

М.М. Макогон, А.Н. Куряк

Флуоресценция атмосферы под действием излучения 5-й гармоники Nd:YAG-лазера (212,8 нм)

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 17.09.2001 г.

Приводятся первые результаты измерения флуоресценции атмосферы и ее основных составляющих под действием излучения 5-й гармоники лазера на гранате (длина волны 212,8 нм).

Введение

Проведенные в 1984–1996 гг. исследования поглощения и флуоресценции атмосферы при возбуждении различными лазерными источниками в диапазоне 248–337 нм выявили поглощение в области 248–320 нм и вызываемую им флуоресценцию в области 285–500 нм. Экспериментально было установлено [2], что это явление связано с водяным паром.

Длинноволновый участок ($\lambda \geq 266$ нм) изучен довольно подробно, в то время как на коротковолновом флуоресценция измерялась только при длине волны возбуждения 248 нм. В данной статье приводятся первые результаты измерения флуоресценции атмосферы и ее основных составляющих под действием излучения 5-й гармоники лазера на гранате ($\lambda = 212,8$ нм).

Эксперимент

Дистанционный флуоресцентный спектрометр (рис. 1) включал 3-м кювету с форвакуумной откачкой (минимальное давление 0,05 мм рт. ст.). Длина кюветы, угол между направлениями возбуждения и регистрации и разрезные входное и выходное окна были выбраны и выполнены таким образом, чтобы в поле зрения приемной системы – двойной монохроматор МДР-6 и ФЭУ – попадало излучение только из центральной части кюветы. Для исключения влияния флуоресценции атмосферы на участках до и после кюветы возбуждающее излучение распространялось внутри экранирующих труб, нерабочий участок выходного окна был закрыт. Дополнительная селекция сигналов проводилась путем измерения временных разверток спектров флуоресценции в нескольких последовательных интервалах длительностью 50 нс. Регистрация сигналов велась в режиме счета фотонов.

Излучение лазера на гранате с неустойчивым резонатором и пассивной модуляцией добротности последовательно преобразовывалось во 2-ю, 4-ю и 5-ю гармоники в кристаллах KTP, KDP и BBO соответственно. Энергия в импульсе на частоте 5-й гармоники составляла около 2 мДж, частота повторения импульсов 5 Гц.

Проведены измерения флуоресценции атмосферы, а также газообразного азота (полученного путем испарения жидкого азота), технического кислорода и водяного пара (полученного испарением медицинской воды для инъекций); максимальное давление азота и кислорода составляло 1 атм, водяного пара – 8 мм рт. ст. Измерения проводились при температуре примерно 18 °С.

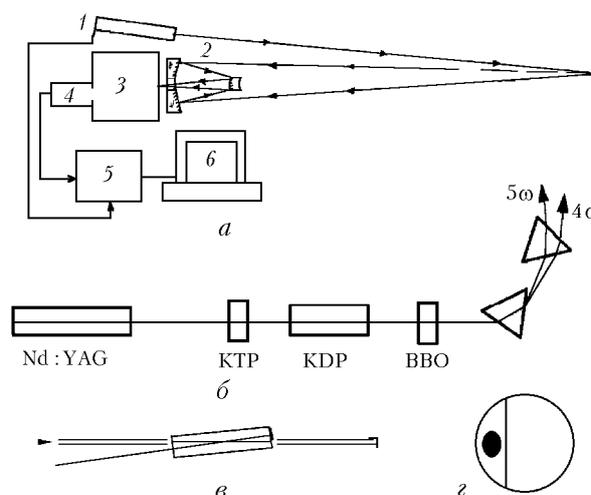


Рис. 1. Схема установки (а), лазерного излучателя (б), измерительной кюветы (в) и ее окон (г): 1 – лазерный излучатель; 2 – приемный телескоп; 3 – монохроматор; 4 – фотоумножитель; 5 – счетчик фотонов; 6 – ЭВМ; показано положение пучка возбуждающего излучения (г)

Результаты

Флуоресценция атмосферы определялась в сильно различающихся по характеру помещений в городах Москва и Томск. Сигнал флуоресценции атмосферы воспроизводится устойчиво, его вариации незначительны, откуда следует, что излучающими компонентами служат основные атмосферные газы. Излучение занимает область 260–420 нм, форма спектра колоколообразная с максимумом около 340 нм (рис. 2). В условиях атмосферного давления сигнал практически полностью сосредоточен в первом 50-нс интервале, снижение давления приводит к удлинению сигнала (при 20 мм рт. ст. излучение полностью занимает второй временной интервал), при этом форма спектра сохраняется.

