

# Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. Е. Зуев, Э. В. Макиенко, И. Э. Наац, Определе-  
ние оптических свойств стратосферных аэрозолей  
наземными лидарами,  
*Докл. АН СССР*, 1982, том 265, номер 5, 1105–1107

<https://www.mathnet.ru/dan45516>

Использование Общероссийского математического портала Math-  
Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользователь-  
ским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.85

18 мая 2025 г., 18:37:11



J. Geophys., 1977, №43, p. 665–679. 8. Горбунов Г.И., Бельков И.В., Павловский В.И. и др. – ДАН, 1979, т. 247, № 3, с. 578–582. 9. Шейнман С.М. Прикл. геофизика, 1947, вып. 3, с. 3–55. 10. Вешев А.В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе. Л.: Недра, 1965, 478 с. 11. Kauhikaua J. – Geophys., 1978, vol. 43, № 5, p. 1019–1022. 12. Бердичевский М.Н. Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 1968, 255 с. 13. Сопко И.Ф., Богданов И.С., Василюк С.П., Рогозов Е.Г. V Всесоюз. школа-семинар по электромагнитным зондированиям. Тез. докл. Киев: Наукова думка, 1978, с. 134–136. 14. Семенов А.С. – Вестн. ЛГУ, 1970, № 12, с. 19–26. 15. Жамалетдинов А.А., Семенов А.С. Вopr. геофиз. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978, вып. 27, с. 99–108.

УДК 551.510.42:551.521.3

ГЕОФИЗИКА

Академик В.Е. ЗУЕВ, Э.В. МАКИЕНКО, И.Э. НААЦ

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРАТОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НАЗЕМНЫМИ ЛИДАРАМИ

Исследования стратосферного аэрозоля, выполненные в последнее время, показали его существенную роль в радиационном балансе атмосферы, а следовательно, и в погодообразовании. В связи с этим особое значение приобретает разработка методов дистанционного оперативного определения его спектральных оптических характеристик, которые позволили бы количественно оценить эффекты взаимодействия солнечной радиации с аэрозолями стратосферы. Традиционный подход к решению этой задачи основан на прямом заборе частиц аэрозоля из воздуха с помощью аэроэлектровзвешивающих счетчиков и импакторов [1] с последующим микроструктурным анализом спектра размеров и созданием в конечном итоге так называемой оптической аэрозольной модели. В техническом отношении подобный подход является очень сложным, а главное, он не оправдан методологически. Более разумно, по всей видимости, атмосферно-оптические задачи решать в рамках чисто оптических методов и средств, избегая сложного и трудоемкого прямого микроструктурного анализа атмосферных аэрозолей. Подобную возможность открывают методы многочастотной лазерной локации [2]. В представленной работе излагается метод восстановления основных спектральных характеристик стратосферного аэрозоля, прежде всего аэрозольного коэффициента обратного рассеяния  $\beta_{\pi}(\lambda)$  и рассеяния  $\beta_{sc}(\lambda)$ , по данным многочастотного лазерного зондирования стратосферы. Более строго решаемые в работе задачи формулируются следующим образом.

Допустим, что с помощью многочастотного лидара с рабочими длинами волн  $\lambda_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , измеряются значения аэрозольного коэффициента обратного рассеяния  $\beta_{\pi i}$  для некоторого фиксированного слоя в стратосфере (техника подобных измерений изложена в [3]). Требуется по дискретному набору измерений:

1) восстановить непрерывный спектральный ход коэффициентов обратного рассеяния  $\beta_{\pi}(\lambda)$  в пределах спектрального интервала оптического зондирования  $\Lambda = [\lambda_1, \lambda_n]$ ;

2) восстановить ход коэффициента рассеяния (ослабления) в пределах указанного интервала  $\Lambda$  (а в принципе, и любой другой оптической характеристики светорассеяния, включая индикатрису);

3) осуществить экстраполяцию восстановленных характеристик  $\beta_{\pi}(\lambda)$  и  $\beta_{sc}(\lambda)$  вне  $\Lambda$ . Конкретно в последнем случае речь может идти об оценке значений

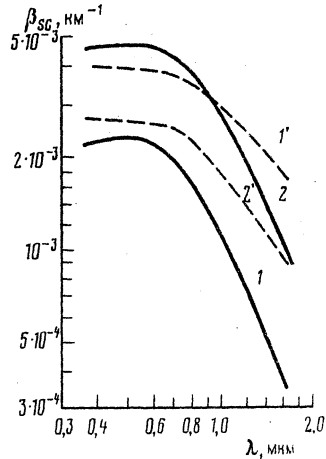
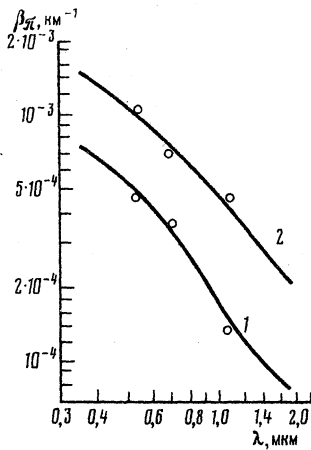


Рис. 1. Примеры восстановления спектрального хода аэрозольного коэффициента обратного рассеяния  $\beta_{\pi}(\lambda)$  (для высот 11 (1) и 13 км (2)) по экспериментальным данным; точки — измерения  $\beta_{\pi, i}$

Рис. 2. Спектральный ход аэрозольного коэффициента рассеяния  $\beta_{sc}(\lambda)$ , восстановленного согласно (4) по измерениям  $\beta_{\pi, i}$  (рис. 1) для 11 (1) и 13 км (2); 1' и 2' — оптическая аэрозольная модель по данным [5] для высот 11 и 13 км соответственно

$\beta_{\pi}$  и  $\beta_{sc}$  для и.-ф. и у.-ф. диапазонов, если, например, рабочие длины волн лидара принадлежат видимой области спектра, и т.п.

