Наука и Образование МГТУ им. Н.Э. Баумана

Сетевое научное издание ISSN 1994-0408

УДК 551.501

Лазерный измеритель характеристик атмосферных неоднородностей в УФ спектральном диапазоне

Иванов С. Е.^{1,*}, Федотов Ю. В.¹, Городничев В. А.¹, Белов М. Л.¹, Филимонов П. А.¹ Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 04. С. 155–170.

DOI: 10.7463/0415.0764586

Представлена в редакцию: 01.04.2015 Исправлена: 10.04.2015

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

ivanov_sergey2@mail.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Статья посвящена описанию лазерного измерителя характеристик атмосферных аэрозольных неоднородностей, работающего в УФ спектральном диапазоне на безопасной для глаз длине волны излучения 0,355 мкм. Приведены характеристики блоков лазерного измерителя и описана структура его программного обеспечения. Представлены примеры типичного лазерного эхо-сигнала, обратно рассеянного атмосферой, и пространственно-временного распределения коэффициента вариации объемного коэффициента обратного рассеяния атмосферы. Результаты многодневных измерений показывают, что размер регистрируемых аэрозольных неоднородностей в среднем составляет величину ~ 5 м, а коэффициент вариации может достигать значений ~ 8 %.

Ключевые слова: лазер, атмосфера, характеристики аэрозольных неоднородностей, ультрафиолетовый спектральный диапазон

Введение

В настоящее время лазерные системы применяются в дальнометрии, высотометрии, геодезии, метеорологии, для контроля качества атмосферного воздуха, состояния приповерхностных вод, обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности и т.п.

Лазерные методы обладают высокой пространственно-угловой разрешающей способностью, возможностью фильтрации и временного стробирования полезного сигнала на фоне помех (солнечных бликов, импульсов обратного рассеяния от атмосферных слоев и т.п.).

Разработка лазерных систем, предназначенных для работы в условиях земной атмосферы, требует наличия достоверной информации о состоянии атмосферы. Аэрозольные лидары, предназначенные для оперативного мониторинга атмосферы, позволяют дистанционно определять характеристики атмосферного аэрозоля и облачных образований в атмосфере [1-6].

На сегодняшний день большинство аэрозольных лидаров работает в видимом диапазоне. Однако, с точки зрения безопасности (прежде всего для глаз) интерес представляет и ультрафиолетовый (УФ) диапазон.

Использование лазерных приборов всегда связано с определенной опасностью для человека. Основное вредное воздействие лазерное излучение оказывает на сетчатку глаза, причем хрусталик (и глазное яблоко), действуя как дополнительная фокусирующая оптика, существенно повышает концентрацию энергии на сетчатке. Диапазон длин волн вредного воздействия на сетчатку глаза составляет от 0,38 до 1,4 мкм. Лазерное излучение с длинами волн менее 0,38 мкм и свыше 1,4 мкм воздействует на передние среды глаза и является более безопасным, чем лазерное излучение с длинами волн 0,38 – 1,4 мкм [7].

Данная статья посвящена разработке лазерного измерителя характеристик атмосферных аэрозольных неоднородностей в УФ спектральном диапазоне с длиной волны менее 0,38 мкм. Такая задача представляет практический интерес для мониторинга состояния атмосферы по результатам дистанционных измерений на безопасной для глаз длине волны излучения.

1. Постановка задачи

При выборе длины волны излучения для лазерного измерителя (при условии, что она лежит в УФ спектральном диапазоне и менее 0,38 мкм) были учтены прежде всего возможности его технической реализации.

В ближнюю ультрафиолетовую область спектра (0,2 – 0,4 мкм) попадает излучение следующих лазеров: четвертая (0,266 мкм) и третья (0,355 мкм) гармоники лазера на стекле с неодимом и на иттрий-алюминиевом гранате с неодимом; азотного лазера (0,337 мкм); гелий-кадмиевый лазера (0,325 мкм); вторая гармоника лазера на рубине (0,347 мкм); лазеров на криптоне (0,35 и 0,356 мкм) и аргоне (0,333; 0,351 и 0,363 мкм); вторая гармоника лазера на сапфире с титаном (0,35 – 0,4 мкм); эксимерных лазеров на галогенидах инертных газов, например, KrF (0,248 мкм), XeCl (0,308 мкм), XeF (0,351 мкм) и других.

