

А.И. Гришин, А.Е. Зильберман

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ЛИДАРНОГО ОТНОШЕНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Описана оригинальная методика оперативного измерения лидарного отношения в приземном слое атмосферы. Проведены натурные измерения лидарного отношения в приземном слое, получены предварительные результаты, которые доказывают работоспособность данной методики.

Восстановление оптических характеристик атмосферы из экспериментальных данных, полученных методом лидарного зондирования, часто сопряжено с трудностями, связанными с недоопределенностью исходных уравнений [1]. Различные методы решения, разработанные к настоящему времени [2], по сути дела, работоспособны лишь в рамках каких-либо ограничивающих предположений, причем из экспериментальных данных, как правило, не ясно, насколько данные предположения правомочны.

Следовательно, актуальной является задача оперативного определения таких характеристик атмосферы, априорная информация о которых позволяет корректно решать уравнение лазерного зондирования. В частности, в качестве такого атмосферного параметра может выступать лидарное отношение, которое, по сути, является нормированной индикатрисой рассеяния в направлении назад. Знание лидарного отношения даже для какой-либо фиксированной точки пространства позволяет восстанавливать искомые характеристики атмосферы как для данной пространственной области, так и для высотного профиля в целом с более высокой точностью.

В принципе, дополнительную информацию о параметрах атмосферы можно получить, используя независимые средства измерений, например нефелометрические методы [3]. Однако это приводит к усложнению состава измерительной аппаратуры и, кроме того, понижает оперативность измерений. Более предпочтителен вариант, при котором получение всей информации осуществляется одним лидаром.

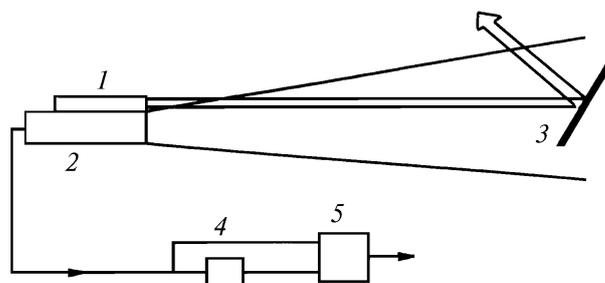


Рис. 1

Для реализации этой идеи была разработана схема зондирования, позволяющая получать оперативную информацию о величине лидарного отношения при помощи лазерного локалятора [4]. В основе данной идеи лежит подтвержденный множеством экспериментальных проверок факт о постоянной величине отношения коэффициентов рассеяния для угла  $45^\circ$  и объемного коэффициента рассеяния [5]. Блок-схема измерений представлена на рис. 1. Лазер 1 излучает световой импульс в направлении зеркала 3 с известным коэффициентом отражения и расположенным таким образом, чтобы нормаль к нему находилась по углом  $22,5^\circ$  к падающему лучу. Угол расходимости передатчика, удаленность зеркала от лидара и размеры зеркала соотносятся таким образом, что обеспечивается полный перехват светового пучка.

Таким образом, после падения световой луч отражается под углом  $135^\circ$  к первоначальному направлению падающего луча. При этом на входе приемной системы 2 последовательно фиксируется обратное рассеянное излучение и далее излучение, рассеянное под углом  $45^\circ$  по отношению к лидарной системе. С выхода приемной системы сигнал поступает на два входа устройства деления 5, один из которых непосредственно подключен к выходу приемной оптической системы, а другой через линию задержки 4. Выбор временной задержки  $\tau$  определяется из условия, что на входе устройства деления должны одновременно присутствовать два сигнала, соответствующих времени  $t_1$  и  $t_2$ , причем при  $t_1$  сигнал на приемную систему поступает из рассеивающего объема непосредственно перед попаданием на зеркало, а при  $t_2$  – сразу после отражения от зеркала. При этом величина  $\tau = t_2 - t_1$  ограничивается двумя условиями:  $\tau > 1/\Delta f$  и  $\tau > t_0/2$ , где  $t_0$  – длительность лазерного импульса;  $\Delta f$  – полоса частот регистрирующей аппаратуры. Слишком большая величина  $\tau$  приводит к уменьшению точности измерений за счет различия в ослаблении сигнала в моменты времени  $t_2$  и  $t_1$  и, кроме того, большая величина задержки достаточно сложно реализуется на практике. Поэтому приемлемым значением является задержка в пределах 150–200 нс.

