

В.Д. Бурлаков, А.В. Ельников, В.В. Зуев, В.Н. Маричев, В.Л. Правдин, Е.В. Шарбарин, В.Б. Щеглов

МНОГОЧАСТОТНЫЙ ЛИДАР НА БАЗЕ ПРИЕМНОГО ТЕЛЕСКОПА С ДИАМЕТРОМ 2,2 М ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОЗОНА И АЭРОЗОЛЯ В СТРАТОСФЕРЕ

Приводятся блок-схема и техническое описание лидара. Многочастотный и многоканальный режимы работы лидара позволяют вести одновременную регистрацию вертикальных профилей распределения озона, аэрозоля и спектра размеров аэрозольных частиц. В качестве базовых лазеров используется вторая гармоника Nd:YAG-лазера и эксимерный XeCl-лазер. В совокупности с использованием ВКР-преобразования излучения лазеров накачки в водороде зондирование может осуществляться одновременно на длинах волн 308, 353, 413, 532 и 683 нм. Имеется возможность расширения диапазона зондирующих длин волн за счет использования лазеров на парах золота (628 нм) и свинца (723 нм). Данные о спектре размеров аэрозольных частиц, полученные одновременно с данными озонного зондирования, позволяют проводить аэрозольную коррекцию профилей концентрации озона.

Лазерное зондирование озона осуществляется, как правило, в УФ-диапазоне спектра в полосах поглощения Хартли и Хиггинса лидарным методом дифференциального поглощения. Поскольку УФ-полосы поглощения озона не имеют выраженной селективной структуры, длины волн зондирования приходится выбирать достаточно сильно разнесенными по спектру. В этом случае при восстановлении профиля озона из данных лидарного зондирования необходимо учитывать, что спектральные вариации коэффициентов аэрозольного ослабления и рассеяния в таком спектральном интервале могут оказаться значительными. В тропосфере, особенно в нижней ее части, из-за высокого содержания в ней аэрозолей разной природы и состава такая ситуация — обычное явление. Для стратосферы она реализуется, как правило, только после извержения мощных вулканов, выбрасывающих в стратосферу огромные количества аэрозолей и разных газов, которые способствуют дополнительному формированию стратосферного аэрозоля. В настоящее время, как известно, наблюдается сильное аэрозольное возмущение стратосферы продуктами извержения вулкана Пинатубо, происшедшего на Филиппинах в июне 1991 г., поэтому проблемы аэрозольной коррекции лазерного зондирования озона одинаково актуальны сегодня не только для тропосферы, но и для стратосферы.

Для осуществления «аэрозольной коррекции» необходимы знания о микроструктуре атмосферного аэрозоля, которые можно получить из данных многочастотного лазерного зондирования аэрозолей, полученных одновременно с данными озонного зондирования.

С этой целью мы создали многоканальный лидар на базе большого приемного телескопа с диаметром 2,2 м и многоволновой лазерной передающей системы. Блок-схема лидара изображена на рис. 1, а основные параметры приведены в таблице. Лидарный передатчик состоит из твердотельного Nd:YAG-лазера, эксимерного XeCl-лазера и ячеек высокого давления водорода с фокусирующей и коллимирующей оптикой, обеспечивающих сдвиг частоты лазерного излучения за счет ВКР.

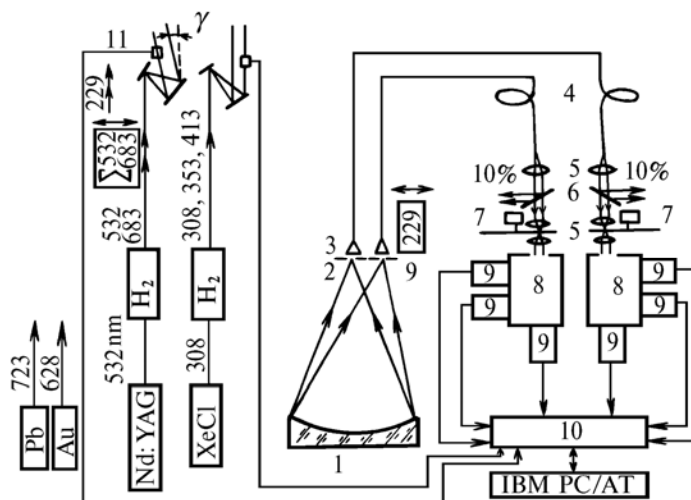


Рис. 1. Блок-схема лидара: 1 — приемное зеркало; 2 — полевые диафрагмы; 3 — фоконы; 4 — световоды; 5 — линзы; 6 — светоделительные зеркала; 7 — механическая отсека; 8 — кюветы спектральной селекции; 9 — ФЭУ; 10 — счетчик фотонов; 11 — фототранзисторы

Эффективность ВКР-преобразования лазерных частот, как известно, зависит от многих факторов (пространственно-энергетические параметры лазеров, фокусные расстояния и качество фокусирующей оптики, давление и состав газовой среды в ячейке высокого давления). По существу, для каждого конкретного лазера перераспределение энергии излучения между основной и комбинационными частотами при ВКР-преобразовании носят индивидуальный характер.

