

## РАССЕЯНИЕ И ПЕРЕНОС ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ И ОКЕАНЕ

УДК 510.551.42

Р.Ф. Рахимов, В.С. Козлов

### МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДЫМОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИАГРАММНОГО АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СВЕТОРАССЕЯНИЯ

Методом диаграммного сопоставления результатов поляризационных измерений параметров аэрозольного светорассеяния с данными модельных оценок рассмотрена динамика микроструктурных изменений дымов пиролизной генерации при их релаксации в замкнутом объеме. По результатам анализа экспериментальных данных отмечены характерные особенности трансформации дисперсного состава пиролизных дымов на различных диапазонах спектра размеров. Установлено, что плотность задымления при дымообразовании является масштабирующим фактором в формировании оптико-микрофизических характеристик дыма. Динамика параметров микродисперсной фракции воспроизводит типичное коагуляционное изменение спектра со сдвигом модального радиуса от значения  $r_{1m}^{(3)} = 0,042$  мкм на начальном этапе измерений в сторону укрупнения до  $r_{1m}^{(3)} = 0,075$  мкм – в течение 2 ч. При этом для грубодисперсной фракции характерно существенное уменьшение как счетной, так и объемной концентраций, при небольшом сдвиге модального радиуса  $r_{3m}^{(3)}$  от 1,09 до 0,869 мкм и относительном сужении моды распределения. Последнее может быть связано с увеличением компактности морфологической структуры крупных дымовых частиц. Процесс осаждения на стенки камеры крупных частиц преобладает над процессами их коагуляционного укрупнения, чем и вызвано заметное снижение счетной концентрации частиц в этом диапазоне.

#### Введение

При воздействии различных атмосферных процессов на состояние аэрозольной компоненты происходит, как правило, одновременное изменение сразу нескольких микрофизических характеристик, и интервал их изменения иногда столь широк, что для анализа самого механизма воздействия использованы только одной параметрической зависимости во многих случаях явно недостаточно. В связи с этим решение обратной задачи диагностирования микроструктурных изменений аэрозольной фазы в условиях, когда изменению одновременно подвержены и спектр размеров частиц и оптические постоянные их материала, сильно усложняется. Причем при переходе от одного интервала размеров к другому обычно обнаруживается определенная специфика формирования морфологии и химического состава частиц, т.е. показатель преломления частиц может иметь разный темп изменения для подфракций внутри спектра размеров. Поэтому для изучения реального механизма воздействия того или иного фактора, определяющего процесс формирования аэрозольной компоненты в атмосфере, необходимы данные оптических измерений, подобранные таким образом, чтобы они в своем сочетании содержали как можно более концентрированную информацию по указанному комплексу микроструктурных изменений.

Примерно такая же ситуация возникает при изучении аэрозолей, генерируемых в результате термического разложения древесины и других горючих материалов, т.е. процессов, определяющих образование так называемых дымовых аэрозолей. По оценкам Ньюберга [1], при среднем лесном пожаре с 1 га в атмосферу поступает около  $10^{22}$ – $10^{23}$  мелких частиц.

При ослаблении обменных процессов в нижнем тропосферном слое интенсивные лесные пожары могут способствовать возникновению локальных аномалий накопления аэрозолей в атмосфере с относительно высоким содержанием тонкодисперсной фракции. Одной из ярких иллюстраций тому может служить зафиксированная над обширной территорией Западной Сибири в октябре 1997 г. «дымная мгла» как аномальное повышение мутности атмосферы [2].

Оценивая возможности наиболее практикуемых методов интерпретации результатов оптических измерений на основе решения обратной задачи аэрозольного светорассеяния, можно говорить лишь о поиске приближенного решения, которое позволяет оптимизировать данные оптических измерений на заведомо упрощенном классе микроструктурных моделей аэрозоля. Так, например, использование для диагностики микроструктурных изменений дымовых аэрозолей модельной концепции, не учитывающей ни физико-химическую разнородность фракций, ни морфологическое разнообразие, ни независимую динамику спектра размеров и оптических постоянных частиц различных фракций аэрозолей, явно недостаточно, так как она заметно искажает реальную картину физических процессов, протекающих в составе дымовых образований.

