

# Измерительная и детектирующая техника

УДК 621.373.826

## Применимость DF-лазера для детектирования аэрозольно-газовых выбросов

Г. Г. Матвиенко, И. В. Пташник, О. А. Романовский,  
О. В. Харченко, В. С. Шаманаев  
Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск, Россия

*Приведены оценки возможностей использования DF-лазера в бортовом лидаре для контроля аэрозольного и газового состава атмосферы, а также сформулированы технические требования на разработку лидарной системы бортового базирования. С помощью DF-лидара возможно исследование аэрозольных шлейфов при концентрации аэрозолей  $0,05 \text{ мг/м}^3$  и менее в режиме статистического накопления. Использование оптимальных пар длин волн излучения DF-лазера позволит измерять с приемлемыми ошибками фоновые и над-фоновые (выбросы) концентрации  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  и  $\text{HCl}$  на трассах длиной 1–15 км при работе по топографической цели (энергия лазерного излучения 1–20 мДж).*

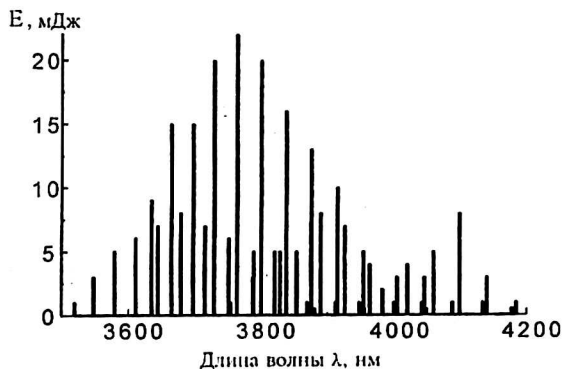
В связи с интенсивным развитием промышленного комплекса большое значение приобретает задача контроля аэрозольных и газовых выбросов, представляющих собой источник повышенной экологической опасности. Поэтому возникает проблема разработки соответствующих методов исследования локального аэрозольного и газового состава атмосферы, обеспечивающих получение данных с высокой оперативностью и в значительных пространственных масштабах.

Для решения этих задач перспективным является применение лидаров бортового базирования с использованием в качестве источника излучения лазера на фтористом дейтерии (DF), выпуск которого освоен промышленно.

### Состояние проблемы

Спектр излучения DF-лазера расположен в среднем ИК-диапазоне спектра от 3500 до 4200 нм [1] и состоит из достаточно большого (порядка 50) числа линий лазерного излучения различной интенсивности. Наиболее мощные линии находятся в полосах 1 – 0, 2 – 1, 3 – 2 и 4 – 3. Остальные полосы излучения DF обладают слишком малой интенсивностью и не являются перспективными для лидарного зондирования. На рисунке приведен дискретный спектр излучения, а в табл. 1 – спектральные и энергетические характеристики выходного излучения DF-лазера по данным [1].

Спектр излучения DF-лазера



В настоящее время реализованы измерения целого ряда газовых компонент атмосферы с использованием метода дифференциального поглощения, в том числе в лидарах бортового базирования [2].

