

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 12 Volume: 92

Published: 09.12.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Aktam Khalmanov

Samarkand State Architectural and construction institute named after Mirzo Ulugbek
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Docent to department of heat-gas supply ventilation and service, Uzbekistan
a-xalmanov@umail.uz

Shamsiddin Ernazarov

Tashkent chemical - technological institute
Assistant, Uzbekistan

Abdushukur Muxamedov

Tashkent chemical - technological institute
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Uzbekistan

Nodira Toshkuvatova

Samarkand State university
Undergraduate to department of chemistry, Uzbekistan

INVESTIGATION OF LASER REMOTE IDENTIFICATION OF THE PLANT STATE

Abstract: In this work it is given a description of a remote laser lidar for monitoring terrestrial vegetation. 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. In the work different laser systems were used for illumination of cotton.

Key words: fluorescence, laser lidar, remote identification, laser methods, optical system, extinction coefficient, laser radiation.

Language: Russian

Citation: Khalmanov, A., Ernazarov, S., Muxamedov, A., & Toshkuvatova, N. (2020). Investigation of laser remote identification of the plant state. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (92), 75-82.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-12-92-16> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.12.92.16>

Scopus ASCC: 3100.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ РАСТЕНИЙ

Аннотация: В данной статье описан дистанционный лазерный лидар 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. В работе использованы различные лазерные системы для освещения растений хлопчатника.

Ключевые слова: флуоресценция, лазерный лидар, дистанционная идентификация, лазерные методы, оптическая система, коэффициент экстинкции, лазерное излучение.

Введение

УДК: 543.42:544.8:620.181

Развитие лазерной техники привело к появлению ряда новых методов определения

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

ультрамалых количеств атомов и молекул, среди которых: возбуждаемая лазером флуоресценция атомов и молекул /лазерная люминесцентная молекулярная спектрометрия/, лазерный атомно-ионизационный метод, лазерная ионизационная спектроскопия и масс-спектрометрия, лазерная десорбционная масс-спектрометрия, лазерная внутривибрационная спектроскопия, метод тепловой линзы и оптико-акустическая спектроскопия и др. [1,2]. Среди них наиболее перспективным и разработанным для практических применений являются лазерная резонансно-ионизационная спектроскопия (ЛРИС) в вакууме, атомно-ионизационная спектроскопия (АИС) в пламени, лазерная атомно-флуоресцентная спектроскопия (ЛАФС) и внутривибрационная лазерно-абсорбционная спектроскопия (ВРЛАС). Каждая из них имеет свою преимущественную область применения [3, 16-20].

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 [4,5]. В работе [6] описан дистанционный лазерный лидар для измерения экстинкции света частицами аэрозоля атмосферы. В этой работе измерены коэффициенты экстинкции лазерного излучения в

частицах паров воды и озона.

Совокупность рассеяния и поглощения называется экстинкцией (ослаблением). Коэффициент экстинкции для молекулы и аэрозольных частиц принимает следующий вид:

$$\alpha_{\text{экс}} = \alpha_{\text{погло}}^{\text{аэрозоль}} + \alpha_{\text{рассея}}^{\text{аэрозоль}} + \alpha_{\text{пог}}^{\text{молекуль}} + \alpha_{\text{рассея}}^{\text{молекуль}}$$

Наиболее известными методами ДЗ являются: пассивные методы, основанные на регистрации обратного и комбинационного рассеяния [7,8], а также активные методы [9-10], 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 [11-14].

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.

Спектральная интенсивность солнечного излучения в отсутствии (1) и в присутствии (2,3,4) атмосферы представлена на рис.1.

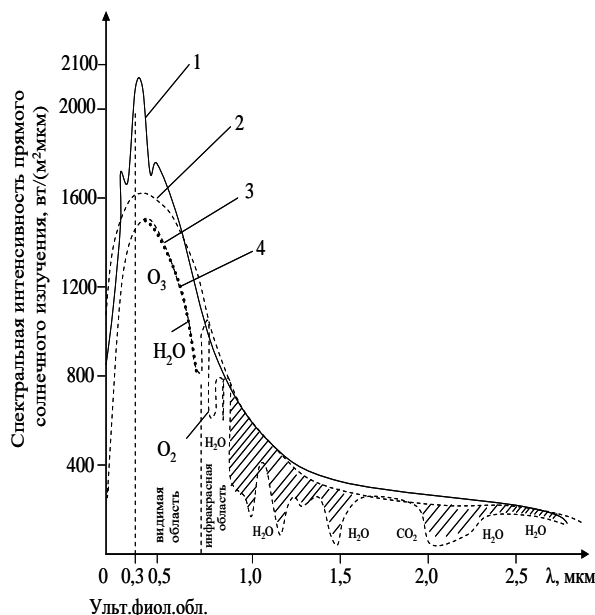


Рис.1. Спектральная интенсивность солнечного излучения в отсутствии (1) и в присутствии (2,3,4) атмосферы:

1 – Солнечный спектр, $I_{sc} = 1353 \text{ Вт / м}^2$,

2 - нормализованное излучение абсолютного черного тела, имеющего температуру 5762° К , $I_{sc} = 1353 \text{ Вт / м}^2$,

3 - Солнечный спектр, 4 - Солнечный спектр без учета молекулярного поглощения [15].

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

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

Экспериментальная часть.

На рис. 2. представлен принципиальный блок схемы спектральной установки. Лабораторные и дистанционные измерения проводились на спектральной установке, оптическая схема которой приведена на рис. 3. 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 отсеleetированные по длинам волн лучи, попадая на зеркало *4*, отражаются в различных направлениях.

Выбор необходимой линии излучения осуществляется изменением расположения диафрагмы *5*. Дефокусирующая линза *6* использовалась для уменьшения плотности мощности излучения и равномерного облучения поверхности листьев *7*. Флуоресцентное излучение листьев растений с помощью сферического зеркала *8* и линзы *9* направляется 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 преобразовались в цифровой код и подавались для дальнейшей обработки в процессор спектроанализатора "OSA-WP-4" *12*, где осуществлялось автоматическое накопление сигнала с усреднением, а также нормировка и вывод на экран графического дисплея *13*.

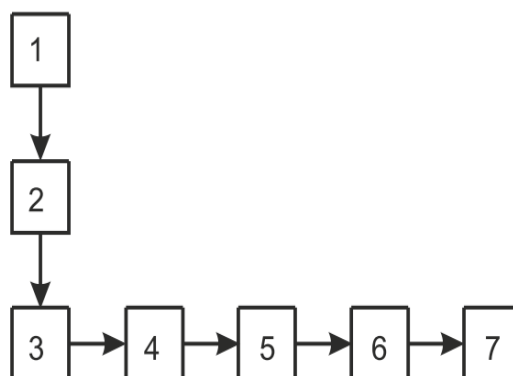


Рис.2. Принципиальный блок схемы спектральной установки:

1-источник света; 2- анализатор; 3-кювета для исследуемых образцов ; 4-анализатор флуоресцентного (люминесцентного) излучения; 5- фотоприёмник; 6- усилитель электрического сигнала; 7- детектирующий прибор.

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	РИИЦ (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.997	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