Нами апробирован несколько иной подход к изучению динамики формирования микроструктуры дымовых аэрозолей. Ранее в [3, 4] на основе изучения оптических диаграмм взаимной динамики параметров аэрозольного светорассеяния были получены количественные оценки интервала изменчивости некоторых микроструктурных характеристик пиролизных дымов в приближении унимодальной формы распределения аэрозольных частиц по размерам.

В настоящей работе метод диаграммного анализа характеристик светорассеяния использован в более сложной постановке теоретических оценок и получил дальнейшее развитие. В основу используемых модельных оценок положен метод пофракционного редуцированного определения динамики формирования спектра размеров дымовых аэрозолей. Анализ микроструктурных изменений дымов проводился на основе сопоставления диаграмм взаимного изменения параметров светорассеяния, полученных по результатам поляризационной нефелометрии аэрозолей пиролизной генерации, с аналогичными данными, рассчитанными для многокомпонентной полидисперсной смеси. Причем при моделировании теоретических данных контролировались как изменение отдельных параметров спектра размеров частиц выделенных фракций, так и динамика интегральных признаков элементов дисперсной структуры.

### Постановка эксперимента

В качестве исходной экспериментальной информации были использованы результаты поляризационных измерений индикатрис рассеяния древесных дымов, полученные в контролируемых условиях с помощью поляризационного нефелометра на длине волны  $\lambda = 0,63$  мкм [3]. Дымовой аэрозоль генерировался методом пиролиза, т.е. в режиме «тления» (при  $T \sim 400\text{--}500$  °С) образца древесины в нагревательном элементе, без пламени. В результате низкотемпературного разложения древесного образца частицы дыма заполняли аэрозольную кювету нефелометра объемом  $0,1$  м<sup>3</sup>. Процесс образования дымовых аэрозолей и эволюции их микроструктуры исследовался в кювете при относительной влажности воздуха 30–40% и температуре  $\sim 20$  °С. В ходе эксперимента с помощью нефелометра (в интервале углов рассеяния  $\theta = 5\text{--}170^\circ$ ) со средней относительной погрешностью 5–10% последовательно измерялись ортогонально поляризованные компоненты индикатрисы светорассеяния  $g_1(\theta)$  и  $g_2(\theta)$ . Время измерения одной поляризационной индикатрисы составляло около 3 мин.

По результатам регистрации поляризационных компонент индикатрисы рассчитывались угловые зависимости индикатрисы рассеяния неполяризованного излучения (коэффициент направленного светорассеяния)  $g(\theta) = (g_1(\theta) + g_2(\theta))/2$  и степень линейной поляризации рассеянного света  $p(\theta) = (g_1(\theta) - g_2(\theta))/(g_1(\theta) + g_2(\theta))$ .

Для анализа микроструктурных изменений пиролизных дымов были изучены (в различных парных сочетаниях) диаграммы взаимной динамики следующих параметров аэрозольного светорассеяния:

– коэффициента асимметрии  $K_a$  индикатрисы рассеяния  $g(\theta)$ , равного отношению световых потоков рассеянного излучения в переднюю и заднюю полусферы,

– степени поляризации под углами  $\theta = 110$  и  $165^\circ$ , обозначенных соответственно  $P_1$  и  $P_2$ ,

– отношений  $A_s = g(15^\circ)/g(110^\circ)$ ,  $D_s = g(165^\circ)/g(110^\circ)$ , характеризующих степень вытянутости индикатрисы рассеяния вперед и назад.

Выбор указанных параметров обусловлен как многочисленными теоретическими оценками [4–6] для аэрозольных образований типа атмосферная дымка, так и содержанием эмпирически установленной однопараметрической модели [7, 8]. Из них следует, что параметры  $A_s$  и  $D_s$ , по сути, представляют отношение значений индикатрисы рассеяния, обнаруживающих максимальную динамику колебаний при изменении мутности атмосферы, и одновременно обладают повышенной чувствительностью к вариациям параметров элементов дисперсной структуры и оптических постоянных частиц разных фракций.

