

Р.Ф. Рахимов, В.С. Козлов, М.В. Панченко, А.Г. Тумаков, В.П. Шмаргунов

Микроструктурные изменения дымовых аэрозолей в замкнутом объеме

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 28.12.2000 г.

На основе диаграммного сопоставления результатов поляризационных измерений параметров аэрозольного светорассеяния с данными модельных оценок рассмотрена динамика микроструктурных изменений дымов пиролизной генерации при их выстаивании в замкнутом объеме. По результатам анализа экспериментальных данных обсуждаются характерные особенности трансформации дисперсной структуры дымовых аэрозолей на различных диапазонах спектра размеров.

Введение

Многочисленные природные и антропогенные процессы, ведущие к термическому разложению и возгонке различных материалов, генерируют в атмосферу большое количество микродисперсных аэрозолей и аэрозольобразующих соединений, которые активно участвуют в формировании дисперсной компоненты в глобальном масштабе и воздействуют на радиационные и оптические свойства, а также экологическое состояние среды. В статье анализируются результаты оптических измерений, полученные методами поляризационной нефелометрии с целью исследования динамики микроструктурных изменений дымов при их выстаивании в замкнутом объеме.

Дымовой аэрозоль генерировался в результате низкотемпературного термического разложения древесных материалов, т.е. в режиме пиролиза. Процесс формирования дисперсного состава дымовых аэрозолей исследовался в кювете при относительной влажности воздуха 30–40% и температуре ~20 °С. Частицы дыма заполняли аэрозольную кювету нефелометра объемом 0,1 м³. С помощью нефелометра последовательно измерялись на длине волны 0,63 мкм ортогонально поляризованные компоненты индикатрисы светорассеяния $g_1(\theta)$ и $g_2(\theta)$ в интервале углов рассеяния $\theta = 5 \div 170^\circ$. Время измерения одной поляризационной индикатрисы составляло около 3 мин, относительная погрешность 5–10%.

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:

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

– значения степени поляризации под углами $\theta = 110$ и 165° , обозначенные соответственно P_{110} и P_{165} , а также отношения $A_s = g(15^\circ)/g(110^\circ)$, $D_s = g(165^\circ)/g(110^\circ)$, характеризующие степень вытянутости индикатрисы рассеяния вперед и назад.

Диаграммный подход к анализу результатов измерений параметров аэрозольного светорассеяния имеет достаточно длительную предысторию [1–4]. Основу метода определяет принцип минимизации нормы отклонения по выбранной совокупности параметров аэрозольного светорассеяния, теоретически рассчитанных и экспериментально измеренных. Выбор указанных параметров обусловлен как многочисленными экспериментальными и теоретическими оценками [1–6] для аэрозольных образований типа атмосферная дымка, так и содержанием эмпирически установленной однопараметрической модели [7]. Параметры A_s и D_s , по сути, представляют собой отношение значений индикатрисы рассеяния, обнаруживающих максимальную динамику колебаний при изменении мутности атмосферы, и одновременно обладают повышенной чувствительностью к вариациям дисперсной структуры и оптических постоянных частиц разных фракций.

Значения степени поляризации под углом $\theta = 110^\circ$ весьма критичны к изменениям спектра размеров как микродисперсной, так и аккумулятивной фракций (ширины мод распределения и модалные радиусы), а также к взаимной динамике их интегральных признаков микроструктуры. Значения P_{165} , 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 [4]). Значения показателя преломления также важны для адекватной модельной оценки вытянутости индикатрисы рассеяния вперед. Подобранные таким образом указанные выше параметры светорассеяния в различных парных сочета-

ниях позволяют, как показывают последующие модельные оценки, проследить достаточно тонкие изменения микроструктуры дымовых аэрозолей.