Для определения оптимальных режимов работы ВКР-преобразования лазерных частот нашего лидарного передатчика исследовалось поведение интенсивностей линий излучения при разных давлениях чистого водорода или в смеси с аргоном. В качестве ВКР-ячейки использовались кюветы из нержавеющей стали с внутренним диаметром 36 мм и длиной 1 м. Входные и выходные окна были изготовлены из кварцевых пластин толщиной 10 мм. Для достижения необходимой плотности энергии накачки излучение задающего лазера фокусировалось на центр ячейки кварцевой линзой с фокусным расстоянием 1 м. Давление газов в ячейке регулировалось от 0 до 24 атм. На выходе ячейки конфокально с фокусирующей линзой помещалась коллимирующая линза. Спектральное разделение компонент ВКР осуществлялось с помощью призмы или дифракционной решетки.

Технические характеристики лидара

Передатчик					
Лазерный источник	λ , нм	$E_{ц}$, мДж	$P_{ср}$, Вт	f , Гц	γ , мрад
HeCl	308	50		50–100	0,1–0,2
HeCl→ВКР(H ₂)	353	30		50–100	0,1–0,2
	413	20		50–100	0,1–0,2
N _d :YAG	1064	150		15	0,1–0,2
	532	50		15	0,1–0,2
N _d :YAG(532)→ВКР(H ₂)	683	30		15	0,1–0,2
Σ532, 683	299	5		15	0,1–0,2
Au	628		1	(2–3) · 10 ³	0.1–0.2
Pb	723		1	(2–3) · 10 ³	0.1–0.2
Приемник					
Диаметр приемного зеркала, м					2,2
Фокус приемного зеркала, м					10
Угол поля зрения, мрад					0,5
Пространственное разрешение, м					100–500
Временное разрешение, мин.					15–30
Система регистрации					
Фотодетектор			ФЭУ–130, ФЭУ–142, ФЭУ–157		
Количество временных интервалов					512
Компьютер					IBM PC/AT

На рис. 2 представлена зависимость интенсивностей основной частоты ХеСl-лазера и стоксовых компонент ВКР вплоть до 4-го порядка от давления исследуемых газов. Видно, что при давлении чистого водорода 18 атм интенсивности основной, первой и второй стоксовых линий практически сравниваются. Однако при увеличении давления ухудшается расходимость стоксовых компонент, особенно высоких порядков (рис. 3). Поскольку наш лидар снабжен длиннофокусным приемным телескопом ($F = 10$ м), а входной диаметр фоконов, концентрирующих принятое излучение в световод, составляет 6 мм, критическая величина расходимости излучения лидарного передатчика составляет 0,5 мрад.

Таким образом, при зондировании с использованием второй стоксовой компоненты рабочее давление в ВКР-ячейке должно составлять 13 атм, с использованием только первой выгоднее работать с меньшими давлениями (9 атм). Такая схема зондирования более удобна при исследовании озона на высотах выше стратосферного максимума, в котором поглощается основная часть зондирующего излучения на длине волны 308 нм.

На рис. 4 приведены кривые интенсивностей основной, первой и второй стоксовой и антистоксовой линий при ВКР-преобразовании 2-й гармоники Nd:YAG-лазера 532 нм. Видно, что наиболее оптимальным давлением для нашего лидара является 4 атм, поскольку из-за меньшей чувствительности ФЭУ и эффективности обратного рассеяния в длинноволновой области выгоднее перераспределять энергию в пользу первой стоксовой компоненты 683 нм.

Нами также исследовалось ВКР-преобразование лазерных частот с добавкой в ВКР-ячейку аргона (штриховые кривые на рис. 2 и рис. 4). Оказалось, что добавки Ar ведут к перераспределению соотношения интенсивностей в пользу основной компоненты. Причем для ХеСl-лазера и Nd:YAG-лазера поведение интенсивностей компонент различно. В случае ХеСl-лазера при добавлении аргона наблюдается спад интенсивности всех компонент ВКР-преобразования и соответственно рост интен-

сивности основной линии. Для Nd: YAG-лазера добавка аргона ведет к перераспределению интенсивностей в пользу как основной линии, так и первой стоксовской компоненты. Однако каких-либо преимуществ для нашей конкретной схемы зондирования добавки Ag не дают.