Значения степени поляризации под углом  $\theta = 100^\circ$  весьма критичны к изменениям спектра размеров как микродисперсной, так и аккумулятивной фракции (ширины моды распределения и модального радиуса), а также к взаимной динамике их интегральных признаков микроструктуры. Значения  $P_2$ , как и коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния  $K_a$ , чувствительны к распределению по размерам и показателю преломления средне- и грубодисперсной фракций дымки, тогда как параметр  $D_s$  весьма критичен к выбору модельного значения комплексного показателя преломления (КПП) частиц, особенно к мнимой части («пологий» тип индикатрис для сильно поглощающих частиц [3, 5, 6]). Подобранные таким образом параметры в различных парных сочетаниях позволяют, как показывают дальнейшие модельные оценки, проследить достаточно тонкие микрофизические изменения структуры дымовых аэрозолей.

### Результаты работы

Для анализа результатов наблюдений использовано всего шесть типов диаграмм (рис. 1–3), обобщающих фактически около 500 экспериментально полученных угловых зависимостей индикатрис рассеяния и степени поляризации [3]. Предварительный анализ экспериментальных данных позволяет констатировать, что для индикатрисы рассеяния характерны значительные вариации параметров вытянутости вперед и назад. Угловые зависимости степени поляризации изменяются по форме от кривых с максимумом положительной поляризации при  $\theta = 100^\circ$  до появления двух экстремумов или одного глубокого максимума отрицательной поляризации при  $\theta = 150\text{--}160^\circ$ . Сопоставление оптических характеристик дымов с расчетными данными для некоторых основных типов атмосферного аэрозоля показало, что по особенностям формы и диапазону вариаций дымки имеют значительное сходство с атмосферными дымками (рис. 4).

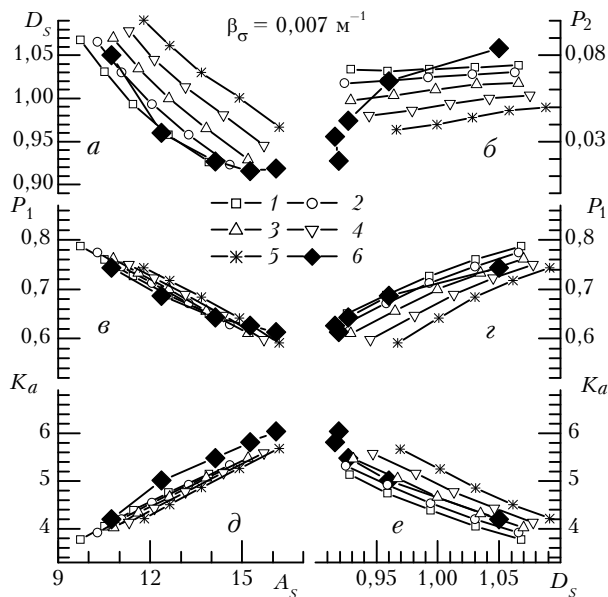


Рис. 1. Диаграммы взаимного изменения параметров светорассеяния: б – по результатам поляризационных измерений для плотности задымления дымовой камеры:  $\beta_\sigma = 0,007 \text{ м}^{-1}$ ; 1–5 – расчетные данные при различных значениях микроструктурных параметров

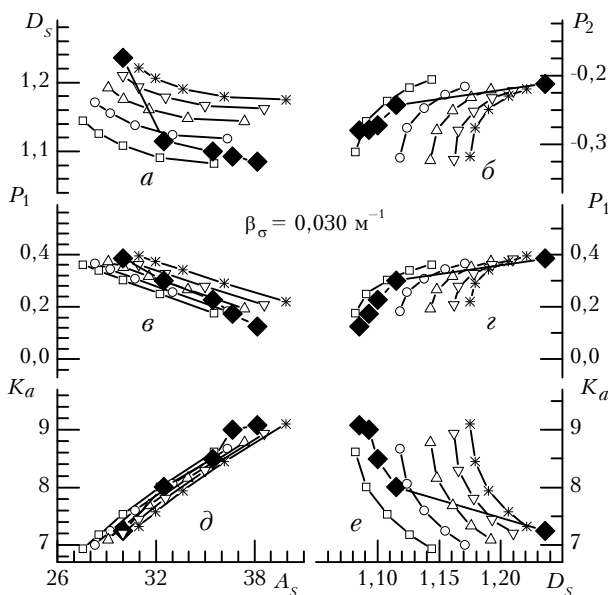


Рис. 2. Диаграммы взаимного изменения параметров светорассеяния: б – по результатам поляризационных измерений для плотности задымления дымовой камеры:  $\beta_\sigma = 0,030 \text{ м}^{-1}$ ; 1–5 – расчетные данные

