

## Двухчастотный лидар на основе аммиачного лазера

В.Ю.Ананьев, Б.И.Васильев, А.Н.Лобанов, А.П.Лыткин, Чо Чен Вхан, Ким Жэн Сэн

*Предложена схема двухчастотного лидара дифференциального поглощения, в котором опорный пучок формируется из излучения  $\text{CO}_2$ -лазера, а частота излучения рабочего пучка последовательно перестраивается по линиям спектра  $\text{NH}_3$ -лазера. Показано, что такой лидар может быть использован для измерения концентрации фреонов и некоторых других загрязняющих атмосферу веществ  $\sim 1$  ppm с погрешностью около 20%.*

**Ключевые слова:** лидар,  $\text{NH}_3$ -лазер,  $\text{CO}_2$ -лазер, двухчастотное излучение, загрязнение атмосферы, фреоны.

### Введение

Проведенные всесторонние исследования импульсного  $\text{NH}_3$ -лазера с резонансной накачкой излучением  $\text{CO}_2$ -лазера (см., напр., [1]) позволили создать в спектральном диапазоне 11–14 мкм мощный источник когерентного излучения, по своим параметрам (мощность, эффективность) приближающийся к широко распространенному  $\text{CO}_2$ -лазеру. С помощью аммиачного лазера удалось решить ряд задач, связанных с резонансным воздействием на вещество: разделение изотопов углерода и хлора методом селективной диссоциации молекулы  $\text{CCl}_4$  [2], диссоциация молекулы  $\text{UF}_6$  при воздействии на ее составные колебания [3].

Особый интерес представляет возможность использовать излучение  $\text{NH}_3$ -лазера в лидарах дифференциального поглощения (которые в дальнейшем будем называть просто лидарами) [4–6]. Уникальный спектральный диапазон лазера позволяет диагностировать вещества, которые не могут быть определены с помощью  $\text{CO}_2$ -лидаров: различные фтор- и хлорсодержащие молекулы (фреоны), способные разрушать озоновый слой земной атмосферы [6], диоксины [8] и некоторые другие вещества. Следует добавить, что, поскольку спектральный диапазон  $\text{NH}_3$ -лидара близок к спектральному диапазону  $\text{CO}_2$ -лидара, основной параметр этих устройств – дальность зондирования – является примерно одинаковым, т. е. при энергии генерации  $\sim 1$  Дж дальность зондирования может составлять от нескольких сотен метров до нескольких километров.

Впервые применить  $\text{NH}_3$ -лазер для лидаров было предложено в [5]. В дальнейшем в работе [8] был рассмотрен лидар, в котором используется  $\text{NH}_3$ -лазер с неселективным резонатором, вырабатывающий когерентное излучение сразу на нескольких линиях. В этом случае возможно определение спектра поглощения анализируемого вещества за один лазерный импульс, что является несомненным достоинством данного прибора. Однако из-за

конкуренции лазерных переходов энергия излучения на каждой отдельной линии оказывается существенно ниже, чем в лазере с селективным резонатором, что ограничивает дальность действия лидара. Кроме того, спектральный диапазон излучения в случае многочастотной генерации значительно уже диапазона  $\text{NH}_3$ -лазера с селективным резонатором.

В настоящей работе рассмотрена конструкция двухчастотного лидара, который лишен указанных недостатков. Его особенностью является облучение объекта двухчастотным излучением, одна часть которого формируется из излучения лазера накачки, а вторая является перестраиваемым излучением  $\text{NH}_3$ -лазера, причем излучение на частоте накачки представляет собой опорный пучок, а перестраиваемое излучение – рабочий пучок. При одновременной генерации опорного и рабочего пучков отсутствуют строгие требования к частоте повторения импульсов зондирующего излучения, которая в случае попеременной генерации двух длин волн должна быть не менее 100 Гц [9].

В настоящей работе анализируются возможности использования двухчастотного лидара на основе аммиачного лазера для определения химического состава загрязняющих атмосферу примесей и измерения их концентрации.

