

С.Л. Бондаренко, В.Д. Бурлаков, М.В. Гришаев, В.В. Зуев, В.Н. Маричев, В.Л. Правдин

ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ МЕЗОСФЕРЫ НА СИБИРСКОЙ ЛИДАРНОЙ СТАНЦИИ

Приведены экспериментальные результаты зондирования атмосферы на Сибирской лидарной станции до высоты ~90 км. Из лидарного эхосигнала, зарегистрированного из мезосферы, определен профиль температуры до высоты 77 км, который не противоречит модельному распределению.

Основным элементом Сибирской лидарной станции Института оптики атмосферы СО РАН является крупногабаритный приемный стационарный телескоп с диаметром зеркала 2,2 м и фокальным расстоянием 10 м [1]. Этот телескоп был рассчитан для регистрации лидарных эхосигналов до высот ~100 км при использовании лазерных передатчиков со средним уровнем мощности излучения.

В работе [1] приводится описание разработанного нами на базе этого приемного телескопа многочастотного лидара для одновременного зондирования вертикального распределения озона и аэрозоля в стратосфере.

В этом лидаре передача оптических лидарных эхосигналов от фокальной плоскости приемного зеркала к спектроанализаторам с системой многоканальной регистрации в режиме счета импульсов фототока осуществляется с помощью световодной техники. Такая схема позволяла, во-первых, избежать технических трудностей одновременного размещения нескольких спектральных и фоторегистрирующих блоков в фокусе над зеркалом, во-вторых, обеспечить комфортный режим регистрации лидарных сигналов при стабильной комнатной температуре. При этом, однако, коэффициент светопередачи световода, склеенного с фоконом, составляет всего 20 – 60% в зависимости от длины волны. Это заведомо обуславливало потерю полезного сигнала и снижение потолка зондирования.

В настоящее время мы расширили спектральный диапазон многочастотного зондирования атмосферы в ИК-область спектра, установив дополнительный канал на длине волны 1064 нм. Регистрация эхосигнала на этой длине волны также осуществляется с помощью ФЭУ в режиме счета импульсов фототока. Поскольку чувствительность ФЭУ в этой области спектра мала, мы вынуждены были отказаться от световодов во избежание ненужных потерь. В модифицированном лидаре регистрация эхосигналов на длинах волн 308, 353, 532 и 1064 нм осуществляется непосредственно в фокальной плоскости приемного зеркала. Здесь на специальной шайбе смонтированы два идентичных блока, входные диафрагмы которых с диаметром 3 мм совмещены с изображением 2-х зондирующих лучей 308; 353 нм и 532; 1064 нм, разведенных на незначительный угол между собой. Угол зрения приемной антенны при этом составляет всего 0,3 мрад, что позволяет значительно снизить фоновые засветки.

После диафрагмы принятое излучение коллимируется короткофокусными линзами на дихроичные спектроделительные зеркала, проходит через узкополосные интерференционные фильтры с $\Delta\lambda_{0,5} \sim (2-4)$ нм и далее фокусируется короткофокусными линзами на фотокатоды ФЭУ. Для регистрации эхосигналов на длинах волн 308, 353 и 532 нм используются ФЭУ-130, а на длине волны 1064 нм охлаждаемый до температуры -30 °С ФЭУ-83. Общий коэффициент светопередачи в описанных блоках регистрации эхосигналов на каждой длине волны превышает 50%, что обеспечивает уверенный прием эхосигналов до высот $H \sim 30$ км на длине волны 1064 нм при времени накопления сигналов 15–20 мин. С целью определения максимального потолка зондирования нашего лидара был проведен специальный эксперимент с использованием наиболее мощного эхосигнала на длине волны 532 нм.

Энергия импульсов генерации Nd:АИГ-лазера на длине волны 532 нм составляла 60 мДж при частоте следования импульсов 10 Гц и расходимости излучения 0,15 мрад. Механический прерыватель, синхронно работающий с лазером, был настроен на отсечку лидарного эхосигна-

ла с высоты 30 км. Скорость вращения и геометрия окон механического прерывателя обеспечивают время полного открывания фотокатода ФЭУ в течение 50 мкс. Таким образом, переходная зона изменения геометрического фактора лидара $G(H)$ за счет прерывателя составляет ~15 км. Счетчик фотонов запускается с задержкой 300 мкс относительно импульса генерации и начинает регистрировать импульсы ФЭУ с высоты 45 км, когда геометрический фактор уже достигает значения $G(H) = 1$. На рис. 1 представлен высотный профиль логарифма зарегистрированного эхосигнала, умноженный на H^2 . Пространственная ширина строба регистратора составляла 100 м, общее количество стробов по дальности 500. Таким образом, лидарный эхосигнал регистрировался в высотном диапазоне 45...95 км. Время накопления суммарного сигнала составляло 1,5 ч. При этом в первом стробе было накоплено 10390 фотонов, а суммарный уровень N' фона, темнового тока ФЭУ и шума усилителя-формирователя составлял 52. Участок перегиба профилей $\ln\{[N(H)+N'] H^2\}$ в районе $H \sim (85-90)$ км на рис. 1 характеризует достигнутую высоту зондирования, когда уровни лидарного эхосигнала $N(H)$ и шумов N' становятся сравнимыми.

