

Е. В. ПЯСКОВСКАЯ - ФЕСЕНКОВА

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ В РАССЕЯНИИ СВЕТА АТМОСФЕРОЙ

(Представлено академиком В. Г. Фесенковым 22 VI 1948)

Интенсивность рассеянного атмосферой света $\mu = \sigma f(\vartheta)$ для различных углов рассеяния ϑ может быть определена по формуле (1)

$$\mu = \frac{B}{E_{\odot}} \frac{1}{m}, \quad (1)$$

где B — яркость неба на альмукантарате солнца на угловом расстоянии от него ϑ (угол рассеяния), E_{\odot} — освещенность от солнца в месте наблюдения, m — атмосферная масса в направлении на солнце или на наблюдаемую точку неба, что одно и то же для альмукантарата солнца. Выражение (1) было получено из формулы яркости неба на альмукантарате солнца, выведенной В. Г. Фесенковым в предположении рассеяния только 1-го порядка. Возможность использования подобной формулы для изучения рассеивающей способности всей атмосферы в целом рассматривалась мной раньше (1).

Наблюдения яркости неба производились мной с визуальным фотометром конструкции В. Г. Фесенкова с синим, зеленым и красным фильтрами (эффективные длины волн системы глаз — фильтр, соответственно, 474, 544 и 624 м μ). Освещенность от солнца определялась из выражения $E_{\odot} = \frac{\pi}{A} B_M$, где B_M — яркость площадки, покрытой окисью

магния, заключенной в трубку и направленной перпендикулярно к солнечным лучам, A — альbedo этой площадки; B_M определялась тем же фотометром. Наблюдения велись в весеннее и летнее время на различных высотах над уровнем моря, с различными климатическими характеристиками места наблюдения, при различных состояниях атмосферы в отношении влажности, запыленности, а также синоптических характеристик. Поэтому рассеивающая способность атмосферы в разные дни наблюдений была различной, о чем можно было судить просто глазом, поскольку в отдельные дни околосолнечный ореол отсутствовал и цвет неба в непосредственной близости солнца был голубой даже при малых высотах солнца, в другие дни с той же прозрачностью атмосферы наблюдался ослепительно яркий желтый ореол даже при высоком положении солнца на небе. Это указывает на то, что форма индикатрисы рассеяния в эти дни была совершенно различной.

Если интенсивность рассеянного света под углом рассеяния ϑ есть $\mu = \sigma f(\vartheta)$, то интенсивность рассеяния по всем направлениям

$$\tau = 2\pi \int_0^{\pi} \mu \sin \vartheta d\vartheta. \quad (2)$$

Можно построить индикатрису рассеяния, откладывая по радиусам-векторам соответствующие значения μ (назовем ее абсолютной индикатрисой рассеяния света). Если рассматривать подобные индикатрисы, для которых τ постоянна, то оказывается, что, какова бы ни была форма индикатрисы и какова бы ни была длина волны λ , интенсивность рассеяния при $\vartheta = 60^\circ$ всегда одинакова, т. е. существует однозначная зависимость между интенсивностями рассеяния по всем направлениям и при $\vartheta = 60^\circ$. На основании 37 индикатрис, полученных с тремя фильтрами (из них 33 относятся к окрестностям г. Алма-Ата, 4 — к окрестностям г. Иваново), для которых τ менялась от 0,292 до 0,090 ($e^{-\tau}$ от 0,747 до 0,914), а μ для $\vartheta = 60^\circ$ от 0,0225 до 0,0065, было получено для этого ϑ :

$$\mu = \frac{1}{4\pi} \tau - 0,0006. \quad (3)$$

Рис. 1. Абсолютные индикатрисы рассеяния света при $\tau = 0,127$: 1 — наблюдения с красным фильтром; 2 — с зеленым фильтром (обе получены в окрестностях Алма-Ата); 3 — релейская; 4 — сферическая индикатрисы рассеяния

В среднем μ определялась с погрешностью в 4%, следовательно, абсолютная ошибка в μ менялась от 0,0009 до 0,0003. Как известно, для сферической индикатрисы рассеяния $\mu = \frac{1}{4\pi} \tau$.