### 1. Регистрация загрязняющих атмосферу примесей

Идентификация примесей и измерение их концентраций с помощью двухчастотного лидара осуществляется хорошо известным методом двухлучевой абсорбционной спектроскопии [10]. Так же как в двухлучевом спектрографе, поглощение излучения молекулами примеси определяется путем сравнения интенсивностей рабочего и опорного пучков. Частота излучения рабочего пучка выбирается близкой к частоте одной из линий поглощения регистрируемой примеси. Опорный пучок совпадает в пространстве с рабочим пучком, но резонансного поглощения не испытывает. При этом потери энергии на рассеяние и отражение в опорном пучке приблизительно такие же, как и в рабочем. Сравнение интенсивностей опорного и сигнального пучков на выходе лидара и после

прохождения ими измерительной трассы в атмосфере позволяет компенсировать влияние нерезонансных потерь (турбулентность и тепловые флуктуации плотности атмосферы) на точность измерений концентрации примеси. Следует отметить, что различие коэффициентов атмосферного объемного обратного рассеяния для опорного и рабочего пучков не является существенным, поскольку концентрация примеси определяется соотношением между интенсивностями сигнального и опорного пучков вблизи центра линии поглощения и на ее краях, где практически отсутствует резонансное поглощение.

Опорный и рабочий пучки при этом необходимо посылать на измерительную трассу одновременно либо с интервалом времени, в течение которого параметры атмосферы вдоль измерительной трассы остаются неизменными. В одном из вариантов лидара на основе CO<sub>2</sub>-лазера осуществляется попеременная генерация двух длин волн [9]. Временной интервал между импульсами излучения при этом должен быть менее 10 мс, что предъявляет серьезные технические требования как к источнику лазерного излучения, так и к быстрдействию устройства для перестройки частоты генерации. В многочастотном лидаре на основе аммиачного лазера генерация на нескольких частотах осуществляется одновременно [7], но конкуренция лазерных переходов приводит к снижению спектральной плотности лазерного излучения. Кроме того, необходимость спектрального анализа многочастотных сигналов требует применения сложной спектральной аппаратуры и мощного вычислительного комплекса. В связи с этим привлекательной представляется идея двухчастотного лидара на основе аммиачного лазера [5, 6].

Опорный пучок в таком лидаре генерирует CO<sub>2</sub>-лазер, используемый также в качестве источника оптической накачки NH<sub>3</sub>-лазера, а частота излучения в рабочем пучке перестраивается по линиям спектра NH<sub>3</sub>-лазера.

Сравнение интенсивностей опорного и рабочего пучков осуществляется путем цифровой обработки электрических сигналов с фотоприемников, регистрирующих интенсивность излучения каждого пучка на выходе из лидара. Сигналы поступали на приемный телескоп лидара после прохождения ими измерительной трассы в атмосфере. Система регистрации сигналов учитывает отличие формы импульсов излучения в опорном и рабочем пучках и выделяет полезный сигнал, пропорциональный энергии излучения, резонансно поглощенного молекулами примеси в контролируемом слое атмосферы.

Зондирующее излучение может быть направлено в приемный телескоп лидара двумя способами. В первом случае источник излучения и приемное устройство размещены в разные концы измерительной трассы (бистатическая схема). Во втором случае приемный телескоп регистрирует рассеянное излучение либо излучение, возвращенное назад с помощью уголкового отражателя или топографической мишени. При этом лазер и приемное устройство находятся в одном месте (моностатическая схема), а длина измерительной трассы равна удвоенному расстоянию между лидаром и отражателем. Максимальная чувствительность лидара может быть достигнута в бистатической схеме, поскольку потери энергии при использовании уголкового отражателя либо топографической мишени снижают чувствительность лидара. Наибольшие трудности представляет регистрация рассеянного излучения, и дальнейший анализ в данной работе

