

О ВОЗМОЖНОСТЯХ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОНЕФЕЛОМЕТРИИ В ЛАЗЕРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЭРОДИСПЕРСНЫХ СРЕД

М. М. Кугейко, С. А. Лысенко

Белорусский государственный университет, Минск

В работе приводится теоретическая основа многопараметрической корреляционной спектронефелометрии, заключающаяся в расчете микрофизических параметров (МП) аэродисперсной среды с использованием уравнений множественной регрессии (УМР) по значениям рассматриваемых оптических характеристик (ОХ) при нескольких выбранных значениях соответствующих аргументов (углах приема или частотах рассеянного излучения). Для нахождения наиболее перспективных (в плане повышения точности измерений) аргументов проводится анализ спектральных или угловых коэффициентов корреляции между ОХ и МП, полученных путем вариаций параметров модели, адекватной исследуемой среде. Ниже рассматривается применение разработанной методики к задачам обработки данных многоволнового лазерного зондирования атмосферы и нефелометрических измерений.

При известных МП аэрозоля (функции распределения частиц по размерам $f(x)$ и показателе преломления m), соотношения, связывающие объемную C_V и счетную N концентрации гомогенного аэрозоля с его коэффициентом ослабления $\beta(\lambda)$, можно записать в следующей форме [1]:

$$C_V = \beta(\lambda) \cdot \frac{2\lambda}{3\pi} \frac{\int_0^\infty x^3 f(x) dx}{\int_0^\infty x^2 Q(m, x) f(x) dx}, \quad N = \frac{8\pi^2}{\lambda^3} \frac{\beta(\lambda)}{\int_0^\infty x^2 Q(m, x) f(x) dx},$$

где $x = 2\pi a/\lambda$ – параметр Ми, λ – длина волны, $Q(m, x)$ – фактор эффективности ослабления излучения частицей с радиусом a . Аналогичные выражения можно записать и для связи C_V и N с коэффициентом направленного рассеяния $\beta(\varphi)$. Из формул видно, что коэффициенты пропорциональности $\mu_V = \beta(\lambda, \varphi)/C_V$ и $\mu_N = \beta(\lambda, \varphi)/N$ зависят сложным образом от $f(x)$ и $m(\lambda)$. В связи с этим, вышеуказанные регрессионные зависимости имеют огромную практическую значимость, поскольку позволяют с удовлетворительной для многих практических потребностей точностью определять фракционный состав аэрозолей по измеренным ОХ без ис-

пользования дополнительных экспериментов и учета пространственных вариаций $f(x)$ и $m(\lambda)$.

Для получения указанных УМР с учетом взаимозависимых вариаций МП аэрозолей нами использовалась оптическая модель приземного слоя атмосферы Андреева-Ивлева [2]. Выбор этой модели обусловлен тем, что ее входными параметрами являются метеорологическая дальность видимости S_m и влажность q , варьирование которых позволяет в комплексе менять МП аэрозоля и, таким образом, отследить наличие или отсутствие устойчивых корреляций между $\beta(\lambda)$, $\beta(\varphi)$ и C_{Vi} , N_i (где индекс i здесь и в дальнейшем соответствует транзитивной ($i = 1$), аккумулятивной ($i = 2$) и грубодисперсной ($i = 3$) фракциям фонового аэрозоля). Проведенное нами сравнение полученной экспериментально в [3] и на основе данной модели, взаимосвязи между $\beta(45^\circ, 510 \text{ нм})$ и объемной концентрацией частиц с радиусами $0,05 \div 0,6 \text{ мкм}$ демонстрирует их хорошее совпадение, что свидетельствует о том, что данная модель достаточно адекватно описывает взаимосвязь ОХ и МП аэрозоля.

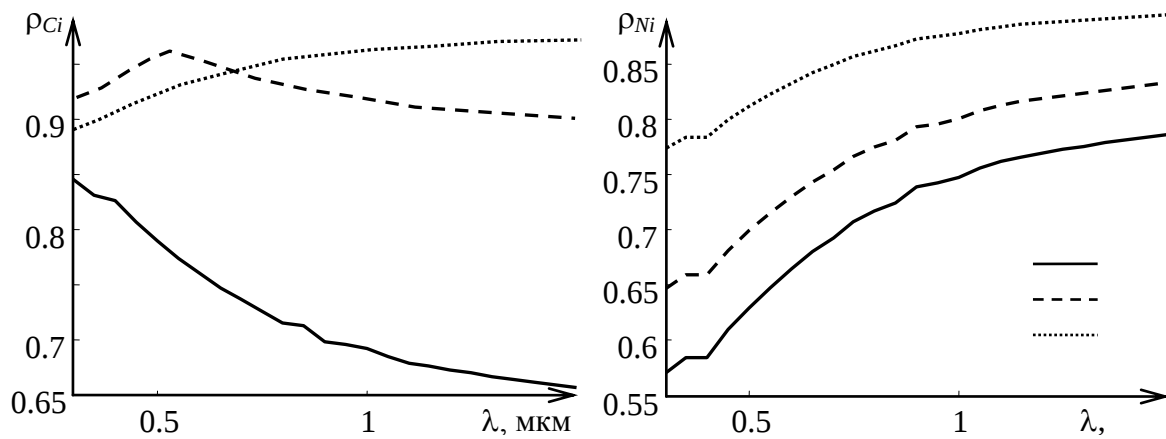


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициентов корреляции между C_{Vi} и $\beta(\lambda)$ (а) и N_i и $\beta(\lambda)$ (б). Кривые 1, 2, 3 соответствуют трем фракциям аэрозоля