Таблица 1

Спектральные и энергетические характеристики выходного излучения DF-лазера

$\nu_{\text{излуч}}$ , $\text{см}^{-1}$	$\lambda_{\text{излуч}}$ , нм	Идентификация линий излучения		Энергия линий излучения
		полоса	переход	
2840,1	3521,0	1-0	P(3)	1
2816,9	3550,0	1-0	P(4)	3
2792,5	3581,0	1 0	P(5)	5
2768,5	3612,0	1-0	P(6)	6
2743,5	3645,0	1-0	P(7)	7
2718,1	3679,0	1-0	P(8)	8
2691,1	3716,0	1-0	P(9)	7
2665,2	3752,0	1-0	P(10)	6
2750,0	3636,3	2-1	P(3)	9
2727,1	3666,5	2-1	P(4)	15
2704,0	3698,3	2-1	P(5)	17
2680,1	3731,0	2-1	P(6)	20
2655,8	3765,1	2-1	P(7)	22
2631,0	3800,7	2-1	P(8)	20
2605,7	3837,5	2-1	P(9)	16
2580,0	3875,7	2-1	P(10)	13
2553,9	3915,5	2-1	P(11)	10
2527,5	3956,5	2-1	P(12)	5
2502,8	3999,5	2-1	P(13)	1
2570,5	3890,3	3-2	P(7)	8
2546,3	3927,3	3-2	P(8)	7
2521,7	3965,6	3-2	P(9)	4
2496,6	4005,4	3-2	P(10)	3
2471,2	4046,6	3-2	P(11)	3
2445,3	4089,5	3-2	P(12)	3
2419,1	4133,7	3-2	P(13)	1
2392,5	4179,7	3-2	P(14)	0,5
2554,6	3914,5	4-3	P(4)	0,5
2532,7	3948,7	4-3	P(5)	1
2509,8	3984,4	4-3	P(6)	2
2486,8	4021,3	4-3	P(7)	4
2463,3	4059,7	4-3	P(8)	5
2439,3	4009,6	4-3	P(9)	8
2414,9	4140,9	4-3	P(10)	3
2390,1	4183,9	4-3	P(11)	1

Следует отметить дистанционные измерения приземного содержания  $N_2O$  с использованием топографического отражателя или топоцели (ТЦ) на дальности 8 км [3]. В лидаре был задействован DF-лазер с пиковой мощностью 500 кВт и длительностью импульса 0,5 мкс. Использовались приемная система диаметром 600 мм и фотоприемник на основе InSb. Был зарегистрирован уровень концентрации  $N_2O$  около 0,29 ppm, что хорошо согласовывалось с проведенными параллельно измерениями стандартными методами.

В данной статье приведены результаты численного моделирования дистанционного определения аэрозольных и газовых выбросов на расстояниях 0,5–15 км с использованием DF-лазера в работающем по топоцели лидаре бортового (вертолетного) базирования.

### Оценка возможностей контроля аэрозольных выбросов

Излучение DF-лазера с точки зрения зондирования аэрозолей находится не в самом удачном диапазоне. Здесь уже нельзя пренебрегать мнимой частью показателя преломления вещества, т. е. в показателе ослабления заметно уже истинное поглощение, а не только рассеяние. Это усложняет, вернее, делает более размытой корреляционную взаимосвязь показателя полного ослабления и обратного рассеяния для аэрозоля. Она характеризует индикатрису рассеяния в направлении  $180^\circ$ . Традиционная теория многочастотного лазерного зондирования аэрозолей [4] предполагает, что для эффективного определения параметров распределения аэрозолей необходимо использовать несколько зондирующих длин волн (как минимум две, лучше три или более). Длины волн при этом должны быть как меньше, так и больше модального размера исследуемых аэрозолей. Это позволяет охватить, по крайней мере, первый из максимумов фактора эффективности ослабления [5] и тем самым устойчиво решить обратную задачу.

Рассмотрим многоволновой лазер на фтористом дейтерии с точки зрения зондирования аэрозолей. С одной стороны, совокупность линий излучения от 3900 до 4150 нм находится в окне прозрачности атмосферы, что повышает дальность зондирования удаленных аэрозолей, с другой стороны — эта совокупность линий имеет диапазон изменения длин волн всего лишь 6,4 %, что практически эквивалентно одночастотному лазерному зондированию.

В таком режиме точность измерения массовой концентрации аэрозолей неизвестного происхождения ниже, чем при многочастотном зондировании [6]. Однако если исследуется аэрозоль известного физико-химического состава (скажем, только древесные дымы костров, только дым светлых нефтепродуктов, только цементная пыль и т. п.), то точность измерений существенно возрастает.

