

## АЛГОРИТМ ЛИДАРНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОНОВОЙ ЗАСВЕТКИ И КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ СЛАБО ЗАМУТНЕННОЙ АТМОСФЕРЫ БЕЗ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА

**Бобровский А.П.<sup>1</sup>, Дьяченко Н.В.<sup>1</sup>, Егоров А.Д.<sup>1</sup>, Косцов В.В.,  
Калиничев Д.В.<sup>1</sup>, Куклин О.А.<sup>1</sup>, Михтева Е.Ю.<sup>1</sup>, Потапова И.А.<sup>1</sup>,  
Скобликова А.Л.<sup>1</sup>, Хлябич П.П.<sup>1</sup>, Яковлева Т.Ю.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – *Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия. potapovaira@yandex.ru, egorovad@rambler.ru*

**Аннотация.** Предложен новый метод обработки лидарных данных без использования итераций. Сформулированы алгоритмы определения фоновой засветки и коэффициента ослабления.

**Ключевые слова:** фоновая засветка, слабо замутненная атмосфера, обратное рассеяние.

Использование лидаров обеспечивает оперативное выполнение измерений характеристик атмосферы. Вместе с тем, она предполагает решение проблемы интерпретации лидарной информации, которая усложняется при зондировании слабо замутненной атмосферы. В частности, при измерении и интерпретации сигналов обратного рассеяния малой мощности существенно возрастает роль фоновой засветки.

Целью настоящей работы является развитие методов, изложенных в [1], необходимых для обработки эхо-сигналов при зондировании атмосферы повышенной прозрачности.

Обработка лидарных данных выполняется на основе решения лидарного уравнения, которое связывает сигнал обратного рассеяния с коэффициентом ослабления и коэффициентом обратного рассеяния.

В случае слабо замутненной оптически однородной атмосферы, когда коэффициенты ослабления и обратного рассеяния постоянны вдоль трассы зондирования, лидарное уравнение можно записать в виде:

$$P_i = P_* + \frac{B}{R_i^2} \exp(-2\sigma R_i), \quad (1)$$

где

$$B = A\beta. \quad (2)$$

$A$  – постоянная лидара,  $\beta$  – коэффициент обратного рассеяния,  $\sigma$  – коэффициент ослабления.  $P$  – мощность сигнала обратного рассеяния,  $P_*$  – мощность солнечного излучения, рассеянного атмосферой в направлении на приемное устройство лидара,  $R$  – расстояние между лидаром и  $i$  – м рассеивающим элементом.

Задача состоит в том, чтобы найти неизвестные постоянные  $P_*$ ,  $B$ ,  $\sigma$ .

Для обработки эхо-сигналов без итерационного процесса предлагается наряду с уравнением (1) рассмотреть уравнения

$$P_{i-1} = P_* + \frac{B}{R_{i-1}^2} \exp(-2\sigma R_{i-1}), \quad (3)$$

$$P_{i-2} = P_* + \frac{B}{R_{i-2}^2} \exp(-2\sigma R_{i-2}). \quad (4)$$

С учетом уравнений (1), (3), (4) можно получить:

$$\frac{(P_i - P_*)R_i^2}{(P_{i+1} - P_*)R_{i+1}^2} = \frac{(P_{i-1} - P_*)R_{i+1}^2}{(P_{i-2} - P_*)R_{i+2}^2} = \exp(2\sigma h), \quad (5)$$

где  $h$  - шаг,

$$h = R_{i-1} - R_i. \quad (6)$$

С учетом уравнений (5), вместо суммы (1) можно минимизировать сумму

$$\delta_*^2 = \sum_1^n a_i P_*^2 + b_i P_* + c_i, \quad (7)$$

где

$$a_i = R_{i-1}^4 - R_i^2 R_{i+2}^2, \quad (8)$$

$$b_i = (P_i + P_{i-2}) R_i^2 R_{i+2}^2 - 2 P_{i-1} R_{i+1}^4, \quad (9)$$

$$c_i = P_{i-1}^2 R_{i+1}^4 - P_i P_{i+2} R_i^2 R_{i-2}^2. \quad (10)$$

При этом для расчета фоновой засветки получается уравнение

$$P_*^3 + a P_*^2 + b P_* + c = 0, \quad (11)$$

где

$$a = \frac{3 \sum_1^n a_i b_i}{2 \sum_1^n a_i^2}, \quad b = \frac{\sum_1^n (2c_i + a_i) a_i}{2 \sum_1^n a_i^2}, \quad c = \frac{\sum_1^n b_i c_i}{2 \sum_1^n a_i^2}. \quad (12)$$

Решение Кардано уравнения (11):

$$P_* = a_* + b_* - \frac{a}{3}, \quad (13)$$

где

$$a_* = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \quad b_* = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}, \quad (14)$$

$$Q = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2, \quad p = -\frac{a^2}{3} + b, \quad q = 2\left(\frac{a}{3}\right)^3 - \frac{ab}{3} + c. \quad (15)$$

Результаты определения фоновой засветки для  $R_0 = 2,5 \text{ км}$  представлены в таблице 1.

**Таблица 1** – Результаты определения фоновой засветки для  $R_0 = 2,5 \text{ км}$

$\Delta R, \text{ км}$	1	м	м	м
$P_* / 10 \text{ шум}$	38,06	37,65	37,15	37,12

Результаты определения фоновой засветки для  $R_0 = 10,5 \text{ км}$  представлены в таблице 2.

**Таблица 2** – Результаты определения фоновой засветки для  $R_0 = 10,5 \text{ км}$

$\Delta R, \text{ км}$	0,5	1	2	2,5
$P_* / 10 \text{ шум}$	36,97	36,99	36,99	36,99

Следует отметить наличие систематической погрешности для  $R_0 = 2,5 \text{ км}$  и ее отсутствие для  $R_0 = 10,5 \text{ км}$ .

В настоящей работе предложен метод, повышающий скорость обработки лидарных данных. Метод основан на возможности сформулировать задачу, которая имеет аналитическое решение, не требующее выполнения итераций. Задача решена для фоновой засветки.

#### Литература

I. Yegorov A.D., Potapova I.A., Rzhonsnitskaya Yu.B., Sanotskaya N.A., Shchadin A.V. Atmospheric aerosol measurements and reliability problem: new results/ International Journal of Remote Sensing. 2014. 35. 5750-5765.

### TRANSPARENT METRY WEAKLY TURBID ATMOSPHERE USING LIDAR SYSTEMS

**Bobrovsky A.P.<sup>1</sup>, Dyachenko N.V.<sup>1</sup>, Yegorov A.D.<sup>1</sup>, Kalinichev D.V.<sup>1</sup>,  
Kostsov V.V.<sup>1</sup>, Kuklin O.A.<sup>1</sup>, Mikhteeva E.Y.<sup>1</sup>, Skoblikova A.L.<sup>1</sup>,  
Potapova I.A.<sup>1</sup>, Khlyabich P.P.<sup>1</sup>, Yakovleva T.Y.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Russian state hydrometeorological University. St. Petersburg, Russia. [potapovaira@yandex.ru](mailto:potapovaira@yandex.ru),  
[egorovad@rambler.ru](mailto:egorovad@rambler.ru)

**Abstract.** There is proposed the new method of lidar data processing without iterations. Algorithms for determination of power of the background light and extinction coefficient are formulated.

**Key words:** background light, slightly turbid atmosphere, backscattering.