Нет необходимости говорить о практической важности решения подобных вопросов в атмосферно-оптических исследованиях и контроля оптической ситуации в атмосфере.

В основу решения сформулированных выше задач может быть положен метод обратной задачи полидисперсного рассеяния, развитый ранее в работах авторов применительно к дистанционному исследованию микроструктуры аэрозольных образований в атмосфере [3]. Кратко суть предлагаемой методики состоит в следующем.

Измеренные с помощью лидара значения коэффициентов обратного рассеяния  $\tilde{\beta}_{\pi i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , в предположении сферичности рассеивающих частиц могут быть представлены в виде

$$(1) \quad \tilde{\beta}_{\pi i} = \int_R K_{\pi}(\bar{m}, r, \lambda) s(r) dr, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $K_{\pi}(\bar{m}, r, \lambda)$  — фактор эффективности, определяемый соответствующими формулами теории Ми,  $\bar{m}$  — показатель преломления аэрозольного вещества, а функция  $s(r)$  характеризует распределение частиц по размерам в пределах интервала  $R$ . Система соотношений (1) с использованием того или иного способа алгебраизации может быть приведена к линейной системе вида

$$(2) \quad \sum_{l=1}^m Q_{\pi, il} s_l = \tilde{\beta}_{\pi i}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

относительно вектора  $s$ . В качестве решения этой системы примем вектор  $s^*$ , минимизирующий квадратичную форму

$$(3) \quad T_{\pi}(s) = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{l=1}^m Q_{\pi, il} s_l - \tilde{\beta}_{\pi, i} \right)^2 + \alpha p \sum_{l=1}^{m-1} (s_{l+1} - s_l)^2$$

на множестве векторов  $\psi^+$ . Это множество характеризуется тем, что компоненты любого вектора из  $\psi_m^+$  положительны. Выбор параметра регуляризации  $\alpha$  согласован с уровнем ошибок лидарных измерений. Используя полученный вектор  $s^*$ , нетрудно восстановить искомые оптические характеристики. Это делается с помощью выражений:

$$(4) \quad \beta_{\pi}(\lambda_j) = \sum_{l=1}^m Q_{\pi, jl} s_l^*, \quad j = 1, 2, \dots, q,$$

$$\beta_{sc}(\lambda_j) = \sum_{l=1}^m Q_{sc, jl} s_l^*.$$

Сетка узлов  $\{\lambda_j\}$  в выражении (4), в принципе, может иметь любую размерность. Узлы  $\lambda_j$  могут принадлежать интервалу оптического зондирования  $\Lambda$ , а могут не принадлежать ему. В последнем случае, чем дальше берутся узлы  $\lambda_j$  от правой границы  $\Lambda$ , тем больше величина ошибки восстановления соответствующих значений оптических характеристик. Изложенная методика апробировалась в задачах многочастотного лазерного зондирования аэрозолей нижней стратосферы трехчастотным лидаром с рабочими длинами волн 0,53; 0,694; 1,06 мкм в условиях полигона ИОА [4]. В предварительном численном эксперименте были оценены информационные возможности указанного лидара в определении оптических характеристик аэрозолей стратосферы. Расчеты показали, что ошибки восстановления спектрального хода  $\beta_{\pi}(\lambda)$  в пределах интервала 0,4; 1,6 мкм сопоставимы с ошибками измерений значений  $\beta_{\pi i}$ ,  $i = 1, 2, 3$ . Кроме того, они слабо зависят от ошибок априорного выбора показателя преломления аэрозольного вещества. Что же касается восстановления спектрального хода аэрозольного коэффициента рассеяния, то здесь ошибки восстановления несколько выше и более существенно зависят от ошибок априорного выбора величины  $m$ . В частности, эти ошибки растут по мере уменьшения  $\lambda$ . Так, например, если  $\beta_{\pi i}$  измеряется с ошибкой, не превышающей 10%, то ошибка восстановления  $\beta_{sc}(\lambda)$  для длин волн  $\lambda$  из интервала 0,4; 0,6 составляет 15–20%, в то время как в интервале 0,8; 1,6 она уже сопоставима с исходной ошибкой лидарных измерений.

Как показывают расчеты, повысить эффективность восстановления  $\beta_{sc}(\lambda)$  можно лишь при использовании в лидаре более коротких длин волн. В качестве таковой можно рекомендовать вторую гармонику рубинового генератора, т.е.  $\lambda = 0,347$  мкм. Пример обработки экспериментальных данных представлен на рис. 1, 2. Здесь же дается сопоставление полученных результатов с оптической аэрозольной моделью для указанных высот. Оперативность получения информации и высокое пространственное разрешение лидаров открывают возможность изучения динамики аэрозольных слоев в нижней стратосфере.

Институт оптики атмосферы Сибирского отделения  
Академии наук СССР, Томск

Поступило  
2 III 1982

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Атмосферный аэрозоль и его влияние на перенос излучения / под ред. К.Я. Кондратьева. Л.: Гидрометеоиздат, 1978, 120 с.
2. Наац И.Э. В кн.: Лазерное зондирование атмосферы. М.: Наука, 1976, с. 3–10.
3. Наац И.Э. Теория многочастотного лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1980, 157 с.
4. Деев В.Н., Кауль Б.В., Козлов Н.В. и др. В сб.: Тез. докл. на IV Всесоюз. симп. по лазерному зондированию атмосферы. Томск, 1976, с. 28–30.
5. Рахимов Р.Ф., Креков Г.М. В кн.: Исследование атмосферного аэрозоля методами лазерного зондирования. Новосибирск: Наука, 1980, с. 216–235.