Оценим возможности зондирования аэрозольных образований естественного и антропогенного происхождения на средней длине волны излучения, принятой равной 4000 нм. Используем уравнение лазерного зондирования в приближении однократного рассеяния в его наиболее простом виде. При этом отражение лазерного импульса от подстилающей поверхности (топоцели) не используется, т. е. осуществляется схема именно лидарного зондирования. При этом положение аэрозольного облака над поверхностью земли будет известно с высокой точностью.

В этом случае

$$P(r) = \frac{S_0 k P_0 c \tau_{\text{н}}}{2r^2} \sigma(r - r_0) \gamma_{\pi}(r - r_0) \times \exp \left[ -2 \int_{r_0}^r \epsilon(x) dx \right] T^2(r_0).$$

Здесь  $P(r)$  — мощность излучения, поступающего на детектор из точки исследуемого пространства на расстоянии  $r$  от лидара (т. е. от несущего его вертолета);

$r_0$  — расстояние до границы аэрозольного облака;

$S_0$  — площадь приемного телескопа лидара;

$k$  — КПД оптической системы;

$P_0$  — мощность излучения в лазерном импульсе;

$c$  — скорость света;

$\tau_{\text{л}}$  — длительность лазерного импульса (она определяет пространственное разрешение лидара  $c\tau_{\text{л}}/2$  вдоль луча лазера);

$\sigma(r)$  — профиль показателя рассеяния в атмосфере;

$\gamma_{\pi}(r)$  — профиль нормированной индикатрисы рассеяния в направлении угла рассеяния  $180^\circ$ ;

$\varepsilon(r)$  — профиль показателя ослабления;

$T^2(r_0)$  — пропускание атмосферы от лидара до шлейфа.

С классической точки зрения здесь имеются три независимые переменные —  $\sigma$ ,  $\gamma_{\pi}$  и  $\varepsilon$ . В то же время они связаны между собой корреляционными соотношениями, позволяющими в первом приближении снять эту неопределенность.

Во-первых, уже упомянутое нахождение линии излучения около 4000 нм в окне прозрачности позволяет положить, что  $\varepsilon = \sigma$ . Действительно, в соответствии с [5] поглощение в приземном слое атмосферы на линии 4000 нм на несколько порядков ниже, чем, например, на 4200 нм.

Во-вторых, важную роль играет нормированная индикатриса рассеяния в направлении назад  $\gamma_{\pi}$ . Для рэлеевского рассеяния, когда размеры аэрозолей много меньше длины волны лазера,  $\gamma_{\pi} = 0,12$ . Для более крупных частиц значения индикатрисы уменьшаются. Не будет большой ошибки в первом приближении считать, что  $\gamma_{\pi}$  для антропогенного аэрозольного облака равна 0,08. Для естественных капельных облаков принято, что  $\gamma_{\pi} = 0,05$ . Что касается значений показателя ослабления излучения для реальных аэрозолей при  $\lambda = 4000$  нм, то здесь имеется ограниченный объем данных для естественных аэрозолей, в отличие от видимого диапазона (ВД).

Так, из работы [7] следует, что слоистые облака нижнего яруса типа С1 имеют показатель ослабления  $\varepsilon_{\text{ИК}}$  для 4000 нм излучения в 1,23 раза больше, чем для видимого с  $\lambda = 0,5$  нм, т. е.  $p = \varepsilon_{\text{ИК}}/\varepsilon_{\text{ВД}} = 1,23$ . Для высокослоистых облаков Аs  $p = 1,17$ . В среднем для облаков  $p = 1,17$ ; то что  $p > 1$  обусловлено, вероятно, заметной ролью истинного поглощения в капельных облаках при  $\lambda = 4000$  нм.

В этой же монографии [7] показано, что для континентальной дымки  $p = 0,30$ , а для морской дымки —  $p = 0,37$ . В том, что в этих ситуациях  $p < 1$ , главную роль играют малые значения фактора эффективности ослабления, так как основную долю спектра размеров частиц таких дымок составляет субмикронная фракция. По другим данным [8], величина  $p = 0,19$ , здесь, наверное, сказывается различный химический состав морских аэрозолей.