Результаты работы

Несмотря на значительный разброс исходных параметров эксперимента, анализ результатов показывает, что в изменении микроструктуры дымовых частиц проявляется ряд устойчивых закономерностей, которые зависят от эффективности процесса задымления воздуха, а именно от достигаемого уровня концентрации частиц на различных интервалах шкалы размеров. Последнее предопределяет интенсивность коагуляционной трансформации и сухого осаждения дымовых частиц на стенки камеры.

Для анализа результатов наблюдений использовано шесть типов диаграмм, обобщающих фактически около пятисот экспериментально полученных угловых зависимостей индикатрис рассеяния и степени поляризации [4, 5]. Сопоставление оптических характеристик дымов с расчетными данными для некоторых основных типов атмосферного аэрозоля показало, что по особенностям формы и диапазону вариаций дымы имеют значительное сходство с атмосферными дымками.

Для диаграммного анализа экспериментальных данных использовались численные оценки параметров аэрозольного светорассеяния, полученные на основе трехфракционной модели спектра размеров [6, 7]:

$$n(r) = \frac{dN}{dr} = Ar^{-3} \sum_{i=1}^3 M_i \exp \{-b_i [\ln(r/r_{mi})]^2\}. \quad (1)$$

Причем при сопоставлении модельных данных с некоторыми результатами измерений потребовалась гипотеза о независимом изменении значений КПП для каждой фракции. При модельной имитации динамики изменения микроструктурных параметров распределения (1) авторы руководствовались рабочими гипотезами, вытекающими из результатов прямого моделирования. Так, например, для тонкодисперсной фракции ($i = 1$) в качестве основной рабочей гипотезы – первопричины согласованной динамики изменения модального радиуса и ширины моды распределения – вполне естественно рассматривался процесс коагуляционной трансформации дисперсной структуры, который постоянно сопутствует всем другим процессам, определяющим формирование спектра размеров дымовых аэрозолей, особенно в закрытых объемах.

На рис. 1 представлена диаграмма взаимного изменения параметров, характеризующих степень вытянутости индикатрисы рассеяния назад D_s и вперед A_s по результатам измерения в дымовых аэрозолях (кривая б) и модельным оценкам (1–5). Изменение положения точек на диаграмме вдоль кривых (1–5) обусловлено изменениями дисперсной структуры аэрозольных частиц, в то время как от одной кривой к другой – вариациями показателя преломления, который для данной реализации изменялся единообразно для всех трех фракций. Таким образом, как нетрудно видеть из сопоставления модельных данных и результатов измерения при выстаивании дымовых аэрозолей в замкнутом объеме, происходят заметные изменения как дисперсного состава, так и показателя преломления. Приведенная диаграмма позволяет не только определить интервал изменения микроструктурных параметров, но и получить информацию о тенденциях изменения на различных этапах развития микроструктуры дыма.

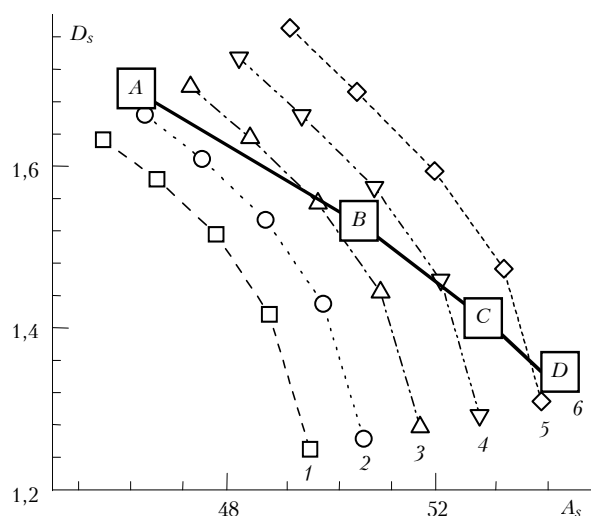


Рис. 1. Диаграммы взаимного изменения параметров, определяющих вытянутости индикатрисы рассеяния назад D_s и вперед A_s . Расчетные данные в сопоставлении с экспериментальными для коэффициента ослабления $\beta_0 = 0,220 \text{ м}^{-1}$ и различных значений показателя преломления: \square – $m_1 = 1,595 - i \cdot 0,018$; \circ – $m_2 = 1,587 - i \cdot 0,017$; \triangle – $m_3 = 1,580 - i \cdot 0,016$; ∇ – $m_4 = 1,572 - i \cdot 0,015$; \diamond – $m_5 = 1,565 - i \cdot 0,014$; A, B, C, D – эксперимент

