

6-15-2020

REMOTE MEASUREMENT OF PLANT BIOMASS BY PICOSECOND LASER RADIATION

Abdushukur Abdugafurovich Mukhamedov

Cand. of Phys. Math.Sc., As. Professor of the Tashkent Institute of Chemical Technology, Адрес: 32, Alisher Navoi st., 100011 Tashkent city, Republic of Uzbekistan, Phone: +99897-333-10-92, E-mail: mabdushukur@mail.ru,; mabdushukur@mail.ru

Abdirashid Saribaevich Rysbaev

Dr. of Phys. Math. Sc., Professor of the Tashkent State Technical University, Адрес: 32, Alisher Navoi st., 100011 Tashkent city, Republic of Uzbekistan, Phone: +99890-978-69-54, E-mail: resbaev@mail.ru,; resbaev@mail.ru

Shamsiddin Norchaevich Ernazarov

Senior Lecturer of the Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent city, Republic of Uzbekistan, Phone: +99894-605-62-05, E-mail: sh.ernazarov@list.ru., sh.ernazarov@list.ru

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm>



Part of the [Complex Fluids Commons](#), [Controls and Control Theory Commons](#), [Industrial Technology Commons](#), and the [Process Control and Systems Commons](#)

Recommended Citation

Mukhamedov, Abdushukur Abdugafurovich; Rysbaev, Abdirashid Saribaevich; and Ernazarov, Shamsiddin Norchaevich (2020) "REMOTE MEASUREMENT OF PLANT BIOMASS BY PICOSECOND LASER RADIATION," *Chemical Technology, Control and Management*: Vol. 2020 : Iss. 2 , Article 6.

DOI: <https://doi.org/10.34920/2020.2.37-41>

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2020/iss2/6>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Chemical Technology, Control and Management by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.



ISSN 1815-4840

Himičeskaâ tehnologiâ. Kontrol' i upravlenie

**CHEMICAL TECHNOLOGY.
CONTROL AND MANAGEMENT**2020, №2 (92) pp.37-41. <https://doi.org/10.34920/2020.2.37-41>

International scientific and technical journal

journal homepage: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/>

Since 2005

UDC 528.85:601.3

REMOTE MEASUREMENT OF PLANT BIOMASS BY PICOSECOND LASER RADIATION**Mukhamedov Abdushukur Abdugafurovich¹, Rysbaev Abdirashid Saribaevich², Ernazarov Shamsiddin Norchaevich³**

¹*Cand. of Phys. Math.Sc., As. Professor of the Tashkent Institute of Chemical Technology, Aðpec: 32, Alisher Navoi st., 100011 Tashkent city, Republic of Uzbekistan,*

Phone: +99897-333-10-92, E-mail: mabdushukur@mail.ru;

²*Dr. of Phys. Math. Sc., Professor of the Tashkent State Technical University, Aðpec: 32, Alisher Navoi st., 100011 Tashkent city, Republic of Uzbekistan,*

Phone: +99890-978-69-54, E-mail: resbaev@mail.ru;

³*Senior Lecturer of the Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent city, Republic of Uzbekistan,*

Phone: +99894-605-62-05, E-mail: sh.ernazarov@list.ru

Abstract: A description is given of a high-speed optical recording system that uses a solid-state yttrium-aluminum garnet Nd³⁺ laser that generates a train of picosecond laser pulses. It is shown that by registering and temporarily scanning the secondary fluorescence radiation excited by a sequence of picosecond pulses, it is possible to remotely determine the biomass of plants based on a prematurely created bank of laboratory data.

Keywords: laser, fluorescence, lidar, picosecond recording, spectrum, chlorophyll, vegetation, remote sensing.

Аннотация: Қаттиқ жисмли Nd³⁺ ли иттрий-алюминийли ёқут лазерли манбасидан фойдаланувчи тезкор қайд қилувчи оптик қурилма келтирилган. Ушбу қурилма ёрдамида пикосекундли лазер импульслари тўпламининг ўсимлик билан ўзаро таъсирлашуви натижасида юзага келувчи иккиламчи - флуоресцент нурлар оқимини қайд қилиш асосида ер юзасидаги ўсимлик қатлами биомассасини масофадан ўлчаши мумкинлиги кўрсатилган.