Как показывает анализ представленных на рис. 1 коэффициентов парной корреляции $\rho_{Ci}(\lambda)$ и $\rho_{Ni}(\lambda)$ между $\log\beta(\lambda)$ и $\log C_{Vi}$, $\log N_i$ соответственно (полученных с использованием модели [2] и стандартных формул математической статистики), для повышения точности определения фракционных концентраций аэрозоля (ФКА), следует проводить одновременные измерения ОХ в коротковолновой, видимой и ИК областях спектра λ . В соответствии со сказанным нами получены спектральные УМР для ФКА и значений $\beta(\lambda_i)$ на длинах волн 0,35; 0,532 и 1,06 мкм (гармоники YAG-лазера).

Аналогичный анализ угловых зависимостей коэффициентов корреляции между $\log\beta(\varphi)$ и $\log C_{Vi}$, $\log N_i$ показывает, что для определения ФКА

необходимо осуществлять измерения $\beta(\varphi)$ в области малых углов, $18^\circ \div 22^\circ$, $160^\circ \div 170^\circ$. В связи с этим нами получены нефелометрические УМР для ФКА и $\beta(\varphi_i)$ для углов 5° , 20° , 165° .

Для оценки эффективности предлагаемых методик определения ФКА (спектральной и нефелометрической) был проведен расчет данных характеристик в 1000 модельных атмосферных ситуациях, отличающихся значениями S_m и q и при наложении на значения $\beta(\lambda_i)$, $\beta(\varphi_i)$ случайных ошибок в пределах 10 %. Гистограммы ошибок определения ФКА с использованием спектральных УМР приведены на рис. 2, где P_{Ci} и P_{Ni} – частоты повторяемости ошибок δC_{Vi} и δN_i соответственно. На рисунках также указаны среднеквадратичные ошибки (СО) определения отмеченных только что величин. Не приводя здесь рисунок, запишем также СО определения ФКА с использованием нефелометрических УМР: $\overline{\delta C_{V1}} = 11\%$, $\overline{\delta C_{V2}} = 9,5\%$, $\overline{\delta C_{V3}} = 8,5\%$; $\overline{\delta N_1} = 16\%$, $\overline{\delta N_2} = 13\%$, $\overline{\delta N_3} = 12,5\%$. Таким образом, СО измерений ФКА по описанной методике не превышают суммарные инструментальные ошибки измерения ОХ при указанных значениях соответствующих аргументов.

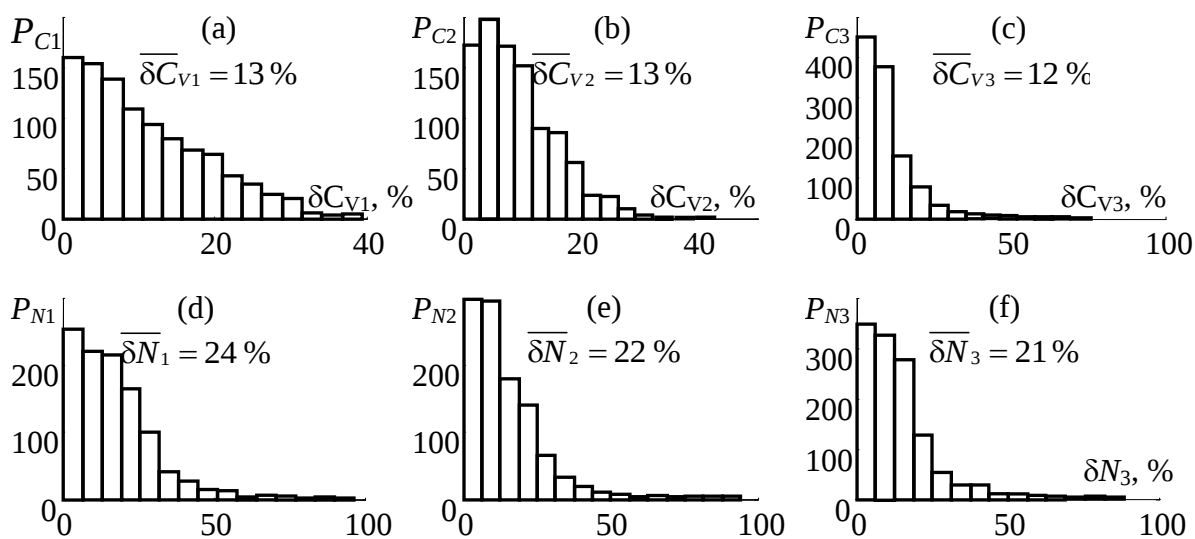


Рис. 2. Гистограммы ошибок определения объемных (a, b, c) и счетных (d, e, f) концентраций трех аэрозольных фракций с использованием спектральных уравнений множественной регрессии

1. Зуев В.Е., Кауль Б.В., Самойлов И.В., Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. Новосибирск: Наука, 1986. 189 с.
2. Андреев С. Д., Ивлев Л. С. // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8, № 8. С. 1236–1243.
3. Исаков А.А., Горчаков Г.И. // Матер. IV междунар. конф. «Естественные и антропогенные аэрозоли», Санкт-Петербург, СПбГУ, 2003. С. 62–63.