

А.И. Гришин, Г.Г. Матвиенко

### О ВЛИЯНИИ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ НА ФЛУКТУАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

В статье анализируются результаты экспериментальных исследований пространственных неоднородностей коэффициента обратного рассеяния  $\beta$ , полученные с борта самолета—лаборатории Ил-14 в диапазоне высот до 5 км. Полученные данные об оптических и микрофизических характеристиках аэрозоля подвергались статистической обработке с целью извлечения информации о средних и флуктуационных характеристиках среды. Установлено, что средние характеристики  $\beta$  обусловлены субмикронной фракцией аэрозоля, а флуктуационные — аэрозолями с радиусами более 2 мкм.

Оптические характеристики атмосферного аэрозоля в значительной степени определяются спектром размеров частиц, его фракционным составом. При этом, как показано в [1, 2], для большинства реализуемых в атмосфере условий основной вклад в рассеяние в видимом диапазоне под углами, близкими к  $180^\circ$ , вносит субмикронная фракция аэрозоля. Роль грубодисперсного аэрозоля составляет не более 10...15%. Однако при оптическом зондировании атмосферы пространственно-ограниченными пучками из-за недостаточного пространственного усреднения поля концентрации различных аэрозольных частиц может проявиться преобладающее влияние грубодисперсного аэрозоля на флуктуационные характеристики коэффициента обратного рассеяния. В данном сообщении на основе самолетных измерений с помощью аэрозольного счетчика и нефелометра анализируется вклад различных фракций аэрозоля в средние значения и флуктуации коэффициента обратного рассеяния атмосферы до высоты 5 км.

Для анализа использовались пространственные реализации коэффициента обратного рассеяния  $\beta$  на длине волны 0,55 мкм, измеренные нефелометром внешнего объема ( $15 \text{ дм}^3$ ), с частотой 10 Гц (пространственный период 6 м), и счетной концентрации  $N$  различных фракций аэрозоля, полученные модернизированным аэрозольным счетчиком АЗ-5 (начальный радиус аэрозольных частиц  $r = 0,2 \text{ мкм}$ ) с частотой 1 Гц (пространственный период усреднения 60 м) [3, 4]. Обработка реализаций заключалась в получении оценок средних значений  $N$  и  $\beta$ , а также авто- и взаимно-корреляционных функций  $R_{N\beta}$  по горизонтальным трассам полета протяженностью 3,6 км.

Результаты измерений свидетельствуют, что высотный ход средних значений коэффициента обратного рассеяния хорошо коррелирует с синхронными измерениями вертикального разреза интегральной счетной концентрации аэрозоля.

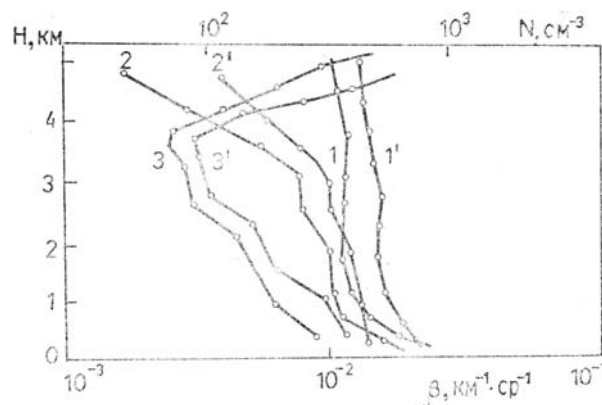


Рис. 1. Вертикальные профили средних значений коэффициента обратного рассеяния (1, 2, 3) и счетной концентрации (1', 2', 3') в безоблачной атмосфере: 1, 1' — антициклон, Северный Казахстан, июнь 1986 г.; 2, 2' — тыл холодного фронта, там же; 3, 3' — городская дымка, г. Томск, май 1986 г.

На рис. 1 представлены данные о вертикальном ходе коэффициентов обратного рассеяния (кривые 1, 2 и 3) и соответствующие значения счетной концентрации частиц (кривые 1', 2' и 3') для различных условий наблюдения. Так как в измерениях интегральной концентрации частиц основную долю составляет субмикронная фракция, то подтверждается сделанный в [1, 2] вывод о ее определяющем вкладе в формирование средних значений коэффициента обратного рассеяния во всем диапазоне исследуемых высот, по крайней мере при соответствующих условиях наблюдения.

