

КОНФЕРЕНЦИЯ С

**ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА
ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

ЧИСТО ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ КР-ЛИДАР ИМКЭС СО РАН ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЫ

В.В. Герасимов^{1,2}, В.В. Зуев^{1,2,3}, В.Л. Правдин¹, Д.П. Нахтигалова¹, А.В. Павлинский¹

¹ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

²Томский государственный университет

³Томский политехнический университет

gvvsake@mail.ru; vyzuev@imces.ru; pravdin@imces.ru; amila@sibmail.com; wf@inbox.ru

Ключевые слова: КР-лидар, дистанционное зондирование, температура, тропосфера, стратосфера.

Аннотация. Представлен, разработанный в ИМКЭС СО РАН (г. Томск), чисто вращательный КР-лидар для восстановления вертикальных профилей температуры нижней атмосферы (3–12.5 км). Приведены общая схема и основные характеристики элементов лидара. В качестве примера представлен вертикальный профиль температуры, полученный в результате ночных измерений 2 октября 2014 г. В алгоритме восстановления температурного профиля использовались линейная и два типа простейших нелинейных калибровочных функции.

На территории Содружества Независимых Государств (СНГ) действуют всего несколько стационарных и сезонных лидарных станций. Часть их них входит в лидарную сеть СНГ CIS-LiNet: стационарные станции в Минске (53.92°N, 27.38°E, Беларусь), Москве (55°N, 37°E), Сургуте (61.25°N, 73.50°E), Томске (56.48°N, 85.05°E) и Владивостоке (43.01°N, 131.9°E); стационарная станция горного базирования в с. Теплоключенка (42.5°N, 78.4°E, Кыргызстан); сезонная мобильная станция на озере Байкал (51.44°N, 105.06°E); стационарная станция корабельного базирования во Владивостоке [1, 2]. Стационарный и мобильный лидарные комплексы функционируют и в Санкт-Петербурге (59.95°N, 30.32°E) [3]. На всех перечисленных станциях проводятся измерения параметров аэрозолей тропосферы и стратосферы, на двух их них в Минске и в Институте оптики атмосферы им В.Е. Зуева СО РАН (ИОА СО РАН, Томск) зондируется стратосферный озон. Также на Сибирской лидарной станции ИОА СО РАН проводятся измерения температуры стратосферы [4]. Тем не менее, лидарных измерений температуры тропосферы ни на одной из вышеупомянутых станций не проводилось.

В лаборатории геоферно-биосферных взаимодействий ИМКЭС СО РАН был разработан и построен чисто вращательный КР-лидар (ЧВКР-лидар) для восстановления вертикальных профилей температуры тропосферы. Основные элементы (блок-схема) данного лидара представлены на рис. 1, основные характеристики передающей и приёмной систем, а также системы регистрации сигналов лидара приведены в таблице 1. В качестве источника излучения используется генератор третьей гармоники LG103 ($\lambda = 354.67$ нм) лазерного комплекса с лазером накачки LQ529B (Nd:YAG, $\lambda = 1064$ нм) ЗАО "Солар ЛС" (Минск, Беларусь).

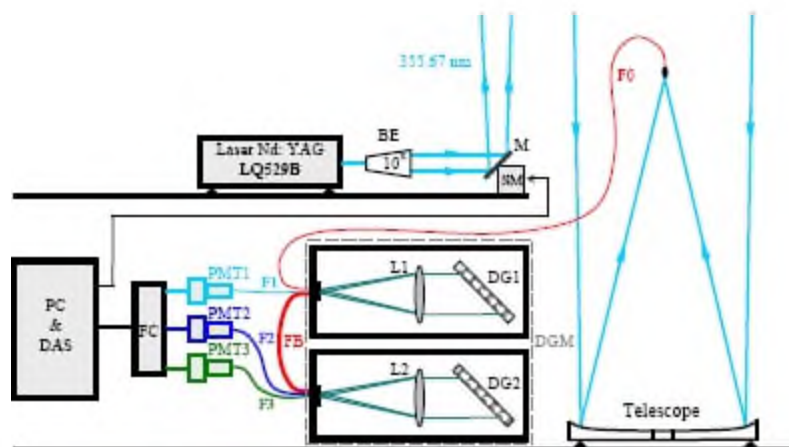


Рис. 1. Блок-схема лазера ИМКЭС СО РАН: PC&DAS – система обработки сигналов; FC – счетчик фотонов; PMT1 – PMT3 – фотоэлектронные умножители; F0 – F3 – оптические волокна; FB – жгут из четырех волокон, соединяющих блоки двойного монохроматора; L1, L2 – линзы; DG1, DG2 – дифракционные решетки; DGM – двойной монохроматор; BE – коллиматор, увеличивающий исходный диаметр лазерного пучка в 10 раз; M – поворотное зеркало; SM – шаговый двигатель.

