

УДК 535.31

*В.В. БРЮХАНОВА, А.А. ДОРОШКЕВИЧ, С.Б. БАНЗАРОН*

### ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ОБЛАКА НА ВЕЛИЧИНУ ЛИДАРНОГО СИГНАЛА ДВУКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ<sup>1</sup>

Рассматривается влияние микроструктуры оптически плотных сред на величину лидарного сигнала двукратного рассеяния.

**Ключевые слова:** лидар, двукратное рассеяние, индикатриса рассеяния.

Интерпретация данных лазерного зондирования оптически плотных сред связана с необходимостью оценки вклада многократного рассеяния в лидарный сигнал, сравнимого с мощностью отраженного сигнала, т.е. с мощностью лидарного сигнала однократного рассеяния. При решении многих практически значимых задач лазерного зондирования аэрозолей справедливо приближение двукратного рассеяния (ДР) [1]. В этом случае лидарный сигнал можно представить как сумму интенсивностей сигналов однократного  $P^{(1)}(r)$  и двукратного рассеяния  $P^{(2)}(r)$ , поступающих на вход приемника в момент времени  $t = r/2c$  ( $r$  – расстояние от лидача до объема, в котором формируется сигнал однократного рассеяния,  $c$  – скорость света) [2]:

$$P(r) = P^{(1)}(r) + P^{(2)}(r),$$

где

$$P^{(2)}(r) = \frac{P_0 A c \tau_u}{16\pi} e^{-2\tau(r)} [I_1 + I_2],$$

$$I_1 = \int_0^{\frac{\theta_0}{2}} \int_0^r \frac{\sigma(z)\sigma(z_1)}{R(z,\gamma,r)} X(z,\gamma) X(z_1,\pi-\gamma) \sin \gamma dz d\gamma,$$

$$I_2 = \int_{\frac{\theta_0}{2}}^{\pi} \int_{z'(\gamma)}^r \frac{\sigma(z)\sigma(z_1)}{R(z,\gamma,r)} X(z,\gamma) X(z_1,\pi-\gamma) \sin \gamma dz d\gamma,$$

$$R(z,\gamma,r) = r^2 - (2r-z)z \sin^2 \frac{\gamma}{2}, \quad z_1 = z + \frac{r(r-z)\cos \gamma}{r-z \sin^2 \frac{\gamma}{2}}, \quad z'(\gamma) = r \left( 1 - \operatorname{tg} \frac{\theta_0}{4} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \right).$$

Лидарный сигнал в приближении двукратного рассеяния можно представить следующим образом:

$$P(r) = P^{(1)}(r) + P^{(2)}(r) = P^{(1)}(r) [1 + \delta(r)],$$

где  $\delta(r)$  – вклад двукратного рассеяния в лидарный сигнал.

Оптические характеристики однородного облака не зависят от координаты; в этом случае вклад двукратного рассеяния в лидарный сигнал определяется углом поля зрения приемной системы лидача, расстоянием  $r$  и оптическими характеристиками среды:

$$\delta(r) = \frac{r\delta}{2X_\pi} \left[ \int_0^{\theta_0/2} X(\gamma) X(\pi-\gamma) \gamma d\gamma + \frac{\theta_0}{2} \int_{\theta_0/2}^{\pi} X(\gamma) X(\pi-\gamma) d\gamma \right]. \quad (1)$$

Мы исследовали влияние микроструктуры капельного полидисперсного облака на величину вклада ДР в лидарный сигнал  $\delta(r)$  на основе выражения (1). Для расчета индикатрисы рассеяния использовали программу Polymie [3] расчета индикатрисы рассеяния и коэффициента рассеяния капельного облака, распределение частиц которого по размерам имеет вид гамма-распределения. На рис. 1 приведены результаты расчета  $\delta(r)$  от капельного облака, удаленного от лидача с углом поля зрения приемной системы  $\theta_0 = 1$  мрад на 1 км; длина волны зондирующего излучения  $\lambda = 0,532$  мкм. Расчет осуществлялся, пока оптическая толщина не превышала значения 3. Облака с разной микроструктурой характеризуются различными значениями коэффициента рассеяния, и

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ: ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 гг.» (ГК № 16.518.11.7048) и РФФИ (грант № 11–05–01200а).