Калим сўзлар: лазер, флуоресценция, лидар, пикосекундли импульс, спектр, хлорофилл, ўсимлик, масофадан зондлаш.

Аннотация: Дано описание быстродействующей оптической регистрирующей установки, в которой использован твердотельный лазер на иттрий-алюминиевом гранате с Nd³⁺, генерирующий цуг пикосекундных лазерных импульсов. Показано, что путем регистрации и временной развёртки вторичного излучения флуоресценции, возбужденной последовательностью пикосекундных импульсов, можно дистанционно определить биомассу растений на основе предварительно созданного банка лабораторных данных.

Ключевые слова: лазер, флуоресценция, лидар, пикосекундная регистрация, спектр, хлорофилл, растительность, дистанционное зондирование.

Введение

Наблюдаемое в последнее время развитие лазерно - оптических систем и использование быстродействующей электронно - цифровой технологии в решении научных и прикладных задач в таких смежных областях науки как биология и физика открыло поистине неисчерпаемые возможности в разработке современных методов мониторинга окружающей среды. Использование лазерных спектрометров, установленных на борту летательных аппаратов продемонстрировали свои несомненные преимущества для дистанционного зондирования (ДЗ) наземных объектов и водных сред [1-4].

Исследования окружающей среды путем регистрации оптических сигналов является наиболее эффективным средством дистанционного зондирования (ДЗ). Существует круг задач ДЗ, в решении которых наиболее информативным является измерение спектральных и

временных характеристик вторичного излучения – стимулированного лазерным лучом флуоресценцию.

Однако, быстро перемещающиеся над поверхностью Земли лидары осуществляют исследование только проективного покрытия, что не может быть достаточным для правильной количественной оценки. Для этого необходимо построить трехмерную картину оптического отклика исследуемой среды. Поэтому возникла необходимость разработки и апробации бортового электронно-оптического устройства, способного осуществить последовательную регистрацию эхо-сигналов, идущих от различных ярусов растений.

При дистанционном зондировании с помощью специализированных лидарных систем необходимо учитывать дальность объектов зондирования, точность и временные характеристики измеряемых сигналов. Эти характеристики непосредственно связаны с величинами амплитуд полезного и шумового фототока, а также статистическими характеристиками излучения эхо-сигналов. Основные характеристики зондируемых объектов обычно определяются через соответствующие значения мгновенного фототока J . В момент времени t , в спектральном канале λ с шириной $\Delta\lambda$, соответствующей излучению эхо-сигналов с площади фотокатода S . Измеряемые в экспериментах значения фототока J , характеристики зондируемых объектов, свойства среды, в котором проходит излучение, а также параметры лидарной системы связываются с помощью уравнения лидара. Решение этого уравнения позволяет получить в явном виде численные значения характеристик объекта, а также позволяет определить дальность, точность и другие основные характеристики дистанционных измерений. В случае импульсной системы возрастание в приемном детекторе мощности сигнала $\Delta P(\lambda, R)$ в спектральном диапазоне $(\lambda, \lambda + \Delta\lambda)$ от объекта, расположенного на расстоянии $(R, R + \Delta R)$ определяется выражением [5].

$$\Delta P(\lambda, R) = \int J(\lambda, R, r) \Delta\lambda \Delta R P(\lambda, R, r) dA(R, r) \quad (1)$$

Здесь, $J(\lambda, R, r)$ - индуцируемая лазером спектральная плотность энергетической яркости на длине волны λ , элемента площади объекта, положение которого определяется радиус - вектором r в слое единичной толщины, расположенном на расстоянии R от лидара, $dA(R, r)$ - элемент площади объекта в положении r на расстоянии R от лидара, $P(\lambda, R, r)$ - вероятность попадания излучения с длиной волны, исходящего с элемента площади $dA(R, r)$, на детектор.

