

Э.В. Макиенко, Ю.А. Пхалагов, Р.Ф. Рахимов, В.Н. Ужегов, Н.Н. Щелканов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ОПТИЧЕСКИ ПЛОТНЫХ ЗИМНИХ ДЫМОК МЕТОДОМ ОБРАЩЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ

Исследована временная трансформация спектра размеров частиц субмикронной и грубодисперсной фракций аэрозоля в процессе образования и развития оптически плотной зимней дымки. Результаты получены методом решения обратной задачи по данным экспериментальных измерений спектральных зависимостей аэрозольного коэффициента ослабления в диапазоне длин волн 0,44–3,9 мкм.

Показано, что в наблюдавшемся процессе при стабильно высоких значениях относительной влажности более 95% временной ход абсолютной влажности воздуха соответствовал динамике основных интегральных характеристик микроструктуры аккумулятивной фракции аэрозоля: суммарного геометрического сечения, счетной и объемной концентрации частиц. При этом наблюдалась синхронность изменений модального радиуса и ширины функции плотности распределения по размерам частиц аккумулятивной фракции.

В ходе выполнения долгосрочной программы комплексных исследований атмосферы ИОА СО РАН в 1992 г. был получен обширный экспериментальный материал по спектральной прозрачности приземной атмосферы на горизонтальной трассе в зимних условиях в г. Томске. Статистический анализ экспериментальных данных по коэффициентам аэрозольного ослабления видимого и ИК-диапазонов для различных типов оптической погоды во взаимосвязи с синхронно измеренными метеопараметрами атмосферы дан в [1].

С целью исследования слабоизученных в настоящее время процессов трансформации микроструктуры аэрозоля в зимних условиях во взаимосвязи с метеопараметрами атмосферы в настоящей статье проводится дальнейшая интерпретация измеренных спектральных зависимостей коэффициентов аэрозольного ослабления методом решения обратной задачи.

Комплекс аппаратуры для измерения спектральной прозрачности атмосферы в диапазоне длин волн 0,44–12 мкм и методика эксперимента описаны в [2]. Используемый в настоящей статье алгоритм решения обратной задачи, построенный на основе метода регуляризации А.Н. Тихонова, подробно описан в [3]. Исходной информацией при решении обратной задачи являлись спектральные зависимости объемных коэффициентов аэрозольного ослабления в окнах прозрачности атмосферы $\beta_{\text{ex}}(\lambda_i)$, измеренные в г. Томске на горизонтальной трассе протяженностью 1 км на 10 длинах волн спектрального диапазона 0,44–3,9 мкм. Величины объемных коэффициентов аэрозольного ослабления на длине волны λ_i в предположении сферичности рассеивающих частиц определяются, как известно, значением интегралов

$$\beta_{\text{ex}}(\lambda_i) = \int_{r_1}^{r_2} K_{\text{ex}}(m, r, \lambda_i) s(r) dr, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где $K_{\text{ex}}(m, r, \lambda)$ – фактор эффективности ослабления, рассчитываемый по теории Ми; m – комплексный показатель преломления вещества частиц; $s(r) = \pi r^2 n(r)$; $n(r)$ – функция распределения частиц по размерам в пределах интервала радиусов $[r_1, r_2]$. Система уравнений (1) алгебраизуется и приводится к виду

$$\sum_{l=1}^{\kappa} Q_{\text{ex}, il} s_l = \beta_{\text{ex}, i}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

В качестве решения этой системы принимается вектор \mathbf{s} , минимизирующий квадратичную форму

$$T_{\alpha}(s) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{l=1}^{\kappa} Q_{\text{ex}, il} s_l - \beta_{\text{ex}, i} \right)^2 + \alpha \Omega(s) \quad (3)$$

на множестве векторов ψ^+ , свойством которого является положительность компонентов любого вектора, принадлежащего этому множеству; α – параметр регуляризации, согласованный с уровнем ошибки измерений. Вид стабилизирующего функционала $\Omega(s)$ выбирается в зависимости от характера ограничений, накладываемых на искомое решение обратной задачи.