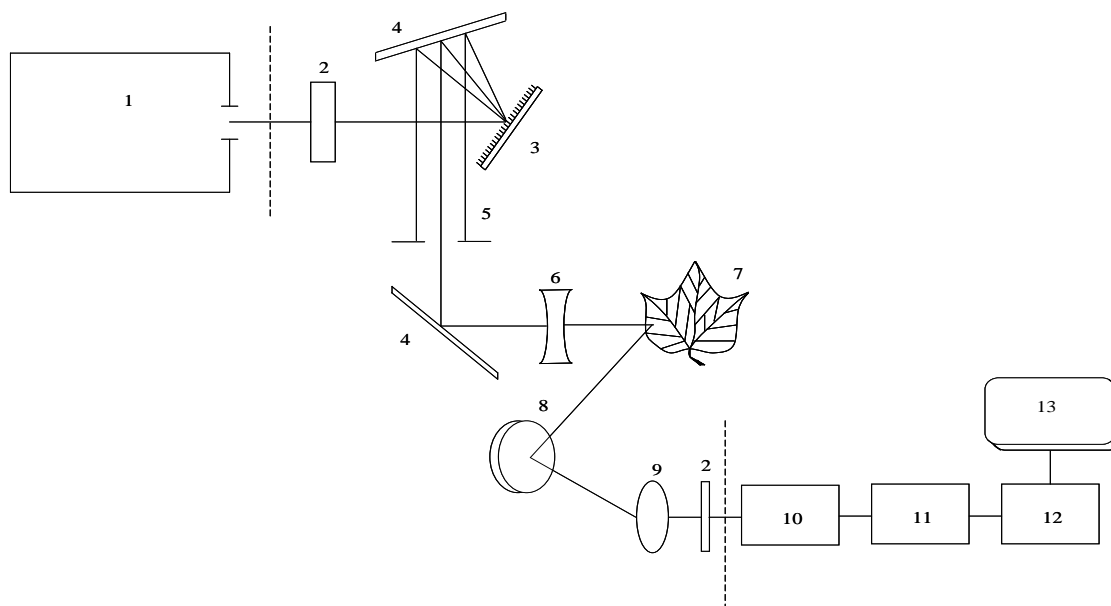


Рис.3. Оптическая схема спектральной установки: 1 – Азотный лазер, 2 - светофильтр, 3 - дифракционная решетка, 4 - зеркало, 5 - диафрагма, 6 - дефокусирующая линза, 7 - лист растения, 8 - сферическое зеркало, 9 - линза, 10 - полихроматор типа ВМ-25/25, 11 - камера типа ISIT-500, 12 - компьютер, 13 -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

Результаты и обсуждение.

Полевые исследования на примере хлопчатника показали, что биомасса растений за весь вегетационный период (от всхода семян до созревания), составляющий 90 дней, имеет тенденцию монотонного увеличения (рис. 4).

Одновременные измерения содержания хлорофилла в листьях растений показали несколько иную зависимость от периода развития (рис.5). 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 2).

Поэтому следует ожидать также и возрастание интенсивности флуоресценции вследствие увеличения количества флуоресцирующих молекул с ростом биомассы и содержания хлорофилла в ранних фазах развития (рис.6,7).

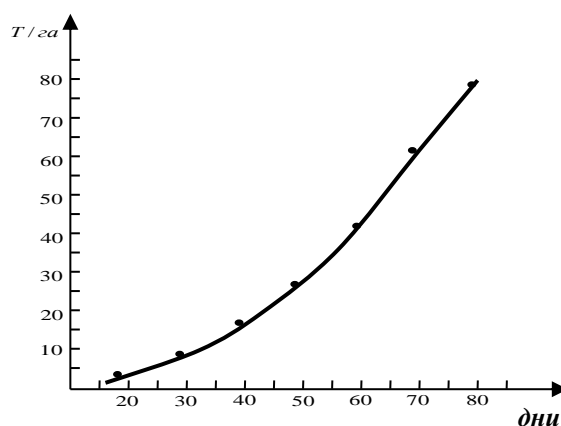


Рис.4. Сезонные изменения биомассы хлопчатника

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	РИИЦ (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.997	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

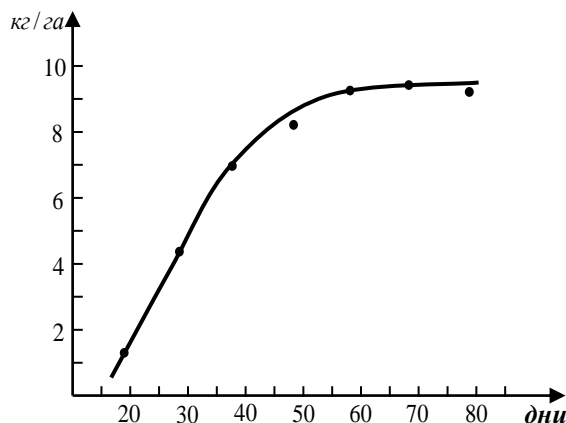


Рис.5.Изменение содержание хлорофилла за вегетационный период

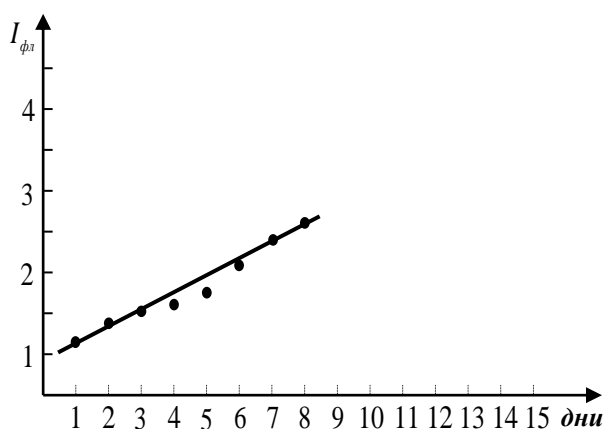


Рис.6. Лабораторные изменения выхода флуоресценции

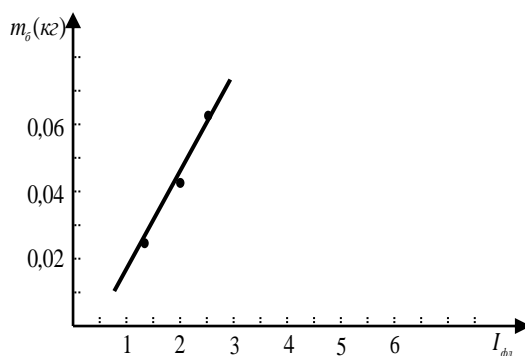


Рис.7. Зависимость интенсивности лазерно- индуцированной флуоресценции от массы растения (1-куст хлопчатника)

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.8).

