

Г.В. Коларов, Д.В. Стоянов, Ц.А. Мицев, Ц.Г. Агаина

ЗОНДИРОВАНИЕ СТРАТОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ ЛИДАРОМ С ЛАЗЕРОМ НА ПАРАХ МЕДИ

В сообщении описаны некоторые результаты зондирования профилей отношения рассеяния стратосферного аэрозоля до высот 22–28 км на аппаратуре, разработанной в Институте электроники Болгарской Академии наук.

Аэрозольные слои в нижней стратосфере являлись объектом научных исследований еще на ранних этапах лазерной локации [1]. Интерес к ним нарастает в связи с влиянием этих слоев на радиационный баланс и климат планеты. Комплексное исследование стратосферного аэрозоля пылевыми зондами, счетчиками частиц и лидарными системами является основой для построения адекватной модели стратосферного аэрозоля [2, 3, 4]. В Европе систематическое изучение слоев Юнге в 1982–1984 гг. проводилось учеными Италии и ФРГ [5, 6]. В передатчиках лидаров они использовали импульсные лазеры на рубине и Nd-YAG, а регистрация отраженных от атмосферы сигналов велась фотодетекторами в токовом режиме.

Новые возможности для исследований одновременно тропосферы и нижней стратосферы дает разработанная в Институте электроники БАН лидарная система, работающая с лазером на парах меди с высокой частотой повторения импульсов и фотодетектором в режиме счета фотонов [7, 8]. С использованием этой системы с начала 1987 г. проводятся эксперименты по зондированию стратосферных слоев. В настоящем сообщении описаны некоторые результаты этих исследований и показаны профили отношения рассеяния в стратосфере до высот 22–28 км.

Параметры лидарной системы, подробно описаны в [8]. Здесь перечислим лишь некоторые характеристики лидара: длина волны — 510,6 нм; мощность излучения — 1–3 Вт; частота посылки импульсов — 5 кГц; диаметр телескопа — 20 см; полоса пропускания интерференционного фильтра — 2 нм; фотодетектор — ФЭУ типа EM/9063/QB100.

Поток одноэлектронных импульсов регистрируется системой счета и накопления сигналов типа K7023 «Малверн». После каждого периода времени накопления $T_{ac} = 10$ с или 100 с лидарный профиль поступает в компьютер для последующей обработки. Отраженные сигналы регистрируются из 72 последовательных слоев, каждый из которых имеет вертикальную протяженность Δh 150 или 300 м.

Обработка лидарных сигналов из нижней стратосферы проводилась по методике, описанной в [9]. Отношение рассеяния дается следующим выражением:

$$B(h) = \frac{N(h) \cdot h^2 \cdot \beta_M(h_0)}{N(h_0) \cdot h_0^2 \cdot \beta_M(h)} \cdot T^2(h_0, h),$$

где $N(h)$ — профиль скорости фотоотчетов; $\beta_M(h)$ — профиль коэффициента обратного молекулярного рассеяния; $T(h_0, h)$ — прозрачность атмосферы между высотами h_0 и h . На высоте h_0 проводится калибровка лидарных откликов по молекулярному рассеянию.

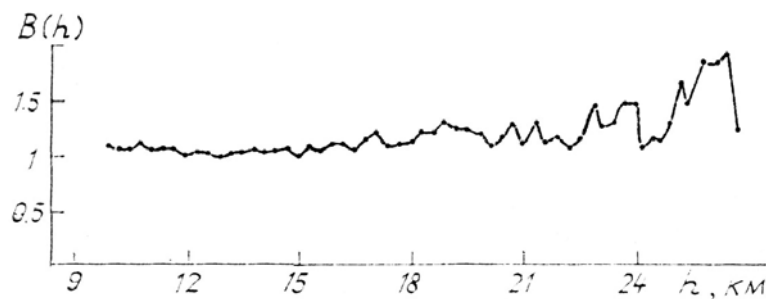


Рис. 1. Профиль отношения рассеяния в стратосфере весной (28.04.87, район г. Софии): разрешение по высоте 300 м, время накопления — 100 с, фон — $N_b = 800 \text{ с}^{-1}$

Ниже приведены результаты исследований нижних слоев стратосферы весной и летом 1987 г. в условиях безоблачной и тихой погоды с большой метеорологической дальностью видимости. Высота тропопаузы оценивалась по метеорологическому радиозондированию, проводимому метеослужбой в том же районе.

Профили отношения рассеяния рассчитаны при следующих допущениях: для профиля молекулярного рассеяния принята модель атмосферы Мак–Клатчи [10] для $\lambda = 514$ нм; прозрачность $T(h_0, h) \approx 1$; калибровка лидарных откликов проводилась в области над тропопаузой.