С помощью тех же исходных гипотез относительно динамики микрофизических параметров дымов была рассмотрена диаграмма взаимного изменения степени поляризации рассеянного излучения P_{110} и степени вытянутости индикатрисы рассеяния дымовых аэрозолей вперед A_s (рис. 2). В целом выводы по интервалу изменения дисперсной структуры и показателя преломления, которые следуют из рис. 2, совпадают с выводами, вытекающими из анализа рис. 1. Некоторые несовпадения в тенденциях взаимного изменения микроструктурных параметров вполне приемлемы, поскольку могут быть обусловлены аппаратурной погрешностью регистрации анализируемых величин в эксперименте.

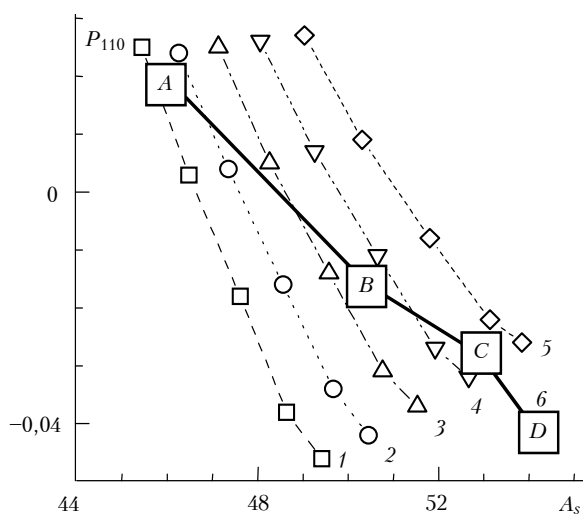


Рис. 2. Диаграммы взаимного изменения степени поляризации P_{110} по углом $\theta = 110^\circ$ и вытянутости индикатрисы рассеяния вперед A_s . Расчетные данные в сопоставлении с экспериментальными (обозначения те же, что и на рис. 1)

Реалистичность выдвинутых гипотез относительно микроструктурных изменений дымов подтверждается и по диаграммам взаимной динамики коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния K_a и ее вытянутости вперед A_s (рис. 3) и ее вытянутости назад D_s (рис. 4).

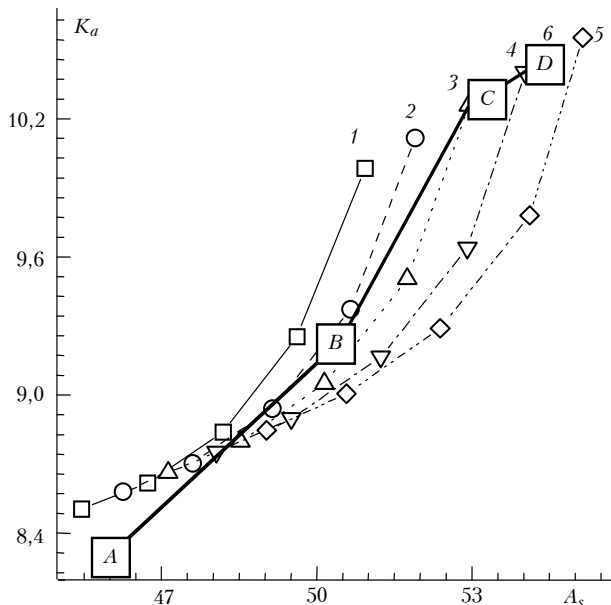


Рис. 3. Диаграммы взаимного изменения коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния K_a и вытянутости индикатрисы вперед A_s . Расчетные данные в сопоставлении с экспериментальными (обозначения те же, что и на рис. 1)