Impact Factor:

ISRA (India)	= 4.971	SIS (USA)	= 0.912	ICV (Poland)	= 6.630
ISI (Dubai, UAE)	= 0.829	ПИИЦ (Russia)	= 0.126	PIF (India)	= 1.940
GIF (Australia)	= 0.564	ESJI (KZ)	= 8.997	IBI (India)	= 4.260
JIF	= 1.500	SJIF (Morocco)	= 5.667	OAJI (USA)	= 0.350

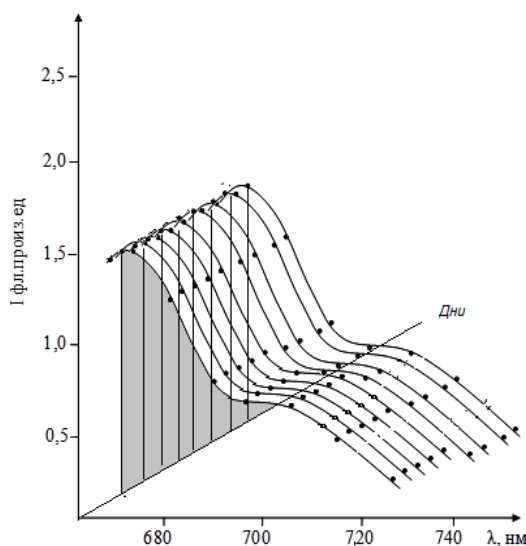


Рис.8. Спектры ЛИФ листьев 15 – 45 дневных растений хлопчатника в отсутствии стресс факторов.

Как показали натурно - лётные 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 своевременность принятия необходимых мер.

На рис.9. приведены спектры флуоресценции растений хлопчатника при возбуждении разными длинами волн лазерного излучения, $\lambda = 632$ нм (1) и $\lambda = 337$ (2). Как видно из спектров флуоресценции, при освещении коротковолновым лазерным излучением наблюдается более низкий выход флуоресценции чем при облучении в длинноволновом режиме.

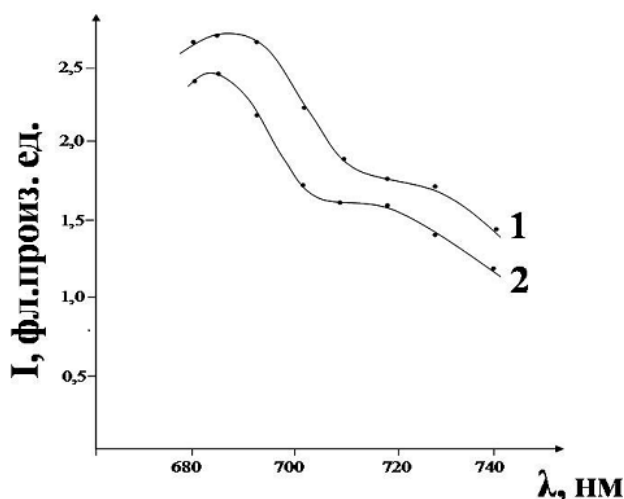


Рис. 9. Спектры ЛИФ при освещении растений хлопчатника, разными длинами волн лазерного излучения $\lambda = 632$ нм (1) и $\lambda = 337$ нм (2).

Параллельно с опытными растениями производилась регистрация спектров флуоресценции здоровых (контрольных) растений. Полученные экспериментальные результаты показывают, что у контрольных растений хлопчатника имеется два четко регистрируемых максимума флуоресценции, которые локализованы

в красной области спектра. Один из максимумов (главный пик) наблюдается при 685 нм, а другой, менее выраженный максимум, локализован в области 735 нм (рис.9.).