относится к лидарам, действующим по бистатической схеме либо с использованием отражателей. Концентрация регистрируемого с помощью лидара вещества, составляющего малую примесь в атмосфере, вычисляется следующим образом:

$$n = A(\lambda_1, \lambda_0) \frac{1}{L} \ln \frac{I(\lambda_0)}{I(\lambda_1)}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина измерительной трассы;  $\lambda_1, \lambda_0$  – длины волн соответственно вблизи центра линии поглощения и на крыле, где поглощение практически отсутствует;  $A(\lambda_1, \lambda_0) = n_0 L_0 / \ln[I_0(\lambda_0)/I_0(\lambda_1)]$  – элемент «спектрального портрета» молекулы, полученного для известной длины поглощающего слоя  $L_0$  и концентрации  $n_0$ ;  $I(\lambda_0, \lambda_1) = I_w / (I_{ref} k)$ ;  $I_w$  и  $I_{ref}$  – средние интенсивности излучения рабочего и опорного пучков в плоскости апертуры приемного телескопа лидара;  $k$  – отношение указанных интенсивностей на выходе из лидара.

Для эффективного контроля за содержанием загрязняющих атмосферу веществ и выявления источников загрязнения необходимо обеспечить уверенную регистрацию примесей с концентрацией  $\sim 10^{-2}$  от установленных санитарными нормами предельно допустимых концентраций [11], что составляет  $\sim 10^{13}$  см<sup>-3</sup> ( $\sim 1$  ppm) для большинства загрязняющих веществ. В формуле (1) предполагается, что изменение отношения интенсивностей рабочей и опорной пучков, прошедших измерительную трассу, происходит только в результате резонансного поглощения. Изменение этого отношения по любой другой причине даст погрешность при вычислении концентрации примеси.

Источником таких погрешностей в любом лидаре, использующем двухлучевую абсорбционную спектроскопию, является несовпадение в пространстве опорного и рабочего пучков, связанное либо с различной расходимостью пучков, либо с несовпадением их оптических осей. Для предлагаемого лидара на основе аммиачного лазера выявление и устранение таких погрешностей принципиально важно, т. к. опорное и рабочее излучения генерируются различными активными средами, расположенными в разных оптических резонаторах, и поэтому могут иметь различные диаграммы направленности.

Рассмотрим влияние рассогласования диаграмм направленности опорного и рабочего пучков на точность измерений концентрации примеси. Одна из причин такого рассогласования состоит в том, что данные пучки могут иметь различные расходимости. Связанное с этим изменение отношения интенсивностей опорного и рабочего пучков в плоскости апертуры приемного телескопа приводит к появлению погрешностей. Если расходимость опорного и рабочего пучков различаются на  $\Delta\alpha$ , то погрешность  $\Delta n_1$  при измерении концентрации примеси можно оценить следующим образом:

$$\Delta n_1 \approx \frac{2}{\sigma x} \frac{\Delta\alpha}{\alpha}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – расходимость рабочего пучка;  $\sigma$  – сечение поглощения загрязняющей примеси;  $x$  – длина трассы с загрязнением.

Для измерения концентрации примеси  $\sim 1$  ppm с относительной погрешностью менее 20% необходимо обеспечить совпадение расходимостей опорного и сигнального пучков с погрешностью менее  $10^{-2}$ , причем длина из-

мерительной трассы должна быть не меньше 0.2 км либо 2 км при регистрации примеси с сечением поглощения  $\sim 10^{-18}$  либо  $\sim 10^{-19}$  см<sup>2</sup> соответственно.

Угловое смещение оси опорного пучка относительно оси рабочего пучка является второй причиной возникновения погрешностей при измерении концентрации примеси, т. к. тоже приводит к изменению отношения интенсивностей излучения опорного и рабочего пучков в плоскости апертуры приемного телескопа, не связанному с резонансным поглощением излучения.

