

Л.С. Ивлев, В.М. Жуков, О.М. Коростина, А. Лейва Контрарес,  
А. Мулья Веласкес, И.Л. Браво-Кабрера

## УТОЧНЕННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ Г. МЕХИКО

Выполнены модельные расчеты оптических характеристик рассеяния света в приземном слое г. Мехико с учетом влияния неточности измерений микроструктурных характеристик аэрозолей электростатическим и фотоэлектрическим счетчиками частиц. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли в изменчивости светорассеяния вариаций грубодисперсной фракции аэрозолей.

В [1] были проведены модельные расчеты оптических характеристик аэрозолей приземного слоя атмосферы в районе г. Мехико для сухого и влажного сезонов по имевшимся у авторов данным о микроструктурных параметрах аэрозольных частиц. Несмотря на то, что микрофизические измерения проводились в одном из самых чистых районов г. Мехико, расчетные величины оптических характеристик аэрозолей представлялись существенно заниженными. Ошибки, вызванные неточным выбором комплексного показателя преломления вещества аэрозольных частиц, не могли дать значительного занижения значений коэффициентов рассеяния и ослабления. (При изменении величины показателя преломления с  $n = 1,55$  на  $n = 1,65$  значения коэффициентов для рассматриваемых распределений аэрозольных частиц по размерам увеличивались в пределах 10–20 %).

Неточности определения распределений аэрозольных частиц по размерам могут быть вызваны двумя причинами: 1) занижение размеров частиц при измерении их электростатическим спектрометром (TSI-2000), 2) неверная экстраполяция функции распределения частиц по размерам для  $r \geq 0,4$  мкм.

Весной 1992 г. авторами проводились комплексные измерения характеристик аэрозолей, которые позволили уточнить химический состав вещества аэрозольных частиц и, следовательно, более обосновано брать для расчетов комплексный показатель преломления, а также получить с помощью фотоэлектрического счетчика АЗ-5 функцию распределения частиц по размерам для  $r \geq 0,2$  мкм.

По данным нейтронно-активационного, масс-спектрометрического и ИК-спектрального анализов фильтровых проб были сделаны следующие оценки химического состава аэрозолей приземного слоя в районе г. Мехико: минеральные компоненты в основном почвенного происхождения – 12–40 мкг/м<sup>3</sup>; хлоридные соли – 2,0–7,0 мкг/м<sup>3</sup>; нитраты – 2,0–6,0 мкг/м<sup>3</sup>; сульфаты и серная кислота – 5,3–35 мкг/м<sup>3</sup>; сажа – 2,0–12,0 мкг/м<sup>3</sup>; органические вещества – 0,5–2,5 мкг/м<sup>3</sup>; содержание воды в сухом аэрозольном веществе – примерно 3,0 мкг/м<sup>3</sup>. Общая массовая концентрация в проведенных измерениях изменялась от 32 до 106 мкг/м<sup>3</sup>.

Такой химический состав при низких значениях влажности ( $f_{H_2O} < 40$  %) соответствует реальной части комплексного показателя преломления  $n = 1,6$ – $1,63$  или примерно 1,5–1,58 в условиях сухого сезона в г. Мехико и 1,42–1,5 – влажного сезона.

При измерениях электростатическим спектрометром TSI-2000 определяется аэродинамический размер частиц, который, вообще говоря, может быть не равен его геометрическому размеру [2], ответственному за оптические характеристики частиц (сечения рассеяния, поглощения, ослабления, индикатриса и степень линейной поляризации). Экспериментально измеренные значения счетной концентраций частиц  $\Delta N_i(r)$  в интервале размеров радиусов  $\Delta r_I$  0,003–0,281 мкм (диапазон I) сдвинутся в сторону более крупных размеров  $\Delta r_{II} = 0,0038$ – $0,375$  мкм (диапазон II). Для больших размеров функция распределения в [1] получалась с помощью экстраполяции степенной функцией  $f(r) = dN/dr = Cr^{-4}$ .