Важной проблемой является изыскание области промышленности для эффективного внедрения лазерных методов для контроля

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

конкретных объектов анализа, эта сфера деятельности практически необъятна из-за своей конкретности. При этом представляет особый интерес для практиков внедрение методов прямого определения объектов анализа без предварительной пробоподготовки, что упрощает анализ и исключает попадание в пробу дополнительных примесей из химических реактивов, воды, воздуха и посуды. Отсюда задача разработка комплекса практических методик определения различных элементов атомно-ионизационным методом (АИМ), установление оптимальных условий определения, при которых отсутствует влияние матрицы материала и возможных сопутствующих веществ. Кроме того отсутствует в России, странах СНГ, а также в зарубежных странах отсутствует налаженный выпуск аппаратуры для АИМ, и исследователи пока вынуждены их собирать сами. При этом проводится комплекс работ, связанных с конструированием, технологией изготовления, наладкой и регулировкой собираемых установок, а далее их испытание с целью установления аналитических параметров полученных приборов. Т.к. в литературе часто встречаются противоречивые данные по преимуществам того или другого направления АИМ и приборов, их реализующих, то представляет интерес проводить исследования одновременно на установках с большим набором настраиваемых параметров и со сменой отдельных узлов и блоков. [13]. Для решения поставленных задач нами был создан универсальный лазерный фотоионизационный спектрометр, работающего в режиме атомного пучка в вакууме и пламени в лаборатории лазерной спектроскопии Самаркандского государственного университета (СамГУ). В лаборатории лазерной спектроскопии нами был разработан двухобъемный азотный лазер для накачки перестраиваемых лазеров на красителе. При оптимальном давлении 60 мм.рт.ст. энергия

генерации составляла 1МВт в импульсе, при напряжении 20 кВ частота повторения импульсов генерации составляла 1-15 Гц [21-25]. Особый интерес в последнее время приобретают исследования оптических свойств различных аэрозолей методом ВРЛАС и идентификация хлорированных органических соединений в объектах окружающей среды. Нами использован портативный прибор типа анализатора L2000DX.

Выводы:

1. 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 дополнении к действующим в настоящее время аэрокосмическим системам глобального слежения поверхности Земли.

2. Исследованы спектры флуоресценции растений хлопчатника при возбуждении разными длинами волн лазерного излучения, $\lambda = 632$ нм (1) и $\lambda = 337$ (2). Как видно из спектров флуоресценции, при освещении коротковолновым лазерным излучением наблюдается более низкий выход флуоресценции чем при облучении в длинноволновом режиме.

3. Разработанная методика может быть использована в сельском хозяйстве для дистанционной идентификации состояния растений, а также для решения широкого круга физических и химических задач.

References:

1. Balykin, V.I. (2012). The scientific career of V S Letokhov. *Phys. Scr.*, V85, pp.1-51.
2. Fedosseev, V.N., Kudryavtsev, Yu., & Mishin, V.I. (2012). Resonance laser ionization of atoms for nuclear physics. *Phys. Scr.*, Vol. 85, pp.1-14.
3. Khalmanov, A.T. (2019). Laser spectroscopy of ultra-small concentration of atoms and aerosols in various phase states of substance. *International Scientific Journal Theoretical & Applied Science*, Year: Issue: 07 Volume: 75, pp.225-239.
4. Chandra, A.M., & Gosh, S.K. (2008). *Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacirnnye sistemy*. (p.328). Moscow: Tehnosfera.
5. Ris, U.G. (2006). *Osnovy distancionnogo zondirovanija*. (p.336). Moscow: Tehnosfera.
6. Kim, D., Cha, H., Park, J., & Lee, J. (1997, April). Daytime Raman Lidar for water vapor

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIHII (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

