Uzbek Journal of Physics

Vol.22(№2) 2020 PP.107-110

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

Ш.Н. Эрназаров[1], А.С. Рысбаев[2], А.А. Мухамедов[1]

[1]Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан,
sh.ernazarov@list.ru
[2]Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан
(Получена 18.09.2019)

Ўсимликларни масофадан лазер нурлари воситасида кузатувчи лидар қурилмаси тузилиши келтирилган. Пахта ўсимлиги мисолида баргларнинг лазер нурлантирилиши натижасида ҳосил бўлган флуоресцент спектрлари вегитация кесимида ўлчанган. Ўсимлик ҳолатини масофадан туриб ишончли аниқлаш имконини берувчи спектрал белгилар аниқланган.

Дано описание дистанционного лазерного лидара для мониторинга наземной растительности. На примере хлопчатника измерены спектральные кривые лазерно-индуцированной флуоресценции листьев в разрезе вегетации. Определены информативные спектральные признаки для надежной дистанционной идентификации состояния растений.

A description of a remote laser lidar for monitoring terrestrial vegetation is given. Spectral curves of laser-induced leaf fluorescence in the vegetation section were measured on the example of cotton. Informative spectral features for reliable remote identification of the plant state were determined.

В связи с развитием аэрокосмических систем мониторинга окружающей среды большую актуальность начали приобретать разработка и усовершенствование оптических систем дистанционного зондирования (ДЗ).

Широкий спектр работ, выполненных в этом направлении, доказал эффективность ДЗ не только атмосферы и водных сред, но и растительного покрова по их оптическим характеристикам [1, 2]. Наиболее известными методами ДЗ являются пассивные методы, основанные на регистрации обратного и комбинационного рассеяния [3-4], и активные методы [5-7], основанные на регистрации индуцированной лазером флуоресценции листьев.

Учитывая, что основным фактором, определяющим рост и физиологическое состояние растения, является функционирование его фотосинтетического аппарата (ФСА), следует ожидать, что оптический отклик растения на внешние факторы будет нести информацию о состоянии как отдельно взятого растения, так и растительного сообщества в целом [8-10].

Наиболее чувствительным способом определения состояния зеленого листа является измерение спектров флуоресценции, так как в этих спектрах, в отличие от спектров поглощения (отражения), содержится информация о состоянии пигментной и реакционной части фотосинтезирующего аппарата.

Основной целью данной работы является определение спектральных характеристик индуцированных лазером флуоресценций как отдельных листьев, так и растения в целом, которые могут быть использованы при диагностике растений на различных фазах вегетации.

Лабораторные и дистанционные измерения проводили на спектральной установке, блок-схема которой приведена на рис. 1. Лазерное излучение (*1*) через нейтральный светофильтр типа НС-10 (*2*) направляется на дифракционную решетку (*3*), которая используется для выбора необходимой длины волны. Во избежание повреждения дифракционной решетки лазерным излучением перед ней устанавливался нейтральный фильтр типа (*2*), коэффициент пропускания которого в используемом диапазоне длин волн изменяется незначительно. Отраженные от дифракционной решетки и отселектированные по длинам волн лучи, попадая на зеркало (*4*), отражаются в различных направлениях.

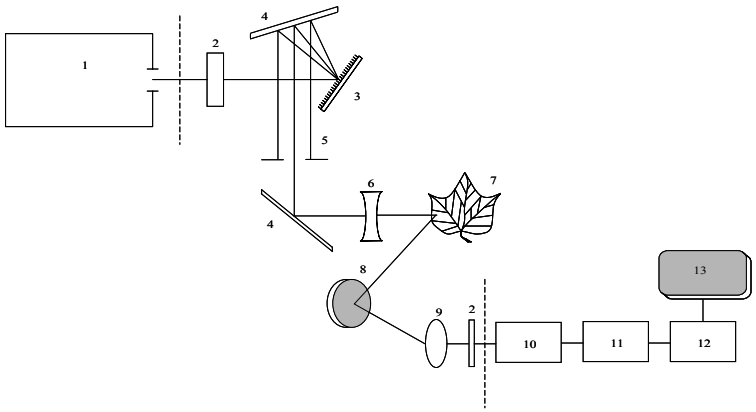


Рис. 1. Блок-схема спектральной установки: 1 – лазер, 2 – светофильтр, 3 – дифракционная решетка, 4 – зеркало, 5 – диафрагма, 6 – дефокусирующая линза, 7 – лист растения, 8 – сферическое зеркало, 9 – линза, 10 – полихроматор типа ВМ-25/25, 11 – камера типа ISIT-500, 12 – компьютер, 13 – дисплей.

