

## СЕКЦИЯ 3 ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 528.8; 629.78

### АВИАКОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ

Б. И. Беляев, В. В. Сосенко, А. Д. Хомицевич

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Беларусь, remsens@mail.ru

Описываются многолетние исследования природных образований Земли в оптическом диапазоне длин волн. Рассматриваются результаты разработки и создания приборов и видеоспектральных систем наземного, авиационного и космического базирования для изучения земной поверхности спектральными методами, лабораторные и полетные калибровки аппаратуры.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; авиакосмические системы; калибровки приборов и систем; спектрометры; спектрорадиометры.

**Введение.** Измерение, преобразование и анализ физических параметров световых полей объектов составляет основу дистанционных оптических методов изучения природных образований. Измеряемыми параметрами в этих исследованиях являются: пространственные, временные и угловые зависимости энергетических, спектральных и поляризационных характеристик поля излучения Земли и объектов на ее поверхности и в атмосфере.

В данной работе описывается системный подход развития основных элементов аэрокосмического мониторинга природных образований (методы, аппаратура, метрология, результаты обработки и представления данных), необходимых для эффективного решения как фундаментальных, так и прикладных задач.

**Спектрометры и спектрорадиометры для дистанционной диагностики состояния сред и объектов.** В настоящее время в отделе аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ разработаны, созданы и широко используются в натурных экспериментах микропроцессорные спектрометрические модули МС для диагностики состояния различных объектов. Были разработаны и изготовлена линейка многофункциональных приборов от МС-02 до МС-14 с комплектом специальных насадок и специальным программным обеспечением. По программе Союзного государства «Мониторинг-СГ» созданы двухканальный модульный спектрорадиометр ДМС, солнечный спектрополяриметр ССП-600Н и серия фотоспектрорадиометров ФСР-01÷04. Приборы (в комплекте с ПК и со смартфоном) можно использовать для проведения измерений в лабораторных, наземных, полевых условиях, а также с борта летательных аппаратов [1].

Основные характеристики спектрорадиометров сведены в таблице.

**Основные характеристики спектрорадиометров**

Характеристики \ Тип	Фотоспектрорадиометр ФСР 01÷03	Двухканальный модульный спектрорадио- метр ДМС	Солнечный спектрополяриметр ССП-600Н
Спектральный диапазон, нм	350-1050	350-1050	350-950
Спектральное разрешение, нм	2-3	1-2	1,2-2,0
Вес, кг	ФСР-01 – 1,9; ФСР-02 – 1,7; ФСР-03 – 1,3	2,2	1,2
Снабжение цифровой видеосистемой	да	да	–

С помощью созданных приборов проведен большой объем исследований по выявлению связей между оптическими характеристиками и физическими параметрами изучаемых объектов [1].

**Спектрально-энергетические наземные и полетные калибровки приборов и систем.** Повышение требований к точности измерения радиометрических характеристик приемных датчиков оптоэлектронных приборов обусловлена усложнением и расширением круга задач, решаемых методами дистанционного оптического зондирования, и необходимостью корректного сопоставления данных, получаемых различными приборами.

В отделе создан метрологический комплекс «Камея» в соответствии с поверочной схемой средств измерения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ). Он предназначен для высокоточной калибровки различной спектрометрической и видеоспектральной аппаратуры, а также для аттестации различных источников и приемников излучения в рабочем спектральном диапазоне от 0,35 до 2,5 мкм.

Основными операциями при калибровке аппаратуры на комплексе «Камея» являются: определение рабочего спектрального диапазона; определение пороговых значений СПЭЯ и динамического диапазона; определение спектральной чувствительности по абсолютным значениям СПЭЯ.

В отделе регулярно ведутся калибровки космической аппаратуры [2], так в августе-сентябре 2018 года были проведены натурные наземные и авиационные измерения с целью исследования спектральных отражательных характеристик природных поверхностей, которые потенциально могут использоваться в качестве подспутниковых полигонов (тестовых объектов) в ходе экспериментов с осуществлением квазисинхронной съемки аппаратурой ФСС, ВСС с борта МКС. Как известно, наклонение орбиты МКС составляет  $51,63^\circ$ , и при надирной съемке бортовой НА в поле зрения ФСС, ВСС попадает только южная часть территории Беларуси. Поэтому, наземные и авиационные

измерения проводились в Гомельской области в районе аэродрома «Зябровка».

Самолетные измерения проводились с борта летательного аппарата Авиатика МАИ-890У прибором ФСР в спектральном диапазоне 400-900 нм. Наземные измерения КСЯ различных типов подстилающей поверхности проводились при помощи модернизированного малогабаритного солнечного спектрополяриметра ССП-600Н в спектральном диапазоне 400-900 нм.