В случае гауссова распределения интенсивности излучения по апертуре лазерного пучка можно следующим образом оценить погрешность  $\Delta n_2$ , обусловленную тем, что между оптическими осями пучков с одинаковой расходимостью имеется угол  $\theta$ :

$$\Delta n_2 \approx \frac{1}{\sigma x} \left( \frac{\theta}{\alpha} \right)^2 \quad (3)$$

Отношение  $\theta/\alpha$  не должно превышать  $\sim 0.1$  для измерений концентрации примеси  $\sim 1$  ppm с относительной погрешностью менее 20% в указанных выше условиях.

При измерении концентрации примеси погрешности  $\Delta n_1$  и  $\Delta n_2$  суммируются. Если разность расходимостей излучения опорного и рабочего пучков  $\Delta\alpha$  остается неизменной от импульса к импульсу, то погрешность  $\Delta n_1$  является систематической и может быть учтена при обработке сигналов. Неконтролируемое отклонение от импульса к импульсу оси диаграммы направленности опорного пучка относительно оси рабочего пучка приводит к появлению случайной погрешности  $\Delta n_2$ , что необходимо учитывать при лидарных измерениях концентраций примесей в атмосфере. Отметим, что определение длины измерительной трассы может быть выполнено с низкой погрешностью (менее 5%) с помощью лазерного дальномера, поэтому влияние неточности измерения длины трассы на общую погрешность может быть сведено к минимуму.

Таким образом, оптическая схема лидара должна обеспечивать совпадение осей опорного и рабочего лазерных пучков с погрешностью, определяемой формулами (2) и (3). Формирование двухчастотного лазерного излучения в лидаре на основе аммиачного лазера, отвечающего указанным требованиям, осуществляется с помощью специальной оптической схемы.

## 2. Оптическая схема двухчастотного лидара

Нами были исследованы несколько вариантов оптических схем двухчастотного лидара [6]. Так как предполагается построение мобильного лидара, критериями выбора оптической схемы являются ее простота и надежность при эксплуатации устройства в условиях повышенной вибрации и изменения температуры окружающей среды.

На рис. 1 показана оптическая схема моностатического мобильного двухчастотного лидара, разработанная с учетом выводов, представленных в предыдущем разделе. Все оптические элементы лазерной системы смонтированы на оптической плите, которая снабжена устройствами, гасящими вибрацию. Оптический резонатор CO<sub>2</sub>-лазера образован дифракционной решеткой 1, работающей в автоколлимационном режиме, и плоским зеркалом 4. С помощью дифракционной решетки 1 в спектре CO<sub>2</sub>-лазера выделяется линия 9R(30). Эта линия исполь-

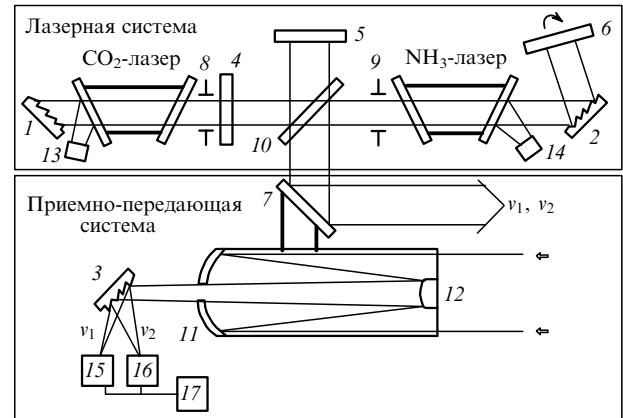


Рис.1. Оптическая схема двухчастотного лидара на основе аммиачного лазера:

1–3 – дифракционные решетки; 4 – зеркало с многослойным диэлектрическим покрытием; 5–7 – полностью отражающие зеркала; 8, 9 – диафрагмы; 10 – плоскопараллельная пластина; 11, 12 – зеркала приемного телескопа; 13–16 – фотоприемники; 17 – блок обработки информации;  $\nu_1, \nu_2$  – частоты излучения опорного и рабочего пучков.

зуется для оптической накачки NH<sub>3</sub>-лазера. Резонатор NH<sub>3</sub>-лазера образован зеркалом 4, дифракционной решеткой 2 и зеркалом 6. Перестройка частоты генерации NH<sub>3</sub>-лазера по отдельным колебательно-вращательным переходам молекулы NH<sub>3</sub> осуществляется путем поворота зеркала 6 вокруг вертикальной оси.

