

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.51

В.В. Зуев, В.Д. Бурлаков, С.И. Долгий, А.В. Невзоров, Н.Е. Орлова

Первые результаты лазерного контроля водяного пара
в тропосфере на Сибирской лидарной станции

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 17.01.2003 г.

Обсуждаются возможности дистанционного лазерного контроля водяного пара в тропосфере на каналах зондирования Сибирской лидарной станции (СЛС) с использованием сигналов обратного комбинационного рассеяния. Дано описание УФ-модифицированного канала зондирования СЛС, рассмотрена проблема эффективной отсечки крыла рэлеевской линии возбуждающего излучения. Приведены первые профили вертикального распределения водяного пара в тропосфере, полученные на СЛС.

Дистанционный лазерный контроль водяного пара в тропосфере осуществляется с использованием эффектов дифференциального поглощения рассеянной энергии (ДПРЭ) в пределах контура изолированной линии поглощения водяного пара и комбинационного рассеяния (КР) [1, 2]. Метод ДПРЭ обладает максимальной чувствительностью, но исключительно сложен в реализации [3]. Метод КР прост в реализации и обладает высокой селективностью. Однако чувствительность этого метода сильно ограничивается малым сечением взаимодействия. Поскольку величина сечения КР возрастает с увеличением длины волны λ возбуждающего излучения по закону λ^{-4} , выгоднее использовать самые короткие длины волн. С другой стороны, продвижение в область коротких λ ограничивается полосами поглощения озона Хаггинса и Хартли.

В УФ-каналах Сибирской лидарной станции (СЛС) используется эксимерный ХеСл-лазер с длиной волны излучения 308 нм. В спектре сигналов обратного рассеяния, возбуждаемых лазерным импульсом на этой длине волны, всегда присутствуют сигналы КР водяного пара (347 нм) и азота (332 нм), которые описываются известным уравнением лазерной локации [2]:

$$P_{347}(H) = \eta_{347} G(H) P_{308}^0 \frac{A}{H^2} \beta_{347}^r(H) T_{308}(H) T_{347}(H), \quad (1)$$

$$P_{332}(H) = \eta_{332} G(H) P_{308}^0 \frac{A}{H^2} \beta_{332}^r(H) T_{308}(H) T_{332}(H), \quad (2)$$

где P_{308}^0 – мощность лазерного импульса возбуждения; $P_{\lambda}(H)$ – лидарные КР-сигналы на соответствующих λ ; η_{λ} – эффективность приемопередатчика; $G(H)$ – геометрический фактор; $T_{\lambda}(H)$ – спектральное пропускание слоя атмосферы (0–H); $\beta_{\lambda}^r(H)$ – коэффициент обратного КР для водяного пара и азота; A – площадь приемной апертуры. Профиль вер-

тикального распределения водяного пара как отношение смеси ϵ определяется путем простого деления (1) на (2):

$$\epsilon(H) = C_k \frac{P_{347}(H) T_{332}(H)}{P_{332}(H) T_{347}(H)}, \quad (3)$$

где C_k – коэффициент калибровки.

Несложно оценить, что при значениях сечения поглощения озона на $\lambda = 332$ нм менее $1 \cdot 10^{-20}$ см² и характерных концентрациях тропосферного озона не более $1 \cdot 10^{-12}$ см⁻³ отношение спектральных пропусканий в (3) отличается от единицы незначительно (менее 1%) для всей толщи тропосферы. Таким образом, искажающее влияние дифференциального поглощения тропосферным озоном на длинах волн КР-сигналов 332 и 347 нм на результаты определения $\epsilon(H)$ можно считать несущественным.

Более существенным является искажение слабых КР-сигналов крылом линии обратного рэлеевского рассеяния возбуждающего излучения на 308 нм. Для подавления этой линии одновременно с эффективным пропусканием КР-сигналов могут использоваться органические растворители: амиловый спирт, этилацетат, *n*-бутил и ацетон. На рис. 1,а приведены измеренные спектры пропускания поглощающей кюветы толщиной 10 мм, заполненной соответствующими растворителями. Очевидно, что наиболее приемлемым для решаемой задачи является ацетон. Кривые пропускания ацетона при различных концентрациях и толщинах поглощающего слоя изображены на рис. 1,б. Таким образом, применение в приемном тракте КР-сигналов на длинах волн 332 и 347 нм фильтра на основе поглощающей кюветы с ацетоном позволяет решить проблему подавления крыла линии обратного рэлеевского рассеяния.