поэтому максимальная глубина проникновения зондирующего импульса в облака различна. Как видно из приведенных зависимостей, увеличение оптической толщи приводит к увеличению  $\delta(r)$  для любого модального радиуса  $r_m$ . Также следует отметить и то, что вклад двукратного рассеяния в лидарный сигнал  $\delta(r)$  с увеличением модального радиуса  $r_m$  растет. Причем для каждого значения оптической толщи эта зависимость носит нелинейный характер.

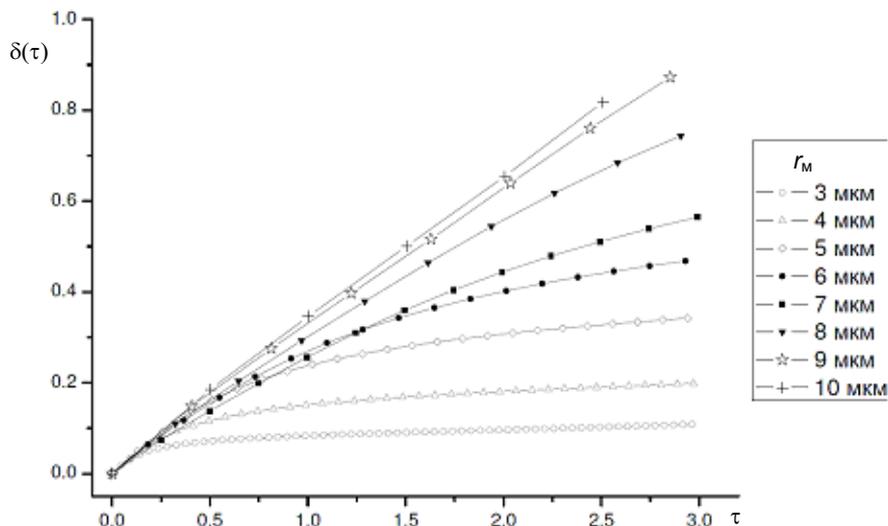


Рис. 1. Влияние модального радиуса облака  $r_m$  на величину вклада ДР  $\delta(r)$  в лидарный сигнал

Рис. 2 иллюстрирует изменение вклада двукратного рассеяния в лидарный сигнал с глубиной зондирования капельного облака для различных длин волн.

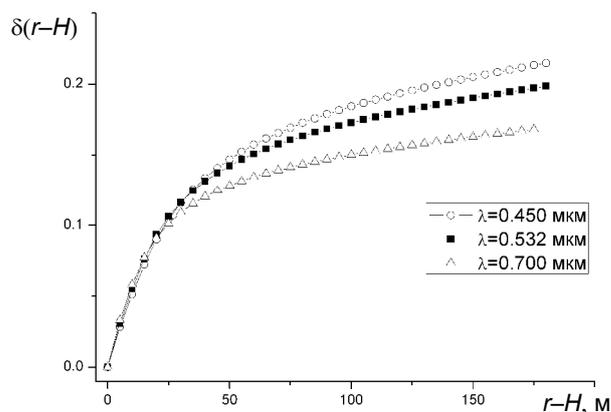


Рис. 2. Зависимость  $\delta(r)$  от длины волны зондирующего излучения

Результаты расчетов подтверждают, что лидарный сигнал в приближении двукратного рассеяния может быть использован для определения микроструктуры капельного облака.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Креков Г. М., Кавкянов С. И., Крекова М. М. Интерпретация сигналов оптического зондирования атмосферы. – Новосибирск: Наука, 1987. – 173 с.
2. Зуев В. Е., Кауль Б. В., Самохвалов И. В. и др. Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. – Новосибирск: Наука, 1986. – 185 с.
3. Program PolyMie to calculate optical properties (phase function or matrix, extinction and absorption coefficients) of water droplet clouds // INTAS project 01-0239. [Web-сайт]. Updated: May, 2005. URL: [http://osmf.ssc.ru/~smp/INTAS\\_01-0239/main.html](http://osmf.ssc.ru/~smp/INTAS_01-0239/main.html) (дата обращения 17.05.2012).

Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
г. Томск, Россия  
E-mail: leo@elefot.tsu.ru

Поступила в редакцию 20.07.12.

Брюханова Валентина Владимировна, ст. преподаватель;  
Дорошкевич Антон Александрович, аспирант;  
Банзарон Саяна Баиновна, студентка.