Зеркало 4 изготовлено из плоскопараллельной пластины BaF<sub>2</sub>, на которую нанесено многослойное диэлектрическое покрытие, имеющее оптимальный коэффициент отражения для излучения CO<sub>2</sub>-лазера и полностью отражающее излучение в области длин волн NH<sub>3</sub>-лазера. Это зеркало является общим для резонаторов обоих лазеров, что обеспечивает совпадение с высокой точностью осей опорного и рабочего пучков. Апертурные диафрагмы 8 и 9 используются для согласования расходимостей пучков. Двухчастотное излучение выводится из резонатора NH<sub>3</sub>-лазера с помощью плоскопараллельной пластины 10, изготовленной из NaCl, и зеркалами 5, 7 направляется на измерительную трассу. Зеркало 7 жестко связано с приемным телескопом лидара, образованным зеркалами 11 и 12. Фотоприемники 13 и 14 позволяют регистрировать интенсивности излучения опорного и рабочего пучков. С помощью приемного телескопа излучение, прошедшее измерительную трассу в атмосфере, фокусируется на фотоприемники 15 и 16. Разделение в пространстве опорного и рабочего пучков осуществляется дифракционной решеткой 3.

Для наведения приемно-передающей системы на объект, перестройки частоты излучения NH<sub>3</sub>-лазера и обработки сигналов с фотоприемников используется блок управления и обработки информации на основе персонального компьютера. Цифровая обработка электрических сигналов с фотоприемников 13–16 позволяет выделить полезный сигнал, который однозначно связан со средней концентрацией детектируемой примеси вдоль измерительной трассы. Информация о составе и концентрации загрязняющих атмосферу примесей представляется на экране монитора в графическом виде и может быть оперативно передана в центр сбора и обработки информации с помощью радиомодема.

Описанная оптическая схема позволяет получить расходимость излучения в опорном и рабочем пучках

$\sim 5 \cdot 10^{-3}$  рад (половина угла по уровню 0.5 от максимальной интенсивности) при погрешности согласования осей пучков и их расходимостей не более  $\sim 10^{-4}$ . Это означает, что при длине измерительной трассы не более 2 км могут быть измерены концентрации большинства загрязняющих примесей в атмосфере, попадающих в спектральную область  $\text{NH}_3$ -лазера, порядка  $10^{13} \text{ см}^{-3}$  ( $\sim 1 \text{ млн}^{-1}$ ) с относительной погрешностью не более 20%.

### 3. Применение двухчастотного лидара для детектирования загрязняющих атмосферу примесей

На рис.2 представлены относительные энергии спектральных компонент  $\text{NH}_3$ -лазера, которые получены при использовании в качестве источника накачки ТЕА  $\text{CO}_2$ -лазера, генерирующего на линии 9R(30) импульсы излучения с энергией до 7.5 Дж и длительностью до 2.5 мкс по основанию. Излучение  $\text{CO}_2$ -лазера направлялось в кювету, наполненную смесью аммиака с азотом в соотношении 1:75. Полное давление газовой смеси составляло 60 Тор, длина кюветы равнялась 1.8 м. Излучение  $\text{CO}_2$ -лазера резонансно поглощалось молекулами аммиака, что позволяет получить инверсную населенность на большом числе колебательно-вращательных переходов первого колебательного состояния молекулы аммиака. Резонатор  $\text{NH}_3$ -лазера настраивался последовательно на каждую линию генерации.