Регистрация КР-сигналов осуществлялась ночью в режиме счета импульсов фототока ФЭУ с использованием приемной апертуры диаметром 0,5 м. Спектральная селекция КР-сигналов проводилась с помо-

стью дихроичного зеркала (коэффициент пропускания для $\lambda_{347} = 70\%$ и отражения для $\lambda_{332} = 95\%$) и интерференционных фильтров со спектральными параметрами ширина/пропускание 3,0 нм/44% и 1,7 нм/59% на длинах волн 332 и 347 нм соответственно. В обоих каналах использовались ФЭУ «Hamamatsu R7207-01» и усилители «Hamamatsu C3866».

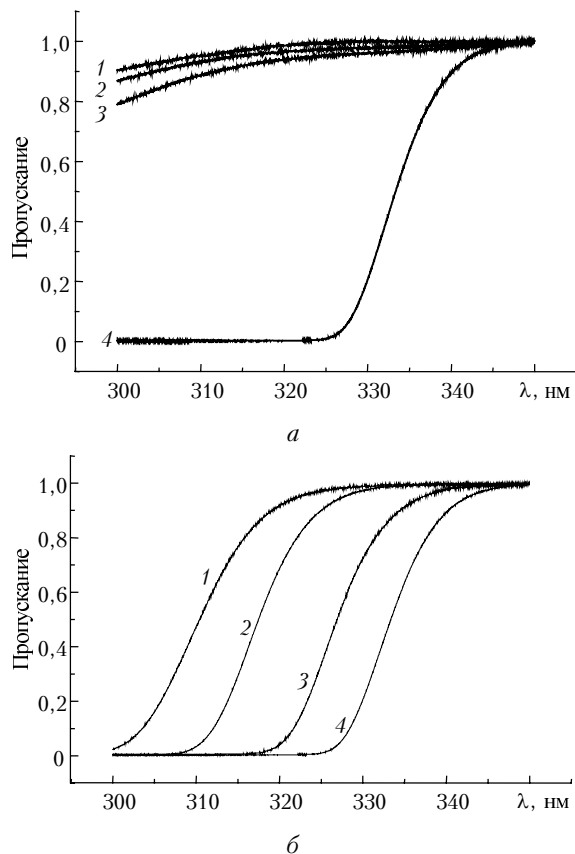


Рис. 1. Спектры пропускания некоторых органических растворителей и ацетона: *a* – 1 – амиловый спирт; 2 – этилацетат; 3 – *n*-бутил; 4 – ацетон (толщина поглощающего слоя 10 мм); *b* – 1, 2-водный раствор ацетона (25%) при толщине поглощающего слоя 1 и 10 мм соответственно; 3, 4 – ацетон (100%) при толщине поглощающего слоя 1 и 10 мм соответственно

Калибровочный коэффициент C_k определялся по отношению сигналов в первом 50-м стробе с применением метеоданных ТОР-станции ИОА СО РАН [4], расположенной рядом с каналами зондирования СЛС.

Первые результаты дистанционного лазерного контроля водяного пара в тропосфере с использованием КР-сигналов, возбуждаемых импульсами ХеСІ-лазера, приведены на рис. 2. Видно, что отношение смеси водяного пара определяется практически во всей тропосфере с приемлемой точностью. При этом вертикальное разрешение составляет 250 м, а время накопления сигналов 17 мин.

На рис. 3 приведена последовательная серия профилей вертикального распределения водяного пара, полученная 5 ноября 2002 г., характеризующая

эволюцию инверсных слоев, как приземного, так и на высоте 5–6 км. Профиль снимался через каждые 30 мин.