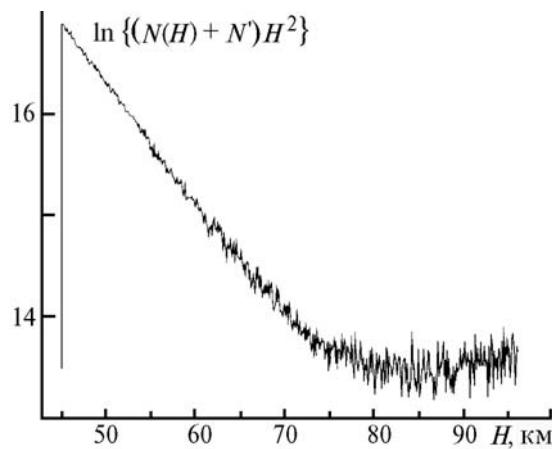


Рис. 1. Лидарный сигнал, полученный с механическим затвором после отсечки с $H = 45$ км

Мы использовали зарегистрированный лидарный эхосигнал, характеризующий поведение профиля молекулярной плотности воздуха на этих высотах для определения профиля температуры в мезосфере.

Профиль коэффициента обратного молекулярного рассеяния $\beta_{\pi}^M(H)$ определяется из лидарного уравнения как

$$\beta_{\pi}^M(H) = N(H) H^2 [1/C], \quad (1)$$

где C – константа калибровки, включающая аппаратную постоянную лидара и пропускание атмосферы в нижележащих слоях, практически дающих весь вклад в ослабление зондирующего излучения. Для определения C мы использовали модельное значение $\beta_{\pi}^M(H)$ на высоте калибровки $H_k = 50$ км [2].

Далее, используя зависимость

$$\beta_{\pi}^M(H) = (k P(H)/T(H)), \quad (2)$$

где $P(H)$ и $T(H)$ – профили давления и температуры, а $k = 0,462 \cdot 10^{-3} \text{ км}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1} \cdot \text{К/мб}$ для $\lambda = 532 \text{ нм}$ [3]. Получаем выражение для искомого профиля температуры

$$T(H) = 0,462 \cdot 10^{-3} \frac{P_{\text{мод}}(H) N(H_k)}{\beta_{\pi\text{мод}}^M(H_k) N(H)}, \quad (3)$$

где $P_{\text{мод}}(H)$ – модельный высотный профиль атмосферного давления, взятый из [2].

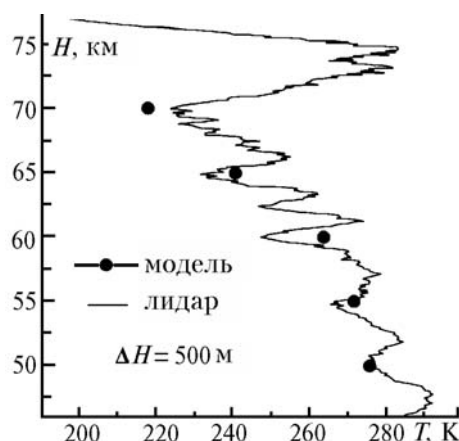


Рис. 2. Профиль температуры, восстановленный по лидарному сигналу с калибровкой на высоте 50 км

На рис. 2 представлен определенный по формуле (3) профиль температуры. Кружками обозначены модельные значения температуры [2]. Видно, что во всем интервале высот прослеживается хорошее совпадение полученных значений температур с модельными. Вместе с тем лидарный профиль температуры неоднороден, на нем видны локальные максимумы и минимумы, формирующие волнообразную структуру профиля, которая, быть может, отражает структуру гравитационных волн. Пространственный период колебаний составляет 5 км, а амплитуда колебаний 15–25°K на высотах 45–60 км и 25–45°K на высотах 60–70 км. Наибольшие отклонения от модельного высотного распределения температур наблюдаются в верхних слоях мезосферы для $H > 70$ км. Превышение составляет более 50°K и, по-видимому, характеризует потепление в мезосфере, связанное с осенней перестройкой циркуляции воздушных масс в Северном полушарии ([4], с. 219–229), которое идет сверху вниз.

Результаты проведенного эксперимента показали, что с помощью модифицированного лидара на базе телескопа с диаметром 2,2 м можно регистрировать лидарные эхосигналы до верхней границы мезосферы. Нами принципиально реализована возможность лидарных наблюдений за верхней стратосферой и мезосферой. Они могут включать исследование перламутровых и серебристых облаков, изучение динамики вертикального распределения плотности или температуры воздуха, в том числе внутренних гравитационных волн.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93–05–9383).

1. Бурлаков В.Д., Ельников А.В., Зув В.В. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. №10. С. 1022–1027.
2. Ипполитов И.И., Комаров В.С., Мицель А.А. // Спектроскопические методы зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1985. С. 4–40.
3. Маричев В.Н., Ельников А.В. // Оптика атмосферы и океана. 1988. Т. 1. №5. С. 77–83.
4. Атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 510 с.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
26 октября 1994 г.

S.L. Bondarenko, V.D. Burlakov, M.V. Grishaev, V.V. Zuev., V.N. Marichev, V.L. Pravdin. **Laser Sounding of the Mesosphere at Siberian Lidar Station.**

The experimental results of laser sounding of the atmosphere up to 90 km are presented. The temperature profile up to 77 km is determined using the lidar return from mesosphere. This profile does not contradict the model one.