

УДК 551.576

**В.В. Зуев, М.И. Андреев, В.Д. Бурлаков, А.В. Ельников, А.В. Невзоров, С.В. Смирнов**

## **ЛИДАРНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАЧНОСТИ В ДНЕВНОЕ И НОЧНОЕ ВРЕМЯ**

Представлена локационная система в составе лидара и видеокамеры, предназначенная для измерений пространственно-временной изменчивости геометрических и оптических характеристик, фазовой структуры облаков в дневное и ночное время.

Исследование облачных образований (их морфологических признаков, микрофизических и оптических характеристик и пространственно-временной изменчивости) ведется в течение длительного времени всеми доступными методами (визуальные наблюдения, радиолокация, аэрокосмическая съемка, контактные методы, фотометрия, ИК-радиометрия и др.). Однако решение проблем, связанных с облаками, в том числе с влиянием облачности на радиационно-тепловой баланс, требует дальнейшего накопления эмпирического материала и совершенствования имеющихся аппаратных средств наблюдений.

С появлением и развитием методов лазерного зондирования атмосферы для исследований облачности стали использовать лидары, которые позволяют проводить оперативные измерения оптических характеристик, определять фазовый состав, высоту нижней и верхней границ облаков. При этом лидарные методы позволяют исследовать облака верхнего яруса (перистые облака) сквозь нижележащую область, которая часто закрывает их от наблюдений с земли.

В настоящее время изучению перистой облачности уделяется очень большое внимание, поскольку установлено, что они оказывают значительное влияние на радиационные атмосферные процессы, погодообразование и климат; в зависимости от своих оптических и микрофизических свойств они могут вызывать эффект потепления или выхолаживания [1, 2]. Особенно результативными являются комплексные исследования радиационно-оптических свойств перистых облаков, сочетающие лидарные и ИК-радиометрические методы измерений [3–5].

Лидарная система, рассматриваемая в данном сообщении, позволяет расширить возможности экспериментальных исследований облачности. С помощью этой системы можно выполнять как ночные, так и дневные измерения с высоким временным разрешением и качественно оценивать состояние неба в зените в периоды измерений. Основу данной системы составляет лидар. Передатчиком в нем является Nd-ИАГ-лазер, работающий на длине волны 1064 нм, энергия в импульсе составляет 150 мДж, частота повторения импульсов 10 Гц. Выбор длины волны 1064 нм определяется низким значением фонового излучения дневного неба в ближнем ИК-

диапазоне, что является особенно важным при проведении лидарных наблюдений облаков в дневное время. Кроме того, как показано в [4], при зондировании на длине волны 1060 нм точность определения границ облачности выше, чем на длине волны 532 нм.

В лидарной системе используется коаксиальная схема построения приемопередатчика. Обратнорасеянное лазерное излучение принимается зеркалом диаметром 2,2 м с фокусным расстоянием 10 м. В фокальной плоскости приемного зеркала установлена полевая диафрагма, далее – коллимирующая линза, пленочный поляризатор, узкополосный интерференционный фильтр и фокусирующая линза перед ФЭУ.

Возможность изменять диаметр полевой диафрагмы и площадь приемного зеркала позволяет подобрать оптимальное отношение сигнал-фон в дневных и ночных измерениях. В ночных измерениях используется вся площадь зеркала, в дневных она сокращается до значения, эквивалентного площади зеркала диаметром 0,3 м. Угол поля зрения приемной системы немногим больше угла расходимости передатчика и составляет около 0,3 мрад как для дневных, так и для ночных измерений. Малый угол поля зрения снижает фоновую засветку и влияние эффекта многократного рассеяния в облаке на лидарный сигнал [6].

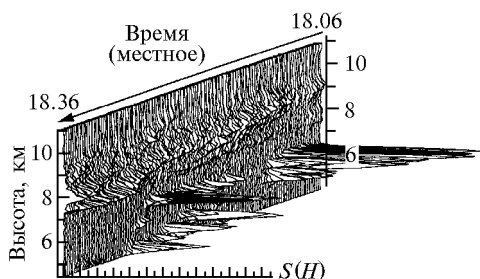
В качестве приемника излучения используется ФЭУ-83, который для уменьшения собственных шумов охлаждается элементами Пельтье до температуры около  $-30^{\circ}\text{C}$ . Регистрация сигналов ведется в режиме счета фотонов.