Таким образом, для вычисления величины спектральной плотности энергетической яркости объекта, необходимо проинтегрировать интенсивность флуоресценции создаваемой передним фронтом лазерного импульса за время взаимодействия с флуоресцирующими молекулами, расположенными вдоль траектории лазерного луча.

Решение уравнение лидара в задачах дистанционного зондирования позволяет определить концентрацию веществ (молекул) пользуясь априори известными сечениями поглощения на молекулах или флуоресценции при известных значениях функций $\Delta P(\lambda, R, r)$ и других параметров.

Выше приведенное уравнение применимо при зондировании различных дисперсных сред, например растворенных органически веществ (РОВ), морского хлорофилла и т.д.

Однако в случае зондирования растительности между спектральной плотностью энергетической яркости флуоресцентного эхо-сигнала $J(\lambda, R)$ и концентрацией флуоресцирующих молекул $N_0(R)$ не существует однозначной и прямой зависимости описываемой уравнением, подобной (1). Поэтому, на основе известных сечений поглощения и флуоресценции молекулами хлорофилла проведение прямых количественных оценок не представляется возможным.

На практике часто возникают задачи требующие проведения количественного анализ интегрального характера, например определения густоты стояния растений, биомассы и т.д., которую можно осуществить с использованием априори известных значений уровня сигналов

(на основе эталонных лабораторных измерений на модельных объектах), с учетом временной структуры эхо-сигнала.

Сущность метода состоит в следующем. По нормали к поверхности Земли от лазерного источника, установленного на борту летательного аппарата, посылается цуг лазерных импульсов, имеющих длину волны в интервале 400-700 нм и общей длительностью 10-20 нс. Флуоресцентный отклик регистрируется в спектральном диапазоне 670-740 нм и его интенсивность нормируется на интенсивность сигнала комбинационного рассеяния на молекулах азота приповерхностного слоя. Одновременно производится временная развёртка сигнала – отдельная регистрация эхо-сигналов соответствующих каждому импульсу в цуге. С помощью бортового многоканального спектрометра на основе измерения интенсивности и спектральной формы эхо-сигнала, идущей с различных ярусов растений, строится вертикальный профиль распределения флуоресцирующей органики.

На рис.1 представлена принципиальная схема регистрирующей установки.

