

В.К. Козлов, В.В. Туркин

ЗОНДИРОВАНИЕ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ ЛИДАРОМ

Описан флуоресцентный лидар. Оценена его абсолютная чувствительность. Приведены конкретные результаты, полученные данным лидаром с борта вертолета-лаборатории.

В последние годы происходит бурное развитие активных методов лазерного зондирования для сбора данных о поверхности Земли и ее атмосфере с борта самолета и космических аппаратов.

Важный шаг вперед был сделан после осознания того, что использование коротковолновых лазеров может расширить спектр приложений за счет возможности использования флуоресценции, индуцированной лазерным излучением. Это привело к разработке новой лазерной системы дистанционного зондирования, получившей название лазерного флуориметра.

В НПО ГИПО совместно с СКБ АН ЭССР создан экспериментальный образец лазерного флуориметра (рис. 1), функциональная схема которого приведена на рис. 2.

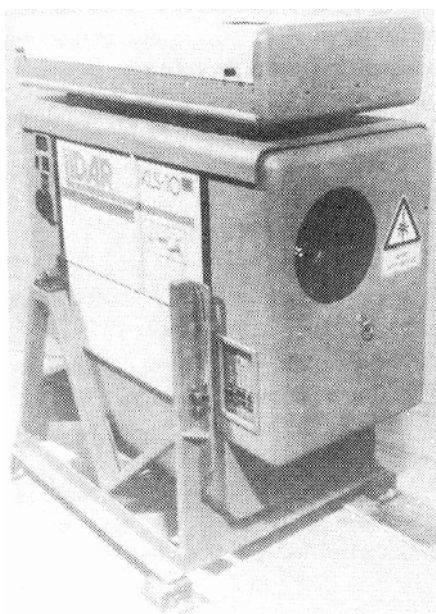


Рис. 1. Общий вид лазерного спектрометра дистанционного зондирования

Источником ультрафиолетового излучения является разработанный в СКБ АН ЭССР эксимерный лазер на ХеС1 (308 нм), имеющий межэлектродное расстояние 20 мм и состав рабочей смеси НС1: Хе: Не в соотношении 0,1: 1,0: 98,9 при избыточном давлении 3 атм. Расходимость выходного пучка составляет 5 мрад, что позволяет использовать эксимерный лазер для накачки лазера на органических красителях, а также в качестве зондирующего источника при работе на расстояниях порядка десятков метров; энергия в импульсе достигает 140 мДж. Благодаря виброустойчивости и герметичности конструкции, излучатель не испытывает воздействия окружающей среды и может работать под открытым небом на различных средствах транспортировки.

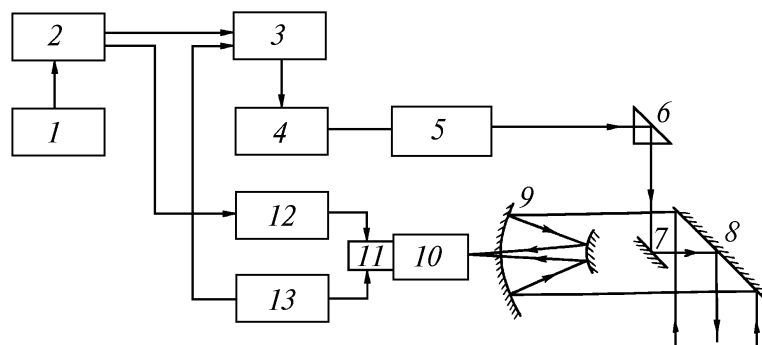


Рис. 2. Блок-схема лидара: 1 – генератор тактовых импульсов; 2 – генератор задержки; 3 – блок управления эксимерного лазера; 4 – эксимерный лазер; 5 – лазер на красителях; 6 – поворотная призма; 7, 8 – поворотные зеркала; 9 – телескоп; 10 – полихроматор; 11 – многоканальный приемник излучения; 12 – генератор стробируемых импульсов; 13 – микроЭВМ