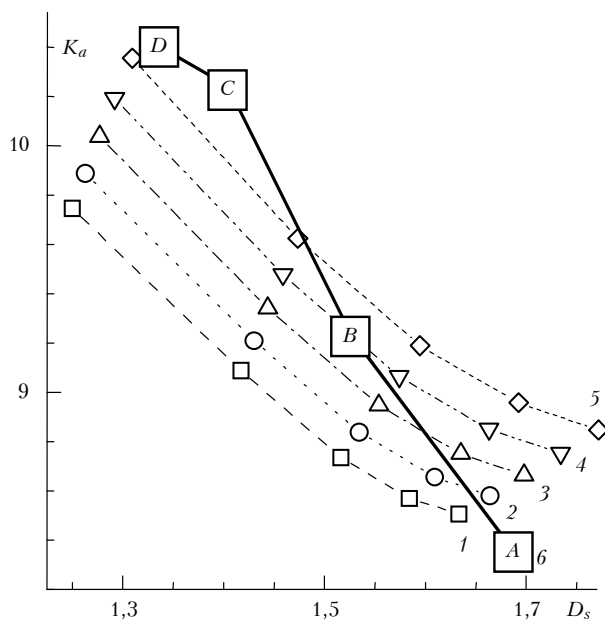


Рис. 4. Диаграммы взаимного изменения коэффициента асимметрии индикатрисы рассеяния K_a и вытянутости индикатрисы назад D_s . Расчетные данные в сопоставлении с экспериментальными (обозначения те же, что и на рис. 1)

Некоторые несоответствия взаимного расположения экспериментальных данных относительно модельных, представленных на рис. 1 и 4, обусловлены, с одной стороны, более сложной методикой определения коэффициента

асимметрии индикатрисы рассеяния K_a – неполнотой исходной информации относительно светорассеяния в области ореола и вблизи локационных углов $\vartheta = 180^\circ$, а с другой – сферической идеализацией формы и микроструктуры дымовых частиц в расчетной модели. Хорошо известно, что диаграмма светорассеяния сферических частиц в области углов $\theta = 80-110^\circ$ (бокового рассеяния) имеет более заниженные значения, чем для несферических. Тем не менее можно констатировать, что результаты диаграммного сравнения модельных оценок и данных измерений (см. рис. 1–4) дают весомые основания для конкретных качественных и количественных выводов относительно микроструктурных изменений дымовых аэрозолей при их «старении» в замкнутом объеме.

В частности, можно уверенно утверждать, что плотность задымления при дымообразовании является важным масштабирующим фактором в формировании оптико-микрофизических параметров дыма. При увеличении массы сжигаемого материала от 3 до 20 мг коэффициент рассеяния β_σ возрастал от 0,006 до 0,3 м^{-1} . Поляризационные измерения показывают, что в замкнутом объеме, при различных плотностях задымления, наиболее устойчивой закономерностью «старения» пиролизного дыма является увеличение коэффициента асимметрии индикатрисы и ее вытянутости вперед при одновременном уменьшении эффективности светорассеяния в направлении назад.

Причем из анализа расчетных данных обнаружилась весьма неоднозначная динамика развития спектра размеров фракций, существенно зависящая от массы образца древесины, использованной для пиролизного разложения. В частности, диаграммный анализ результатов измерений показывает, что трансформация спектра размеров тонкодисперсной фракции достаточно близко воспроизводит коагуляционную динамику, модальный объемный радиус r_{m1} возрастает от 0,042 до 0,075 $\mu\text{м}$, причем при слипании частиц согласно модельным оценкам происходит объемное слияние коагулирующих частиц.