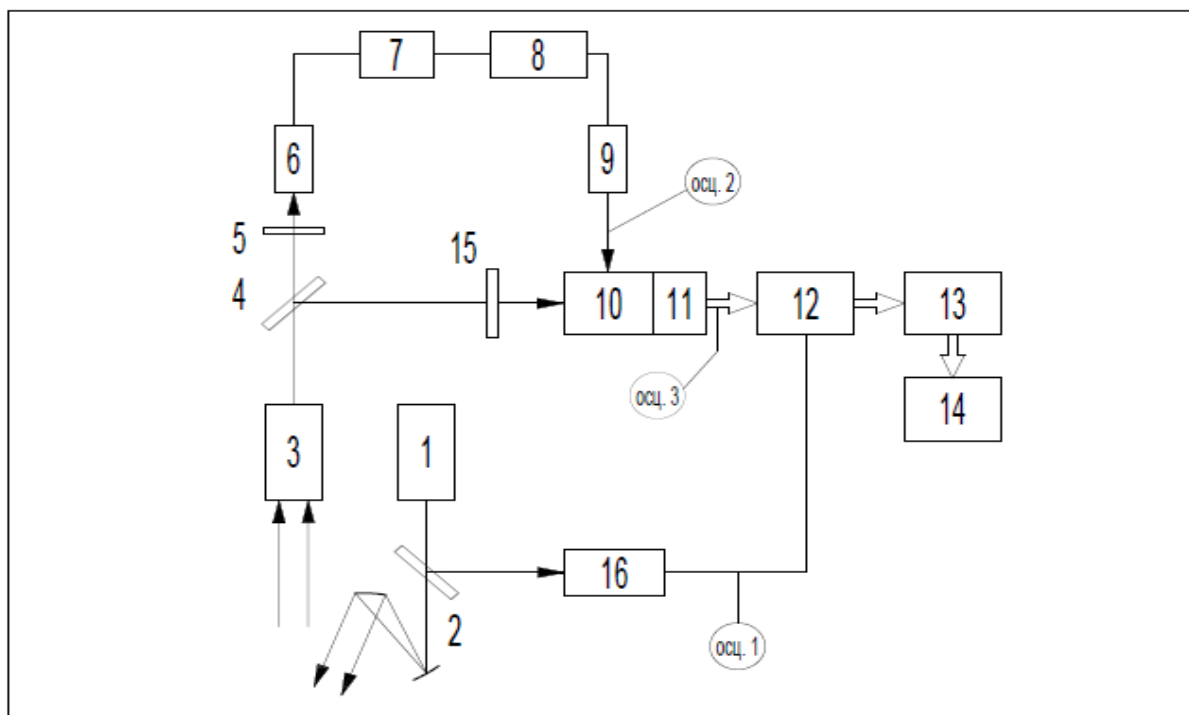


Рис. 1. Схема установки.

1- Лазер типа ИАГ-Nd³⁺ с мощностью 1-2 МВт, 2-передающей телескоп, 3-приемный телескоп Кассегрена, 4-светоделительная пластинка, 5-узкополосный фильтр, 6-фотоприемник, 7-усилитель, 8-формирователь, 9-линия задержки, 10-электронно-оптический преобразователь (Агат-ОФ-03), 11-ПЗС матрица (полупроводниковая матрица с зарядовой связью), 12-АЦП, 13-буфер, 14-компьютер, 15-отсекающей фильтр, 16-фотодиод, 17-светоделительная пластинка.

Первый импульс в цуге, отраженный поверхностью, регистрируется фотоприемником, формирующим синхроимпульс запуска второго, быстродействующего пикосекундного стробируемого фотоприемника. Запуск второго фотоприемника, регистрирующего сигналы на смещенной частоте, т.е. в полосе флуоресценции хлорофилла 670-740 нм, производится по стартовому импульсу, поступающему из первого фотоприемника через линию задержки в момент поступления в приемную часть второго фотоприемника эхо-сигнала от следующего импульса в цуге.

Имея данные о состоянии и архитектонике растительного покрова (РП), биомасса вычисляется по формуле:

$$m_a = \frac{K(\varepsilon)}{S_0 l} \int_L dx \int_0^{y^*(x)} I(y, x) dy \quad (2)$$

где $K(\varepsilon)$ - коэффициент корреляции между биомассой и уровнем флуоресцентного сигнала (таблица, составленная в предварительных лабораторных и полевых экспериментах), $I(y, x)$ - вертикальный профиль распределения интенсивности РП по трассе зондирования, x - координата зондируемого объекта по трассе, S_0 - общая протяженность трассы зондирования, L и $y^*(x)$ - пространственная протяженность лазерного и флуоресцентного импульсов соответственно, ε - сигнатура (спектральная форма) флуоресцентного отклика отдельного вида и состояния растения.

Результаты измерений, таким образом, были накоплены и усреднены по всем импульсам в цуге, начиная со второго. В результате взаимодействия лазерного импульса в цуге, имеющего длительность 50 нс с люминесцирующими органами (листьями, находящимися на разных ярусах стебля растения) эхо-сигнал флуоресценции имеет временную структуру, зависящую от архитектоники РП.