Для диаграммного анализа экспериментальных данных использовались численные оценки параметров аэрозольного светорассеяния, полученные на основе трехфракционной модели спектра размеров [5]:

$$f(r) = \frac{dN}{dr} = \frac{\nu(r)}{4\pi r^3} = A^{(\nu)} r^{-\nu} \sum_{i=1}^k M_i^{(\nu)} \exp \{-b_i [\ln(r/r_i^{(\nu)})]^2\}. \quad (1)$$

Причем при формировании расчетных диаграмм параметры формы индикатрисы рассеяния и степени

поляризации оценивались, используя независимое для каждой фракции множество значений КПП. Таким образом, помимо девяти параметров спектра размеров (1) было использовано еще шесть входных параметров по показателю преломления. При этом для сужения количества возможных вариантов модальных оценок удалось реализовать принцип однонаправленности изменения микроструктурных параметров отдельно выбранной фракции.

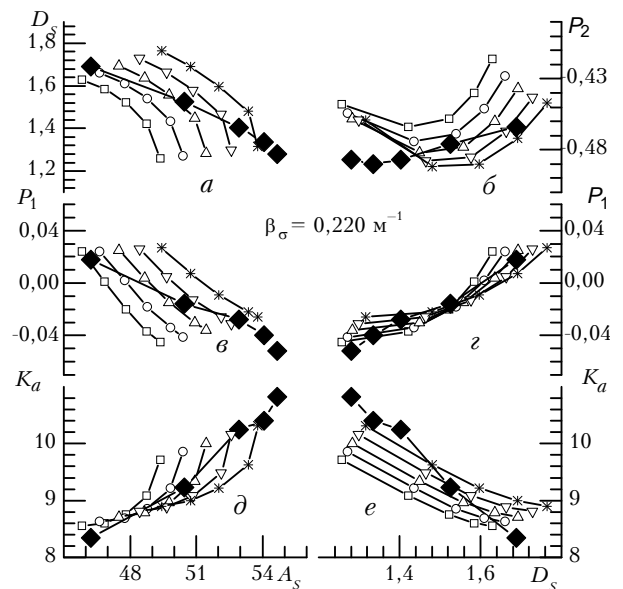


Рис. 3. Диаграммы взаимного изменения параметров светорассеяния: б – по результатам поляризационных измерений для плотности задымления дымовой камеры:  $\beta_\sigma = 0,220 \text{ м}^{-1}$ ; 1–5 – расчетные данные

Для тонкодисперсной фракции ( $i = 1$ ) в качестве рабочей гипотезы – первопричины согласованной динамики изменения модального радиуса и ширины моды распределения – рассматривался процесс коагуляционной трансформации дисперсной структуры. Динамика указанных параметров спектра размеров данной фракции практически полностью совпала с динамикой этих величин, которая была выявлена ранее на основе специально разработанной методики редуцированного моделирования коагуляционной трансформации спектра [9], т.е. исходя из системы дифференциальных уравнений для интегральных признаков спектра размеров данной фракции:

$$\frac{dN_i}{dt} = -\frac{K}{2} N_i^2 - \beta N_i + \gamma N_j, \quad (2)$$

$$\frac{dL_i}{dt} = -\beta L_i + \gamma L_j, \quad (3)$$

$$\frac{dW_i}{dt} = -\frac{K}{\pi} L_i^2 - \beta W_i + \gamma W_j, \quad (4)$$

где  $L_i$  и  $W_i$  – соответственно второй и третий моменты спектра размеров частиц данной моды распределения;  $K$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – константа броуновской коагуляции и

коэффициенты, определяющие эффективность стока частиц на стенки камеры и пополнения данного диапазона частиц в результате их «перекачки» из соседнего диапазона размеров.