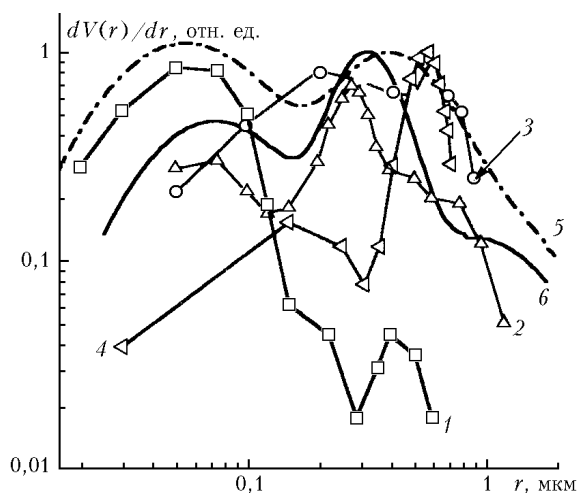


Рис. 5. Спектр размеров дымовых аэрозолей в начале (кривая 5) и в конце процесса (кривая 6) в сопоставлении с данными, полученными при решении обратной задачи светорассеяния в дымах [6] (кривая 3), [9] (кривые 1, 2), и данными [10, 11] (кривая 4)

Оценки по динамике спектра размеров плотных дымов представлены на рис. 5 в сравнении с данными, полученными при решении обратной задачи светорассеяния в дымах [8, 9], а также со спектром размеров, восстановлен-

ным по измерениям спектральной аэрозольной толщи атмосферы. Обращает на себя внимание то, что выявленная динамика изменения спектра размеров плотных дымов согласуется с данными, полученными в [9]. Ранее в [12] было отмечено, что при выстаивании плотных дымов в замкнутом объеме спектр размеров наиболее крупных дымовых частиц в процессе старения сдвигается по шкале размеров влево и сужается, образуя, таким образом, достаточно узкую фракцию (см. кривые 2 и 6). Однако, как показывают последующие модельные оценки, происхождение данной фракции имеет несколько более сложный механизм формирования.

В то же время важно отметить, что характерный размер частиц данной фракции примерно вдвое меньше, чем характерный размер частиц средней дисперсности, играющих важную роль в формировании спектральной толщи аэрозольной компоненты в атмосфере [10, 11]. Причем, как показывают последующие модельные оценки коагуляционной трансформации спектра размеров тонкодисперсной фракции, даже при аномально высокой концентрации частиц микродисперсной фракции процесс «коагуляционного старения» в лучшем случае может привести к образованию выделенной фракции аэрозолей с модой распределения $r_m \cong 0,25-0,30$ мкм. Иными словами, частицы средней дисперсности, обнаруженные при анализе механизма возникновения аномальной спектральной зависимости аэрозольной оптической толщи атмосферы, скорее есть результат гравитационной селекции аэрозольных частиц при их седиментации, например, с высот стратосферы, чем «коагуляционного старения».

Для прояснения реальной ситуации на основе численного моделирования рассмотрим далее кинетику коагуляционного развития спектра размеров дымовых частиц, которая в данной работе моделировалась непосредственно исходя из интегродифференциального уравнения Смолуховского, дополненного членами, регламентирующими действие стока и источника генерации новых частиц:

$$\frac{\partial n(x,t)}{\partial t} = \frac{1}{2} \int_0^x K(x', x-x') n(x',t) n(x-x',t) dx' - n(x,t) \int_0^\infty K(x,x') n(x',t) dx' + \gamma n_f(x,t) - \beta n_i(x,t), \quad (2)$$