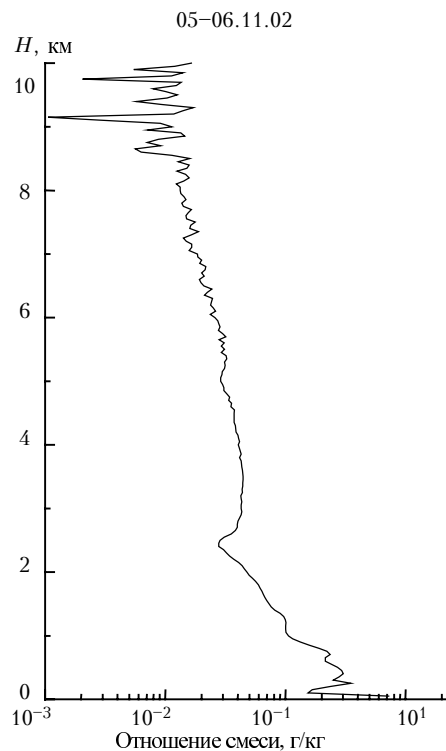


Рис. 2. Среднеочной профиль вертикального распределения водяного пара

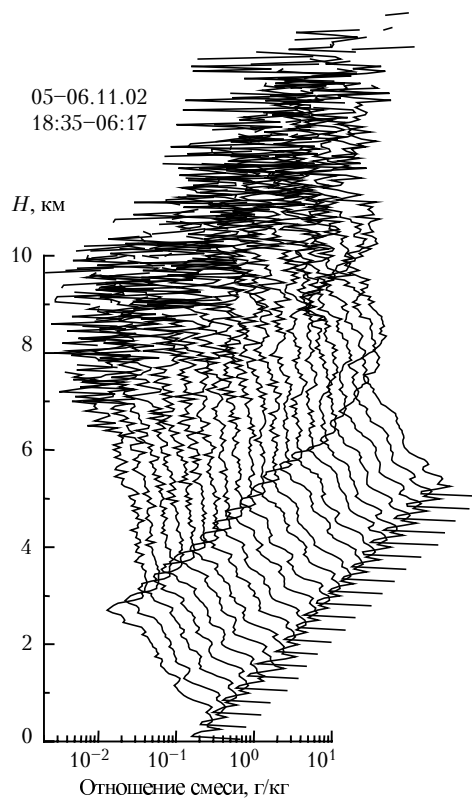


Рис. 3. Динамика вертикального распределения водяного пара в тропосфере

Полученные первые результаты дистанционного лазерного контроля водяного пара с использованием технического потенциала СЛС позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение ацетонового фильтра обеспечивает полное подавление крыла рэлеевской линии возбуждающего излучения на длине волны 308 нм при сохранении эффективного пропускания КР-сигналов на длинах волн 332 и 347 нм.

2. Временное и вертикальное разрешение получаемых профилей водяного пара уже в настоящее время обеспечивает возможность детального изучения динамики водяного пара во всей тропосфере в ночное время.

Дальнейшие перспективы развития УФ-каналов СЛС для дистанционного лазерного контроля водяного пара мы связываем с использованием большего приемного зеркала диаметром 2,2 м и с переводом регистрации в режим токового (аналогового) сигнала, что обеспечит возможность перехода на круглосуточный режим контроля водяного пара, по крайней мере

в пограничном слое атмосферы, и существенно увеличит оперативность получения лидарной информации.

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

1. Коллис Р.Т.Х., Рассел П.Б. Лидарные измерения аэрозольных частиц и газов посредством упругого рассеяния в направлении назад и дифференциального поглощения // Лазерный контроль атмосферы / Под ред. Э.Д. Хинкли. М.: Мир, 1979. С. 91–180.
2. Инаба Х. Обнаружение атомов и молекул посредством комбинационного рассеяния и резонансной флуоресценции // Лазерный контроль атмосферы / Под ред. Э.Д. Хинкли. М.: Мир, 1979. С. 181–279.
3. Зуев В.В., Зуев В.Е. Лазерный экологический мониторинг. М.: ВИНТИ, 1992. 214 с.
4. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Покровский Е.В., Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н. Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорол. и гидрол. 1999. № 3. С. 110–118.

V.V. Zuev, V.D. Burlakov, S.I. Dolgii, A.V. Nevzorov, N.E. Orlova. First results of laser monitoring of water vapor in the troposphere at Siberian Lidar Station.

We discuss the possibilities of remote laser monitoring of water vapor in the troposphere at the sensing channels of Siberian Lidar Station (SLS) using Raman backscattering signals. We describe the UV modified sensing channel of SLS and consider the problem of efficient cutoff of the Rayleigh line wing of exciting radiation. First profiles of water vapor vertical distribution in the troposphere obtained at SLS are presented.