Характерный профиль отношения рассеяния в весенний период получен 28.04.1987 г. в 22:30 ч (рис. 1). Начало профиля с 6 до 9 км на рисунке не показано. Погода была безоблачной, безветренной, а метеорологическая дальность видимости — более 20 км. Калибровка сделана в области 11–13 км. На рис. 1 отчетливо видны два слоя Юнге — на высотах 20–22 и 24–26 км. Можно ожидать, что в конце трассы зондирования экспериментальная ошибка несколько возрастает. Вопреки этому обстоятельству максимумы профиля $B(h)$ не превосходят 1,5–2, что указывает на фоновую концентрацию аэрозольных слоев в этот период.

Сеанс зондирования 14 августа характерен тем, что время накопления было 10 с и дисперсия потока фотоэлектронов была несколько большей. Как указано в [8], ошибка при измерении $N(h)$ на высоте 25 км составляет 2,5% и, очевидно, достаточна для регистрации аэрозольных слоев (рис. 2). Малое время накопления позволяет изучать явления, происходящие в стратосфере, с большим временным разрешением. Несколько точек функции отношения рассеяния на рис. 2 ниже уровня 1, что можно объяснить нарастанием экспериментальной ошибки в конце трассы.

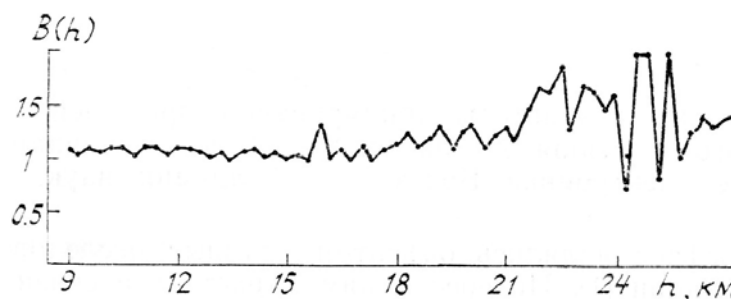


Рис. 2. Профиль отношения рассеяния в стратосфере летом (14.08.87, район г. Софии): разрешение по высоте — 300 м, время накопления — 10 с, фон $N_b = 300$ с⁻¹

Из модельного профиля ослабления в стратосфере можно определить $T(h_0, h)$ и оценить относительную ошибку, если принять $T(h_0, h) = 1$. Эта ошибка нарастает с высотой, не превышая 10%. Предположение, что на высоте h_0 есть только молекулярное рассеяние, вносит тоже ошибку 3–5%. Ориентировочная оценка ошибки показывает, что точность вычисления отношения рассеяния не более 20%.

Эксперименты по зондированию нижней стратосферы указывают на вполне удовлетворительные характеристики лидара с лазером на парах меди. Пространственная разрешающая способность (150–300) м и время накопления $T_{ac} = (10–100)$ с удовлетворяют требованиям к лидарной аппаратуре для исследования стратосферных слоев Юнге и изучения их динамики.

Полученная в [8] оценка точности измерения лидарного отклика (3–4%) на высотах 30 км указывает на возможность увеличения максимальной высоты зондирования после улучшения стабильной работы лазера на частотах ниже 5 кГц.

1. Fiocco G., Grams G. — J. Atm. Sci., 1964, v. 21, p. 323–324.
2. Northman G., Rosen J. — Appl. Optics, 1974, v. 13, p. 2416–2421.
3. Rosen J., Hofman D. — Appl. Optics, 1986, v. 25, p. 410–419.
4. Креков Г.М., Рахимов Р.Ф. Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. Новосибирск: Наука. 1982.
5. Stefanutti L., Morandi M., Castagnoli F., Radicati B. — II Nuovo Cimento. 1985, v. 8C, № 6, p. 714–726.
6. Jager H., Reiter R., Carnuth W., Sun Jian. XII ILRS, Aix en Provence 13–17 August 1984, p. 207.
7. Stojnov D., Kolarov G., Ferdinandov E., Stojkova E., Mitsev Ts., Donchev A. — Rev. Roum. Phys., 1987, v. 32, p. 245.
8. Стоянов Д.В., Дончев А.К., Коларов Г.В., Мицев Ц.А. Оптика атмосферы. 1988, т. 1, № 4, с. 109–116.
9. Russel Ph., Swisler Th., McCormick M. — Appl. Optics., 1979, v. 18. — p. 3783–3797.
10. McClatchy et al. Report AFCRL-71-0279, Environ. Res. Papers, № 354, 1971.

Институт электроники
Болгарской Академии наук,
София, НРБ

Поступило в редакцию
4 марта 1988 г.

G.V. Kolarov, D.V. Stoyanov, Ts.A. Mitsev, Ts.G. Againa. **Stratospheric Aerosol Sound- ing by Copper Vapor Laser Lidar.**

Reported here are sampled data on the stratospheric aerosol backscattering ratio profiles up to 22–28 km measured by a lidar system developed at the Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences.