

На рисунке 2 представлен вид АМСС-1, подготовленного для проведения измерений в надириной геометрии наблюдений.



Рисунок 2 – БПЛА UVH-25EL с установленным АМСС-1 перед вылетом



Рисунок 3 – Вид исследуемого объекта, красным отмечено поле зрения спектрометра ФСП-04

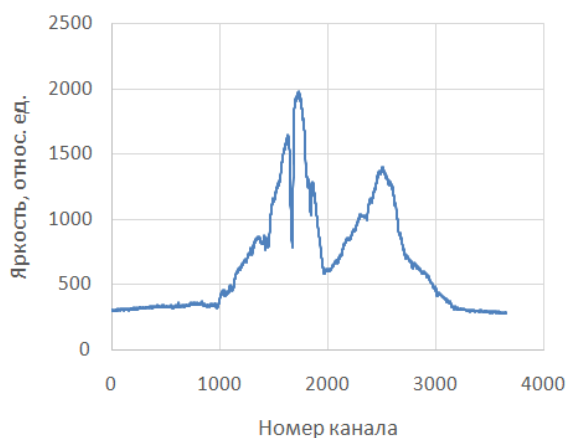


Рисунок 4 – Спектральные данные, получаемые при помощи спектрометра ФСП-04 прибора АМСС-1

За время полета 1 час 50 минут прибором АМСС-1, установленном на платформе БПЛА UVH-25EL, было получено 722 спектра выбранных деревьев в режиме автоэкспозиции и 1508 спектральных снимка в каждом из четырех каналах для сенсора Parrot Sequiola.

На рисунках 3 и 4 представлен пример данных обзорной камеры и соответствующий спектр отражения исследуемого объекта, получаемых при помощи АМСС-1.

Для расчетов коэффициентов спектральной яркости исследуемых объектов синхронно со съемками с вертолета на поверхности земли в статичном положении выполнялись измерения молочного стекла спектрометром ССП-600 [3], входящим в состав установки для измерений эталонных спектров. Режим съемки спектрометра – непрерывный с автоэкспозицией, с периодичностью около трех раз в секунду.

Полученный набор фото-спектральных данных использовался для генерации цветных карт индексных изображений, посредством которых можно получить высококонтрастные индексные изображения, на которых выделяются классы здоровых насаждений, сухих насаждений, подлеска. Важно отметить, что практическое применение методов обработки мультиспектральных изображений чувствительно к высоте полета авиационной платформы, так, наилучшие результаты для использованного сенсора были получены на небольших высотах – до 50 м.

#### Литература

1. Катковский Л.В., Беляев Б.И., Сосенко В.А., Абламейко С.В. Аппаратно-программный комплекс «Калибровка» для наземного спектрометрирования подстилающей поверхности и атмосферы // *Материалы 7-го Белорусского космич. конгресса.* – Минск, 2017. – Т. 2. – С. 36–40.
2. Parrot Sequiola [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.parrot.com/en/shop/accessories-spare-parts/other-drones/sequoia>. – Date of access: 08.10.2020.
3. Бручковская С.И., Литвинович Г.С., Бручковский И.И., Катковский Л.В. Алгоритм коррекции дифракции второго порядка в спектрометре с вогнутой дифракционной решеткой // *Журн. приклад. спектроскопии.* – Минск, 2019. – Т. 86, № 4. – С. 620–627.

УДК 535.243.3

### МУЛЬТИКАНАЛЬНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ СЕНСОР МКСС-1 Бручковский И.И., Литвинович Г.С., Силюк О.О., Домарацкий А.В.

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

Для решения задач дистанционного зондирования растительных объектов с использованием авиационной платформы возникает необходимость получения мультиканальных фотографий и коэффициентов спектральной яркости исследу-

емых объектов. В зависимости от применяемой методики восстановления параметров исследуемого растительного объекта зачастую требуется дополнительная информация, для получения которой необходимы новые аппаратные средства.

В частности, для решения задачи классификации хвойных древостоев оптическими дистанционными методами требуется проведение многоуровневого эксперимента, включающего в себя спектрометрирование отдельных деревьев с высоты 150–300 м с возможностью постановки в соответствие зарегистрированному спектру объекта на карте подстилающей поверхности. При решении такой задачи необходимо учитывать быстродействие применяемой аппаратуры, ее угловые характеристики а также высоту и скорость движения авиационной платформы с тем, чтобы реализовать фото-спектральную систему, способную регистрировать коэффициенты спектральной яркости отдельных деревьев с воздуха.

Особенность задачи классификации хвойных древостоев оптическими дистанционными методами состоит в том, что для своего решения она может требовать комплексных лабораторных, наземных, авиационных и спутниковых измерений, затрагивает различные области оптики и физики атмосферы. Ввиду своей сложности, задача классификации хвойных древостоев может решаться при помощи самых разных аппаратных и программных средств.

Цель данной работы состояла в разработке и реализации мультиканального спектрального сенсора для специфической задачи регистрации спектров отдельных деревьев с авиационной платформы, а также проведение летных измерений.

В данной работе представлен вариант исполнения мультиканального спектрального сенсора, который был успешно использован для автоматической регистрации фото-спектральных данных с использованием самолета Diamond DA40NG.

Мультиканальный спектральный сенсор МКСС-1 (рисунок 1) представляет собой совокупность смонтированных на жестком основании сенсоров, для которых осуществлена однозначная привязка по полям зрения, что позволяет поставить в соответствие регистрируемые изображения и данные спектрометра, а также определить угловые параметры каждого сенсора.

Специально разработанное программное обеспечение обеспечивает автоматическую регистрацию и сохранение данных, их синхронизацию и геопривязку.

Синхронизация МКСС-1 осуществляется следующим образом: управляющий сигнал, сгенерированный при помощи программного обеспечения, подается на контроллер детектора спектрометра ФСП-02 [1], в течение нескольких десятков миллисекунд производится регистрация спектра, после чего формируется управляющий сигнал для срабатывания электронного затвора камеры повышенного разрешения на базе детектора Baumer MXUC40 [2]. Чувствительность детектора Baumer такова, что регистрация изобра-

жения занимает от 25 до 100 микросекунд, таким образом, регистрируемое изображение имеет минимальные значения смаза, обусловленного движением авиационной платформы.

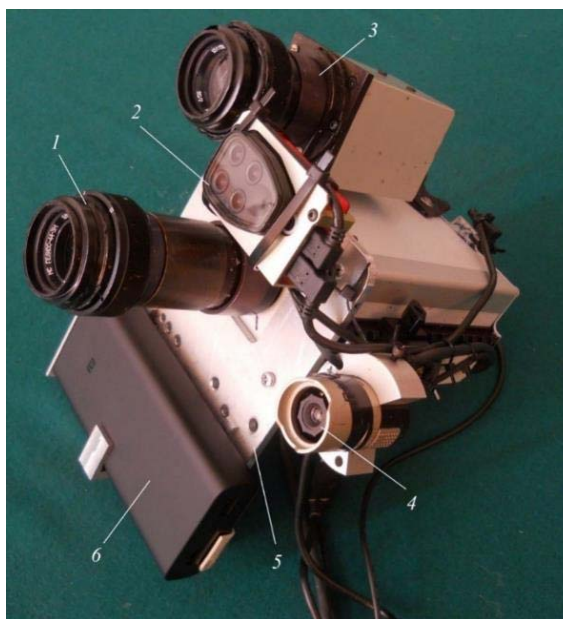


Рисунок 1 – Мультиканальный спектральный сенсор МКСС-1:

1 – ФСП-02; 2 – мультizonальная камера Parrot Sequoia; 3 – камера на основе Baumer MXUC40; 4 – обзорная RGB камера; 5 – кронштейн; 6 – аккумулятор

В состав МКСС-1 входит обзорная RGB камера с полем зрения  $30 \times 40$ , спектрометр ФСП-02 со спектральным разрешением 4,3 нм на диапазон 400–900 нм и полем зрения  $1,5 \times 0,5$ , черно-белая камера повышенного разрешения Baumer с разрешением  $2048 \times 2048$  пикселей и мультizonальная камера Parrot Sequoia [3] имеющая следующие спектральные каналы:  $550 \text{ нм} \pm 20 \text{ нм}$ ;  $790 \text{ нм} \pm 20 \text{ нм}$ ;  $660 \text{ нм} \pm 20 \text{ нм}$ ;  $735 \text{ нм} \pm 5 \text{ нм}$ .

На рисунке 2 представлен вид МКСС-1, подготовленного для проведения измерений в надириной геометрии наблюдений.



Рисунок 2 – Прибор МКСС-1, подготовленный для проведения авиасъемки с борта самолета Diamond DA40NG

За один час полета прибором МКСС-1, установленном на платформе самолета Diamond DA40NG, было получено 5 463 изображения подстилающей поверхности при помощи камеры Baumer, 13 090 изображений подстилающей поверхности при помощи обзорной RGB камеры, 5 469 спектров подстилающей поверхности в диапазоне 400–900 нм и 7 204 мультиспектральные фотографии при помощи камеры Parrot Sequiola.