Кроме того, для континентальной дымки имеются измерения на длинах волн 2360 нм (лазер на флюорите с диспрозием) и на 630 нм (гелий-неоновый лазер). Здесь  $p = 0,31$  [9].

Таким образом, для расчетов можно будет оценить светорассеивающие параметры аэрозолей на волне 4000 нм по имеющимся обширным данным для ВД.

Сложнее обстоит дело с антропогенным аэрозолем, химический состав которого может быть чрезвычайно разнообразен. Правда, в монографии [10] были обобщены данные по выявлению взаимосвязи оптических и микрофизических характеристик таких аэрозолей. Аэрозоли исследовались в естественных условиях и в камере искусственных туманов классическими контактными методами. Их оптические характеристики измерялись как лидарами, так и трассовым прозрачномером и нефелометром, но в видимом диапазоне. Если не рассматривать устья дымовых труб, очаги пожаров и другие мощные генераторы аэрозолей, то в промышленных районах для  $\lambda = 700$  и  $530$  нм по данным [10, 11] можно считать  $\epsilon = 0,5-5,0 \text{ км}^{-1}$ . Несомненно, эти аэрозоли поглощаются в ИК-области, и здесь отношение  $\rho = \epsilon_{\text{ИК}}/\epsilon_{\text{ВД}}$  будет иметь величину не меньше, чем для облачности. Положим в первом приближении, что для значительной части антропогенного аэрозоля  $\rho = 1,25$ . И в этом случае можно будет для расчетов взять близкие к реальности значения  $\epsilon_{\text{ИК}}$  по имеющимся сведениям об  $\epsilon_{\text{ВД}}$ .

Итак, пусть DF-лидар расположен на вертолете на высоте несколько сот метров над поверхностью земли. В этом случае атмосферу до аэрозольного шлейфа (или облака) можно считать однородной [12], и оценка потерь зондирующего излучения на трассе до шлейфа легко оценивается в соответствии с законом Бугера. Диаметр приемного телескопа равен  $0,15$  м, т. е.  $S_0 = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ . При энергии импульса на линии  $4000$  нм,  $20$  мДж и его длительности  $300$  нс мощность лазерного излучения составит  $P_0 = 7 \cdot 10^5$  Вт. Пространственное разрешение лидара вдоль луча  $\tau_n/2 = 45$  м.

В табл. 2 приведены результаты расчетов зависимости мощности одиночного принимаемого эхо-сигнала на приемной площадке детектора от границы аэрозольного облака (шлейфа) нескольких типов при его удалении от  $0,5$  до  $15$  км от лидара. Видно, что если расстояние до шлейфа фиксировано, то мощности сигналов от всех рассмотренных типов аэрозолей отличаются всего лишь в несколько раз. В то же время изменение удаления шлейфа от лидара приводит к изменению мощности на порядки.

Таблица 2

Оценка мощности эхо-сигнала DF-лазера для различных типов аэрозолей

Тип аэрозоля	Показатель ослабления на $\lambda = 4,0$ мкм, $\text{км}^{-1}$	Индикатриса рассеяния в направлении $180^\circ$	Мощность сигнала, Вт		
			Дистанция до аэрозольного образования, км		
			0,5	2	15
			Пропускание атмосферы до аэрозольного образования на $\lambda = 4,0$ мкм		
Капельное облако	10	$5 \cdot 10^{-2}$	0,82	0,45	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Континентальная дымка с 10-кратным превышением над фоном [7]	1,1	0,12	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-11}$
Морская дымка с 10-кратным превышением над фоном [7]	2,4	0,12	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$	$5,0 \cdot 10^{-11}$
Морская дымка [8] с 10-кратным превышением над фоном	0,25	0,12	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$5,1 \cdot 10^{-8}$	$5,2 \cdot 10^{-12}$
Антропогенный аэрозоль типа городского смога [10]	8	0,08	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$

Из работы [12] известно, что для фотоприемников из  $\text{InSbCdTe}$  в диапазоне  $\lambda = 3500 - 4000$  нм электронный эквивалент шума равен  $1 \cdot 10^{-12}$  Вт/Гц<sup>1/2</sup>. Это значит, что для приемной системы, согласованной с длительностью лазерного импульса 300 нс полоса пропускания должна быть порядка 3,5 МГц. В таком случае пороговая чувствительность приемника равна  $1,87 \cdot 10^{-9}$  Вт.