Источником перестраиваемого зондирующего излучения служит специально разработанный для перевозимого лидара лазер на органических красителях («Estla» г. Тарту), включающий генератор, предварительный усилитель, выходной каскад усиления и удвоитель частоты. Задающий генератор лазера состоит из дифракционной решетки, полупрозрачной кварцевой пластины, многопризменного расширителя пучка и проточной кюветы с поперечной накачкой. Смена красителя производится без нарушения юстировки резонатора. Излучение накачки фокусируется в кюветы при помощи цилиндрических линз. Настройка на заданную длину волны осуществляется как вручную, так и с помощью шагового двигателя с индикацией длины волны на механическом счетчике. Область перестройки длины волны без удвоения частоты составляет 360 ... 760 нм, при работе с удвоителем диапазон расширяется в ультрафиолетовую сторону до 260 нм. Эффективность преобразования накачки в видимое излучение меняется от 0,08 до 0,145 в зависимости от типа красителя. Расходимость излучения – менее 0,5 мрад.

Выходное зондирующее излучение с помощью юстируемых призмы и зеркала выводится на оптическую ось приемного тракта. Наклон поворотного зеркала определяет угол падения зондирующего излучения на исследуемую поверхность. Для регистрации эхосигнала используется спектрально-оптический блок, в состав которого входит телескоп и полихроматор. В конструкции полихроматора применена вертикально-симметричная схема с набором сменных дифракционных решеток (300 и 600 штр/мм). Вывод соответствующего интервала длин волн на приемник осуществляется поворотом решетки с индикацией длин волн на механическом счетчике. Технические характеристики спектрально-оптического блока системы приведены ниже.

Спектрально-оптический блок

Спектральный диапазон, нм	250 – 850
Приемная апертура, мм	180
Относительное отверстие	1:4,2
Линейное разрешение по полю 20 мм, нм	0,15

Регистратор

Спектральный диапазон, нм	380 – 820
Число элементов разрешения	512
Размер элемента, мкм	26×500
Динамический диапазон	10 ³

В качестве приемника излучения используется специальная камера, состоящая из усилителя яркости – электронно-оптического преобразователя (ЭОП) ЭП-10 и многоканального фотоприемника ФППЗ-7.

Спектр сигнала с выхода полихроматора проецируется на фотокатод ЭОП. Усиленное изображение с экрана ЭОП через волоконно-оптическую шайбу передается на фоточувствительную поверхность многоэлементного приемника.

Синхронизация работы приемной и передающей систем обеспечивается внешним генератором тактовых импульсов. Генератор задержки формирует два синхроимпульса со сдвигом во времени для запуска эксимерного лазера и генератора стробируемых импульсов камеры. Длительность стробирующего импульса определяет пространственное разрешение лидара по глубине, время задержки – дальность зондирования, частота повторения импульсов – пространственное разрешение системы по поверхности. Частота повторения световых импульсов

меняется в пределах $1 \div 5$ Гц. Необходимый уровень отношения сигнал-шум достигается путем накопления спектров эхосигналов в зависимости от режима работы лидара и длины волны излучения. Управление режимами работы излучателей, приемной системы и системы обработки сигналов осуществляется с помощью персонального компьютера IBM PC/AT/286.

Для количественных оценок дальности действия и определения пороговых характеристик лидара при диагностике флуоресцирующих объектов, исследуемых методами дистанционного зондирования, нами проведены прямые измерения чувствительности лидара.

Для измерения чувствительности лидара к энергетической яркости источника излучения использовался градуировочный протяженный источник излучения, создаваемый при помощи эталонной пластины с известным спектральным коэффициентом во всей области чувствительности лидара при освещении ее излучением ленточной вольфрамовой лампы с известной спектральной энергетической яркостью тела накала.

Пороговое значение яркости $L_{пор}$, измеренное с помощью лидара при отношении сигнал-шум, равном 3, и напряжении строб-импульса, равном 0,9 кВ, на длине волны $\lambda = 615$ нм принимает значение $L_{пор}(\lambda) = 10^{-3}$ Вт/(ср·м²·мкм), что является хорошей характеристикой чувствительности прибора по сравнению с действующими приборами – радиометрами, работающими в видимой области спектра.

