берем меняющееся в зависимости от z_\odot распределение энергии $f_d(\lambda, z_\odot) = \lambda^{-4} f_s(\lambda) f_c(\lambda, z_\odot)$, где $f_c(\lambda, z_\odot)$ определяется изменением CE и, следовательно, зависит от z_\odot . Полученные нами таким образом для разных z_\odot кривые распределения энергии показаны на рис. 1 (кривые 1, 2, 3, 4, 5 и 6 относятся к $z_\odot = 94^\circ, 95^\circ, 96^\circ, 97^\circ, 98^\circ, 99^\circ$, соответственно). Изменение функции $f(\lambda, z_\odot) = f_d(\lambda, z_\odot) f_2(\lambda)$, которое и определяет исследуемый аппаратный эффект, показано кривыми на рис. 2, где номера кривых относятся к тем же z_\odot , что и на рис. 1.

Измеренная интенсивность теперь будет

$$I(z_\odot) = \int \lambda^{-4} f_s(\lambda) f_c(\lambda, z_\odot) f_3(\lambda) f_2(\lambda) d\lambda.$$

Вычисленные для разных z_\odot значения $I(z_\odot)$ приведены в таблице в столбце 3 (значение $I(z_\odot)$ для $z_\odot = 94^\circ$ принято за 1). Эти цифры показывают, что посинение сумерек при фотографическом измерении

яркости вызывает систематическую ошибку, достигающую 36%. Если выполнить такие же вычисления для случая визуальных измерений (т. е. взяв для $f_2(\lambda)$ кривую спектральной чувствительности глаза), то получаются значения, приведенные в столбце 4 таблицы. Оказывается, что при визуальном фотометрировании влияние изменения цвета сумерек практически не сказывается (мы не учитывали изме-

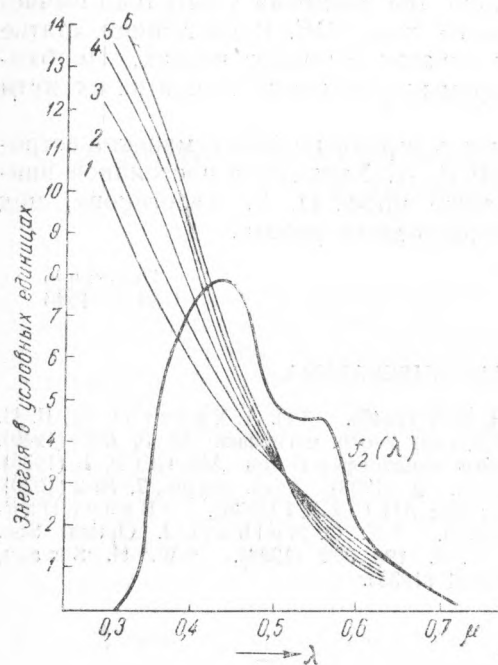


Рис. 1



Рис. 2

нений спектральной чувствительности глаза из-за меняющихся при переходе от светлой части сумерек к темной условий адаптации глаза). Существенно, что это влияние разное для фотографических и визуальных измерений.

Далее для обработки взяты фотографически измеренные в 1934 г. Н. М. Штауде яркости зенита (из табл. XXI на стр. 149 книги Н. М. Штауде (3)), логарифмы которых приведены в столбце 5 таблицы. Учитывая величину аппаратного эффекта при разных z_0 для фотографических (столбец 3) и визуальных (столбец 4) наблюдений, можно подсчитать яркость неба в течение этих же сумерек, если бы они измерялись не фотографически, а визуально. Логарифмы этих (визуальных) яркостей даны в столбце 6. При вычислении плотности и температуры высоких слоев атмосферы часто пользуются эффективными высотами рассеивающих слоев, определение которых введено В. Г. Фесенковым (4). Эта высота зависит от длины волны лучей, для которых выполняется фотометрирование. Для фотографических измерений, как видно из кривых на рис. 2, эффективная длина волны составляет примерно $\lambda_{\text{эфф}} = 400 \text{ м}\mu$. Аналогичные кривые для визуальных измерений дают $\lambda_{\text{эфф}} = 550 \text{ м}\mu$. Вычисленные по формулам Н. М. Штауде эффективные высоты h_c приведены в столбце 7 для фотографических, а в столбце 8 — для визуальных измерений.

Чтобы более наглядно сопоставить результаты фотографического и визуального фотометрирования, мы вычислили атмосферное давление по яркости неба для различных h . В столбце 10 дано давление p

в миллиметрах ртутного столба, как оно получается по фотографическим данным, а в столбце 11 — то же по визуальным наблюдениям. Видно, что разница в определении давления составляет от 15 до 100%.

Приведенные результаты показывают, насколько ошибочными могут быть определения давления и температуры, сделанные на основании сумеречных данных без учета изменений цвета неба в течение сумерек. Таким образом, использование всех прежних фотометрических измерений сумерек допустимо только при введении тщательно вычисленных поправок за счет сумеречного хода *СЕ*. В настоящей статье метод вычисления таких поправок показан в общих чертах. Необходимо еще учитывать ослабление прямых солнечных лучей на их пути сквозь атмосферу.

Автор выражает свою благодарность директору Абастуманской астрофизической обсерватории АН ГССР Е. К. Харадзе за постоянное внимание и содействие в работе, а также проф. И. А. Хвостикову, под руководством которого выполнена настоящая работа.

Абастуманская астрофизическая
обсерватория Академии Наук ГССР

Поступило
30 V 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Т. Г. Мегрелишвили, ДАН, **53**, № 2 (1946). ² И. А. Хвостиков, В. И. Магиди А. А. Шубин, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 5, 675 (1940). ³ Н. М. Штауде, Тр. Комисс. по изучению стратосферы при АН СССР, **1** (1936). ⁴ В. Г. Фесенков, Тр. Астрофиз. обсерв., **2** (1923); Астр. журн., **7**, № 2 (1930); Тр. Всесоюз. конф. по изуч. стратосферы при АН СССР, **1** (1936). ⁵ Bauer, Danjon and Langevin, C. R., **172**, 2115 (1924). ⁶ E. O. Hulburt, J. Optical Soc. Am., **28**, No. 7, 227 (1938). ⁷ F. Link, C. R. **199**, 303 (1934). ⁸ W. H. Smart, Monthly Notices Roy. Astr. Soc., **93**, No. 6, 441 (1933).