Поскольку лазерный измеритель потенциально может быть использован как в стационарной, так и в бортовой аппаратуре, то для него предпочтительно выбрать твердотельный лазер. Из перечисленных выше твердотельных лазеров наилучшими энергетическими характеристиками при высокой частоте повторения импульсов обладает лазер на иттрий-алюминиевом гранате, активированном ионами неодима, - четвертая (0,266 мкм) и третья (0,355 мкм) гармоники лазера. С точки зрения большей энергии в импульсе и большей безопасности для глаз предпочтительнее третья (0,355 мкм) гармоника этого лазера.

Ниже приводится описание разработанного лазерного измерителя характеристик атмосферных неоднородностей, использующего третью гармонику лазера на иттрийалюминиевом гранате, и примеры полученных экспериментальных данных. По сравнению с существующими аналогичными разработками лазерный измеритель использует безопасную для глаз длину волны излучения 0,355 мкм.

2. Макет лазерного измерителя характеристик атмосферных неоднородностей, работающего на длине волны 0,355 мкм

На рисунке 1 представлена структурная схема макета лазерного измерителя, работающего на длине волны 0,355 мкм.



Электрические связи

Рис. 1 – Структурная схема лазерного измерителя, работающего на длине волны 0,355 мкм

В качестве источника излучения в измерителе используется импульсный твердотельный Nd:YAG лазер с полупроводниковой накачкой и модуляцией добротности EKSPLANL204. Данный лазер имеет сменные модули генерации гармоник, что позволяет получить разную длину волны лазерного излучения: 1,064; 0,532; 0,355; 0,266 мкм. Для получения излучения на безопасной для глаз длине волны использовался модуль генерации третьей гармоники, позволяющий получить излучение на длине волны 0,355 мкм.

Конструктивно лазер выполнен в виде блока питания, включающего в себя также полупроводниковый лазер накачки, и излучателя лазера, состоящего из лазерной головки,

генерирующего излучение на длине волны 1,064 мкм, и сменного модуля генератора гармоник.

Основные характеристики лазера EKSPLANL204 с модулем генератора третьей гармоники приведены в таблице 1 [8].

Таблица 1 Основные характеристики лазера EKSPLANL204с модулем генератора третьей гармоники

Параметр	Значение
Длина волны, мкм	0,355
Энергия импульса, мДж	1,3
Длительность импульса (полная ширина на полувысоте), нс	7
Частота повторения импульсов, Гц	10-500
Диаметр пучка, мм	0,8
Расходимость излучения (полный угол по уровню 1/e ²), мрад не более	3

В качестве приемного объектива в лазерном измерителе использовался зеркальный объектив СТ фирмы СОЛАР Лазерные Системы. Данный объектив реализован по схеме Кассегрена и имеет разъем SMA-905 для присоединения оптоволокна. Основные характеристики объектива СТ приведены в таблице 2 [9].

Применение зеркальных оптических элементов и защитной пластины из стекла КУ-1 позволяет использовать данный объектив в широком спектральном диапазоне от УФ (0,2 мкм) до среднего ИК (2 мкм).

Таблица 2 Основные характеристики объектива СТ фирмы СОЛАР Лазерные Системы

Параметр	Значение
Фокусное расстояние, мм	285
Относительное отверстие	1:4,4
Диапазон фокусировки, м	∞3,5
Поле зрения 2ю при использовании оптоволокна диаметром 600 мкм	2 мрад

Излучатель лазера и приемный объектив расположены на моторизированной наклонно-поворотной платформе, позволяющей менять направление зондирования.

Для обеспечения возможности совмещения оптических осей приемного объектива и лазерного излучателя, объектив установлен на юстировочной платформе, позволяющей менять наклон и поворот объектива относительно лазера.