При плотности энергии  $\text{CO}_2$ -лазера на входе в кювету с аммиаком 0.7 Дж/см<sup>2</sup> получена эффективность преобразования для наиболее интенсивных линий 20%. Энергия лазерного излучения в отдельной линии при этом достигала 1.5 Дж. Длительности импульсов излучения различных спектральных компонент лежали в диапазоне 0.5–2 мкс. Из рис.2 видно, что в спектральном диапазоне 745–910 см<sup>-1</sup> имеется большое число линий генерации  $\text{NH}_3$ -лазера. В этом спектральном диапазоне находятся сильные линии поглощения многих молекул, концентрацию которых в атмосфере необходимо контролировать. Некоторые загрязняющие атмосферу вещества, линии поглощения которых совпадают с линиями излучения  $\text{NH}_3$ -лазера, представлены в таблице.

В настоящее время в литературе отсутствуют данные о сечениях поглощения большинства из указанных веществ на длинах волн генерации  $\text{NH}_3$ -лазера. В связи с

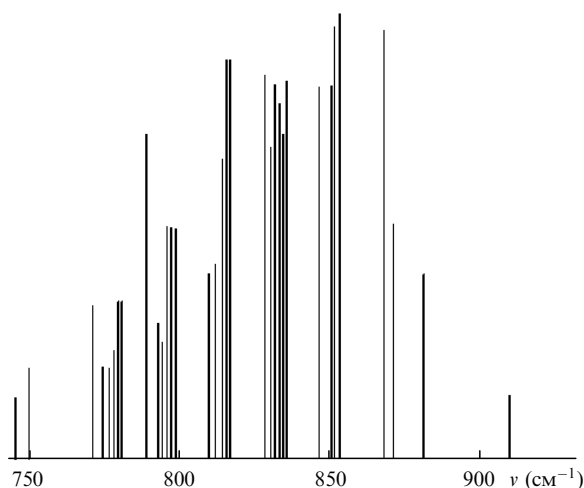


Рис.2. Спектр излучения аммиачного лазера.

Некоторые загрязняющие атмосферу вещества, линии поглощения которых совпадают с линиями излучения  $\text{NH}_3$ -лазера.

Вещество	Молекула	Частота колебаний (см <sup>-1</sup> )	Лазерный переход молекулы $\text{NH}_3$	Частота генерации (см <sup>-1</sup> )
Дифторхлорбромметан	$\text{CF}_2\text{ClBr}$	872	$aP(3,1)$	872.6
Фтортрихлорметан (фреон 11)	$\text{CFCl}_3$	847	$sP(6, k)$	847.4
Дифторхлорметан (фреон 22)	$\text{CHF}_2\text{Cl}$	812	$aP(6, 4)$	812.0
Дибромметан	$\text{CH}_2\text{Br}_2$	810	$aP(6, 5)$	809.7
Четыреххлористый углерод	$\text{CCl}_4$	796	$aP(7, 3)$	796.0
Трифторхлорметан (фреон 13)	$\text{CF}_3\text{Cl}$	781	$aP(8,1)$	780.4
Дифтордихлорметан (фреон 12)	$\text{CF}_2\text{Cl}_2$	780	$aP(8,1)$	780.4
Хлороформ	$\text{CHCl}_3$	774	$aP(8, 5)$	774.0
Хлортрибромметан	$\text{CClBr}_3$	745	$aP(9, 8)$	745.3

этим необходимы измерения поглощения излучения  $\text{NH}_3$ -лазера веществами, которые предполагается регистрировать с помощью предлагаемого лидара. Цель измерений – получить «спектральный портрет» каждой молекулы, представляющий собой набор сечений поглощения нескольких (3–5) спектральных компонент  $\text{NH}_3$ -лазера, в условиях, при которых линии поглощения молекулы уширены при соударениях с молекулами газов, входящих в состав атмосферы. В базе данных должна также содержаться информация о предельно допустимых концентрациях вредных веществ в атмосфере, необходимая для оперативной обработки результатов измерений.

Как видно из таблицы, некоторые вещества имеют пики поглощения на близких частотах, поэтому для идентификации молекулы примеси необходимо иметь ее «спектральный портрет», полученный с помощью  $\text{NH}_3$ -лазера в условиях, при которых будет проводиться идентификация.