Таким образом, даже при значении сигнал/шум, равном 10, все рассмотренные типы аэрозольных образований легко обнаружимы на дистанциях 2 км. В случае накопления сигналов и их статистической обработке дальность зондирования может быть увеличена.

### Численное моделирование возможностей дистанционного определения газовых выбросов

#### Пакет программ SAGDAM

Диалоговый пакет программ SAGDAM (Sounding of Atmospheric Gases by Differential Absorption Method) предназначен для моделирования лазерного зондирования атмосферных газов методом дифференциального поглощения для вертикальных и наклонных траёс при наземном и бортовом базировании лидача [14, 15].

Основной результат работы с пакетом — выбор оптимальных пар длин волн зондирования и рассчитанные для них профили ошибок.

#### Исходные данные

В качестве исходных данных для численного моделирования в пакет SAGDAM закладывались следующие параметры:

1. Геометрия трассы в виде схемы вертолетного лидарного зондирования газовых компонент принималась следующей. Высота нахождения лидача составила 500 м; угол зондирования (от зенита) изменялся в зависимости от дальности зондирования. При данной геометрии длина трассы (от лидача до тополищени) составила 0,5—15 км. Среднее альbedo тополищени полагалось равным 10 % [16].

2. Параметры DF- лазера:

диапазон длин волн, нм .....	3520—4180
полуширина линии излучения, нм.....	0,001
частота повторения импульсов, Гц.....	10
длительность импульса, нс.....	300
энергия в импульсе, мДж.....	0,5—20
частотная нестабильность, нм .....	0,001

3. Приемник:

приемная апертура телескопа, м <sup>2</sup> .....	$1,7 \cdot 10^{-2}$
передающая апертура, м <sup>2</sup> .....	0,01
квантовая эффективность приемника.....	0,2
угол поля зрения приемного телескопа, мрад.....	3
время накопления сигналов, с.....	0,1
пропускание приемной и передающей оптики.....	0,5
погрешность измерения единичного лидарного эхо-сигнала, % .....	10
NEP фотодетектора ( $\text{InSb}_{\text{LN}_2}$ [13]), Вт/Гц <sup>1/2</sup> .....	$1 \cdot 10^{-12}$

4. Метео-модель — стандартная модель для лета средних широт (модель ИОА) [17].

5. Аэрозольная модель — среднегодовая аэрозольная модель Крекова-Рахимова [12].

6. Фоновое излучение — для верхней оценки сигнальной погрешности, обусловленной неучетом фона, дифференциальное фоновое излучение полагалось равным 0,003 Вт/(срад·м<sup>2</sup>·нм), что соответствует 10 % (альбедо) отраженной от поверхности, земли солнечной радиации.

### Анализ ошибок зондирования

Результаты проведенного на основе пакета SAGDAM анализа ожидаемых ошибок дистанционного определения выбросов и повышенных концентраций различных атмосферных газов с использованием оптимальных пар длин волн приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты анализа ошибок дистанционного определения выбросов и повышенных концентраций атмосферных газов с использованием оптимальных пар длин волн DF-лазера