В диапазоне высот от 0 до 12,8 км с минимальным пространственным разрешением 100 м лидарный сигнал копится по 20–30 лазерным импульсам. Время накопления лидарных сигналов, необходимое для получения одного статистически значимого профиля, составляет 3–4 с. Отметим, что при зондировании облаков лидарами с регистрацией сигналов в аналоговом режиме работы ФЭУ [3, 4] это время составляет 0,5 мин и более.

В лидарную систему входит также видеокамера. Она укреплена параллельно оптической оси, вблизи фокуса приемного телескопа лидара, и предназначена для контроля облачного покрытия неба во время зондирования. Видеозапись позволяет определять

горизонтальные размеры облаков, скорость и направление их перемещения.

С целью определения фазового состояния облачных частиц (ледяные кристаллы, водяные капли или смешанный тип) в наблюдаемых облаках измеряется степень деполаризации лидарных сигналов – отношение перпендикулярной и параллельной составляющих поляризации. Используемый пленочный поляризатор-анализатор позволяет проводить такие измерения поочередно, с небольшим временным интервалом в несколько секунд. Из-за большой скорости перемещения облаков (до десятков метров в секунду) и сильной вертикальной изменчивости их оптической плотности измерение степени деполаризации является приблизительным и поэтому малоинформативным. Тем не менее качественная оценка фазовой структуры облаков возможна и сейчас. В дальнейшем пленочный поляризатор планируется заменить на призму Глана–Томсона и создать второй канал регистрации для одновременных измерений обеих составляющих поляризации.



Изменение вертикальной структуры скорректированного по дальности и накопленного лидарного сигнала ( $S$ -функции) при наблюдениях перистой, высококучевой и кучевой облачности 14 августа 1997 г.; период измерений – 18.06–18.36 местного времени

В качестве демонстрации возможностей лидарной системы на рисунке показан фрагмент временной развертки вертикальных лидарных профилей  $S$ -функции,

которая выражается как  $S(H) = (N(H) - N_{\text{фон}})H^2$  (где  $N(H)$  – регистрируемый лидарный сигнал;  $N_{\text{фон}}$  – фоновый сигнал, включающий фон неба и шумы ФЭУ;  $H$  – высота). Этот фрагмент относится к периоду прохождения над пунктом наблюдения атмосферного теплового фронта. На рисунке хорошо видны три типа облачности. Нижняя и средняя облачность (ниже 7 км) имеет разрывный характер и обладает большой оптической плотностью. Для облачности выше 7 км характерны постепенное понижение высоты локализации и малая оптическая плотность. Понижение за период наблюдения составило примерно 2 км.

Визуальные и видеонаблюдения показали, что облачное покрытие неба в этот период, составившее общее количество облаков 10 баллов, было обусловлено облаками вертикального развития – *Cu hum* (1–2 балла), облаками среднего яруса – *Ac floc* (1–2 балла) и облаками верхнего яруса – *Cs fib* (10 баллов) и *Ci sp* (4 балла). Средняя скорость перемещения облаков по результатам расчета видеоданных составила 9–11 м/с на высотах 4,5–6 км для *Ac* и 11–14 м/с на 7–9 км для *Cs* и *Ci*.

Таким образом, разработанная лидарная система позволяет проводить измерения динамики характеристик облаков нижнего, среднего и верхнего ярусов в дневное и ночное время с временным разрешением несколько секунд.

Работа выполнена при финансовой поддержке Миннауки РФ на установке «Сибирская лидарная станция» (рег. № 01–64).

1. Lion K.N. // Mon. Weather Rev. 1986. V. 114. P. 1167–1199.
2. Cox S.K. // J. Atmos. Sci. 1971. P. 1513–1515.
3. Platt C.M., Scott J.C., Dilley A.C. // J. Atmos. Sci. 1987. V. 44. N 4. P. 729–747.
4. Кравец Л.В., Маринушкин В.Н., Смирнов Н.Д. // Радиационные свойства перистых облаков. М.: Наука, 1989. С. 87–99.
5. Кравец Л.В. // Изв. РАН. Сер. ФАО. 1994. Т. 30. № 2. С. 219–222.
6. Nikolas F., Bissonnette L.R., Flamant P.H. // Appl. Optics. 1997. V. 36. N 15. P. 3458–3468.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
6 ноября 1997 г.

*V.V. Zuev, M.I. Andreev, V.D. Burlakov, A.V. El'nikov, A.V. Nevzorov, S.V. Smirnov. Lidar System for Investigation of the Cloudiness in Day and Night Time.*

A lidar system including the lidar and videocamera is described. The system is intended for measurements of the spatial-temporal variability of geometrical and optical characteristics of clouds in day and night time.