Анализ пространственных автокорреляционных функций, полученных для поля концентрации различных фракций атмосферного аэрозоля, показал, что при учете только грубодисперсной фракции радиусы корреляции почти совпадают с радиусами корреляции флуктуаций  $\beta$  и равны  $\approx 50 \dots 60$  м, в то время как при учете интегральной концентрации частиц они увеличены в 5–6 раз. Это обстоятельство позволяет выдвинуть гипотезу о том, что главную роль в формировании оптических неоднородностей при ограниченных рассеивающих объемах играет грубодисперсная фракция атмосферного аэрозоля.

С целью проверки данной гипотезы был проведен взаимно–корреляционный анализ между данными о счетной концентрации частиц и коэффициентом обратного рассеяния, полученными синхронно. Существенно различные пространственные интервалы накопления информации нефелометром (6 м) и аэрозольным счетчиком (60 м) потребовали учета усредняющего действия последнего. Это было осуществлено с помощью процедуры [5], позволяющей учесть аппаратное усреднение получаемых результатов. Тогда для оценки экспериментальной взаимно–корреляционной функции  $\tilde{R}_{\beta N}$  можно записать:

$$\tilde{R}_{\beta N}(l) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{\beta N}(l - \xi) \int_{-\infty}^{+\infty} A(x) M(x + \xi) dx d\xi, \quad (1)$$

где  $A$  и  $M$  – аппаратные функции оптического измерителя и аэрозольного счетчика соответственно,  $R_{\beta N}$  – истинная взаимно–корреляционная функция  $\beta$  и  $N$ ;  $x$  и  $\xi$  – пространственные координаты вдоль трассы полета;  $l$  – пространственный сдвиг. Величина  $\int_{-\infty}^{+\infty} A(x)M(x + \xi)dx$  определяет корреляционные свойства датчиков. Нефелометр можно считать безынерционным в сравнении с аэрозольным счетчиком, поэтому  $A(x) = \delta(x)$  и  $\int_{-\infty}^{+\infty} A(x)M(x + \xi)dx = M(\xi)$ . Представляя аэрозольный счетчик в виде пространственного усреднителя на интервале  $d$ , имеем:

$$N(x) = \frac{1}{d} \int_{-d/2}^{+d/2} N(x - x') dx'$$

и

$$M(\xi) = \begin{cases} \frac{1}{d}, & \text{если } -\frac{d}{2} \leq \xi \leq \frac{d}{2}, \\ 0, & \text{если вне интервала } \left[-\frac{d}{2}, \frac{d}{2}\right]. \end{cases} \quad (2)$$

Если теперь применить к (1) с учетом (2) преобразование Фурье, то получим следующее выражение для измеренного взаимного спектра волновых чисел  $\kappa$

$$\tilde{S}_{N\beta}(\kappa) = S_M(\kappa) S_{N\beta}(\kappa), \quad (3)$$

где  $S_M(\kappa)$  – спектр аппаратной функции

$$S_M(\kappa) = \int_{-\infty}^{+\infty} M(\xi) \exp(-2\pi i \kappa \xi) d\xi, \quad (4)$$

$S_{N\beta}(\kappa)$  – неискаженный усредняющим действием аппаратуры спектр. Подставляя в (4) выражение (2), получим

$$S_M(\kappa) = \sin(\pi \kappa d) / \pi \kappa d. \quad (5)$$

Из (5) видно, что  $S_M(\kappa)$  принимает нулевые значения только при отдельных значениях  $\kappa$ . Следовательно, используя (3), можно оценить неискаженный спектр  $S_{N\beta}$  точках, где  $S_M \neq 0$ :

$$S_{N\beta}(\kappa) = \tilde{S}_{N\beta}(\kappa) / S_M(\kappa).$$

Откуда путем обратного преобразования Фурье восстанавливается истинная корреляционная функция  $R_{\beta N}(l)$ .

Результаты обработки, полученные с помощью описанной методики, приведены на рис. 2. Как видно из рисунка, максимальное значение коэффициента взаимной корреляции, равное 0,65 без учета аппаратных искажений и 0,9 с их учетом, получено для грубодисперсной фазы атмосферного аэрозоля (радиус более 2 мкм). При учете более мелких частиц максимумы  $R_{\beta N}$  уменьшаются при одновременном увеличении радиусов корреляции.