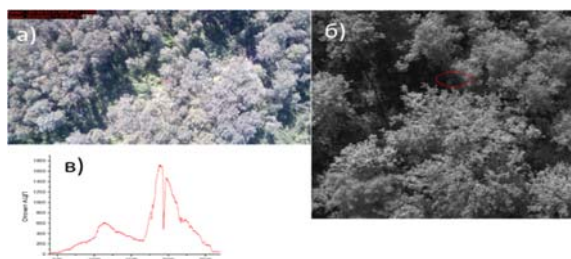


Рисунок 3 – Фото-спектральные данные, получаемые при помощи прибора МКСС-1:

*a* – изображение обзорной камеры; *б* – изображение черно-белой камеры с повышенным разрешением; *в* – спектр, полученный из области, очерченной красным

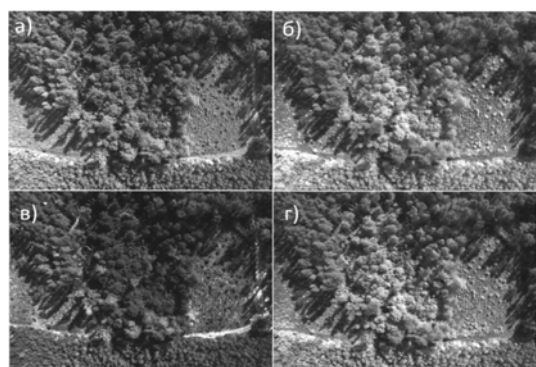


Рисунок 4 – Пример изображений, получаемых с мультиспектральной камеры Parrot Sequiola, входящей в состав прибора МКСС-1:

*a* – 550 нм ± 20 нм; *б* – 790 нм ± 20 нм; *в* – 660 нм ± 20 нм; *г* – 735 нм ± 5 нм;

На рисунках 3 и 4 представлены пример многоканальных фото-спектральных данных, получаемых при помощи МКСС-1.

Спектральные данные, привязанные к зарегистрированным изображениям, использовались в качестве исходных данных для создания классификатора, при помощи которого осуществлялось разделение исследуемых хвойных древостоев на три класса: здоровые, под воздействием стресса и усохшие. На основании изображений мультиспектральной камеры, с учетом спектральной характеристики отдельных каналов производился поиск характеристических индексов, которые успешно использовались для решения задачи классификации хвойных древостоев.

Разработанный мультисканальный спектральный сенсор МКСС-1 показал относительно устойчивую работу в условиях полета. При этом стоит отметить направления для будущей модернизации с целью повышения качества получаемых данных:

1. Замена черно-белой камеры на цветную более высокого разрешения ( $> 4$  Мп).
2. Интегрирование в систему специально подобранных светофильтров, с учетом особенностей исследуемого объекта.
3. Дополнение системы инклинометрами с целью контроля геометрии визирования.

#### Литература

1. Станчик В.В., Хомицевич А.Д. Фотоспектрометр для полевых измерений спектров отражения объектов // Материалы IV межд. науч.-практ. конф. «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния». – Минск, 2017. – С. 145–147.
2. Baumer [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.baumer.com/de/en/product-overview/industrial-cameras-image-processing/industrial-cameras/mx-series/c/14050>. – Date of access: 08.10.2020.
3. Parrot Sequiola [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.parrot.com/en/shop/accessories-spare-parts/other-drones/sequiola>. – Date of access: 08.10.2020.

УДК 535.8 + 621.382

#### ПИКОСЕКУНДНЫЕ ДИОДНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ФЛУОРОМЕТРИИ

Воропай Е.С.<sup>1</sup>, Ермалицкая К.Ф.<sup>1</sup>, Ермалицкий Ф.А.<sup>1</sup>, Луценко Е.В.<sup>2</sup>, Радько А.Е.<sup>3</sup>, Ржеуцкий Н.В.<sup>2</sup>, Самцов М.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ  
Минск, Республика Беларусь

Импульсные источники света с короткой длительностью импульса применяются в различных областях науки и технологий. Одной из важных таких областей является кинетическая спектрофлуориметрия, широко используемая при изуче-

нии сложных молекулярных систем. Основываясь на достоверных сведениях об этих параметрах, а также характере их зависимости от различных влияющих факторов, можно получать обширную информацию о структуре и свойствах