Существенное преимущество двухчастотного лидара по сравнению с аналогичным многочастотным лидаром, предложенным в [7], состоит в том, что последовательная генерация спектральных компонент  $\text{NH}_3$ -лазера в селективном резонаторе позволяет получить максимально большое их число. Из-за конкуренции лазерных переходов в неселективном резонаторе наблюдается не более 4–5 интенсивных линий генерации, причем для изменения спектрального состава излучения возникает необходимость изменения давления и соотношения компонент газовой смеси  $\text{NH}_3$ -лазера. Для предлагаемого двухчастотного лидара не существует проблемы варьирования параметров газовой смеси для управления спектром излучения, т. к. оптимальные состав и давление газовой смеси одинаковы для всех линий спектра, представленного на рис.2.

### Заключение

Разработанная оптическая схема мобильного моностатического лидара позволяет совместить в пространстве с высокой точностью опорный и рабочий пучки, что

необходимо для уменьшения погрешностей, возникающих при измерениях концентрации примесей методом двухлучевой абсорбционной спектроскопии. Такой лидар может быть использован для измерения концентрации фреонов и некоторых других загрязняющих атмосферу веществ  $\sim 1 \text{ млн}^{-1}$  с погрешностью не более 20%.

Применение предлагаемого лидара для контроля за содержанием в атмосфере вредных веществ требует создания баз данных, содержащих «спектральные портреты» молекул, идентифицируемых с помощью  $\text{NH}_3$ -лазера. Кроме того, необходимо измерить коэффициенты отражения материалов возможных топографических мишеней в области длин волн  $\text{NH}_3$ -лазера. В настоящее время нами ведутся экспериментальные работы в указанных направлениях.

1. Ахраров М.А., Васильев Б.И., Грасюк А.З. и др. *Труды ФИАН*, **106**, 3 (1982); Васильев Б.И. *Докт.дис.* (М., ФИАН, 1997).
2. Амбарцумян Р.В., Васильев Б.И., Грасюк А.З. и др. *Квантовая электроника*, **5**, 1791 (1978).
3. Аверин В.Г., Ахраров М.А., Баронов Г.С., Васильев Б.И. и др. *Квантовая электроника*, **10**, 346 (1983).
4. Межерис Р. *Лазерное дистанционное зондирование* (М., Мир, 1987); Зуев В.В., Зуев В.Е. *Лазерный экологический мониторинг газовых компонентов атмосферы* (Итоги науки и техники. Сер. Метеорология и климатология. М., ВИНТИ, 1992, т. 20, с. 187); Panne U. *Trends Analyt.Chem.*, **17**, 491 (1998).
5. Васильев Б.И., Ястребков А.Б. *Изв.РАН. Сер.физич.*, **58**, № 2, 202 (1994).
6. Ананьев В.Ю., Васильев Б.И., Желтухин А.А. и др. *Препринт ФИАН № 54* (М., 1998).
7. Lohmann R., Jones K.C. *Sci.Total Envir.*, **219**, 53 (1998).
8. Баранов В.Ю., Бобков И.В., Дядькин А.П. и др. *Препринт ТРИНИТИ № 0043-А* (Троицк, 1998).
9. Кольков С.Ф., Малявкин Л.П. *Квантовая электроника*, **15**, 212 (1988).
10. Малышев В.И. *Введение в экспериментальную спектроскопию* (М., Наука, 1979).
11. Беспаятнов Г.П., Кротов Ю.В. *Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде* (Л., Химия, 1985).

**V.Yu. Anan'ev, B.I. Vasil'ev, A.N. Lobanov, A.P. Lytkin, Cho Chen Whang, Kim Juung Sung. Two-frequency lidar based on an ammonium laser.**

A two-frequency differential absorption lidar is proposed in which the reference beam is formed from  $\text{CO}_2$  laser radiation and the radiation frequency of the working beam is tuned to the lines of the  $\text{NH}_3$  laser spectrum. It is shown that this lidar can be used to measure the concentration of freons and some other atmospheric pollutants as low as  $\sim 1 \text{ ppm}$  with an error of about 20%.