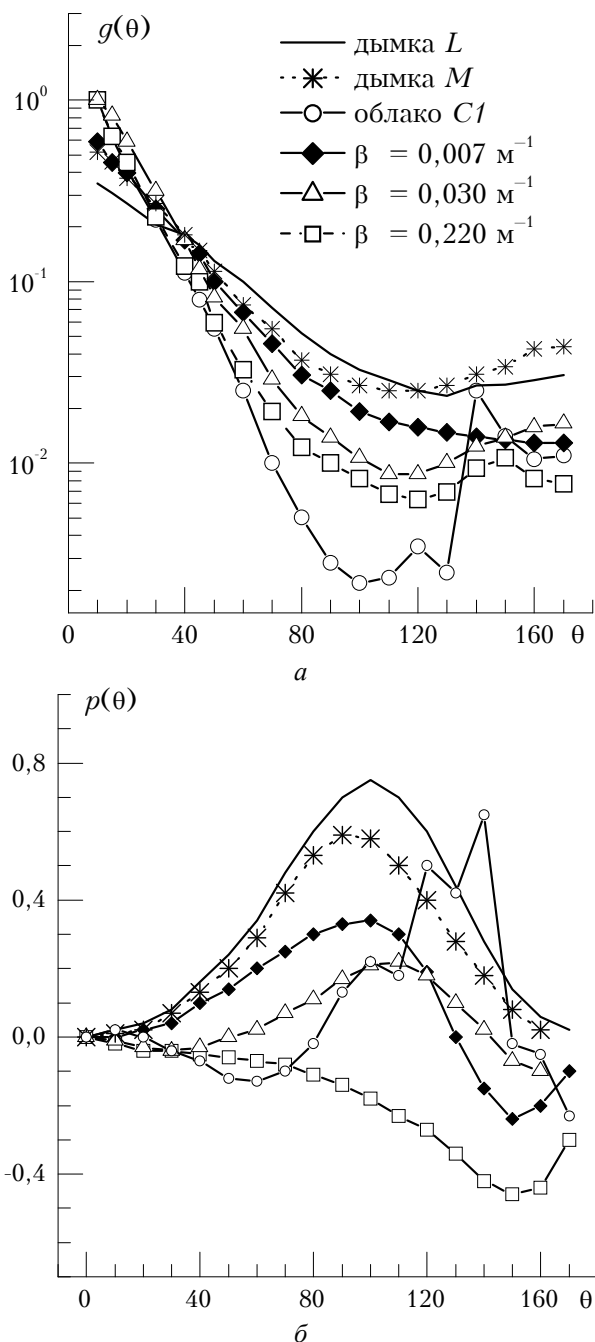


Рис. 4. Изменение формы индикатрисы рассеяния (а) и угловой зависимости степени поляризации (б) в зависимости от плотности задымления дымовой камеры:  $\beta_{\sigma} = 0,007, 0,030, 0,220 \text{ м}^{-1}$  в сравнении с расчетными данными для аэрозольных дымок  $M$  и  $L$ , а также облака  $C1$

Поскольку данный анализ опирался на результаты поляризационных измерений, полученные на втором этапе развития дымов, условно именуемом этапом «старения», когда непосредственное воздейст-

вие источника пиролизной генерации уже завершилось полным разложением исследуемого образца древесины, коэффициент  $\gamma$  фактически полагался равным нулю. В этом случае решение системы уравнений (2)–(4) определяло поведение дисперсной системы в отсутствие источника:

$$N_i(t) = 2\beta N_{i0} / [(KN_{i0} + 2\beta) \exp(2\beta t) - KN_{i0}], \quad (5)$$

$$L_i = L_{i0} \exp(-\beta t), \quad (6)$$

$$W_i(t) = \left\{ W_{i0} - \frac{KL_{i0}^2}{\pi\beta} [\exp(-\beta t) - 1] \right\} \exp(-\beta t). \quad (7)$$

Зная динамику интегральных признаков изменения спектра размеров тонкодисперсной фракции, нетрудно оценить динамику модального радиуса и ширины моды распределения.