Для выделения полос спектральных линий с противоположными температурными зависимостями в стоксовой и антистоксовой ветвях ЧВКР-спектра молекул азота и кислорода (полезный сигнал) используется двойной монохроматор, собранный по схеме Литроу. Схема размещения оптических волокон F0 – F3, FB (рис. 1) на входах и выходах монохроматора аналогична схеме, впервые предложенной в [5]. Монохроматор обеспечивает подавление паразитного упругого сигнала в $\sim 10^7$ раз. Система регистрации разработана в ИМКЭС СО РАН.

Таблица 1. Основные характеристики приёмо-передающей системы и системы регистрации сигналов.

Передающая система лазера	
Лазер	
Тип	Nd:YAG, третья гармоника
Модель	LQ529B
Длина волны, нм	354.67
Частота следования импульсов, Гц	20
Энергия импульса, мДж	105
Длительность импульса, нс	13
Расходимость, мрад	0.3
Приёмная система лазера	
Телескоп	
Тип	прямофокусный
Диаметр приемного зеркала, мм	500
Фокусное расстояние, мм	1500
Отношение: диаметр зеркала/фокусное расстояние	1/3
Поле зрения, мрад	0.4
Монохроматор	
Линзы L1, L2	
Диаметр/фокусное расстояние линз, мм	130/300
Дифракционные решетки DG1, DG2:	
Штрихов/мм	2100
Порядок дифракции	2
Угол блеска, град.	48.151

Оптоволокно	
Диаметр входного волокна F0, мм	0.55 (FG 550 UER)
Диаметр волокон между блоками монохроматора FB и F1, мм	0.6 (FT 600 UMT)
Диаметр выходных волокон F2, F3, мм	1.5 (FT 1.5 UMT)
Система регистрации сигналов	
Фотоэлектронные умножители РМТ1 – РМТ3	Hamamatsu R7207-01
Счетчик фотонов	PHCOUNT_4
Число каналов	4 (используется 3)
Скорость счета, МГц	до 200
Пространственное разрешение, м	24
Число стробов	3072

На рис. 2–4 представлены вертикальные профили температуры, восстановленные из лидарных сигналов, полученных в результате ночных измерений 2 октября 2014 г. В алгоритме обработки сигналов применялось сглаживание исходных лидарных сигналов методом переменного скользящего среднего как первого, так и второго порядков. Не смотря на уменьшение пространственного разрешения, сглаживание второго порядка позволяет, во-первых, уменьшить абсолютную и относительную ошибки измерений, и, во-вторых, определить высоту начала усреднения фоновый сигнала (рис. 2–3). На рис. 2 температурные профили восстановлены с помощью функции $T = T(Q)$, полученной из калибровочной функции $Q = Q(T)$, линейной по обратной температуре $1/T$:

$$\ln Q(T) = A + \frac{B}{T} \Leftrightarrow T(Q) = \frac{B}{\ln Q - A}, \quad (1)$$

где Q – отношение обратно рассеянных суммарных сигналов двух полос ЧВКР-спектра молекул азота и кислорода с противоположными температурными зависимостями, T – температура в кельвинах, A и B – калибровочные константы лидара.

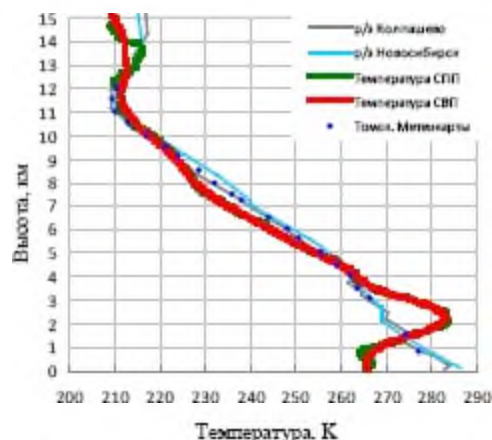


Рис. 2. Вертикальные профили температуры в сравнении с профилями шар-зондов (р/з) Новосибирска и Колташева; данные по температуре над Томском восстанавливались с помощью метеорологических карт; СПП – сглаживание первого порядка, СВП – сглаживание второго порядка.