- and ozone concentration measurements. *Journal of the Korean Physical Society*, Vol.30, №2, pp.458-462.
- Marchuk, G.I., Kondrat'ev, K.Ja., & Kozoderov, V.V. (1988). *Radiacionnyj balans Zemli: klucheveye aspekty*. (p.224). Moscow: Nauka.
 - Kondrat'ev, K.Ja., Kozoderov, V.V., & Fedchenko, P.P. (1986). *Ajerokosmicheskie issledovanija pochv i rastitel'nosti*. (p.231). L.: Gidrometeoizdat.
 - Maslov, D.V., Fadeev, V.V., & Litvinov, P.N. (2002). Trehparametricheskaja model' formirovanija fluorescentnogo otklika fotosinteziruushihh organizmov pri impul'snym lazernom vobuzhdenii. *Vestn. MGU*. Ser. 3, № 1, pp.34-37.
 - Matvinko, G.G., Timofeev, V.I., Grishin, A.I., & Fateyeva, N.L. (2006). Lidar fluorescent metod for remote monitoring of the effects on vegetation. *Prog. SPIE.*, V.6367. 63670F, p.9.
 - Afonasenko, A.V., Iglakova, A.I., Matvienko, G.G., Oshlakov, V.K., & Prokop'ev, V.E. (2012). Laboratornye i lidarnye izmerenija spektral'nyh karakteristik list'ev berezy v razlichnye periody vegetacii. *Optika atmosfery i okeana*, T. 25, № 3, pp.237-243.
 - Fedotov, Jy.V., Bullo, O.A., Belov, M.L., & Gorodnichev, V.A. (2017). Distancionnyj lazernyj fluorimetr dlja obnaruzhenija stressovyh sostojanij rastitel'nosti. *Radiooptika, MGTU im. N.Je.Baumana. Jelektron.zhurn.* « 01, pp.1-13.
 - Mirkamilov, D.M., et al. (1986, August 15). *Sposob distancionnogo opredelenija fiziologicheskogo sostojanija rastenija*. Avt. svidetel'stvo № 127 69 63.
 - Jernazarov, Sh.N., & Muhamedov, A.A. (2015). Kolichestvennye aspekty distancionnogo lazernogo zondirovanija fluoresciruushhej organiki. *Himicheskaja tehnologija. Kontrol' i upravlenie*, Tashkent, - № 1, pp. 67-70.
 - Daffi, Dzh.A., & Bekman, U.A. (1977). *Teplovyje processy s ispol'zovaniem solnechnoj jenergii*. (p.409). Moscow: Mir.
 - Travis, J.C., & Turk, G.C. (1996). *Laser-Enhanced Ionization Spectrometry*. (p.334). New York.: John Wiley & Sons Inc.
 - Winefordner, J.D., Gornushkin, I.B., Pappas, D., Matveev, O.I., & Smith, B.W. (2000). Novel uses of lasers in atomic spectroscopy. Plenary Lecture. *J. Anal. Atomic Spectrom*, 15, pp.1161-1189.
 - Nadeema, A., Haqa, S.U., Nawaza, M., Shaha, M., & Baig, M.A. (2011). Measurements of the oscillator strengths for the $6p7s (1/2,1/2)1 \rightarrow 6pnp (1/2,3/2)2$ Rydberg transitions of lead // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, Vol. 66, № 11–12, pp. 841 – 846.
 - Zorov, N.B., Kuzjakov, Jy.Ja., Novodvorskiy, O.A., & Chaplygin, V.I. (1987). *Himija plazmy*. Moskva: Jenergoatomizdat.
 - Miles, R., Carruthers, A., & Reid, J. (2011). Novel optical techniques for measurements of light extinction, scattering and absorption by single aerosol particles. *Laser & Photonics Reviews*, Volume 5, Issue 4, pp.534–552.
 - Jeshkobilov, N.B. (2002). *Okololoporogovaja lazerno-ionizacionaja spektrokopija ridbergovskih i avtoionizacionnyh sostojanij atomov I, II i III grupp jelementov*. Diss.dok. fiz.-mat. nauk. (p.250). Tashkent: Otdel Teplofiziki.
 - Khalmanov, A.T., Do-kyong, Ko, Lee, J., Eshkobilov, N., & Tursunov, A. (2004). *J.Korean Phys.Soc.* 44, 843.
 - Halmanov, A.T., & Jeshkobilov, N.B. (2014). Identifikacija ul'tramalyh koncentracij atomov v razlichnyh fazovyh sostojanijah veshhestva, *Uzbekskij fizicheskij zhurnal*, Tom 16, №2, pp.100-105.
 - Halmanov, A.T., & Jeshkobilov, N.B. (2017). Issledovanie dinamiki i tipov fizicheskikh processov vobuzhdenija i ionizacii atomov metodom atomno-ionizacionnoj spektroskopii. *Uzbekskij fizicheskij zhurnal*, Tom 19, №5, pp.272-277.
 - Halmanov, A.T. (2017). *Vysokochuvstvitel'naja lazernaja spektroskopija ul'tramalyh koncentracij atomov v razlichnyh fazovyh sostojanijah veshhestva*, avtoreferat doktorskoj (DSc) dissertacii po fiziko-matematicheskim naukam. (pp.1-60). Tashkent: «Akademija noshirlik markazi».