Из вышесказанного следует, что все абсолютные индикатрисы рассеяния, как наблюдаемые, так и сферическая, имеющие одинаковые τ , должны пересекаться при $\vartheta = 60^\circ$ (рис. 1 и 2). Для $\vartheta = 60^\circ$ разность μ для сферической индикатрисы и вычисленной по формуле Релея при $\tau = 0,127$ ($e^{-\tau} = 0,881$) $\Delta\mu = 0,0006$, т. е. релейская индикатриса также пересекается с наблюдаемыми при $\vartheta = 60^\circ$, как это видно из рис. 1, 3. Для $\tau = 0,288$ ($e^{-\tau} = 0,750$) $\Delta\mu = 0,0013$ (рис. 2). Вычисления показывают, что сферическая и релейская индикатрисы при равных τ всегда пересекаются при $\vartheta = 54^\circ 44'$ и $125^\circ 16'$.

Рассмотрим зависимость между μ и $e^{-\tau}$. Если μ рассчитана на всю высоту атмосферы, то для участков спектра, в которых ослабление света зависит только от рассеяния, τ , определенное из (2), будет, как это было мною показано для визуальной области спектра⁽¹⁾, оптической толщиной атмосферы. Следовательно,

$$e^{-\tau} = p, \quad (4)$$

где p — коэффициент прозрачности атмосферы. Зависимость между μ и p для $\vartheta = 60^\circ$ представлена графически на рис. 3 для тех же 37 индикатрис рассеяния, а также сферической и релейской. Как видно из этого рисунка, где черточками указаны пределы абсолютной ошибки

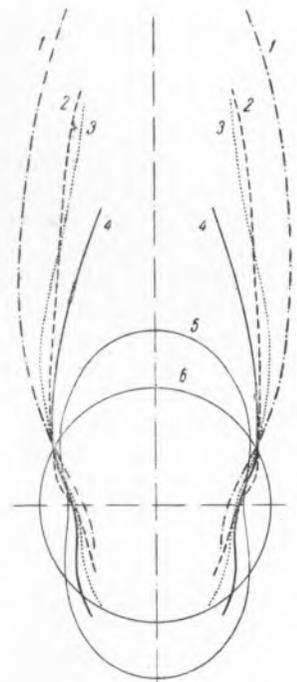


Рис. 2. Абсолютные индикатрисы рассеяния света при $\tau = 0,288$: 1 — зеленый фильтр, окрестности Москвы; 2 — зеленый фильтр, Владивосток; 3 — синий фильтр, окрестности Алма-Ата; 4 — синий фильтр, окрестности Иваново; 5 — релейская; 6 — сферическая индикатрисы рассеяния

в μ для $0,747 < p < 0,914$, эта зависимость с достаточной точностью может быть принята линейной, выражение которой:

$$p = 0,973 - 9,80 \mu. \quad (5)$$

Если представить зависимость между μ и p для других углов рассеяния, то, по мере удаления от $\vartheta = 60^\circ$ в обе стороны, разброс точек увеличивается до $\vartheta = 90-100^\circ$ очень незначительно, а затем все больше и больше, как в одну, так и в другую стороны, так что для $\vartheta = 20^\circ$ прямой линии провести уже нельзя. Имеем

$$\begin{aligned} \text{для } \vartheta = 40^\circ & \quad p = 0,992 - 7,58 \mu, \\ \text{для } \vartheta = 90^\circ & \quad p = 0,977 - 14,1 \mu, \\ \text{для } \vartheta = 120^\circ & \quad p = 0,968 - 12,2 \mu. \end{aligned} \quad (6)$$

Если определить p для рассматриваемых 37 индикатрис по формулам (5) и (6) и затем сравнить их с полученными по формулам (4) и (2) и нанесенными на рис. 3, то квадратические ошибки будут следующие:

ϑ	40°	60°	90°	120°
ε_p	0,011	0,006	0,007	0,009

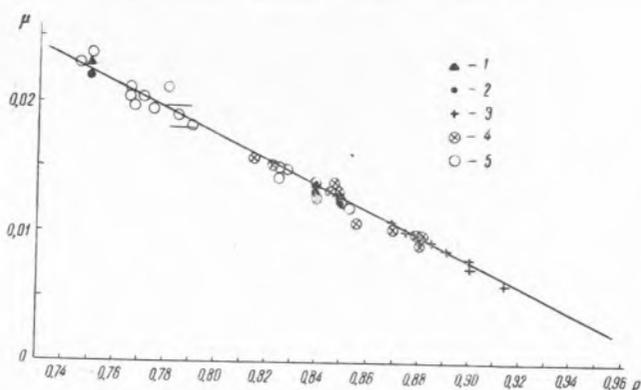


Рис. 3. 1 — наблюдения с красным фильтром; 2 — с зеленым; 3 — с синим фильтром; 4 — релеевская; 5 — сферическая индикатрисы рассеяния