Внешний вид лазерного излучателя и приемного объектива, смонтированных на наклонно-поворотной платформе, представлен на рисунке 2.

Излучение от приемного объектива транспортируется по оптическому волокну в оптический блок.

Оптический блок служит для спектральной селекции полезного сигнала и преобразования оптического излучения в электрический сигнал. Адаптер оптического волокна формирует параллельный пучок необходимый для эффективной работы интерференционного фильтра. В экспериментальной установке применялся адаптер оптического волокна ThorlabsPAF-SMA-11-A [10].



Рис. 2 – Лазерный излучатель и приемный объектив на наклонно-поворотной платформе

Для выделения полезного сигнала использовался интерференционный фильтр SemrockLL01-355-25. Спектральная характеристика пропускания фильтра приведена на рисунке 3 [11].

Из рисунка видно, что вдали от рабочей длины волны (0,355 мкм) фильтр имеет значительное пропускание. Для обеспечения подавления фонового излучения в этих областях интерференционный фильтр SemrockLL01-355-25 дополнялся фильтром BPF 350\50 на основе цветного стекла УФС 6. Спектральная характеристика фильтра BPF 350\50 приведена на рисунке 4.



Рис. 3 – Спектральная характеристика пропускания интерференционного фильтра SemrockLL01-355-2



Рисунок 4 – Спектральная характеристика пропускания светофильтра BPF 350\50

В качестве приемника излучения использовался ФЭУ. Характеристики ФЭУ, используемых в макете лазерного измерителя, приведены в таблице 3 [12,13].

Попомотр	Значение	
парамстр	H10721-20	H7826-01
Диаметр фотокатода, мм	8	15
Диапазон длин волн, мкм	0,23-0,92	0,30-0,85
Длина волны максимальной чувствительности, мкм	0,63	0,38
Катодная интегральная чувствительность к световому потоку, типовое значение, мА/Вт	78	49
Анодный темновой ток (после 30 мин работы), типовое значение, нА	10	3
Время нарастания типовое значение, нс	0,57	1,5
Напряжение питания, В	4,5÷5,5	11,5÷15,5
Рабочий диапазон температур, °С;	$+5 \div +50$	+5÷+45
Размер, мм	50x22x22	56x50x26
Масса, г не более	80	70

Таблица 3 Параметры ФЭУ HamamatsuH10721-20 и HamamatsuH7826-01

Данные ФЭУ имеют в своем составе высоковольтный источник питания для динодов, что существенно упрощает работу с фотоприемником и повышает его надежность. Оба ФЭУ имеют возможность электронной регулировки коэффициента усиления в широких приделах.

Спектральные зависимости катодной чувствительности к световому потоку для ФЭУ Hamamatsu H10721-20 и Hamamatsu H7826-01 приведены ниже на рисунках 5 а и 5 б соответственно.



a) Hamamatsu H10721-20

б) Hamamatsu H7826-01

Рис. 5 Спектральная зависимость катодной чувствительности ФЭУ

Для получения сигнала уровень, которого достаточен для работы АЦП, к выходу ФЭУ подключается усилитель широкополосный усилитель Hamamatsu C5594.

Система регистрации сигналов и управления макетом лазерного измерителя была реализована с использованием архитектуры РХІ (PCI Extensions for Instrumentation – расширение шины PCI для контрольно-измерительной аппаратуры) [14]. РХІ - модульная платформа, предназначенная для построения многофункциональных контрольноизмерительных систем, испытательного оборудования, систем автоматизации и т.д.

В настоящее время архитектура РХІ поддерживает также и шину PCI Express, что позволяет реализовывать системы со скоростью передачи данных до 6 Гбайт в каждом направлении.

В макете лазерного измерителя применено шасси NIPXIe 1062Q,имеющее 8 слотов для подключения модулей:

- один системный PXI Express слот;
- один периферийный PXI Express слот;
- 2 гибридных PXI Express/PXI слота;
- 4 PXI слота.