Данные измерений фотоэлектрическим счетчиком в 1992 г. позволили выявить некоторые особенности функции распределения частиц по размерам для района г. Мехико в диапазоне  $\Delta r = 0,2-10$  мкм. Основными являются отклонения от степенной функции в интервалах  $\Delta r_{III} = 0,2-0,7$  мкм и  $\Delta r_{IV} = 1-10$  мкм – увеличение концентрации частиц. Первое обусловлено наличием процессов фотохимического образования аэрозольного вещества непосредственно в загрязненном городском воздухе, а именно появлением аэрозольных частиц в результате сгорания бензина в автомобильных двигателях. Второе вызвано в основном процессами пыления различных поверхностей. Изменчивость первой моды явно имеет суточный ход, а второй – в значительной степени определяется погодными условиями (рис. 1).

Таким образом, полученные данные по дисперсности аэрозольных частиц позволяют оценить вклады неточностей определения функции распределения частиц по размерам в атмосфере г. Мехико при использовании различных аэрозольных приборов и методик экстраполяции данных измерения неполного спектра размеров частиц на оптические аэрозольные характеристики.

Изменения сечений ослабления и рассеяния для отдельных сферических частиц в диапазоне размеров  $0,003-0,375$  мкм при комплексном показателе преломления  $m = (1,47 - i \cdot 0,003)$  приводят к небольшому увеличению этих характеристик. Однако расчеты для полидисперсных систем (диапазоны размеров частиц I и II) при сдвиге границы размеров, обусловленном уточнением данных электростатического спектрометра, показывают значительное увеличение сечений ослабления и рассеяния (приблизительно в 3 раза). Следует отметить, что при этом наблюдается примерно такое же увеличение объема рассеивающих частиц, рассчитываемых по формуле

$$V_{\text{аэп}} = \frac{4}{3} \pi \int_{r_{\text{min}}}^{r_{\text{max}}} dN/d r r^3 dr .$$

Так, объем во влажный период для I диапазона составил  $34,57$  и  $81,84$  мкм<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> – для II диапазона, а в сухой сезон  $48,3$  и  $114,4$  мкм<sup>3</sup>/см<sup>3</sup> соответственно.

При экстраполяции функций распределения по степенному закону коэффициент ослабления при  $\lambda=0,55$  мкм для диапазона  $0,003-10$  мкм для сухого сезона составил  $30,83 \cdot 10^{-3}$  км<sup>-1</sup>, что соответствует дальности видимости  $S_M | 127$  км, т. е. существенно занижен, а при учете сдвига размеров частиц ( $0,0038-10$  мкм) равен  $80,11 \cdot 10^{-3}$  км<sup>-1</sup> или  $S_M = 49$  км, что уже ближе к реальным условиям чистой городской атмосферы. Дальность видимости рассчитывалась по формуле  $S_M = 3,9/K_{\text{осл}}$  для  $\lambda = 0,55$  мкм.

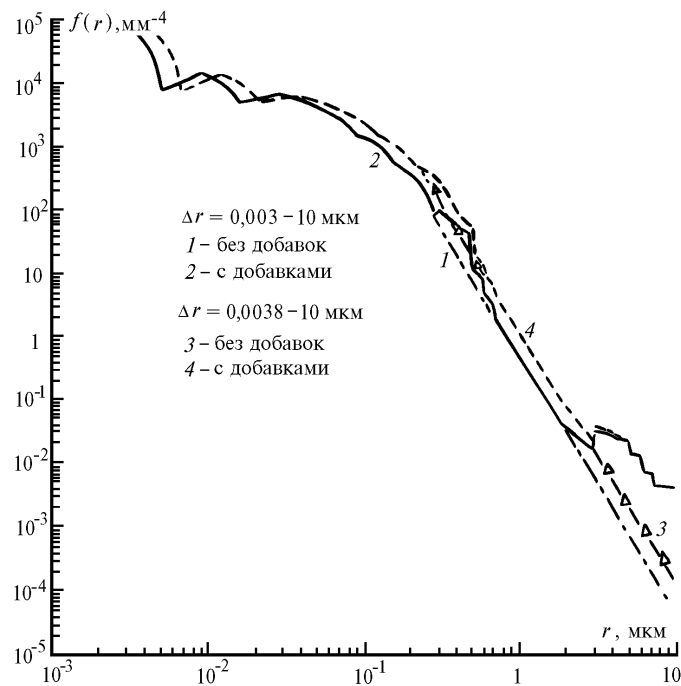


Рис. 1. Модельные функции распределения частиц по размерам для сухого сезона года в районе г. Мехико с учетом вариаций  $f(r)$  в диапазонах  $\Delta r_{III} = 0,2-0,7$  мкм и  $\Delta r_{IV} = 1-10$  мкм