Полученные значения чувствительности лидара позволяют проводить количественные оценки содержания флуоресцирующих компонент на исследуемых поверхностях без калибровки сигнала флуоресценции с помощью метода внутреннего репера [1, 2] и с учетом лидарного уравнения для случая флуоресцирующего объекта (см., например, [3]).

Для решения экологических задач в Татарстане была создана летающая экологическая лаборатория на базе вертолета МИ-8 МТВ. На его борту установлено несколько приборов, с помощью которых решаются конкретные экологические вопросы. Одним из приборов (в любом варианте комплектации вертолета) является описанный выше флуоресцентный лидар. Облучение подстилающей поверхности лазерным излучением производилось вертикально вниз через специальный люк в полу вертолета.

Пространственное сканирование подстилающей поверхности производилось за счет движения вертолета. Высота полета варьировалась в интервале $50 \div 300$ м. На данном вертолето-лаборатории были проведены комплексные исследования водной поверхности рек Волги, Казанки, оз. Кабан и растительности земной поверхности в районе г. Казани.

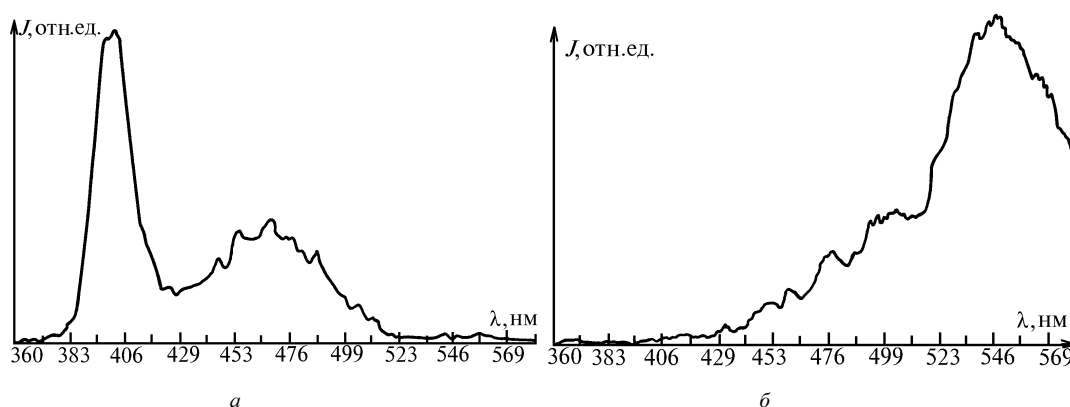


Рис. 3. Спектры подстилающей поверхности. Высота 100 м, $\lambda = 308$ нм. Река Волга. Бауманский район – а; Средний Кабан. Район ТЭЦ – б

На рис. 3 приведены спектры подстилающей поверхности, полученные флуоресцентным лидаром с вертолета-лаборатории. Как следует из приведенных рисунков, чувствительность прибора вполне достаточна для того, чтобы получать полезную информацию при решении экологических проблем, причем все измерения проводились в дневное время и солнечная за-светка тем не менее не помешала получить эти спектры.

Таким образом, зная абсолютную чувствительность лидара, можно получать из регистрируемых спектров количественные характеристики флуоресцирующих компонент.

1. Бабиченко С.М., Морозов С.В., Саар К.Ю., Соскин Я.Г., Туркин В.В. // Научная аппаратура, 1989. Т. 4. N 4. С. 139–146.
2. Клышко Д.Н., Фадеев В.В. // ДАН ЭССР. 1978. Т. 238. С. 320.
3. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М.: Мир, 1987. 550 с.

НПО Государственный институт прикладной оптики,
г. Казань

Поступила в редакцию
10 ноября 1994 г.

V.K. Kozlov, V.V. Turkin. **Sounding of an Underlying Surface with a Fluorescence Lidar.**

The fluorescence lidar is described. The estimation of its absolute sensitivity is made. The results obtained with the helicopter-borne lidar are presented.