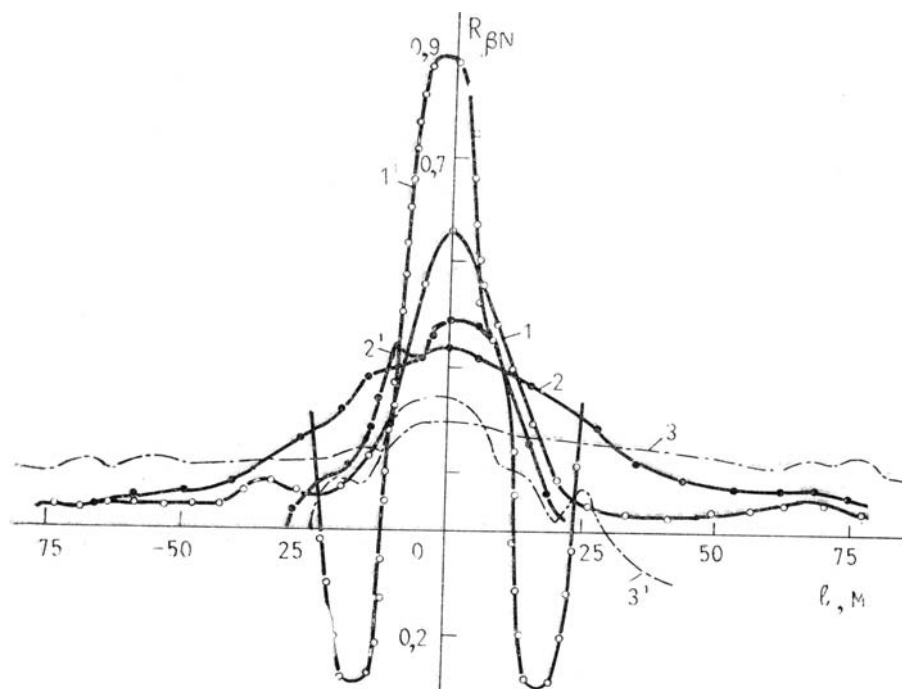


Рис. 2. Нормированные пространственные взаимно-корреляционные функции коэффициента обратного рассеяния и счетной концентрации частиц с радиусами 1, 1' более 2 мкм, 2, 2' более 0,7 мкм, 3, 3' более 0,2 мкм. 1', 2', 3' — результат обработки с учетом усреднения данных аэрозольным счетчиком, высота 1560 м, условия соответствуют кривой 1 рис. 1

Таким образом, приведенные данные убедительно свидетельствуют о приоритетной роли грубодисперсного аэрозоля в формировании флуктуационных характеристик отраженных из атмосферы сигналов.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность Б.Д. Белану, предоставившему данные по счетной концентрации атмосферного аэрозоля.

1. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Опико-локационная модель континентального аэрозоля. — Новосибирск: Наука, 1982. — 198 с.
2. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. — Л.: Гидрометиздат, 1986. — 255 с.
3. Белан Б.Д., Гришин А.И., Заде Г.О. и др. Бортовой комплекс для исследования оптико-метеорологических параметров атмосферы. — В кн.: 6-й Всесоюзный симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере. Тезисы докладов. Ч. 2. — Томск: Изд-е ИОА СО АН СССР, 1981 с. 132–135.
4. Белан Б.Д., Гришин А.И., Заде Г.О., Матвиенко Г.Г. Корреляционные функции и спектральные плотности концентрации и флуктуации коэффициента обратного рассеяния аэрозоля в нижней атмосфере. — Изв. АН СССР, ФАО, 1987, т. 23, № 4, с. 402.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. — М.: Мир, 1974. — 464 с.

Институт оптики атмосферы  
СО АН СССР,  
Томск

Поступило в редакцию  
29 декабря 1987 г.

A. I. Grishin, G. G. Matvienko. **Effect of Atmospheric Aerosol Fractions on Backscattering Coefficient Fluctuations.**

Spatial inhomogeneities of the backscattering coefficient due to different aerosol fractions in the atmosphere were studied using an instrumented aircraft at altitudes up to 5 km. The resulting experimental data on the optical and microphysical aerosol properties were interpreted statistically to yield information on the average and fluctuation characteristics of the atmospheric backscattering coefficient. It was found that the average characteristics were determined by the submicron aerosol fraction number density, the fluctuations being largely caused by aerosol species with radii of  $> 2 \mu\text{m}$ .