Ключевым элементом РХІ системы является модуль системного котроллера. В макете лазерного измерителя используется контроллер реального времени NIPXIe-8102 RT, с его помощью осуществляется управление периферийными модулями, предварительная обработка сигналов и их передача в ПЭВМ.

Контроллер NIPXIe-8102 RT оснащен двухъядерным процессор Intel Celeron T3100 (с тактовой частотой 1.9 ГГц), оперативной памятью DDR2 емкостью 1 Гбайт работающей на частоте 800 МГц, жестким диском емкостью 80 Гбайт. Контроллер работает под управлением операционной системы реального времени NIETS.

Для управления приводами наклонно поворотной платформы используется модуль NIPXI 7332.

Для преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму в макете лазерного измерителя использовались модули высокоскоростных АЦП – дигитайзеров. В макете применялись модули NIPXI-5124, NIPXI-5154, NI PXIe-5162.

Характеристики применяемых дигитайзеров приведены ниже в таблице 4 [15-17].

Общее управление, тематическая обработка сигналов, отображение и сохранение результатов осуществляется на ПЭВМ, работающей под управлением ОС Windows. Графический интерфейс пользователя также реализован в программном обеспечении, установленном на ПЭВМ.

Взаимосвязь между ПЭВМ и контроллером реального времени NIPXIe-8102 RT осуществляется по интерфейсу Gigabit Ethernet. Сетевой коммутатор позволяет подключать несколько узлов сети Ethernet.

Параметр	Значение		
	NIPXI-5124	NIPXI-5154	NI PXIe-5162
Максимальная частота дискретизации, ГГц	0,2	2	5
Максимальная полоса, ГГц	0,15	1	1,5
Аналоговое разрешение, бит	12	8	10
Входной импеданс, Ом	50/1·10 ⁹	50/1·10 ⁹	50/1·10 ⁹
Время нарастания/спада при входном	2,4	0,428	0,320
импедансе 50 Ом, нс			
Среднеквадратичное значение шума при			
входном импедансе 50 Ом и при диапазоне 2	1,02	14,2	5,6
В, мВ			

Таблица 4 Характеристики дигитайзеров NIPXI-5124, NIPXI-5154, NI PXIe-5162

Программное обеспечение макета лазерного измерителя разработано в среде графического программирования NI LabVIEW 2012, позволяющей быстро и высокоэффективно создавать гибкие, легко изменяемые приложения [18,19].

Структура программного обеспечения макетов лазерного измерителя представлено на рисунке б.



Рис. 6 – Структура программного обеспечения макетов лазерного измерителя

3 Экспериментальное измерение характеристик атмосферы на длине волны 0,355 мкм

Экспериментальные измерения аэрозольных характеристик атмосферы на длине волны 0,355 мкм проводились с помощью созданного макета.

Измерения проводились в летне-осенний период 2014 г. в Дмитровском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московская область, Дмитровский район, п. Орево).

На рисунке 7 приведен типичный эхо-сигнал, обратно рассеянный атмосферой, при лазерном зондировании одиночным импульсом.



Рис. 7 – Эхо-сигнал, обратно рассеянный атмосферой

На рисунке 8 приведен пример пространственно-временного распределения коэффициента вариации объемного коэффициента обратного рассеяния атмосферы (коэффициент вариации определяется как отношение СКО объемного коэффициента обратного рассеяния к среднему значению объемного коэффициента обратного рассеяния).

На рисунке результаты измерений сглажены для устранения влияния высокочастотных флуктуаций. Окно сглаживания по времени равнялось 0,6 с, по дальности - 0,9 м. При данных измерениях погода была облачная, метеорологическая дальность видимости более 10 км.

Среднее значение коэффициента вариации на рисунке составило величину порядка 0,6 %, максимальное – 3 %. Средний размер неоднородностей равнялся 4 м. Как видно из рисунка 8, в атмосфере присутствуют неоднородности разных масштабов: от единиц метров, до 10 м.



