

УДК 621.378.33:505.510

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЕРТОННОГО СО ЛАЗЕРА ДЛЯ ГАЗОАНАЛИЗА АТМОСФЕРЫ

С. В. Яковлев, О. А. Романовский, О. В. Харченко

В данной работе рассматривается возможность применения обертонного СО лазера для газоанализа атмосферы. Проведен расчет пропускания атмосферы для линий генерации обертонных частот излучения СО лазера. Представлены результаты поиска информативных длин волн зондирования следующих малых газовых составляющих атмосферы: N_2O , NO_2 , H_2CO , CH_4 , C_2H_2 , HCl , HBr , HCN .

Ключевые слова: СО лазер, спектроскопия, атмосфера.

В условиях нарастающего загрязнения атмосферы большое значение приобретает задача оперативного контроля концентрации загрязняющих атмосферу газовых примесей, которую можно решить с помощью дистанционного лазерного зондирования атмосферы. Среди методов лазерного контроля газовых компонент атмосферы наибольшее распространение получил метод дифференциального поглощения (МДП), основанный на эффекте резонансного поглощения газами лазерного излучения.

Развитие лазерной дистанционной ИК-спектроскопии требует разработки и внедрения новых лазерных источников излучения в среднем ИК диапазоне, способных генерировать излучение в возможно более широком диапазоне длин волн с малым шагом перестройки частоты излучения. Спектральный диапазон, в котором расположены линии генерации СО лазера (длина волны 4.7–8.2 мкм для основных колебательных переходов и 2.5–4.2 мкм для обертонных переходов) [1, 2], охватывает участки спектра, которые являются наиболее информативными с точки зрения лазерного зондирования целого ряда малых газовых составляющих (МГС) атмосферы (H_2O , CO_2 , CH_4 , NO_2 , N_2O и др.). На импульсной лазерной установке с криогенным охлаждением была получена генерация обертонного излучения на ~ 400 линиях (рис. 1).

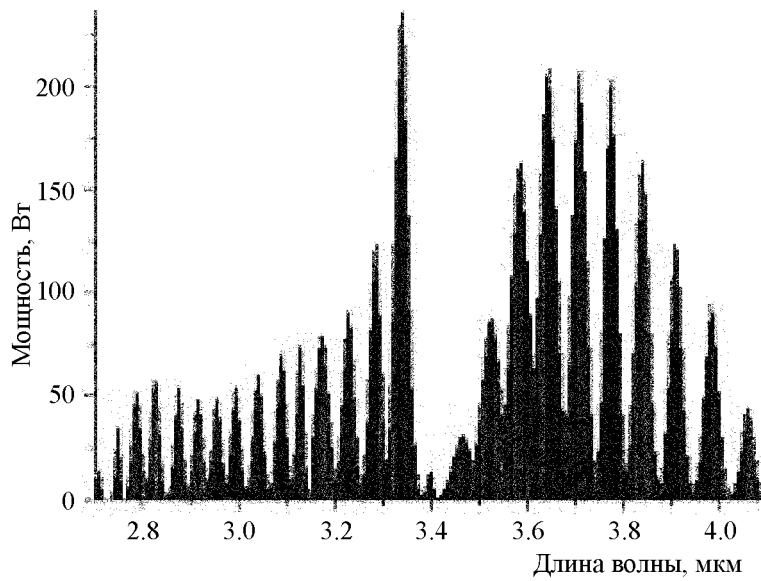


Рис. 1: Мощность излучения импульсного обертонового СО лазера, действующего в частотно-селективном режиме, при перестройке длины волны излучения.

Т а б л и ц а 1

Информативные длины волн, пригодные для зондирования МГС в области генерации обертоновых частот излучения СО лазера

ГАЗ	$\nu_{\text{изл}}, \text{см}^{-1}$	$\nu_{\text{погл}}, \text{см}^{-1}$	$\Delta\nu, \text{см}^{-1}$	$T_{\text{ГАЗ}} 1 \text{ ppm}$	$T_{\text{вод пара}}$
N ₂ O	2578.715	2578.667	0.048	0.75	0.99
CH ₄	3018.048	3018.002	0.046	0.06	0.83
NO ₂	2913.668	2913.691	0.023	0.92	0.98
HBr	2507.710	2507.449	0.271	0.68	0.99
HCl	2774.617	2774.941	0.327	0.41	0.99
C ₂ H ₂	3300.438	3300.848	0.510	0.55	0.64
H ₂ CO	2806.308	2806.244	0.064	0.50	0.77
HCN	3346.496	3347.087	0.509	0.75	0.75