где $K(x, x')$ – коэффициент коагуляции частиц с размерами x, x' ; $n(x,t)$ – спектр размеров частиц; $n_i(x)$ – спектр размеров частиц, генерируемых источником; β – эффективная скорость стока частиц; γ – скорость генерации новых аэрозолей. Учитывались лишь бинарные столкновения аэрозольных частиц. Динамика коагуляционного развития микродисперсной фракции (с числами Кнудсена Kn в интервале от 0,05 до 0,5) моделировалась в предположении броуновского механизма столкновения с плотностью вероятности столкновения

$$K(v, \tilde{v}) = \frac{2kT}{3\mu} \left[\frac{v^{1/3} + A l}{v^{2/3}} + \frac{\tilde{v}^{1/3} + A l}{\tilde{v}^{2/3}} \right] (v^{1/3} + \tilde{v}^{1/3}) n(v,t) n(\tilde{v},t), \quad (3)$$

где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; μ – вязкость воздуха; A – поправка Каннинггема; l – средняя длина свободного пробега молекулы; v и \tilde{v} – объемы взаимодействующих аэрозольных частиц.

На рис. 6 представлена временная динамика коагуляционного изменения спектра размеров микродисперсной и аккумулятивной фракций дымового аэрозоля в субмикронном диапазоне размеров (кривые 4–7) в сопоставлении с данными, полученными в настоящей работе по методам диаграмм (кривые 1, 2) и решения обратной задачи (кривая 3) [9].

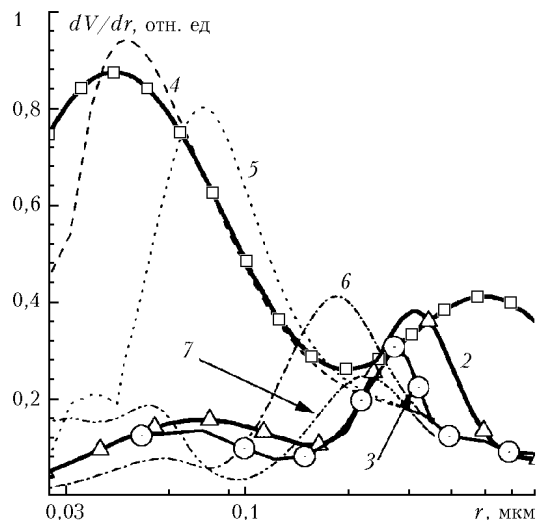


Рис. 6. Динамика изменения спектра размеров дымовых аэрозолей в процессе коагуляции на фоне действия источника генерации и стока на стенки (кривые 4–7) в сопоставлении с данными, полученными по методу диаграмм (кривые 1, 2) и решения обратной задачи [9] (кривая 3)

В частности, из представленных модельных оценок следует, что спектр размеров частиц микродисперсной фракции пиролизной генерации, имеющих очень высокую счетную концентрацию, в результате коагуляционного процесса претерпевает существенную динамику и в конечном итоге микродисперсная фракция преобразуется во фракцию с характерным размером в области 0,17–0,20 мкм. Именно эта фракция была зафиксирована в [9] и в настоящей работе по результатам диаграммного анализа данных оптических измерений.

Далее, поскольку процесс «коагуляционного старения» протекал в замкнутом объеме, то предполагалось, что источник генерации новых частиц активно действует в течение всего процесса. Причем после стадии пиролиза мощность источника существенно снижается, однако генерация новых частиц из газофазных продуктов термической возгонки продолжается и на последующих стадиях процесса. Более низкая мощность источника предопределяет более низкий уровень концентрации мелких частиц и, как следствие, более низкий темп их коагуляционного развития. В результате максимум объемного распределения частиц микродисперсной фракции «вторичной» (послепиролизной) генерации в процессе коагуляционного укрупнения достигает лишь интервала размеров r_m от 0,042 до 0,075 мкм.

В то же время динамика микроструктурных параметров для грубодисперсной фракции показывает, что наиболее приемлемым вариантом является существенное количественное уменьшение как счетной, так и объемной концентраций, при небольшом сдвиге модалного радиуса r_{m3} от 1,09 до 0,869 мкм и относительном сужении моды распределения. Последнее может быть связано с активным стоком дымовых частиц на стенки камеры и с увеличением компактности морфологической структуры частиц фрактальной природы.