Методика моделирования, апробированная в [5, 6], и полученные на ее основе результаты показали, что моделирование коагуляционной трансформации в предположении плотной объемной упаковки коагулирующих частиц достаточно близко воспроизводит динамику микроструктурных параметров для тонкодисперсной фракции и несколько расходится с динамикой реальных процессов, регулирующих дисперсный состав второй и третьей фракций.

При моделировании динамики трансформации грубодисперсной фракции ( $i = 3$ ) в качестве основного фактора рассматривался процесс их стока на стенки камеры. Последующие оценки показали, что активный сток дымовых частиц на стенки камеры был характерен и для среднедисперсной фракции ( $i = 2$ ).

Поляризационные измерения позволили рассмотреть особенности трансформации оптико-микрофизических свойств при старении дымового аэрозоля в зависимости от плотности задымления воздуха. При увеличении массы сжигаемого материала от 3 до 20 мг коэффициент рассеяния  $\beta_{\sigma}$  возрос от 0,006 до 0,3  $\text{м}^{-1}$ . Установлено, что плотность задымления при дымообразовании является важным масштабирующим фактором в формировании оптико-микрофизических параметров дыма. Наиболее устойчивой закономерностью «старения» пиролизного дыма является увеличение коэффициента асимметрии индикатрисы и ее вытянутости вперед при одновременном уменьшении эффективности светорассеяния в направлении назад.

В результате многократных численных экспериментов удалось установить окрестность взаимно непротиворечивой динамики микроструктурных и оптических характеристик и достигнуть их приемлемого соответствия результатам поляризационных измерений (см. рис. 1–3). Одновременно удалось выявить и интервал изменения показателя преломления частиц всех трех фракций (реальной части в интервале от 1,690 до 1,520 и мнимой в интервале от -0,12 до -0,004) и динамику изменения их спектра размеров (рис. 5).

Из анализа расчетных данных обнаружилась неоднозначная динамика развития спектра размеров фракций, существенно зависящая от массы образца древесины, использованного для пиролизного разложения.

Согласно расчетным данным модальный радиус частиц микродисперсной фракции в процессе «старения» дыма возрастает от  $r_{1m}^{(3)} = 0,042$  до  $0,075$  мкм. В

свою очередь, для грубодисперсной фракции динамика распределения частиц по размерам характеризуется существенным уменьшением как счетной, так и объемной концентраций, при небольшом сдвиге модального радиуса  $r_{3m}^{(3)}$  от  $1,09$  до  $0,869$  мкм и относительном сужении моды распределения. Последнее может быть связано с увеличением компактности морфологической структуры крупных дымовых частиц.