Регистрируемый спектр излучения кюветы при заполнении ее азотом состоит из двух четко различающихся компонент (рис. 3; по вертикальной оси на этом и последующих рисунках отложено число фотоэлектронов, зарегистрированных за 100 импульсов возбуждения). Излучение в первом временном интервале (как спектральное распределение, так и величина сигнала) в целом не отличается от излучения атмосферы. Во втором и последующих временных интервалах появляется сигнал, сосредоточенный в области 316–370 нм (коротковолновая граница очень резкая); максимальное зна-

чение сигнала во втором интервале примерно в два раза превышает сигнал в первом. С понижением давления флуоресценция резко удлиняется (до 350 нс при 0,2 атм).

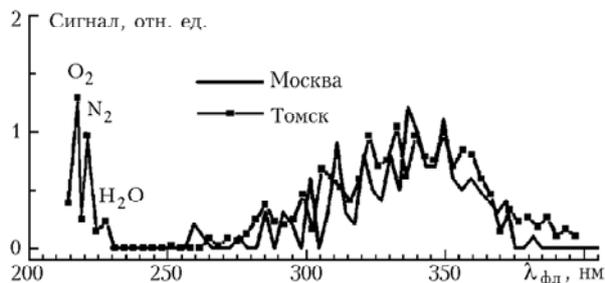


Рис. 2. Спектр флуоресценции атмосферы (в левой части видны линии комбинационного рассеяния трех атмосферных газов)

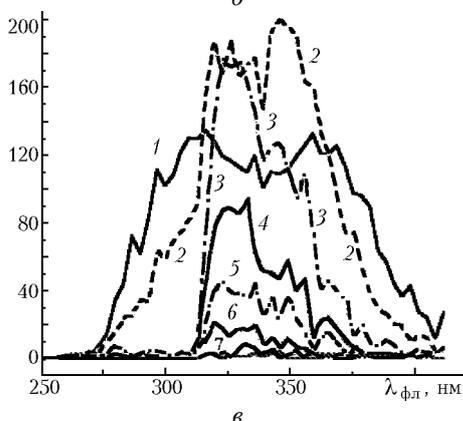
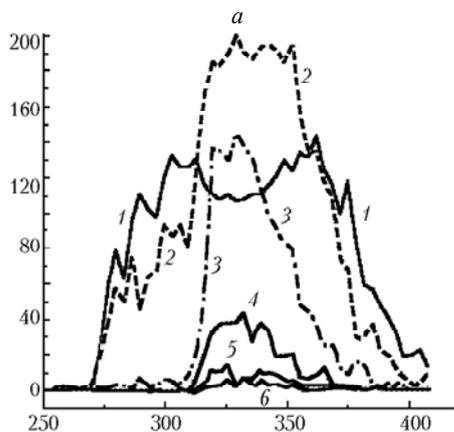
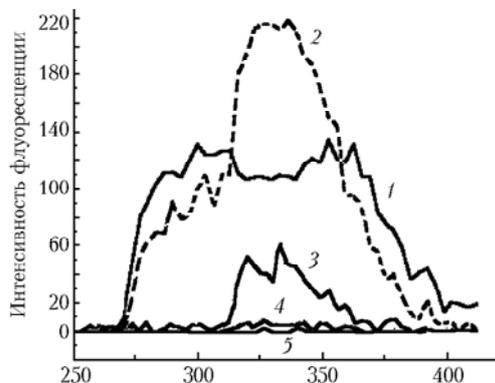