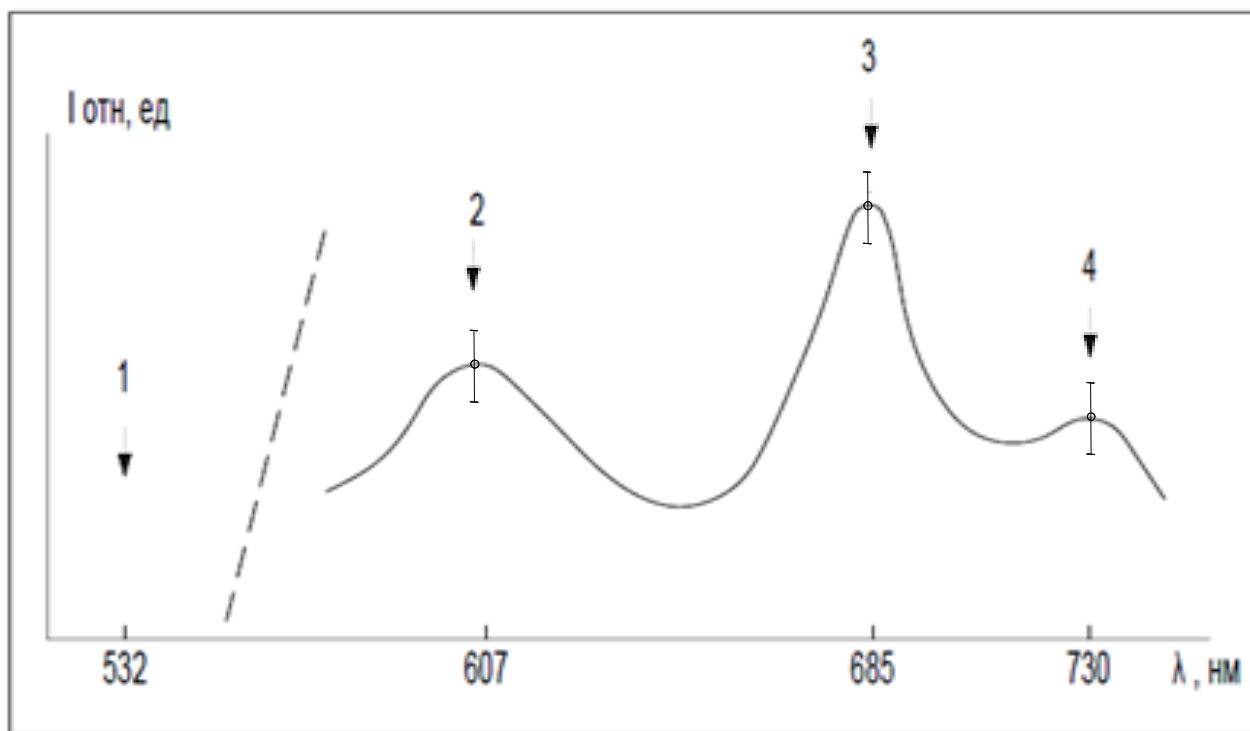


Рис.2. Панорамный спектр хлопкового поля, измеренный в ночное время с борта самолета. Пунктиром отмечена кривая поглощения фильтров ОС-13 и ОС-12.

1-положение возбуждающей лазерной линии, 2-пик КР на молекулах азота, 3-пик флуоресценции хлорофилла «а», 4-пик флуоресценции хлорофилла в области 730 нм (доверительный интервал при доверительной вероятности 0,95).

Одновременно производится регистрация спектральной структуры эхо-сигнала, по которому определяется физиологическое состояние растений способом, описанным в [2].

Характерные панорамные спектры флуоресценции, измеренные бортовой установкой (рис.2) обнаруживают такие же явные отличительные признаки, как и спектры, измеренные в контролируемых лабораторных опытах [6], что позволяет идентифицировать типы растений на достаточно большом удалении (300 м и более).

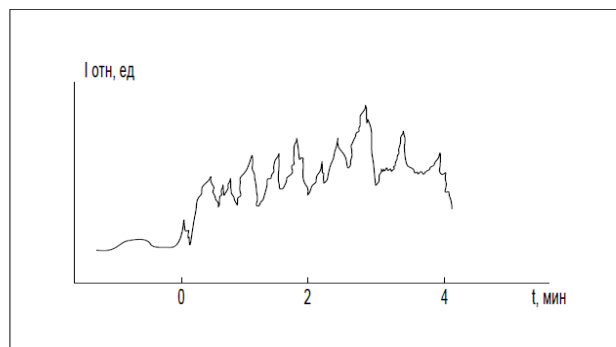


Рис. 3. Профиль вертикального распределения эхо-сигнала по трассе зондирования. Картирование уровня флуоресцентных сигналов хлопкового поля производился по спектральному каналу 685 нм.