Значительные изменения оптических аэрозольных характеристик наблюдаются при учете вариаций спектра размеров в интервалах  $\Delta r_{III}=0,2-0,7$  мкм и  $\Delta r_{IV}=1,0-10,0$  мкм.

Результаты расчетов коэффициентов ослабления  $K_{осл}$  для диапазонов 0,003–10 мкм и 0,0038–10 мкм с учетом и без учета вариаций концентрации частиц в интервалах  $\Delta r_{III}$  и  $\Delta r_{IV}$  для сухого сезона представлены в таблице.

$\lambda$ , мкм	$K_{осл} \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-1}$			
	Диапазон, мкм			
	0,003–10	0,0038–10	0,003–10	0,0038–10
	без вариаций	без вариаций	с вариациями	с вариациями
0,35	40,28	94,79	72,67	128,46
0,45	35,47	89,12	72,03	127,33
0,55	30,83	80,11	69,87	121,34
0,65	26,89	70,60	65,95	112,16
0,75	23,67	62,22	61,19	102,26
0,85	20,96	55,30	56,52	93,31
1,0	17,97	46,88	50,57	81,53

При исследовании влияния функции распределения частиц по размерам на угловые характеристики рассеяния (индикатрису рассеяния, степень линейной поляризации) следует отметить, что форма индикатрисы рассеяния практически не меняется при смещении спектра рассеивающих частиц с  $\Delta r=0,003$  мкм на  $\Delta r=0,0038$  мкм для всех рассмотренных длин волн  $\lambda=0,35-1$  мкм. Внесение изменений (добавок) в функцию распределения в диапазонах  $\Delta r_{III}$  и  $\Delta r_{IV}$  увеличивает долю рассеяния света вперед, т.е. увеличивается степень вытянутости индикатрисы. Форма индикатрисы рассеяния в большей степени зависит от внутренней структуры рассеивающих частиц (их неоднородности, несферичности) [1].

Для степени линейной поляризации изменения, связанные со смещением спектра рассеивающих частиц с  $r=0,003$  мкм на  $r=0,0038$  мкм, дают более существенные искажения формы. Причем эти искажения наблюдаются как в меньших, так и в больших  $90^\circ$  углах.

Результаты расчетов индикатрис рассеяния и степени линейной поляризации представлены на рис. 2, 3. Сходная картина наблюдается при проведении расчетов оптических характеристик аэрозолей приземного слоя г. Мехико для влажного сезона.