В этой области спектра процесс осаждения на стенки камеры преобладает над процессами коагуляционного повышения концентрации крупных частиц во всех рассмотренных случаях, поэтому мода распределения со временем постепенно сужается.

Однако своеобразие выявленной динамики спектра размеров дымовых аэрозолей в интервале размеров 0,4 – 0,8 мкм трудно объяснить лишь эффективностью механизма сухого осаждения дымовых частиц на стенки камеры. Так как частицы данного диапазона размера наиболее долго сохраняются в атмосфере [4, 5, 9, 10] и слабее подвержены эффекту стоковского оседания, то обнаруженная динамика спектра скорее является следствием процесса компактизации дымовых частиц, которые на начальном этапе пиролизной генерации и последующей быстрой коагуляции (при аномально высоких концентрациях мономеров) представляли достаточно рыхлые образования. В процессе изменения дымовых частиц средней дисперсности, как показывает диаграммная динамика параметров светорассеяния, постепенно «спекаются» в более плотные структуры и становятся также источником пополнения фракции частиц с модальным радиусом 0,23–0,27 мкм, но уже справа от моды по шкале размеров.

Таким образом, представленные результаты показывают, что развиваемый нами подход в рамках метода поляризационной нефелометрии является весьма чувствительным инструментом анализа тонких микрофизических процессов, регулирующих динамику изменения оптических и микрофизических свойств мелкодисперсных аэрозолей. В настоящей статье мы опирались на данные измерений лишь на одной длине волны $\lambda = 0,63$ мкм.

С целью существенного расширения потенциальных возможностей используемого подхода и более детального изучения микроструктурных особенностей механизма формирования дымовых аэрозолей, их роли в процессах атмосферного аэрозолеобразования, а также трансформации их свойств под воздействием геофизических факторов планируется изучать эти проблемы в более широком спектральном интервале длин волн на базе созданного проточного поляризационного спектронефелометра [13].

Спектронефелометр позволяет измерять индикатрису рассеяния $g(\theta)$, степень линейной поляризации $p(\theta)$ и степень эллиптичности поляризации $q(\theta)$ для пяти фиксированных углов рассеяния $\theta = 15, 45, 110, 135$ и 165° , произвольно изменять длины волн в диапазоне спектра $\lambda = 0,40\text{--}0,80$ мкм ($\Delta\lambda \approx 2$ нм). Время измерения на одной длине волны – 50 с.

Особенности выполнения измерений: использована методика последовательного измерения поляризационных индикатрис (для различных состояний поляризации пучка) и последующего вычисления $g(\theta)$, $p(\theta)$ и $q(\theta)$; проточный режим подачи аэрозоля (объем камеры нефелометра – 5 л) либо забор разовых проб.

Аппаратура работает в *режиме автоматических измерений* с заданием следующих параметров: а) значений длин волн, б) поляризационных состояний пучка, в) номеров каналов, г) временного периода между циклами спектральных измерений.

Источник излучения: галогенная лампа 100Вт/12В; механическая модуляция излучения, частота 1 кГц; угловая расходимость пучка света 2° ; состояния поляризации пучка – линейные ($0, 45, 90$ и 135°) и круговая.

Приемники излучения: угловая апертура поля зрения 1° ; поляризация линейная, 45° ; ФЭУ-84-3.

Рассеивающий объем – 5 см³; диаметр аэрозольной камеры 25 см; высота 10 см.

Чувствительность прибора при измерениях $g(45^\circ, \lambda = 0,52$ мкм) – $0,18$ км⁻¹ ср⁻¹.

Средняя относительная погрешность измерений 20%.

Выводы

Резюмируя результаты проведенного анализа, отметим, что метод диаграммного анализа экспериментальных данных, полученных средствами поляризационной нефелометрии, обладает тем несомненным преимуществом, что позволяет достаточно уверенно очертить область микроструктурных изменений дымов, в которой взаимная динамика оптических параметров (эмпирических данных) образует непротиворечивое единство со множеством моделируемых микрофизических состояний. Это тем более важно, так как решение обратной задачи, когда одновременно неизвестны тенденции изменения не только спектра размеров дымовых аэрозолей, но и оптических постоянных частиц, особенно затруднено.

