

*А.Д. Егоров, И.А. Потапова, Ю.Б. Ржонсницкая,  
Н.А. Саноцкая, В.А. Драбенко*

### **ЭФФЕКТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ**

*A.D. Yegorov, I.A. Potapova, Y.B. Rzhonsnitskaya,  
N.A. Sanotskaya, V.A. Drabenko*

### **EFFECTIVE DETERMINATION OF BACKGROUND LIGHT**

*Рассматривается эффективный метод определения лидарной фоновой засветки. Разработан метод решения обратной задачи, повысивший точность лидарного зондирования прозрачной атмосферы.*

*Ключевые слова: обратное рассеяние, связь шума с сигналом, прозрачная атмосфера, эффективный метод, случайная погрешность фоновой засветки*

*It is considered the effective method of the determination of background light. It was developed the method of the inverse problem solution to increase the accuracy of lidar probing of transparent atmosphere.*

*Key words: backscattering, noise with signal relation, transparent atmosphere, effective method, statistical error of background light.*

Аэрозоль, загрязняющий воздушный бассейн, играет также важную роль в радиационных процессах в атмосфере. Имеющиеся экспериментальные данные приводят к необходимости более детального исследования аэрозольных характеристик с высокой точностью. Лидарное зондирование дает возможность детального исследования атмосферного аэрозоля, но для обеспечения высокой точности лидарных методов требуется решить ряд задач. Лишь часть этих задач решена [1–4]. Например, оптическое дистанционное определение характеристик загрязнения воздуха, таких, как концентрация частиц техногенного происхождения, предполагает знание мощности рассеянного солнечного излучения.

Эту мощность следует измерить достаточно точно, особенно при зондировании прозрачной, т.е. слабо замутненной, атмосферы, с характеристиками которой увязываются характеристики аэрозольного загрязнения.

В работе рассматривается проблема достоверности, с которой мощность фоновой засветки определяется по лидарным данным, выполняется оценка ее случайной погрешности.

#### **1. Метод оценки случайной погрешности фоновой засветки**

Погрешности фоновой засветки  $P_*$  можно существенно уменьшить за счет выбора эффективной процедуры осреднения параметра по трассе зондирования. Случайную ошибку  $P_*$ , от которой зависит эффективность метода, с учетом линеаризованного лидарного уравнения можно определить по формуле

$$\delta = \left\{ \frac{\sum_{i,j,k=1}^n (P_{*i,j,k} - P_*)^2 \Delta_{i,j,k}^2}{\sum_{i,j,k=1}^n \Delta_{i,j,k}^2} \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

где

$$P_{*i,j,k} = \Delta_{i,j,k}^0 / \Delta_{i,j,k}, \quad (2)$$

$$\Delta_{i,j,k}^0 = \begin{vmatrix} P_i & 1/R_i^2 & 1/R_i \\ P_j & 1/R_j^2 & 1/R_j \\ P_k & 1/R_k^2 & 1/R_k \end{vmatrix}, \quad (3)$$

$$\Delta_{i,j,k} = \begin{vmatrix} 1 & 1/R_i^2 & 1/R_i \\ 1 & 1/R_j^2 & 1/R_j \\ 1 & 1/R_k^2 & 1/R_k \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$P_* = \frac{\sum_{i,j,k=1}^n P_{*i,j,k} \Delta_{i,j,k}^2}{\sum_{i,j,k=1}^n \Delta_{i,j,k}^2} \dots \quad (5)$$

Формула (1) может быть записана следующим образом:

$$\delta = \left\{ \frac{D_1}{D_0} - P_*^2 \right\}^{1/2}, \quad (6)$$

где

$$D_0 = \begin{vmatrix} n & \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{1}{R_i} \\ \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \\ \sum_1^n \frac{1}{R_i} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \end{vmatrix}, \quad (7)$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} \sum_1^n P_i^2 & \sum_1^n \frac{P_i}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{P_i}{R_i} \\ \sum_1^n \frac{P_i}{R_i^2} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \\ \sum_1^n \frac{P_i}{R_i} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} & \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \end{vmatrix}. \quad (8)$$

Случайную ошибку осредненной величины  $P_*$  можно рассчитать в линейном приближении:

$$\delta = C_* \left\{ \sum_1^n \left( \frac{\partial P_*}{\partial P_i} \right)^2 P_i \right\}^{1/2}, \quad (9)$$

причем

$$\delta P_i = C_* \sqrt{P_i}. \quad (10)$$

Из (9) следует:

$$\delta = \frac{C_*}{D_0} \left\{ \sum_1^n \left( \Delta_1 - \frac{\Delta_2}{R_i^2} + \frac{\Delta_3}{R_i} \right)^2 P_i \right\}^{1/2}, \quad (11)$$