На рис. 1 показана временная трансформация спектра размеров частиц в последовательной серии измерений 14–16 декабря 1992 г.

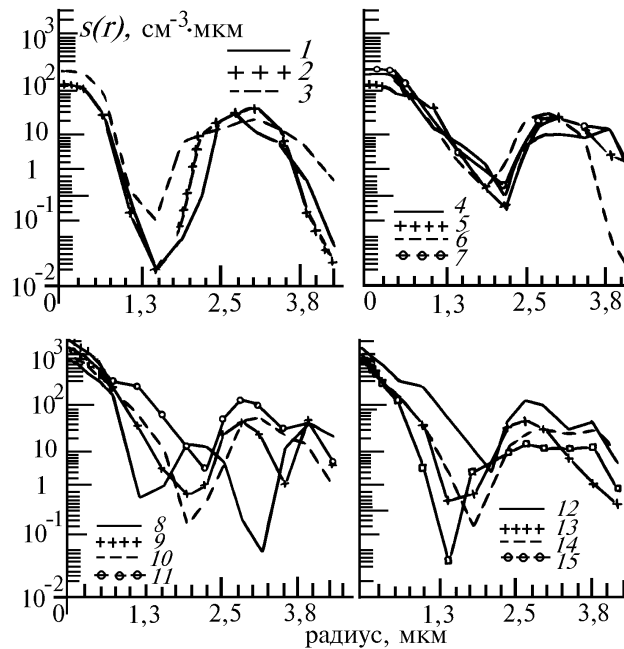


Рис. 1. Динамика функции распределения $s(r)$ в процессе развития оптически плотной дымки

В качестве характеристики оптической ситуации в атмосфере в период измерений в таблице даны значения метеорологической дальности видимости (МДВ).

Номера кривых на рис. 1 (то же в таблице) соответствуют временным отсчетам в измерениях: номера с 1 по 3 – 14 декабря с 17 до 21 ч. с интервалом в два часа; 4 и 5 – 15 декабря в 1 и 3 ч. ночи; с 6 по 13 – 15 декабря с 9 до 23 ч. с интервалом в два часа; 14 и 15 – 16 декабря в 1 и 3 ч. ночи.

Характеристика оптической ситуации в атмосфере в серии наблюдений 14–16 декабря 1992 г.

N п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
МДВ, км	24	23	12	8,3	9,3	5,9	6,2	4,8	2,3	3,6	2,3	5	4	5	6
Направление ветра, град	180	193	142	171	152	133	143	343	120	74	136	–	–	–	–

Из рис. 1 видно, что между аккумулятивной и грубодисперсной фракциями частиц имеется явно выраженная граница, вблизи которой в интервале радиусов от 1 до 2 мкм распределение частиц по размерам нестабильно, а их концентрация минимальна. Обращает на себя внимание качественное изменение спектра размеров частиц 15 декабря в 13 ч. (кривая 8 рис. 1), а именно появление промежуточной фракции в интервале радиусов 1,3–2,5 мкм. В этой связи отметим, что относительно города пункт зондирования расположен так, что основные источники промышленных загрязнений атмосферы находятся в западном и северо-западном направлении на удалении более 3 км, в то время как южный ветер направлен со стороны сельских районов области.

Как видно из таблицы, появление промежуточной фракции в распределении частиц по размерам совпадает с резким изменением направления ветра с южного на северо-западный что указывает на возможное антропогенное происхождение этой фракции частиц.

Совместный анализ восстановленных интегральных параметров микроструктуры аэрозоля и метеоданных показывает (рис. 2), что в данной серии измерений временной ход абсолютной

влажности воздуха соответствовал динамике основных характеристик субмикронной фракции частиц (суммарного геометрического сечения $S1$, счетной $N1$ и объемной $V1$ концентрации частиц). Величина Δa на рис. 2 представлена в виде <потери> абсолютной влажности ($\text{г}/\text{м}^3$) относительно исходного значения. Номера отсчетов по горизонтальной оси на рис. 2 (то же на рис. 3) соответствуют обозначенным временным интервалам в пояснениях к таблице. Одновременно с показанной на рис. 2 зависимостью в процессе развития плотной дымки отчетливо проявилась синхронность изменений модального радиуса и полуширины функции распределения $s(r)$ для аккумулятивной фракции частиц, показанная на рис. 3. Параметр $b = 1/2(\ln\sigma)^2$, где σ – среднеквадратическое отклонение от $\ln r$, характеризует полуширину функции распределения по размерам частиц аккумулятивной фракции при описании ее логнормальным распределением, широко используемым на практике в анализе микроструктуры аэрозоля.