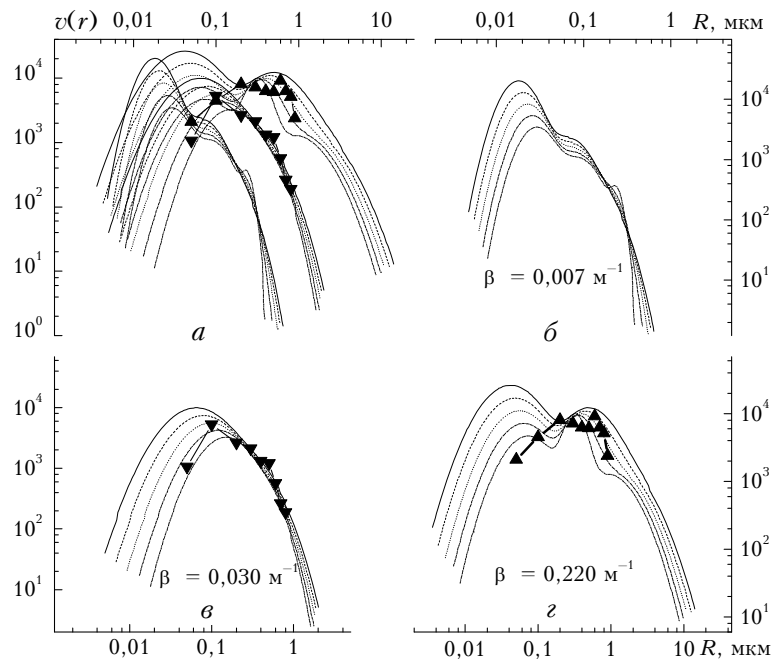


Рис. 5. Динамика изменения спектра размеров частиц дымовых аэрозолей: при различной плотности задымления дымовой камеры: а – взаимное сопоставление трех вариантов  $\beta_\sigma = 0,007, 0,030, 0,220 \text{ м}^{-1}$ ; б – для  $\beta_\sigma = 0,007 \text{ м}^{-1}$ ; в – для  $\beta_\sigma = 0,030 \text{ м}^{-1}$ ; г – для  $\beta_\sigma = 0,220 \text{ м}^{-1}$ ; в сравнении с данными ( $\blacktriangle, \blacktriangle$ ); полученными в [10], для решения обратной задачи использованы значения индикатрисы светорассеяния

Аналогичную динамику имеет спектр размеров среднелдисперсной фракции. В частности, при значительном сокращении концентрации исходных частиц (см. рис. 5, б–г), модальный радиус  $r_{2m}^{(3)}$  уменьшается от  $0,488$  до  $0,320$  мкм. Кроме того, наблюдается еще более существенное сужение спектра, в результате чего формируется достаточно узкая мода распределения среднелдисперсной фракции (рис. 5, г). Процесс осаждения на стенки камеры в данном случае преобладает над процессами коагуляционного повышения концентрации крупных частиц, поэтому в этой области спектра во всех трех рассмотренных случаях мода распределения со временем постепенно сужается (см. рис. 5).

Обращает на себя внимание тот факт, что оптические постоянные частиц пиролизной генерации, изменяясь в течение процесса «старения» дыма от значений  $m_d \sim 1,69 - i 0,2$  в начале до  $1,52 - i 0,002$  в конце цикла измерений, существенно отличаются от аналогичных данных для сажи  $m_c \sim 1,87 - i 0,79$ , как по реальной, так и по мнимой частям комплексного показателя преломления.

Причем, согласно полученным оценкам, при малом количестве древесины в образце ( $\beta_\sigma = 0,007 \text{ м}^{-1}$ ), разлагаемом путем пиролиза, интервал изменения показателя преломления сдвигается к значениям  $m_c$ , а именно от  $m_d \sim 1,69 - i 0,2$  до  $m_d \sim 1,59 - i 0,04$ . Во втором случае при  $\beta_\sigma = 0,03 \text{ м}^{-1}$  отличие от сажи наиболее существенное: от  $m_d \sim 1,57 - i 0,01$  до  $m_d \sim 1,52 - i 0,002$ . В третьем случае, когда  $\beta_\sigma$  достигло значения  $0,22 \text{ м}^{-1}$ , оценки по методу диаграмм дали промежуточные значения показателя преломления  $m_d$  между первым и вторым случаем: примерно от  $1,59 - i 0,02$  до  $1,57 - i 0,002$  с относительно слабой динамикой по времени.

### Заключение

Развиваемый подход, хотя и не обладает пока необходимой строгостью для однозначной трактовки полученных результатов, тем не менее позволяет оценить реальную сложность кинетики неравновесных микропроцессов, протекающих в дымах, и обозначить ряд вопросов, решение которых необходимо для после-

дующего анализа и априорной диагностики оптико-микрофизических свойств дымовых аэрозолей.

Достоинством предлагаемого подхода является то, что он позволяет проводить анализ процесса для нескольких гипотез относительно механизма коагуляционного объединения аэрозольных частиц в одну, поскольку вопрос о компактности морфологической структуры коагулянтов, согласно полученным в работе результатам, действительно актуален. Гипотезы об инвариантности суммарного объема и интегрального линейного размера дисперсной системы являются крайними вариантами среди множества вариантов упаковки. Хотя последняя версия может показаться на первый взгляд маловероятной, так как предполагает рост интегрального объема аэрозольной фазы, однако не может быть отброшена, поскольку аэрозоли в реальной атмосфере постоянно погружены в водяной пар, содержание которого по массе на несколько порядков превосходит аэрозольную фазу. Образование микрокапилляров при взаимном сцеплении не может не стимулировать процесс гетерогенной микропорной конденсации влаги, обеспечивая тем самым и увеличение массы аэрозольной компоненты. Столь же актуален для исследования вопрос о дальнейшем развитии морфологии коагулянтов, их постепенном спекании из рыхлых агрегатов в плотную упаковку. О некоторых признаках в пользу такого процесса свидетельствует динамика параметров спектра средне- и грубодисперсной фракций (см. рис. 5, *з*), что, на наш взгляд, заслуживает особого внимания и может стать предметом дальнейших исследований.