Рис. 3. Спектр флуоресценции азота при давлениях 1 (а), 0,5 (б) и 0,2 атм (в). Временные интервалы, нс: 1 – 0–50; 2 – 50–100; 3 – 100–150; 4 – 150–200; 5 – 200–250; 6 – 250–300; 7 – 300–350

Спектр флуоресценции водяного пара во многом схож со спектром азота: сигнал также сосредоточен во втором и последующих временных интервалах в области 316–370 нм (рис. 4). Величина этого сигнала при давлении водяного пара 8 мм рт. ст. также примерно в 2 раза превосходит сигнал от атмосферы и сравнивается с ним только со снижением давления до 1 мм. Вид интегрального по времени спектрального распределения флуоресценции водяного пара и положение максимума в целом соответствуют полученным ранее при температуре 24 °С и возбуждении излучением 4-й гармоники лазера на гранате ($\lambda = 266$ нм) [3].

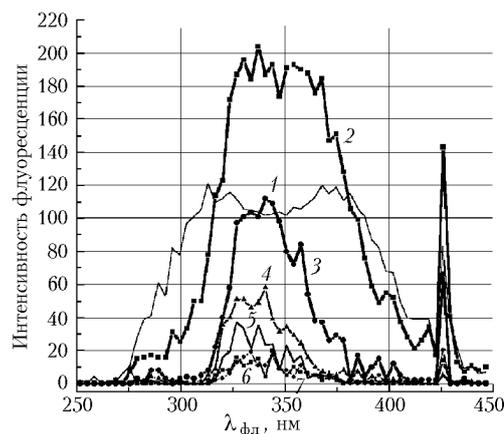


Рис. 4. Временное поведение спектра флуоресценции водяного пара при давлении 8 мм рт. ст. (обозначения кривых см. на рис. 3)

В таблице приведены измеренные нами и полученные ранее значения сечений флуоресценции водяного пара и ее тушения. Видно, что сечение флуоресценции от длины волны возбуждения изменяется немонотонно.

Параметры флуоресценции водяного пара

Длина волны возбуждения, нм	Сечение флуоресценции, 10^{-24} см^2	Сечение тушения, 10^{-15} см^2
212,8	2	Водяным паром – 270
248,5 [1, 2]	1,1	Азотом – 10^{-2} Кислородом – 10 Воздухом – 0,5
266 [3]	0,56 при 24 °С 6,9 при 72 °С	Водяным паром – 1,5
270 [2]	2,5	
308 [2]	0,1	

Форма спектра флуоресценции кислорода в целом совпадает со спектром атмосферы (рис. 5). При давлении кислорода 0,5–4 мм рт. ст. максимальное значение сигнала во втором временном интервале в 1,5–2 раза превышает сигнал в первом, при давлении 8 мм они сравниваются, затем сигнал во втором интервале быстро спадает. Начиная с 30 мм рт. ст. общий сигнал флуоресценции уменьшается, снижаясь в 2,5–3 раза при атмосферном давлении кислорода. Очевидно, что такое снижение имеет место вследствие более сильного тушения.

Выводы

Флуоресценция атмосферы, возбуждаемой излучением с длиной волны 212,8 нм, в основном определяется кислородом и азотом.

Водяной пар также флуоресцирует под воздействием этого излучения, но не вносит заметного вклада во

флуоресценцию воздуха при атмосферном давлении. Задержка появления сигнала флуоресценции связана,

видимо, со сложным ступенчатым механизмом ее возбуждения.

