

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

УДК 551.510.42

Р.Ф. Рахимов, Д.Н. Ромашов

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ И ХАРАКТЕРНОГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ НА МАТРИЦУ СВЕТОРАССЕЯНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБЛАКОВ

Представлены результаты численного моделирования элементов матрицы светорассеяния (МС) в зависимости от характерного размера полидисперсного ансамбля вытянутых частиц и их состояния ориентации. Показано, что возникновение преимущественной ориентации частиц в плоскости (ортогональной к направлению распространения падающего излучения) ведет к резкому увеличению (примерно на два порядка) доли отраженной в обратном направлении радиации.

Наличие в составе облаков верхнего яруса кристаллических аэрозольных структур обуславливает анизотропию их оптических свойств. В связи с этим ряд оптических эффектов светорассеяния, возникающих при взаимодействии с перистыми облаками, не могут быть интерпретированы в рамках моделей, основанных на теории Ми. Анализ проблемы вне гипотезы сферической симметрии формы аэрозольных частиц ведет к резкому расширению списка исходных параметров задачи. Возникает проблема сведения численных оценок, полученных для различных систем координат, в единую, связанную с плоскостью рассеяния. В серии работ [1 – 4] на основе приближения для конечных цилиндров, полученного для дальней зоны по точному решению для бесконечного цилиндра в ближней, выполнен анализ светорассеивающих свойств облаков верхнего яруса с учетом фактора несферичности. Сопоставление наших оценок с аналогичными результатами, полученными для вытянутых сфероидов, подтвердило обоснованность применения развиваемого нами подхода к анализу светорассеивающих свойств кристаллических структур [3].

В [4] были рассмотрены некоторые закономерности формирования матрицы светорассеяния (МС) перистых облаков при изменении состояния ориентации частиц относительно направления падающего излучения для относительно малых размеров. В данной статье представлены результаты модельных оценок, которые являются продолжением предыдущих исследований [4] и иллюстрируют влияние состояния ориентации частиц в области крупных размеров.

Результаты расчетов

Вычисления значений элементов МС проводились по схеме, изложенной в [4], т.е. усреднение по размеру частиц и их ориентациям проводилось с использованием метода Монте-Карло. Сходимость интеграла оценивалась численно. Распределение по радиусу поперечного сечения моделировалось логнормальным со среднегеометрическими радиусами $r_m = 1; 10; 30$ мкм и стандартным отклонением $\sigma = 0,5$. Отношение длины цилиндра к радиусу поперечного сечения предполагалось равномерно распределенным в интервале $8 \div 10$.

По ориентации частиц было рассмотрено два варианта: цилиндры с равномерным распределением осей в плоскости, ортогональной направлению распространения падающего излучения, и хаотическим в трехмерном пространстве. Все расчеты выполнены для длины волны падающего излучения $\lambda = 1,06$ мкм и показателя преломления $m = 1,299 + i \cdot 10^{-6}$, т.е. для ледяных иголок. Таким образом, в расчетах были рассмотрены кристаллы с максимальными размерами порядка ~ 600 мкм.

На рис. 1 показаны угловые зависимости приведенных элементов МС для ансамбля круговых цилиндров конечной длины (КЦКД), равномерно ориентированных в плоскости, ортогональной направлению распространения падающего излучения для различных средних значений поперечного сечения. Аналогичные данные для хаотически ориентированных в трехмерном пространстве кристаллов представлены на рис. 2.

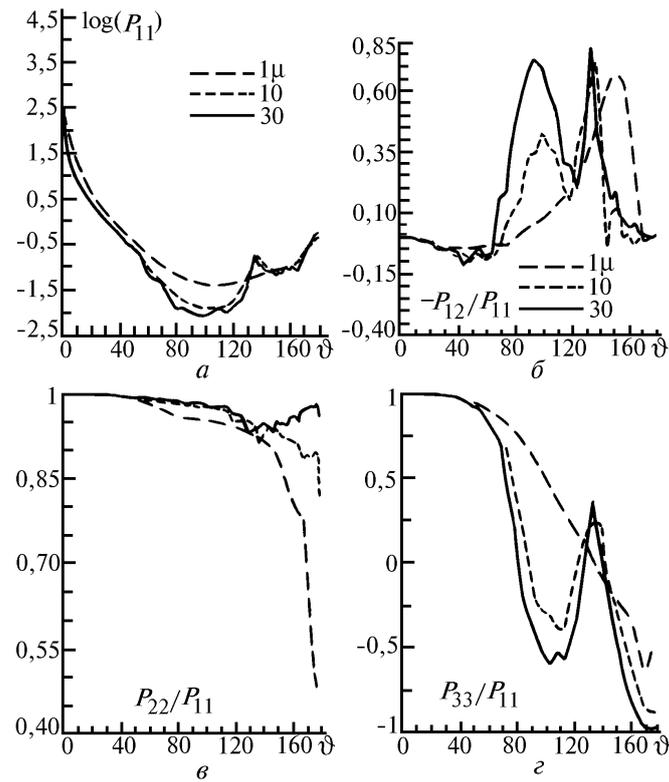


Рис. 1. Угловые зависимости приведенных значений элементов матрицы рассеяния для ансамблей круговых цилиндров, равномерно ориентированных в горизонтальной плоскости, с различными среднегеометрическими радиусами