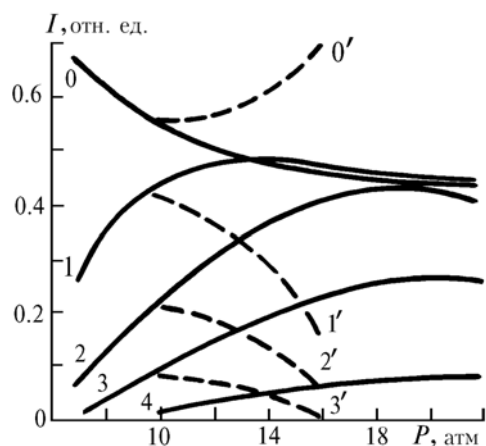


Рис. 2. Зависимость интенсивности компонент ВКР-преобразования от давления: 0, 1, 2, 3, 4 – в чистом водороде; 0', 1', 2', 3' – начальное давление водорода 10 атм с последующим добавлением аргона. Кривая 0 – $\lambda = 308$; 1 – 353; 2 – 413; 3 – 499; 4 – 628 нм

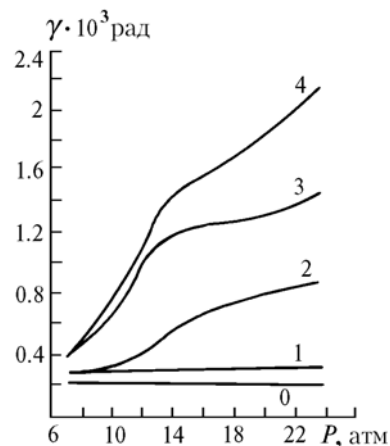


Рис. 3. Зависимость расходимости компонент ВКР преобразования XeCl-лазера от давления водорода; кривая 0 – $\lambda = 308$; 1 – 353; 2 – 413; 3 – 499; 4 – 628 нм

Кроме описанных выше лазерных передатчиков, наш лидар снабжен каналами резервирования на базе лазеров на парах Au и Pb. Параметры этих лазеров также приведены в таблице.

Многоканальный режим работы лидара осуществляется за счет наклона одного из лазерных лучей на небольшой угол $\sim 35'$, при этом в фокальной плоскости приемного зеркала положение фокуса для наклонных лучей смещается от центрального фокуса на расстояние ~ 10 см. Передача оптического сигнала от фокуса приемного зеркала к кюветам спектральной селекции осуществляется при помощи фоконов и градиановых линз, оптически склеенных или сваренных со световодами диаметром 200 мкм. Коэффициенты светопередачи систем «Фокон – световод» или «градиан – световод» составляют 40–70% в зависимости от используемого спектрального диапазона (меньший коэффициент для УФ диапазона). Кювета спектральной селекции позволяет вести одновременный прием 3-х длин волн зондирующего излучения путем подбора соответствующих спектроделительных зеркал и интерференционных фильтров. Для отсечки ближней зоны используются механические отсекатели, синхронно работающие с лазерами. Сигнал от ближней зоны (тропосферы) может одновременно регистрироваться при внесении светоделительных зеркал с 10%-м отражением светового потока на дополнительные кюветы спектральной селекции. Регистрация эхосигналов из стратосферы производится в режиме счета импульсов фототока в многоканальном счетчике событий с накоплением в 512 строках длиной по 100 м, которое позволило избежать просчетов одноэлектронных импульсов в большом динамическом диапазоне лидарных эхосигналов. В качестве фотоприемников применены ФЭУ-142, ФЭУ-130, ФЭУ-157 соответственно для 308–413, 532–628 и 683–723 нм спектрального диапазона.