По-видимому, выявленное различие в динамике изменения оптических постоянных аэрозольных час-

тиц первичной и вторичной генерации обусловлено не только неоднозначностью гигроскопических свойств, но также и морфологической спецификой взаимодействия фракций с полем влажности.

1. *Химия* нижней атмосферы // Под ред. С. Расула. М.: Мир, 1976. 408 с.
2. Пхалагов Ю.А., Ужegov В.Н., Щелканов Н.Н. Анализ временного хода оптических характеристик атмосферы в районе г. Томска // Аэрозоли Сибири. IV Заседание рабочей группы (Тезисы докл.). 25–28 ноября, 1997. С. 40–41.
3. Козлов В.С. Экспериментальные исследования оптико-микрофизических свойств дымовых аэрозолей: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: ИОА СО АН СССР, 1985.
4. Козлов В.С., Фадеев В.Я. О взаимосвязи оптических и микрофизических характеристик полидисперсных частиц с логнормальным распределением по размерам // II Всесоюзное совещание по атмосферной оптике. Томск, 1980. Ч. 1. С. 38–41.
5. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптические модели атмосферного аэрозоля. Томск: ТФ СО АН СССР, 1986. 295 с.
6. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 200 с.
7. Кабанов М.В., Панченко М.В., Пхалагов Ю.А. и др. Оптические свойства прибрежных атмосферных дымок. Новосибирск: Наука, 1988. 202 с.
8. Креков Г.М., Панченко М.В., Рахимов Р.Ф. К вопросу о среднестатистической изменчивости угловых характеристик аэрозольного светорассеяния // VII Всесоюзный симпозиум по лазерному и акустическому зондированию атмосферы. Томск, 1982. Ч. 1. С. 127–130.
9. Рахимов Р.Ф. К вопросу о коагуляционной трансформации оптико-микрофизических свойств дымовых аэрозолей // Оптика атмосферы. 1989. Т. 2. № 3. С. 259–266.
10. Веретенников В.В., Наац И.Э., Козлов В.С., Фадеев В.Я. К определению оптических постоянных и микроструктуры дымовых аэрозолей из поляризационных измерений // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1980. Т. 16. № 3. С. 270–276.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
16 января 1998 г.

*R.F. Rakhimov, V.S. Kozlov. Microstructural Variations of Smokes from Analysis of Diagrams of Light-Scattering Parameters.*

The dynamics of microstructural variations of smokes of pyrolysis origin under their relaxation inside a closed volume is studied using the method of comparison of diagrams of polarization measurements of the aerosol light scattering parameters with the data of model estimates. The peculiarities of transformation of the pyrolysis smokes dispersion composition within different size spectral ranges have been found from the analysis of the experimental data. The smoke content at the smoke generation is shown to be a scaling factor in formation of its optical-microphysical characteristics. The dynamics of parameters of microdispersion fraction demonstrates typically coagulative variability of the spectrum modal radius  $r_{1m}^{(3)}$  shifting from 0.042  $\mu\text{m}$  in the beginning of the measurements to 0.075  $\mu\text{m}$  for two hours. The coarse fraction therewith is characterized by significant decrease of number and volume concentration at small shifting of the modal radius from 1.09 to 0.869  $\mu\text{m}$  and relative narrowing of distribution mode. The latter may be attributed to an increase of the morphological structure compactness of the coarse smoke particles. The process of such particles sedimentation on the chamber walls dominates over their coagulation causing noticeable decrease of the particles number concentration in this region.