Газ	Л А З Е Р								Концентрация, ррт	Дальность, км		Ошибка, %	
	в линии				вне линии					r <sub>мин</sub>	r <sub>макс</sub>	для r <sub>мин</sub>	для r <sub>макс</sub>
	полоса	линия	λ, нм	E, мДж	полоса	линия	λ, нм	E, мДж					
H <sub>2</sub> O	1—0	P(8)	3679,0	8	2—1	P(4)	3666,5	15	7 · 10 <sup>3</sup>	0,5	15	15	20
CO <sub>2</sub>	4—3	P(11)	4183,9	0,5	3—2	P(14)	4179,7	0,5	330	0,5	5	10	15
CH <sub>4</sub>	1—0	P(10)	3752,0	6	2—1	P(7)	3765,1	22	5—17	1,5	15	40	15
N <sub>2</sub> O	4—3	P(4)	3914,5	0,5	2—1	P(11)	3915,5	10	0,3	0,5	15	30	15
SO <sub>2</sub>	3—2	P(10)	4005,4	3	2—1	P(13)	3999,5	1	0,3	1	15	10	20
HCl	2—1	P(4)	3666,5	15	1—0	P(8)	3679,0	9	0,1	1	15	25	40

Приведено название атмосферной газовой компоненты, даны характеристики лазерного излучения — для лазерной линии, попадающей в центр линии поглощения (в линии), и вне линии поглощения. При этом последовательно показаны: идентификация полосы, линии излучения, ее длина волны и излучаемая на ней импульсная лазерная энергия. Приведена также концентрация газов, рассматриваемых при расчетах, минимальная и максимальная дальности зондирования, соответственно, и наконец рассчитанные в результате проведенного численного моделирования с помощью пакета SAGDAM возможные ошибки измерений.

Как видно из табл. 3, концентрация водяного пара с использованием предложенной пары линий излучения может быть измерена на трассах 0,5–15 км с ошибками меньше 20 % при энергии лазерного импульса 8–15 мДж.

Возможна регистрация как фоновой, так и выше ее концентрации CO<sub>2</sub> на расстояниях 0,5–5 км с погрешностью 10–15 % при энергии 0,5 мДж. На трассах более 5 км погрешность зондирования резко возрастает до 100 % из-за сильного поглощения лазерного излучения в пригодных для зондирования линиях поглощения углекислого газа.

Концентрация метана может определяться на трассах 1,5–15 км для уровня 5–17 ррт, что составляет примерно от трех до десяти фоновых концентраций. При этом уровень ошибок составляет 40 % — для 1,5-км трасс

и 15 % — для 15-км трасс, что объясняется недостаточным поглощением на коротких трассах, т. е. небольшим коэффициентом поглощения. Для этого газа требуются большие значения энергии лазерного излучения — 20 мДж и более.

Наиболее простая ситуация складывается для  $N_2O$ : возможна регистрация фоновых и надфоновых концентраций закиси азота на трассах 0,5–15 км, при этом погрешности составляют 30 и 15 %, соответственно.

Уровень ошибок для измерения двуокиси серы составляет 10 % для 1-км трассы и 20 % — для 15-км. Возможна регистрация при концентрациях  $SO_2$  более 0,3 ppm, что в 1000 раз выше фона.

Для  $HCl$  возможна регистрация 100 фоновых концентраций на трассах длиной 1–15 км и уровне ошибок 25 и 40 %, соответственно. Требуемые энергии — 9–15 мДж.

### Выводы

1. Перспективным источником лазерного излучения для лидара бортового (вертолетного) базирования является DF-лазер с энергией в импульсе излучения не более 20 мДж, длительностью импульса 0,1–0,5 мкс, частотой повторения импульсов 10 Гц и полушириной линии излучения  $10^{-3}$  нм.

2. С помощью DF-лазера в аналоговом режиме регистрации сигналов возможно исследование аэрозольных шлейфов при концентрации аэрозолей 0,05 мг/м<sup>3</sup>. В режиме статистического накопления чувствительность может быть повышена.

3. Использование оптимальных пар длин волн излучения DF-лазера позволит измерять с приемлемыми погрешностями фоновые и надфоновые (выбросы) концентрации  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $SO_2$  и  $HCl$  на трассах длиной от 0,5 до 15 км при работе по топографической цели при энергии лазерного излучения 0,5–20 мДж.