Рис. 8 – Пример пространственно-временного распределения коэффициента вариации

Результаты многодневных измерений показывают, что размер регистрируемых аэрозольных неоднородностей в среднем составляет величину ~ 5 м, однако, одновременно регистрировались неоднородности и меньшего размера (1-2 м), и неоднородности большего размера (до 10 м). Коэффициент вариации аэрозольных неоднородностей мог достигать значений порядка 8%.

Выводы

Описан разработанный лазерный измеритель характеристик атмосферных аэрозольных неоднородностей, работающий в УФ спектральном диапазоне на безопасной для глаз длине волны излучения 0,355 мкм. Приведены характеристики блоков лазерного измерителя и описана структура его программного обеспечения. Представлены примеры типичного лазерного эхо-сигнала, обратно рассеянного атмосферой, и пространственновременного распределения коэффициента вариации объемного коэффициента обратного рассеяния атмосферы. Результаты многодневных измерений показывают, что размер регистрируемых аэрозольных неоднородностей в среднем составляет величину ~ 5 м, а коэффициент вариации может достигать значений ~ 8%.

Список литературы

1. Аэрозольный лидар CATS // Laser-Portal.ru: Лазерный Портал. Режим доступа: http://www.laserportal.ru/content_956 (дата обращения 20.02.2015).

Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана

- 2. Кобелев В.В. Лазерное зондирование атмосферы // Астрофизическая обсерватория Белгородского Государственного Университета: сайт. Режим доступа: <u>http://astro.bsu.edu.ru/lidar.htm</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 3. Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Невзоров А.В. Трехчастотный лидар для зондирования микроструктурных характеристик стратосферного аэрозоля // Приборы и техника эксперимента. 2010. № 6. С. 125-130.
- 4. Алексеев В.А., Ляш А.Н., Першин С.М. Лидарный мониторинг тектонической активности в Тамани по выбросам аэрозолей. Отработка метода // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2004. Т.1, вып. 1. С. 356-363. Режим доступа: <u>http://www.iki.rssi.ru/earth/trudi/v-06.pdf</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 5. Волков Н.Н.. Выбор параметров многоволнового аэрозольного лидара для дистанционного зондирования атмосферы. Отработка метода // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 1 (77). С. 7-9.
- 6. Лазерные лидарные комплексы // НПП «Адвент»: сайт компании. Режим доступа: <u>http://www.adventspb.ru/science/6/</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 7. ГОСТ 31581-2012. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий. М.: Стандартинформ, 2013. 24 с.
- NL200 series laser datasheet // EKSPLA: company website. Режим доступа: <u>http://www.ekspla.com/wp-content/uploads/2011/05/nl200-series-nanosecond-q-switched-diode-pumped-laser.pdf</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 9. Аксессуары для сбора излучения и ввода в волокно // Солар ЛС: сайт компании. Режим доступа: <u>http://solarlaser.com/ru/products/optsii-i-aksessuary/aksessuary-dlya-sbora-izlucheniya-i-vvoda-v-volokno/</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 10. Thorlabs catalog page. Fiber ports // Thorlabs: company website. Режим доступа: <u>http://www.thorlabs.de/catalogpages/V21/1083.PDF</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 11. 355 nm MaxLine® laser clean-up filter // Semrock: company website. Режим доступа: <u>http://www.semrock.com/FilterDetails.aspx?id=LL01-355-12.5</u> (дата обращения 20.02.2015).
- Hamamatsu. Photosensor module H7826-01 // Hamamatsu: company website. Режим доступа: <u>http://www.hamamatsu.com/jp/en/product/category/3100/3003/3044/H7826-01/index.html</u> (дата обращения 20.02.2015).
- Hamamatsu. Photosensor module H10720-20 // Hamamatsu: company website. Режим доступа: <u>http://www.hamamatsu.com/jp/en/product/category/3100/3003/3044/H10720-</u> <u>20/index.html</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 14. Головастов А. Стандарт РХІ технология и оборудование для построения контрольно-измерительных систем // Компоненты и технологии. 2012. № 3. С. 132-138.