Это показывает, что индикатрисы в рассматриваемый период времени (лето 1946 г.) в окрестностях г. Алма-Ата мало отличались друг от друга для $40^\circ < \vartheta < 120^\circ$. Будет ли подобная зависимость сохраняться при определении индикатрис в других местах, с другими климатическими условиями, или, другими словами, можно ли пользоваться формулами (5) и (6) для определения p в других местах, и, если можно, то какая из них дает наименьшую ошибку в p ? Весной 1947 г. я определяла индикатрисы рассеяния во Владивостоке, а летом в Узком в 20 км от Москвы. В табл. 1 даются значения p , полученные в Узком: в столбце 2 — определенные непосредственно из (4) и (2); в столбцах 3, 5, 7 и 9 — по формулам (5) и (6) для различных ϑ ; в столбцах 4, 6, 8 и 10 даны соответствующие отклонения в процентах.

Наименьшая ошибка, лежащая в пределах точности определения p из (4) и (2), получилась для $\vartheta = 60^\circ$. Таким образом, несмотря на то, что формула (5) получена на основании наблюдений в Средней Азии на высоте 1350 м, ею можно пользоваться для определения p в любом месте и для любой λ в пределах видимого спектра. Этот способ определения коэффициента прозрачности атмосферы требует наблюдения яркости дневного неба по отношению к солнцу только в одной точке

Таблица 1

Дата	ρ	$\vartheta = 40^\circ$		$\vartheta = 60^\circ$		$\vartheta = 90^\circ$		$\vartheta = 120^\circ$	
		ρ	$\Delta\rho, \%$	ρ	$\Delta\rho, \%$	ρ	$\Delta\rho, \%$	ρ	$\Delta\rho, \%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
28 VI	0,632	0,531	18,6	0,645	1,1	0,691	6,0	0,735	12,7
29 VI	0,769	0,759	1,3	0,771	0,3	0,786	2,2	0,795	3,4
8 VII	0,708	0,609	14,0	0,691	2,4	0,739	4,4	0,771	8,9
12 VII	0,781	0,761	2,6	0,774	0,9	0,794	1,7	0,802	2,7
12 VII	0,857	0,822	4,1	0,851	0,7	0,874	2,0	0,875	2,1
13 VII	0,743	0,682	8,2	0,744	0,1	0,771	3,8	0,789	6,2
15 VII	0,786	0,773	1,7	0,787	0,1	0,801	1,9	0,806	2,5
16 VII	0,813	0,820	0,9	0,807	0,7	0,818	0,6	0,815	0,4
Среднее . .			6,4		0,8		2,8		4,9

небесного свода, лежащей на альмукантарате солнца на угловом расстоянии от него в 60° .

Из рассмотрения всего материала, полученного мной, можно сделать вывод, что абсолютные индикатрисы рассеяния света в атмосфере при равных τ сравнительно мало меняются в пределах $50^\circ < \vartheta < 120^\circ$, но значительно для малых ϑ , причем, когда индикатриса вытягивается „вперед“, она сжимается в противоположном направлении, и наоборот.

Нефелометрический метод определения ρ основан на никем не доказанном предположении об однозначной зависимости между μ и ρ . Интенсивность рассеяния определяется для случайно выбранного $\vartheta = 45^\circ$. Наблюдения Н. Э. Ритынь ⁽²⁾ по этому методу дали хорошее согласие с ρ , полученными по другому методу, в то время как наблюдения В. В. Шаронова ⁽³⁾, наоборот, дали отрицательный результат. Повидимому, в первом случае форма индикатрисы в дни наблюдений мало менялась, во втором случае менялась значительно, на что указывает и сам автор. Мое исследование показывает, что наилучшим углом рассеяния, дающим наименьшую ошибку в ρ , является угол в 60° , поскольку для этого ϑ действительно существует однозначная зависимость между μ и ρ , независимо от формы индикатрисы рассеяния, имеющей место в атмосфере, а также длины волны в пределах видимого спектра. Более детальное исследование, может быть, покажет, что наилучшим углом в указанном смысле является не 60° , но какой-то другой вблизи него.

Институт астрономии и физики
Академии Наук Каз. ССР
г. Алма-Ата

Поступило
21 VI 1948

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Е. В. Пясковская-Фесенкова, Астроном. журн., **24**, в. 2 (1947).
² Н. Э. Ритынь, ЖТФ, **15**, в. 6 (1945). ³ В. В. Шаронов, ЖТФ, **17**, в. 8 (1947).