Выбор необходимой линии излучения осуществляется изменением расположения диафрагмы (*5*). Дефокусирующую линзу (*6*) использовали для уменьшения плотности мощности излучения и равномерного облучения поверхности листьев (*7*). Флуоресцентное излучение листьев растений с помощью сферического зеркала (*8*) и линзы (*9*) направляли во входную щель полихроматора (*10*) типа ВМ-25/25. На выходе из полихроматора излучение регистрировалось многоканальной камерой (*11*) типа ISIT-500, работающей в спектральном диапазоне 140–950 нм. Максимальная чувствительность камеры в области 430 нм составляла 6 фотонов на отсчет. Аналоговые сигналы преобразовывали в цифровой код и подавали для дальнейшей обработки в процессор спектроанализатора OSA-WP-4 (*12*), где осуществляли автоматическое накопление сигнала с усреднением, а также нормировку и вывод на экран графического дисплея (*13*).

Полевые исследования на примере хлопчатника показали, что биомасса растений за весь вегетационный период от всхода семядолий до созревания, составляющий 90 дней, имеет тенденцию монотонного увеличения (рис. 2).

Одновременные измерения содержания хлорофилла в листьях растений показали несколько иную зависимость от периода развития (рис. 3). Если на ранних этапах развития содержание хлорофилла монотонно увеличивается, то уже ближе к фазе созревания (начиная с 60 суток) рост содержания хлорофилла приостанавливается (плато на кривой).

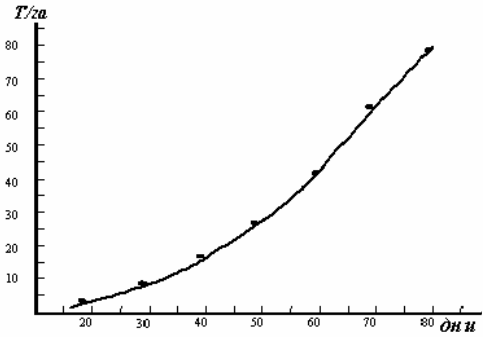


Рис. 2. Сезонные изменения биомассы хлопчатника.

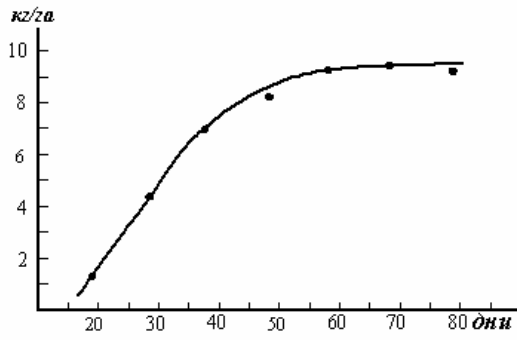


Рис. 3. Изменение содержания хлорофилла за вегетационный период.

Поэтому следует ожидать также и возрастания интенсивности флуоресценции вследствие увеличения количества флуоресцирующих молекул с ростом биомассы и содержания хлорофилла на ранних фазах развития (рис. 4 и 5).

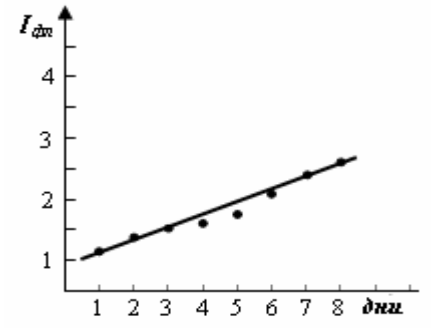


Рис. 4. Лабораторные изменения выхода флуресценции.

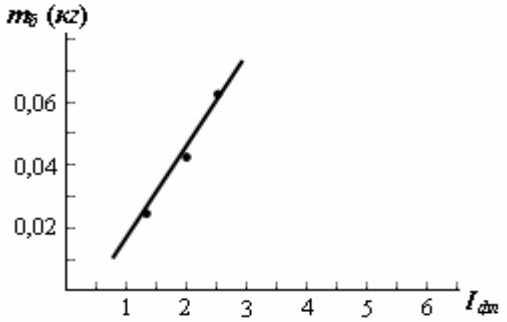


Рис. 5. Зависимость интенсивности лазерно-индуцированной флуоресценции от массы растения (1 куст хлопчатника).