- 15. 150 MHz, 200 MS/s, 12-Bit Digitizers Data Sheet National Instruments // National Instruments: сайт компании. Режим доступа: <u>http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-242/lang/ru</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 16. 2 GS/s High-Speed Digitizers: Optimized for Automated Test Data Sheet National Instruments // National Instruments: сайт компании. Режим доступа: <u>http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-253/lang/ru#header0</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 17. NI PXIe 5162 Data Sheet National Instruments // National Instruments: сайт компании.
 Режим доступа: <u>http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-480/lang/ru</u> (дата обращения 20.02.2015).
- 18. Тревис Д. LabVIEW для всех. М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2005. 544 с.
- 19. LabVIEW System Design Software // National Instruments: сайт компании. Режим доступа: <u>http://www.ni.com/labview</u> (дата обращения 20.02.2015).

Science & Education of the Bauman MSTU

Electronic journal ISSN 1994-0408 Science and Education of the Bauman MSTU, 2015, no. 04, pp. 155–170.

DOI: 10.7463/0415.0764586

Received:	01.04.2015
Revised:	10.04.2015

© Bauman Moscow State Technical Unversity

Laser Meter of Atmospheric Inhomogeneity Properties in UV Spectral Range

S.E. Ivanov^{1,*}, Yu.V. Fedotov¹, V.A. Gorodnichev¹, M.L. Belov¹, P.A. Filimonov¹

^{*}ivanov_sergey2@mail.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: laser, atmosphere, aerosol inhomogenuity properties, ultraviolet spectral band

Development of laser systems designed to operate in conditions of the terrestrial atmosphere demands reliable information about the atmosphere condition. The aerosol lidars for operational monitoring of the atmosphere allow us to define remotely characteristics of atmospheric aerosol and cloudy formations in the atmosphere.

Today the majority of aerosol lidars run in the visible range. However, in terms of safety (first of all to eyes) also ultra-violet (UF) range is of interest. A range of the wavelengths of the harmful effect on the eye retina is from 0.38 to 1.4 m μ . Laser radiation with the wavelengths less than 0.38 m μ and over 1.4 m μ influences the anterior ambient of an eye and is safer, than laser radiation with the wavelengths of 0.38 – 1.4 m μ .

The paper describes a laser meter to measure characteristics of atmospheric inhomogeneity properties in UF spectral range at the wavelength of $0.355 \text{ m}\mu$.

As a radiation source, the meter uses a semiconductor-pumped pulse solid-state Nd:YAG laser. As a receiving lens, Kassegren's scheme-implemented mirror lens with a socket to connect optical fibre is used in the laser meter. Radiation from the receiving lens is transported through the optical fibre to the optical block. The optical block provides spectral selection of useful signal and conversion of optical radiation into electric signal.

To ensure a possibility for alignment of the optical axes of receiving lens and laser radiator the lens is set on the alignment platform that enables changing lens inclination and turn with respect to the laser.

The software of the laser meter model is developed in the NI LabVIEW 2012 graphic programming environment.

The paper gives the following examples: a typical laser echo signal, which is back scattered by the atmosphere and spatiotemporal distribution of variation coefficient of the volumetric factor of the back scattered atmosphere. Results of multi-day measurements show that an extent of the recorded aerosol inhomogeneity properties has an average size of ~ 5 m, and a coefficient of variation can reach values of ~ 8 %.