**Исследование характеристик природных образований с авиационных носителей и из космоса.** В отделе созданы и внедрены: в Минлесхозе РБ видеоспектральный – комплекс ВСК-2 (ГНТП «Леса Беларуси»); в МЧС РБ – авиационная система контроля за чрезвычайными ситуациями АСК-ЧС (заказ МЧС РБ).

Еще одна авиационная спектрозональная система АВИС высокого пространственного и спектрального разрешения предназначена для регистрации спектрозональных, монохромных и тепловых изображений земной поверхности при авиационном мониторинге. АВИС предназначена для осуществления съемок объектов и территорий с авиационных носителей типа Ан-2, оборудованных специальным люком и гироплатформой с высот от 100 до 2000 м.

Тематические карты, на которых на исходное спектрозональное изображение наложены отдельные классы, окрашенные в условные контрастные цвета, являются конечным продуктом оперативного дистанционного мониторинга лесных участков [3]. В ходе проведения съемок системами ВСК-2, АСК-ЧС и АВИС получены тематические картосхемы с выделением основных классов лесных территорий для целого ряда лесничеств РБ. Результаты компьютерной классификации сравнивались с таксационными описаниями в базе данных «Лесные ресурсы». Корреляция результатов классификации и описаний ГИС «Лесные ресурсы» во всех случаях достаточно высокая и составляет 75–95 %.

Космические исследования подстилающих поверхностей проводились нашими приборами с борта ОНС «Салют-4» -6» -7». С 1988 г. на борту орбитальной станции «Мир» функционировала микропроцессорная система регистрации, накопления и обработки видеоспектральной информации «Гемма-2 видео» разработанная и созданная в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ. С системой «Гемма 2-видео» была проведена обширная серия космических экспериментов по геоэкологическим исследованиям спектральных отражательных характеристик различных типов подстилающих поверхностей и атмосферы Земли [1].

В НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ по заказу РКК «Энергия» разработана и изготовлена фотоспектральная система ФСС [4], предназначенная для регистрации спектров отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн 350–1050 нм, однозначно «привязанных» к цветным изображениям высокого пространственного разрешения с борта российского сегмента МКС в космическом эксперименте «Ураган». С августа 2010 г. до

2019 г. всеми экспедициями на МКС проводились регулярные съемки аппаратурой ФСС спектров и изображений различных участков земной поверхности при различных условиях освещения и наблюдения. Получен большой объем информации по многим регионам земного шара. Ведется обработка данных.

Логическим развитием системы ФСС явилась разработанная и созданная видеоспектральная система ВСС [5], также предназначенная для проведения измерений характеристик отраженного излучения подстилающих поверхностей в диапазоне длин волн 400-950 нм при выполнении мониторинга земной поверхности в ходе проведения научно-прикладных исследований в космическом эксперименте «Ураган». Система ВСС работает на служебном модуле Российского сегмента МКС с 2014 г.

**Заключение.** Представленные в статье комплексные исследования оптико-спектральных характеристик природных образований и их связи с параметрами изучаемых объектов с помощью созданных приборов и систем дистанционного зондирования использовались для диагностики состояния различных сред и объектов. Все описанные приборы и комплексы прошли всесторонние испытания на различных носителях и используются в различных организациях и ведомствах РБ и РФ.

#### **Библиографические ссылки**

1. Беляев Б. И., Катковский Л. В. Оптическое дистанционное зондирование. Минск: Изд-во БГУ, 2006. 455 с.
2. Беляев Б. И. Наземные и полетные калибровки авиакосмической аппаратуры дистанционного зондирования Земли / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский, В.А. Сосенко, Ю.В. Беляев // Наука и инновации, 2016, № 4. С. 21–26.
3. Беляев Б. И. Исследование сезонной динамики спектрально-отражательных свойств агрокультур Беларуси на основе полевого спектрометрирования и материалов дистанционного зондирования Земли / Б. И. Беляев, Е. В. Казяк, Е. О. Хрущёва // Земля Беларуси, 2016, № 2. С. 42–46.
4. Беляев М. Ю. Использование научной аппаратуры «Фотоспектральная система» в экспериментах по программе «Ураган» на борту Международной космической станции / М. Ю. Беляев, Б. И. Беляев, В. А. Сосенко и др. // Сборник научных трудов РКК «Энергия» им. С. П. Королева, 2011, Серия XII, Выпуск 1–2. С. 233–244.
5. Беляев Б. И. Устройство и летные испытания научной аппаратуры «Видеоспектральная система» на борту российского сегмента МКС / Б.И. Беляев, М.Ю. Беляев, Э.Э. Сармин и др. // Космическая техника и технологии, 2016, № 2 (13). С. 70–79.