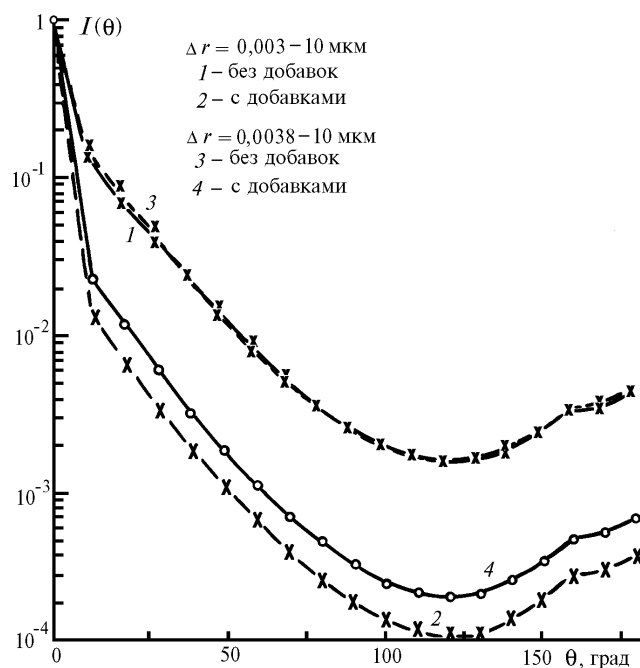


Рис. 2. Индикатрисы рассеяния света  $I(\theta)$  для сухого сезона в районе г. Мехико для  $\lambda=0,55$  мкм с учетом и без учета вариаций  $f(r)$  в диапазонах  $\Delta r_{III}=0,2-0,7$  мкм и  $\Delta r_{IV}=1-10$  мкм

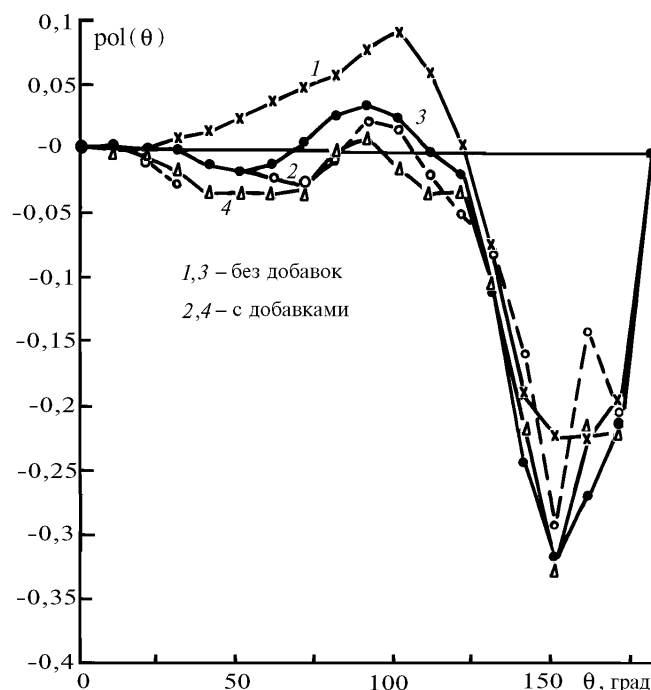


Рис. 3. Степень линейной поляризации света  $pol(\theta)$  для  $\lambda=0,55$  мкм в районе г. Мехико для сухого сезона года с учетом и без учета вариаций  $f(r)$  в диапазонах  $\Delta r_{III} = 0,2-0,7$  мкм и  $\Delta r_{IV} = 1-10$  мкм

Изменения угловых характеристик рассеяния позволяют контролировать изменения микроструктуры атмосферных аэрозолей по оптическим измерениям.

Полученные результаты подтверждают достаточно очевидное утверждение, что при проведении модельных расчетов оптических характеристик рассеяния света следует более точно учитывать функцию распределения частиц по размерам, особенно в области грубодисперсной фракции, в частности, учитывать погрешности при использовании различных аэрозольных приборов и учитывать при моделировании оптических характеристик сильную изменчивость грубодисперсной фракции атмосферных аэрозолей.

1. Ивлев Л.С., Коростина О.М., Лейва А., Мулья А. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т 6. N 9. С. 1144–1151.
2. William C. Hinds. Aerosol Technology Properties, Behavior, and Measurement of Airborne particles. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION. 1982. 409 P.

Научно-исследовательский институт  
физики Санкт-Петербургского государственного университета

Поступила в редакцию  
18 апреля 1994 г.

L.S. Ivlev, V.M. Zhukov, O.M. Korostina, A. Leyva-Kontreras, A. Muhlia-Welázquez, J.L. Bravo-Cabrera. **Corrected Data on Optical Characteristics of Aerosol in the Ground Layer of the Atmosphere in City of Mexico.**

In this paper we present model calculations of the optical characteristics of aerosol of the near ground air in city of Mexico made taking into account uncertainties in data of electrostatic and photoelectric counters of particles. The results obtained in this study demonstrate an important role of coarse aerosol fraction in the variability of light scattering properties of air.