Временная развёртка уровня сигнала в главном пике 685 нм (рис.3) имеет достаточно широкий разброс, указывающий на неравномерность распределения биомассы по трассе зондирования. Анализ экспериментальных данных показал, что имеет место значительное перекрытие областей спектрального отклика в пространстве признаков, что затрудняет надёжную идентификацию результатов. Однако эти трудности были разрешены применением методов статистической обработки данных на основе дискриминантного анализа [7].

Заключение

Полученные результаты показывают, что путем формирования цуга пикосекундных лазерных импульсов и, используя быстродействующие электронные схемы в бортовой регистрирующей установке, можно получить дистанционные данные о вертикальном распределении флуоресцирующей органики. В частности, этот метод позволяет более точно определить биомассу растительного покрова Земли.

Проведенные натурно - лётные эксперименты продемонстрировали сопоставимые результаты с наземными наблюдениями при оценке биомассы в исследуемом, в качестве примера, участке посевов хлопчатника [8-9].

References:

1. G.G.Matvienko, V.I.Timofeev, A.I.Grishin, N.L.Fateyeva, "Lidar fluorescent method for remote monitoring of the effects on the vegetation" *Prog.SPIE.*, vol. 6367, p. 9, 2006.
2. A.F.Bunkin, D.V.Vlasov, D.M.Mirkamilov, "Fizicheskie osnovy' lazernogo aerorozondirovaniya poverhnosti Zemli" [*Physical basis of laser aerosol sounding of the Earth's surface*], Toshkent: Fan, 1987, 272 p. (in Russian).
3. Y.V.Fedotov, O.A.Bullo, M.L.Belov, V.A.Gorodnichev, "Distancionny'y lazerny'y fluorimetr dlya obnaruzheniya stressovy'h sostoyaniy rastitel'nosti" [Remote laser fluorimeter for detecting stressful conditions of vegetation], *MGTU im.N.E.Baumana. Elekt.jurn.*, no.1, pp. 1-13, 2017. (in Russian).
4. A.V.Afanasenko, A.I.Iglakov, G.G.Matvienko, V.K.Oshlakov, V.E.Prokop'ev, "Laboratory'e i lidarny'e izmereniya spektral'ny'h harakteristik list'ev berezy' v razlichny'e periody' vegetacii" [Laboratory and lidar measurements of spectral characteristics of birch leaves in different periods of vegetation], *Optika atmosfery' i okeana*, vol. 25, no. 3, pp. 237-243, 2012. (in Russian).
5. R.Mejerer "Lazernoe distancionnoe zondirovanie" [*Laser remote sensing*], Moskva; Мир, 1987, 550 p. (in Russian).
6. D.M.Mirkamilov, A.A.Muhamedov, M.M.Mansurov, Sh.N.Ernazarov, "Raspoznavanie fiziologicheskogo sostoyaniya rasteniy spektram lazerno-inducirovannoy fluorecencii" [Recognition of the physiological state of plants by the laser-induced fluorescence spectrum], *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, no. 1, pp. 92-95, 1992. (in Russian).
7. Sh.N.Ernazarov, "Vy'bor mnogomernogo klassifikatora spektral'ny'h danny'h lazernogo distancionnogo zondirovaniya" [Selection of a multidimensional classifier of spectral data of laser remote sensing] *Aktual'ny'e problemy' sovremennoy fiziki. Tez.dokl.Resp.konf.*, Ternez, 2004, pp. 115-117. (in Russian).
8. Sh.N.Ernazarov, A.A.Muhamedov, "Kolichestvenny'e aspekty' distancionnogo lazernogo zondirovaniya fluoreciryshiy organiki" [Quantitative aspects of remote laser sensing of fluorescent organics], *Himicheskaya tehnologiya, Kontrol' i upravleniya*, no. 1, pp. 67-70. 2015. (in Russian).
9. Sh.N.Ernazarov, "Razrabotka informacionnoy sistemy' dlya distancionnogo izmereniya spektral'nogo otklika rastitel'nosti" [Information system development for remote measurement of the spectral response of vegetation], *Himicheskaya tehnologiya. Kontrol' i upravleniya*, no. 1, pp. 47-50, 2009. (in Russian).