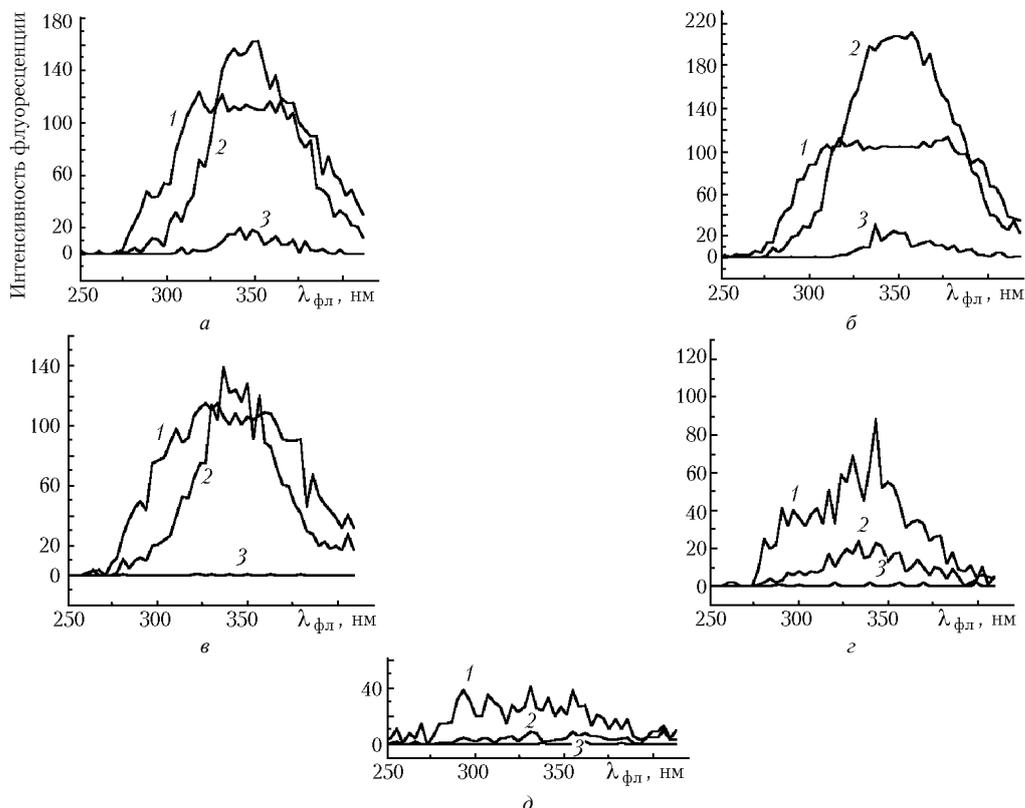


Рис. 5. Спектр флуоресценции кислорода при давлениях 0,1 (а), 1 (б), 8 мм. рт. ст. (в), 0,1 (г) и 1 атм (д). Временные интервалы, нс: 1 – 0–50; 2 – 50–100; 3 – 100–150

Авторы благодарят И.С. Тырышкина за участие в разработке лазерной системы и В.М. Климкина за предоставленные приемный телескоп и счетчик фотонов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 00-15-98589 и 01-05-65338.

1. Буддаков М.А., Ипполитов И.И., Климкин В.М., Матросов И.И., Митченков В.М. Исследование спектрального распределения и кинетики затухания возбуждаемой излучением эксимерного лазера флуоресценции паров воды // VIII Всесоюз. симпоз. по лазерному и акустическому

зондированию атмосферы: Тезисы докл. Ч. I. Томск: ИОА СО АН СССР, 1984. С. 324–326; *Они же*. Рассеяние излучения 248,5 нм основными газовыми составляющими атмосферы в области спектра 250–283 нм // Там же. С. 338–340.

2. Климкин В.М., Федорищев В.Н. Лазерно-индуцированная флуоресценция паров H₂O // Оптика атмосф. 1988. Т. 1. № 8. С. 26–30.
3. Кармазин С.Е., Куряк А.Н., Макогон М.М., Цветков А.Л. Флуоресцентный автоматизированный лазерный спектрометр // Оптика атмосф. и океана. 1995. Т. 8. № 11. С. 1692–1696.

M.M. Makogon, A.N. Kurjak. Fluorescence of the atmosphere excited by the 5th harmonic of Nd:YAG laser (212.8 nm).

First results of measuring the fluorescence of the atmosphere and its main components excited by the 5-th harmonic of the garnet laser (wavelength 212.8 nm) are presented.