Изменение флуоресцентного сигнала связано не только с количеством флуоресцирующих единиц, но и с функциональным состоянием ФСА. Поэтому в интерпретации результатов дистанционных измерений необходимо учитывать весь набор факторов, влияющих как на общую интенсивность выхода флуоресценции, так и на форму флуоресцентного сигнала. Обнадеживающим фактором для правильной оценки биомассы, очевидно, является несущественная изменчивость формы спектра и относительного выхода флуоресценции в зависимости от возраста в актуальном для контроля временном интервале (рис. 6) .

Как показали натурно-летние эксперименты, оперативная диагностика посевных площадей на территории 100 га с одновременной обработкой цифровых данных занимает не более 2–3 часов лётного времени. Следовательно, принятие решений по оценке состояния и выдачи оперативных рекомендаций по дистанционным данным требует не более 3–4 часов, тогда как наземными службами на это потребуется не менее 5–7 рабочих дней, что абсолютно не обеспечивает своевременности принятия необходимых мер.

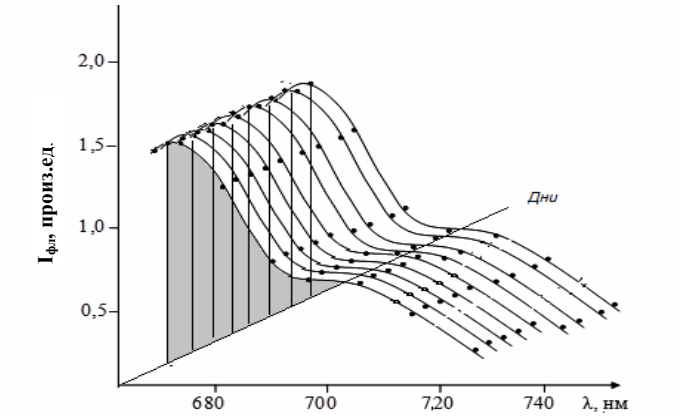


Рис. 6. Спектры ЛИФ листьев 15–45 дневных растений хлопчатника в отсутствие стресс-факторов.

Учитывая интенсивное развитие беспилотных летательных аппаратов (дроны и т.п.), создание легких по массе и маломощных по энергоемкости приемо-передающих лидаров, установленных на таких носителях и способных накапливать и передавать информацию наземным службам, становится весьма актуальной задачей. Использование данной методики при решении региональных задач по мониторингу окружающей среды и, в особенности растительного покрова, могло бы открыть поистине безграничные возможности в дополнение к действующим в настоящее время аэрокосмическим системам глобального слежения поверхности Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М. Чандра, С.К. Гош. Дистанционное зондирование и географические информационные системы (Москва, Техносфера, 2008).
2. У.Г. Рис. Основы дистанционного зондирования (Москва, Техносфера, 2006).
3. Г.И. Марчук, К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров. Радиационный баланс Земли: ключевые аспекты (Москва, Наука, 1988).
4. К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров, П.П. Федченко. Аэрокосмические исследования почв и растительности (Ленинград, Гидрометеоиздат, 1986).
5. Д.В. Маслов, В.В. Фадеев, П.Н. Литвинов, Вестн. МГУ, сер. 3, № 1, 34-37 (2002).
6. G.G. Matvinko, V.I. Timofeev, A.I. Grishin, N.L. Fateyeva, Prog. SPIE **6367**, 63670F (2006).
7. А.В. Афонасенко, А.И. Иглакова, Г.Г. Матвиенко, В.К. Ошлаков, В.Е. Прокопьев, Оптика атмосферы и океана **25**, № 3, 237-243 (2012).
8. Ю.В. Федотов, О.А. Булло, М.Л. Белов, В.А. Городничев, Радиооптика (электрон. журнал) 01, 1-13 (2017) (Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана).
9. Д.М. Миркамилов, Д.В. Власов, А.Ф. Бункин и др. Способ дистанционного определения физиологического состояния растения. Авт. свидетельство № 1276963, 15 августа 1986 г.
10. Ш.Н. Эрназаров, А.А. Мухаммедов, Химическая технология. Контроль и управление. (Ташкент) № 1, 67-70 (2015).