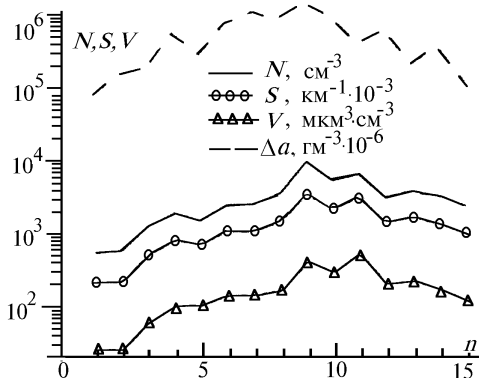


Рис. 2. Временной ход восстановленных параметров микроструктуры аэрозоля в процессе образования оптически плотной дымки и динамика абсолютной влажности воздуха

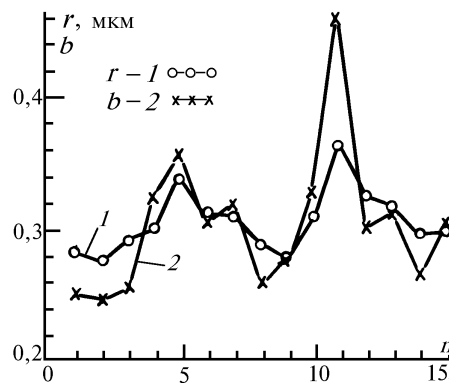


Рис. 3. Временной ход модального радиуса функции $s(r)$ и параметра b , характеризующего полуширину спектра размеров частиц аккумулятивной фракции аэрозоля

Важно отметить, что в ходе этого процесса величина относительной влажности воздуха остается практически постоянной с незначительными отклонениями от среднего значения $f = 96\%$. В данный период наблюдений в Томске сохранялась воздушная масса умеренных широт с небольшими отрицательными температурами воздуха при среднем значении $-7,6^\circ\text{C}$.

Отмеченные на рис. 2 и 3 тенденции не обнаруживаются для грубодисперсной фракции частиц, что, возможно, является следствием различных физических механизмов формирования этих фракций.

Авторы выражают признательность д.ф.-м.н. Б.Д. Белану за любезно предоставленный экспериментальный материал по метеоданным и анализу синоптической ситуации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований: проект 94-05-1643-а.

1. Ужegov В.Н., Пхалагов Ю.А., Щелканов Н.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. №8. С. 1067-1076.

2. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Щелканов Н.Н. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. №6. С. 667-671.

3. Зуев В.Е., Наец И.Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1982. 240 с.

Институт оптики атмосферы
СО РАН, г.Томск

Поступила в редакцию
25 июля 1994 г.

E.V. Makienko, Ju.A. Pkhalagov, R.F. Rakhimov, V.N. Uzhegov, N.N. Shchelkanov. **Time History of Optically Dense Winter Hazes Studied Using the Inversion of Measured Values of the Atmosphere Spectral Transparency.**

Temporal transformation of size spectrum of particles of submicron and coarse-dispersed aerosol fractions during the process of formation and development of the optically dense winter haze is studied in the papers. The results are obtained from solution of an inverse problem using data of experimental measurement of spectral dependence of aerosol extinction coefficient within the wavelengths range 0,44 to 3,9 μm . The temporal behaviour of the air vapour pressure is shown to correspond to dynamics of main integral characteristics of the aerosol accumulative fraction microstructure, i.e. total geometrical cross section, countable and volume concentrations of particles at high values (more than 95%) of relative humidity being invariant during the process. A synchronism was observed therewith in the change of the modal radius and a halfwidth of function of size distribution density of particles of accumulative fraction.