где

$$\Delta_1 = \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \sum_1^n \frac{1}{R_i^4} - \left( \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} \right)^2; \quad (12)$$

$$\Delta_2 = \left( \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \right)^2 - \sum_1^n \frac{1}{R_i} \sum_1^n \frac{1}{R_i^3}; \quad (13)$$

$$\Delta_3 = \sum_1^n \frac{1}{R_i^2} \sum_1^n \frac{1}{R_i^3} - \sum_1^n \frac{1}{R_i} \sum_1^n \frac{1}{R_i^4}. \quad (14)$$

Случайную ошибку величины  $P_*$  можно рассчитать по формуле

$$\delta = C_* \left\{ \frac{\Delta_1}{D_0} \sum_1^n P_i \right\}^{1/2}. \quad (15)$$

## 2. Результаты интерпретации данных лидарных измерений

На рис. 1 представлено отношение результатов расчетов погрешностей фоновой засветки в зависимости от расстояния зондирования с использованием решений с привлечением связи шума с сигналом обратного рассеяния (15) и без привлечения этой связи (1). Видно, что с увеличением номера шага отношение приближается к единице. Таким образом, устанавливается правомочность привлечения связи шума с сигналом обратного рассеяния.

С учетом этого результата, на рис. 2 представлены результаты расчетов относительной погрешности  $\delta/P_*$  фоновой засветки по формуле (15) и ее средней величины по формуле (11). Можно отметить, что погрешность существенно убывает с увеличением количества шагов зондирования, особенно для средней величины  $P_*$ .

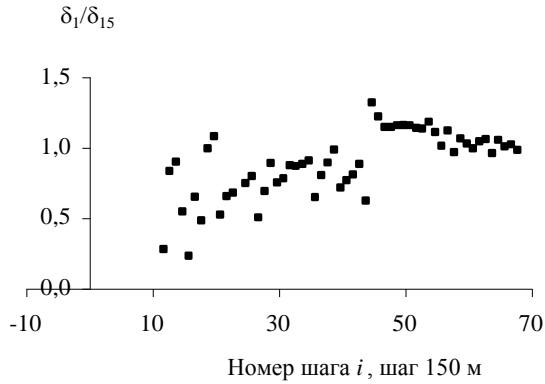


Рис. 1. Отношение случайных погрешностей.  $\delta_1$  – формула (1),  $\delta_{15}$  – формула (15)

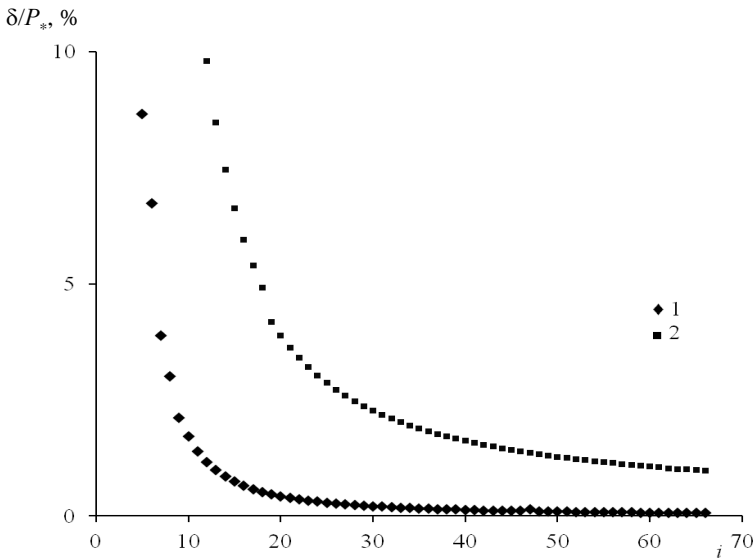


Рис. 2. Относительная погрешность  $\delta/P_0$ . 1 – формула (11), 2 – формула (15)

### Заключение

В работе развиты методы интерпретации данных лидарных измерений, минимизирующие систематические погрешности определения фоновой засветки.

На основании выполненных исследований:

- разработана новая методика решения обратной задачи, включающая ее линеаризацию, позволившая повысить точность лидарных измерений фоновой засветки для слабо замутненной атмосферы;

- проведена модернизация алгоритмов лидарного определения фоновой засветки для слабо замутненной атмосферы, обеспечивающих получение оценки точности, в том числе осредненного решения обратной задачи.

### ***Литература***

1. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. Atmospheric aerosols measurements and reliability problem // International J. Rem. Sensing, 2008, 29, p. 2449–2468.
2. Egorov A.D., Potapova I.A., Shchukin G.G. Lidar methods for probing an atmospheric aerosol // J. Opt. Technol., 2001, 68, p. 801–804.
3. Егоров А.Д., Потапова И.А., Ржонсницкая Ю.Б. Оценка случайных погрешностей лидарных измерений атмосферных характеристик // Уч. зап. РГГМУ, 2011, № 17, с. 51-55.
4. Egorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B. The treatment of low-power lidar signals // J. Opt. Technol., 2007, 74, 665-668.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы (ГК № 16.740.11.0619 от 31 мая 2011 г.) по направлению «Геология, горное дело, геохимия, геофизика, география и гидрология суши, океанология, физика атмосферы».