References

- 1. Aerozol'nyy lidar CATS [Aerosol lidar CATS]. Laser-Portal.ru: website. Available at: <u>http://www.laserportal.ru/content_956</u>, accessed 20.02.2015. (in Russian).
- 2. Kobelev V.V. *Lazernoe zondirovanie atmosfery* [Laser sensing of the atmosphere]. Astrophysical Observatory of Belgorod State University: website. Available at: <u>http://astro.bsu.edu.ru/lidar.htm</u>, accessed 20.02.2015. (in Russian).
- Burlakov V.D., Dolgiy S.I., Nevzorov A.V. A three-frequency lidar for sensing microstructure characteristics of stratospheric aerosols. *Pribory i tekhnika eksperimenta*, 2010, no. 6, pp. 125-130. (English translation: *Instruments and Experimental Techniques*, 2010, vol. 53, no. 6, pp. 890-894. DOI: <u>10.1134/S0020441210060230</u>).
- 4. Alekseev V.A., Lyash A.N., Pershin S.M. Lidar monitoring of tectonic activity in Taman by aerosol emission. Development of the method. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 2004, vol.1, no. 1, pp. 356-363. Available at: <u>http://www.iki.rssi.ru/earth/trudi/v-06.pdf</u>, accessed 20.02.2015. (in Russian).
- 5. Volkov N.N. Choise of multiwave aerosol lidar parameters for remote atmosphere sounding. Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics, 2012, no. 1 (77), pp. 7-9. (in Russian).
- Lazernye lidarnye kompleksy [Laser lidar complexes]. Scientific Production Enterprise "ADVENT": company website. Available at: <u>http://www.adventspb.ru/science/6/</u>, accessed 20.02.2015. (in Russian).
- GOST 31581-2012. Lazernaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya bezopasnosti pri razrabotke i ekspluatatsii lazernykh izdelii [State Standard 31581-2012. Laser safety. General safety requirements for development and operation of laser products]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 24 p. (in Russian).
- NL200 series laser datasheet. EKSPLA: company website. Available at: <u>http://www.ekspla.com/wp-content/uploads/2011/05/nl200-series-nanosecond-q-switched-diode-pumped-laser.pdf</u>, accessed 20.02.2015.
- Aksessuary dlya sbora izlucheniya i vvoda v volokno [Accessories for light collecting and entering into the fiber]. Solar Laser Systems: company website. Available at: <u>http://solarlaser.com/ru/products/optsii-i-aksessuary/aksessuary-dlya-sbora-izlucheniya-i-vvoda-v-volokno/</u>, accessed 20.02.2015.
- 10. Thorlabs catalog page. Fiber ports. Thorlabs: company website. Available at: http://www.thorlabs.de/catalogpages/V21/1083.PDF , accessed 20.02.2015.
- 11. 355 nm MaxLine® laser clean-up filter. Semrock: company website. Available at: http://www.semrock.com/FilterDetails.aspx?id=LL01-355-12.5 , accessed 20.02.2015.

Science & Education of the Bauman MSTU

- 12. Hamamatsu. Photosensor module H7826-01. Hamamatsu: company website. Available at: http://www.hamamatsu.com/jp/en/product/category/3100/3003/3044/H7826-01/index.html, accessed 20.02.2015.
- 13. Hamamatsu. Photosensor module H10720-20. Hamamatsu: company website. Available at: http://www.hamamatsu.com/jp/en/product/category/3100/3003/3044/H10720-20/index.html, accessed 20.02.2015.
- 14. Golovastov A. The PXI standard technology and equipment for the construction of control and measurement systems. *Komponenty i tekhnologii = Components & Technologies*, 2012, no. 3, pp. 132-138. (in Russian).
- 15. 150 MHz, 200 MS/s, 12-Bit Digitizers Data Sheet National Instruments. National Instruments: company website. Available at: <u>http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-242/lang/ru</u>, accessed 20.02.2015.
- 16. 2 GS/s High-Speed Digitizers: Optimized for Automated Test Data Sheet National Instruments. National Instruments: company website. Available at: <u>http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-253/lang/ru#header0</u>, accessed 20.02.2015.
- NI PXIe 5162 Data Sheet National Instruments. National Instruments: company website. Available at: <u>http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-480/lang/ru</u>, accessed 20.02.2015. (in Russian).
- Travis J. LabVIEW for Everyone. 2nd ed. Prentice Hall PTR, 2001. 589 p. (Russ. ed.: Travis J. LabVIEW dlya vsekh. Moscow, DMK Press; Pribor Komplekt Publ., 2005. 544 p.).
- 19. LabVIEW System Design Software. National Instruments: company website. Available at: http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-480/lang/ru , accessed 20.02.2015. (in Russian).