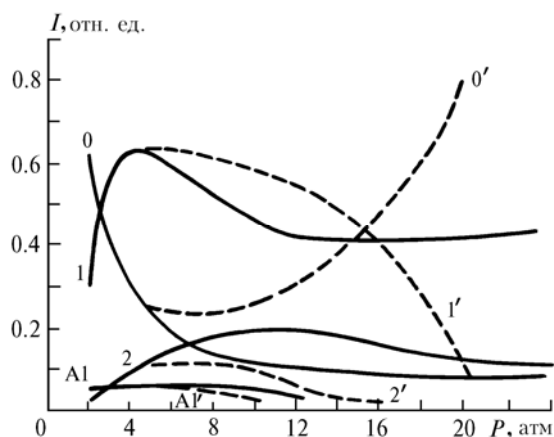


Рис. 4. Зависимость интенсивности компонент ВКР-преобразования от давления: A1, 0, 1, 2 – в чистом водороде; A1', 0', 1', 2' – начальное давление водорода 4 атм с последующим добавлением аргона; 0 – $\lambda = 532$; 1 – 683; 2 – 954; A1 – 436 нм

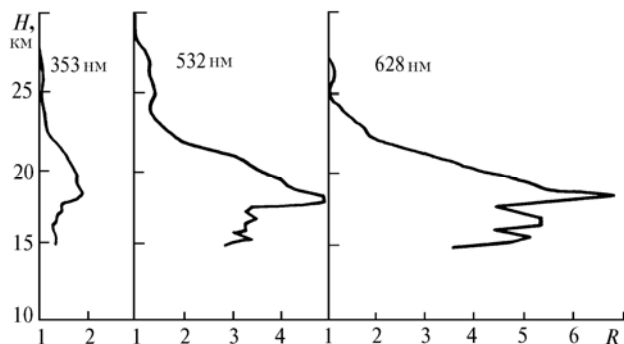


Рис. 5. Профили отношения рассеяния, 27.04.92 г.

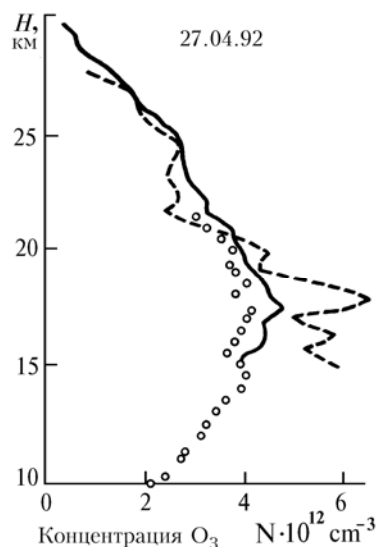


Рис. 6. Профили концентрации озона

Для одновременного зондирования озона и аэрозоля с помощью описанного лидара использовались четыре длины волны зондирования (308, 353, 532, 628 нм) от XeCl-лазера с ВКР-ячейкой, Nd:YAG-лазера и Au-лазера. На рис. 5 изображены полученные профили отношения рассеяния R для трех длин волн, показывающие характерную аэрозольную ситуацию в стратосфере, обусловленную ее аэрозольным возмущением продуктами извержения вулкана Пинатубо.

На рис. 6 штриховой линией изображен профиль озона, восстановленный по обычной схеме дифференциального поглощения при зондировании только на 2-х длинах волн (308 и 353 нм). Кружками на этом рисунке обозначены данные озонозонда, полученные одновременно с данными лидарного зондирования. Налицо полное несоответствие озонозондового и лидарного профилей озона. Сплошной линией на рис. 6 изображен профиль озона, восстановленный с учетом аэрозольной коррекции. Видно, что эти данные неплохо согласуются с озонозондовыми.

Безусловно, создание многоканального лидара связано не столько с необходимостью аэрозольной коррекции данных озонного лидарного зондирования стратосферы, сколько с получением детальной информации о микроструктуре стратосферного аэрозоля, выявлением взаимодействия озона и аэрозоля стратосферы и рядом других задач.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
24 июля 1992 г.

V. D. Burlakov, A. V. El'nikov, V. V. Zuev, V. N. Marichev, V. L. Pravdin, E. V. Sharabarin, V. B. Shcheglov. **A Multichannel Lidar for Simultaneous Measurements of the Stratospheric Ozone and Aerosol with a Primary Mirror of 2,2 m in Diameter.**

Block-diagram and specifications of the lidar are given. A multifrequency and multichannel mode of operation makes it possible to simultaneously measure vertical profiles of the ozone, aerosol and aerosol particles size spectra. A frequency doubled Nd:YAG laser and an eximer XeCl laser are used in the lidar as a primary sources of sounding radiation. In combination with the frequency conversion using a hydrogen stimulated Raman cell it is possible to obtain sounding beams at 308, 353, 413, 532 and 683 nm. A possibility of extending the wavelength range by using the gold- and lead-vapor lasers is provided. Data on aerosol particles size spectra, if obtained simultaneously with the ozone measurements could enable one to correct the ozone number density profiles for the aerosol scattering contribution.