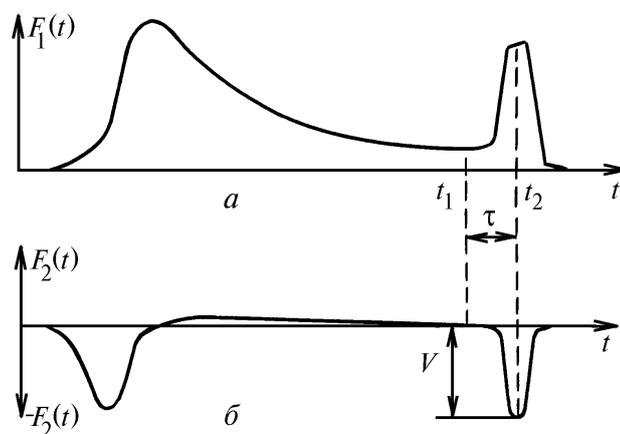


Рис. 2

Все сказанное иллюстрирует рис. 2, на котором изображены сигналы  $F_1$  и  $F_2$  на выходе приемной оптической системы и на выходе устройства деления соответственно, причем  $F_2$  для уменьшения динамического диапазона показан в логарифмических координатах. Из рис. 2 видно, что в момент времени  $t_2$  на выходе устройства деления появляется сигнал  $V$ , пропорциональный величине  $F_1(t)/F_2(t)$  и, следовательно, несущий информацию о величине лидарного отношения в точке пространства, расположенной в непосредственной близости от отражающего зеркала.

Калибровка данного устройства осуществлялась в контролируемых условиях с использованием нефелометрической установки, описанной в [6], которая располагалась в непосредственной близости от отражающего зеркала. Процесс калибровки заключался в определении коэффициента пропорциональности между амплитудой сигнала  $V$  и величиной лидарного отношения в момент измерения.

Экспериментальная проверка данной методики проводилась в августе 1994 г. на полигоне ИОА в дневных условиях с использованием двухтрассового лидара [7]. Измерениям сопутствовала ясная солнечная погода при слабом ветре 1–2 м/с вблизи земной поверхности. Подстилающая поверхность представляла собой вспаханное поле, на котором на высоте 1 м на расстоянии 250 м от лидара располагалось отражающее зеркало. Диффузное отражение от зеркала, обусловленное оседанием пыли на его поверхности и другими факторами, проявлялось в виде короткого пика длительностью  $t_0$  на переднем фронте сигнала и не фиксировалось регистрирующей аппаратурой, полоса пропускания которой составляла  $\sim 10$  МГц и находилась за пределами полосы частот, соответствующей длительности лазерного импульса. Отметим, что, возможно, именно воздействием диффузной составляющей объясняется несколько необычная форма отраженного сигнала на рис. 2, а, которая соответствует сигналу, полученному *in situ*.

Натурные измерения проводились в несколько циклов, причем в каждом цикле было получено не менее 500 сигналов, которые в дальнейшем подвергались статистической обработке

и позволили определить величину лидарного отношения для приземного слоя, которое оказалось равным  $(0,032 \pm 0,009)$  ср. Полученное значение хорошо согласуется с данными других авторов, например [3], при измерениях в приземном слое. Приведенная погрешность в данном случае является суммарной оценкой погрешности, которая учитывает методическую ошибку, обусловленную приблизительным знанием величины отношения коэффициента рассеяния для угла  $45^\circ$  и объемного коэффициента рассеяния, ошибку калибровки, а также аппаратную погрешность измерений. В целом данные измерения носили предварительный характер, однако они подтвердили возможность оперативного определения лидарного отношения на базе описанной методики и показали, что полученную информацию можно использовать для увеличения точности восстановления профилей оптических характеристик на основе лидарных измерений.

Работа выполнена благодаря поддержке РФФИ, грант N 95–05–14203.

1. Зуев В.Е., Креков Г.М., Крекова М.М. // Дистанционное зондирование атмосферы. Новосибирск: Наука, 1978. С. 3–46.
2. Зуев В.Е., Наац И.Э. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. Новосибирск: Наука, 1982. 241 с.
3. Торопова Т.П. // Метеорология и гидрология. 1980. N 3. С.109–113.
4. Устройство для определения оптических параметров атмосферы. А.с. 756921, класс G01/W. / Гришин А.И.
5. Иванов А.П. Оптика рассеивающих сред. Минск: Наука и техника, 1969. 592 с.
6. Белан Б.Д., Гришин А.И., Матвиенко Г.Г. и др. Пространственная изменчивость характеристик атмосферного аэрозоля. Новосибирск: Наука, 1989. 150 с.
7. Воровдин Ю.М. // 1-й межреспубликанский симпозиум «Оптика атмосферы и океана» (Тезисы докл.). Ч. 2. Томск: Изд. ИОА. 1994. С. 174–175.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
20 апреля 1995 г.

**A. I. Grishin, A. E. Zilberman. Experimental Measurement of the Lidar Ratio inside Ground Atmospheric Layer.**

An original technique is described for on-line measurement of the lidar ratio inside nearground atmospheric layer. Field measurements of the lidar ratio are conducted and the preliminary results are obtained which demonstrate the technique applicability.