Чтобы исследовать возможности применения излучения широкодиапазонного СО лазера для дистанционного лазерного зондирования МГС атмосферы, нами было рассчитано пропускание атмосферы без примесей для линий спектра такого лазера. Расчет проводился по методу “line by line” с использованием данных о спектральных параметрах линий поглощения основных атмосферных газов [3] для приземной трассы зон-

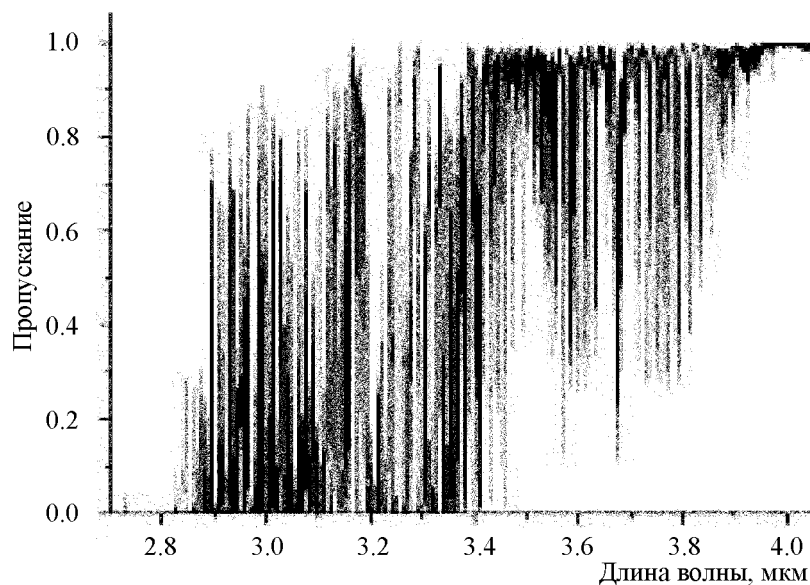


Рис. 2: Пропускание излучения оберточного СО лазера на трассе длиной 1 км в атмосфере без примесей.

дирования длиной 1 км и стандартной модели атмосферы (лето, средние широты) [4]. Результаты этих расчетов представлены на рис. 2. Анализ результатов показал, что часть линий излучения оберточного лазера (в интервале длин волн 2.7–2.9 мкм) весьма сложно использовать при трассовом газоанализе атмосферы из-за сильного мешающего поглощения излучения водяным паром. Но наряду с линиями, которые полностью поглощаются на трассе длиной 1 км, в спектре оберточного СО лазера имеются линии (в интервале 2.9–3.4 мкм), которые попадают в «микроокна» прозрачности атмосферы и могут быть использованы при дистанционном зондировании по методу дифференциального поглощения.

С помощью разработанной методики [5] был проведен поиск информативных длин волн для лазерного зондирования малых газовых компонент атмосферы: N_2O , NO_2 , H_2CO , CH_4 , C_2H_2 , HCl , HBr , HCN . Результаты поиска приведены в табл. 1. В ней указаны центры линий поглощения атмосферных газов и совпадающие с ними центры линий излучения СО лазера, а также величина расстройки центров линий поглощения и излучения $\Delta\nu$. Приведены значения пропускания на 1 км приземной трассы зондирования для поглощения исследуемым газом в концентрации 1 ppm и мешающее поглощение водяного пара.

В целом, проведенные расчеты подтверждают перспективность применения обертоновых частот излучения СО лазера при зондировании следующих малых газовых составляющих атмосферы: N_2O , NO_2 , H_2CO , CH_4 , C_2H_2 , HCl , HBr , HCN . Следует отметить, что приведенный список газов не является окончательным, так как предварительные оценки по литературным данным говорят о возможности зондирования в перекрываемой широкодиапазонным СО лазером области спектра целого ряда других газовых компонент атмосферы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ N 07-05-00765-а.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Н. Г. Басов, А. А. Ионин, А. А. Котков и др., Квант. электрон. **30**, 771 (2000).
- [2] Н. Г. Басов, А. А. Ионин, А. А. Котков и др., Квант. электрон. **30**, 859 (2000).
- [3] L. S. Rothman et al., Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, **96**, 139 (2005).
- [4] В. Е. Зуев, В. С. Комаров, *Статистические модели температуры и газовых компонент атмосферы* (Л., Гидрометеиздат, 1986).
- [5] О. А. Романовский, Прикладная физика N 1, 24 (2009).

По материалам 3 Всероссийской молодежной школы-семинара "Инновационные аспекты фундаментальных исследований по актуальным проблемам физики", Москва, ФИАН, октябрь 2009 г.

Поступила в редакцию 5 ноября 2009 г.