Диаграммное сопоставление эмпирических данных с модельными оценками позволяет получить необходимую предварительную информацию, которая может быть полезной как для решения обратной задачи светорассеяния, так и для конкретизации исходных параметров при диагностике реальных микрофизических процессов, определяющих эволюцию состояния дымовых аэрозолей под воздействием различных факторов.

Последующий анализ параметров поляризационной нефелометрии с учетом их спектральной изменчивости, несомненно, расширит потенциальные возможности развиваемого подхода к исследованию процессов, определяющих механизм формирования тонкодисперсных аэрозолей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 00-03-32422.

1. Глушко В.Н., Иванов А.И., Лившиц Г.Ш., Федунин И.А. Рассеяние инфракрасного излучения в безоблачной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1974. 210 с.
2. Горчаков Г.И. Корреляционные связи между оптическими характеристиками мелкодисперсных дымок // Изв. АН СССР. Физ. атмосфер. и океана. 1967. Т. 3. № 6. С. 611–620.
3. Горчаков Г.И., Исаков А.А., Свириденков М.А. О различии индикатрисы дымки и туманной дымки // Всесоюзное совещание по атмосферной оптике. Томск, 1976. Ч. 1. С. 230–233.
4. Козлов В.С., Панченко М.В. Исследования оптических свойств и дисперсного состава древесных дымовых аэрозолей // Физ. горения и взрыва. 1996. Т. 32. № 5. С. 122–133.
5. Рахимов Р.Ф. К вопросу о коагуляционной трансформации оптико-микрофизических свойств дымовых аэрозолей // Оптика атмосфер. 1989. Т. 2. № 3. С. 259–266.
6. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1982. 200 с.
7. Рахимов Р.Ф., Панченко М.В. Об однопараметрической модели атмосферной изменчивости угловых функций аэрозольного светорассеяния // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 2. С. 109–120.
8. 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. Физ. атмосфер. и океана. 1980. Т. 16. № 3. С. 270–276.
9. Исаков А.А. Некоторые результаты исследований оптических и микрофизических характеристик дымок // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 1. С. 23–29.
10. Сакерин С.М., Рахимов Р.Ф., Макиенко Э.В., Кабанов Д.М. Интерпретация аномальной спектральной зависимости аэрозольной оптической толщи атмосферы. Ч. I. Формальный ана-

- лиз ситуации // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 9. С. 813–818.
11. Рахимов Р.Ф., Сагерин С.М., Макиенко Э.В., Кабанов Д.М. Интерпретация аномальной спектральной зависимости аэрозольной оптической толщи атмосферы. Ч. II. Особенности дисперсной структуры аэрозоля // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13. № 9. С. 819–825.
12. Рахимов Р.Ф., Козлов В.С. Микроструктурные изменения дымов по результатам диаграммного анализа параметров светорассеяния // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 9. С. 931–937.
13. Козлов В.С., Панченко М.В., Тумаков А.Г., Шмаргунов В.П. Поляризационный спектрофелометр для исследования характеристик мелкодисперсного аэрозоля // VII Рабочая группа Аэрозоли Сибири: Тез. докл. Томск, 2000. С. 113.

R.F. Rakhimov, V.S. Kozlov, M.V. Panchenko, A.G. Tumakov, V.P. Shmargunov. **Microstructural variation of smoke aerosols in a closed volume.**

Based on diagram comparison of polarization measurements of aerosol light scattering with model data, the dynamics of microstructural variations of smoke of pyrolysis origin at their settling in a closed volume is examined. Peculiarities of transformation of dispersion structure of the smoke aerosols on different scales of size spectrum are discussed.