### Литература

1. *Lesbil D. H., Trusty J. L.* // Appl. Optics. 1981. V. 20. № 11. P. 1941–1947.
2. *Зуев В. В., Катаев М. Ю., Макогон М. М., Мицель А. А.* // Оптика атмосферы и океана. 1995. Т. 8. № 8. С. 1136–1164.
3. *Altman J., Lahmann W., Weitkamp C.* // Appl. Optics. 1980. V. 19. № 20. P. 3453–3457.
4. *Зуев В. Е., Наац И. Э.* Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы. — Новосибирск: Наука, 1982. — 242 с.
5. *Зуев В. Е.* Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. — М.: Сов. радио, 1970. — 496 с.
6. *Землянов А. А., Кистенев Ю. В., Колосов В. В., Пономарев Ю. Н., Фирсов К. М.* Ослабление интенсивности многочастотного лазерного излучения на протяженных атмосферных трассах. — Томск, 1999. — 22 с: Препринт/Институт оптики атмосферы СО РАН, № 1.
7. *Зуев В. Е., Кабанов М. В.* Оптика атмосферного аэрозоля. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 255 с.
8. Оптические свойства прибрежных атмосферных дымок/Под ред. Г. М. Крекова. — Новосибирск: Наука, 1988. — 201 с.
9. *Донченко В. А., Докторов И. П., Коханенко Г. П., Маричев В. Н., Самохвалов И. В., Сошин А. В., Хмельницкий Г. С.* Распространение излучения лазера с длиной волны 2,36 мкм в приземном слое атмосферы // Изв. вузов. Сер. Физика, № 3158–75 Деп., Томск, 1975.
10. *Зуев В. Е., Кауль Б. В., Самохвалов И. В., Кирков К. И., Цанев В. И.* Лазерное зондирование промышленных аэрозолей. — Новосибирск: Наука, 1986. — 188 с.
11. *Белан Б. Д., Бурков В. В., Панченко М. В. и др.* // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 2. С. 186–192.
12. *Креков Г. М., Рахимов Р. Ф.* Оптико-локационная модель континентального аэрозоля. — Новосибирск: Наука, 1982. — 199 с.

13. Air Monitoring by Spectroscopic Techniques/Ed. by Markus W. Sigrist, v. 127 in Chemical Analysis, A Wiley-Interscience Publication. 1994. — 335 p.
14. Firsov K. M., Kataev M. Yu., Mitsel' A. A., Ptashnic I. V., Zuev V. V.//JQSTR. 1999. V. 61. № 1. P. 25 — 37.
15. Зув В. В., Мицель А. А., Пташник И. В.//Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 9. С. 970—977.
16. Физические величины/Под. ред. И. С. Григорьевы, Е. З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 259 с.
17. Зув В. Е., Комаров В. С. Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы. — Л.: Гидрометеоздат, 1986. — 264 с.

## Applicability of the DF-laser for detection of aerosolic-and-gaseous ejections

G. G. Matvienko, I. V. Ptashnik, O. A. Romanovsky,  
O. V. Kharchenko, V. S. Shamaev

Institute for atmosphere optics of the Siberian Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Tomsk, Russia

*The estimates of possibility of using the DF-laser in an onboard lidar for the check an aerosol and gas composition of atmosphere are given in this paper. Specifications on development of the onboard lidar system are simultaneously formulated. With the help of a DF-lidar the examination of aerosolic stub lines is possible at aerosol concentration of  $0.05 \text{ mg/m}^3$  and less in a mode of statistical accumulation. Usage of optimum pairs of the DF-laser waves will allow to measure the background and above-ground (ejection) concentrations of  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$  and  $\text{HCl}$  with errors than 20 % on routes from 1 up to 15 km by operation on the topographical purpose (the energy of laser radiation is 1–20 J).*