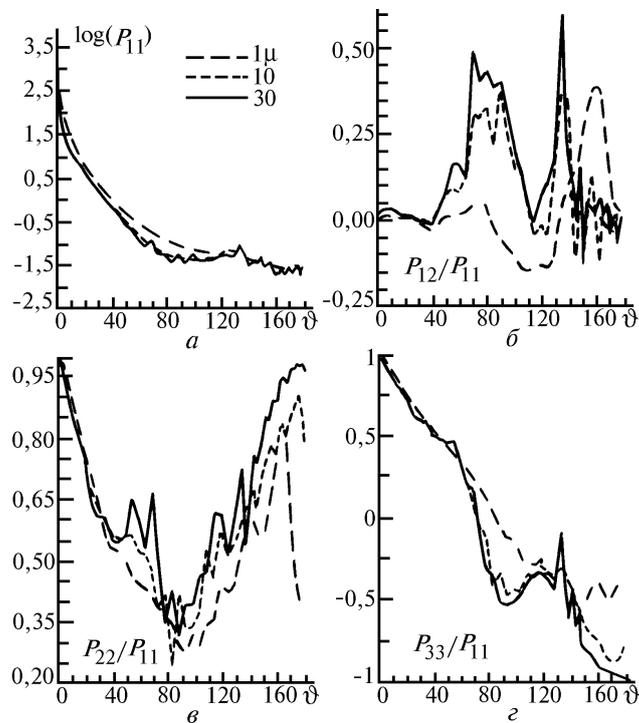


Рис. 2. То же, что и на рис. 1, для цилиндров, равномерно ориентированных в пространстве

Возникновение выделенной плоскости ориентации (в данном случае ортогональной направлению падающего излучения) резко увеличивает долю рассеянного излучения вблизи локационных углов примерно на 2 порядка. Это хорошо видно из сравнения рис. 1, а и рис. 2, а.

При объемной хаотической ориентации частиц (рис. 2, а) существенно увеличивается доля рассеянного излучения в боковых направлениях и в переднюю полусферу.

При наличии выделенной плоскости ориентации для крупных частиц наблюдается четко выраженный максимум в области радуг $\theta \sim 130\text{--}140^\circ$. Особенно ярко выражена специфика светорассеяния в области радуг на кривой степени поляризации рис. 1, б и рис. 2, б. Кроме того, для крупных частиц в обоих случаях на кривой поляризации возникает еще один сложный максимум в интервале углов $75\text{--}125^\circ$, который отсутствует для частиц с модальным радиусом ~ 1 мкм. В целом кривая степени поляризации во втором случае имеет более сложную структуру, чем при наличии выделенной плоскости ориентации.

Угловая зависимость приведенных значений элемента матрицы рассеяния $P_{22}(\theta)$ при наличии выделенной плоскости ориентации в интервале углов $0\text{--}120^\circ$ мало чем отличается от аналогичных данных для сфер. Фактор несферичности в данном случае проявляется существенно лишь вблизи локационных углов и особенно под углом $\theta = 180^\circ$. И совсем иная ситуация возникает при объемном хаотическом распределении осей цилиндров. В этом случае поведение $P_{22}(\theta)$ существенно отличается от сфер практически по всем направлениям и имеет достаточно сложную осциллирующую структуру.

Таким образом, на основании результатов настоящих расчетов и данных, представленных в [4], можно заключить, что преимущественная ориентация цилиндрических частиц относительно направления падающего излучения является важным фактором в формировании светорассеивающих свойств аэрозолей с существенно несферической формой и оказывает значительное влияние на состояние поляризации рассеянного света. Причем появление плоскости преимущественной ориентации частиц (тип 1) существенным образом изменяет светорассеивающие свойства по сравнению с ансамблями частиц, имеющих объемную хаотическую ориентацию (тип 2). В частности, ансамбли второго типа обладают значительно большими деполаризующими свойствами в случае поляризованного падающего излучения, чем ансамбли первого типа. В свою очередь, ансамбли первого типа обладают значительно большими поляризующими свойствами в случае неполяризованного падающего излучения, чем ансамбли второго типа. Интенсивность света, рассеянного в обратном направлении, на ансамблях первого типа на два порядка больше, чем на ансамблях второго типа.

Деполаризация обратнорассеянного света практически не зависит от ориентированности осей цилиндрических частиц относительно направления падающего излучения, а определяется размерами цилиндров и ориентированностью их осей относительно плоскости референции.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93–05–9376).

1. Рахимов Р. Ф., Ромашов Д. Н. // Оптика атмосферы и океана. 1991. Т. 4. N 10. С. 1011–1016.
2. Рахимов Р. Ф., Ромашов Д. Н. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. N 5. С. 451–456.
3. Ромашов Д. Н., Рахимов Р. Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. N 8. С. 891–898.
4. Ромашов Д. Н., Рахимов Р. Ф. // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 3. С. 285–292.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
г. Томск

Поступила в редакцию
18 ноября 1994 г.

R. F. Rakhimov, D. N. Romashov. Dependence of Light-Diffusion Matrix of Crystal Clouds on Orientation and Characteristic Size of Particles.

The results are presented of light-diffusion matrix numerical simulation depending on characteristic size of polydispersion ensemble of elongated particles and their orientation state. An appearance of the particles' dominant orientation in the plane orthogonal to direction of the incident radiation is shown to cause a sharp increase (approximately, by a factor of 10^2) of a part of radiation reflected in back direction.