

Опыт полевых видеоспектральных исследований

А.А. Алексеев¹, Б.В. Шилин², И.Б. Шилин³

¹ ФГБОУ «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»

197082, Санкт-Петербург, Ждановская, 13

E-mail: saneok562@mail.ru

² Центр экологической безопасности РАН

197110, Санкт-Петербург, Корпусная, 18

E-mail: bshilin@rambler.ru

³ Национальный государственный университет

Физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта

190121, Санкт-Петербург, Декабристов, 35

E-mail: bshilin@rambler.ru

Представлены методика и некоторые результаты полевых видеоспектральных исследований с видеоспектрометром, установленным на вращающейся платформе для съемки фоно-целевых ансамблей.

Ключевые слова: видеоспектрометр, монохромное изображения, коэффициент спектральной яркости.

В последние десятилетия активно развивается новый метод дистанционного зондирования — видеоспектральная съемка. В первую очередь это произошло в аэрокосмических методах, где применение видеоспектральной съемки наиболее эффективно для решения широкого круга задач при изучении природных ресурсов и охраны окружающей среды. Известны отдельные примеры ее применения в лабораторных условиях, например для выявления текстов на папирусе и керамике, не читаемых традиционными методами.

Видеоспектральная съемка позволяет регистрировать отраженное или собственное излучение объектов с высоким пространственным и спектральным разрешением в видимом, ближнем инфракрасном и тепловом диапазонах с помощью видеоспектрометров — оптико-электронных приборов с приемной матрицей и полихроматором, разлагающим в спектр излучение в пределах узкого телесного угла. Для формирования изображений какой-либо сцены необходимо осуществить развертку полосы захвата. В аэрокосмических системах это реализуется за счет движения самолета или спутника, в лабораторных и полевых условиях — обычно движением платформы с прибором в направлении перпендикулярном полю зрения видеоспектрометра (входной щели) (рис. 1). При этом формируется так называемый информационный параллелепипед (Марков, Шилин, 2009), данные по вертикальной (горизонтальной при полевых измерениях) координате которого представляют спектр излучения объекта в пределах мгновенного угла зрения, а информация по «срезу» информационного параллелепипеда является узкоспектральным монохромным изображением регистрируемой сцены.

Современные авиационные и лабораторные видеоспектрометры имеют спектральное разрешение до 1 нм, мгновенный угол поля зрения около 1 мрад и угол обзора 20...50°. Структурная схема видеоспектральной съемки в аэрокосмическом варианте представлена в работе (Марков, Шилин, 2009), принципиальная схема видеоспектрометра «Фрегат» (спектральное разрешение 2...3 нм, мгновенный угол поля зрения 1 мрад, угол обзора 28...) Санкт-Петербургского университета информационных технологий, механики и оптики (Груздев и др., 2010).

Для проведения полевых и лабораторных измерений видеоспектрометр «Фрегат» был смонтирован на вращающейся платформе, созданной на базе киноустановки. Вращение прибора осуществлялось вручную. Из-за неравномерности вращения иногда возникают небольшие искажения масштаба изображения. Установка позволяет изменять угол наклона пло-

скости вращения прибора. В полевых условиях питание видеоспектрометра и регистрация материалов съемки осуществляется от переносного компьютера.

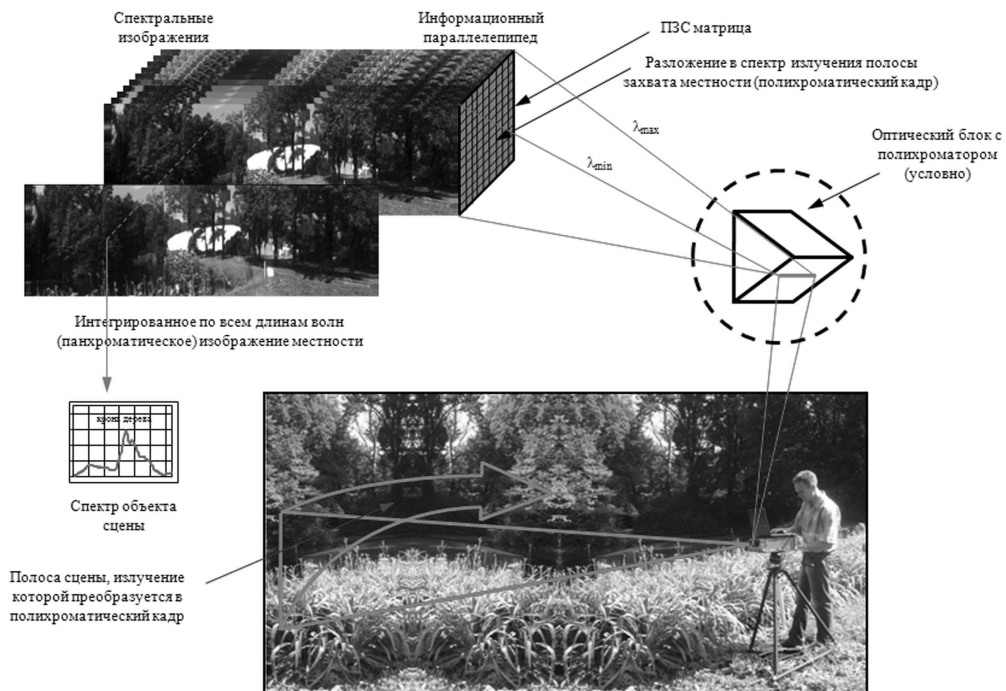


Рис. 1. Структурная схема полевой видеоспектральной съемки

На рис. 2 представлены видеоспектрометр и компьютер на платформе при проведении полевых измерений вертикального ансамбля — панорамы в пределах сектора обзора до 120° с обеспечением наилучшего освещения (Солнце сзади). Одновременно с видеоспектральной проводится цифровая фотосъемка той же панорамы. Хотя результаты видеоспектральной съемки в виде синтезированного по всем каналам панхроматического изображения приближаются по качеству к фотографическому, последнее дает дополнительную полезную для интерпретации информацию о фоноцелевой обстановке ансамбля.



Рис. 2. Видеоспектрометр и компьютер на вращающейся платформе

В настоящем полевом эксперименте измерения проводились в начале августа около полудня на «растительном» ансамбле с наличием антропогенных объектов (белая крыша и зеленые стены теннисного корта) и двух спортсменов — теннисистов высокой квалификации. Съемка выполнялась дважды — до и после интенсивной тренировки спортсменов. Перед экспериментом ставились следующие задачи:

- оценить эффективность нового метода дистанционных спектральных измерений путем получения и анализа видеоспектральных данных различных объектов конкретной фоноцелевой обстановки;
- получить спектры отражения от спортсменов в спокойном состоянии и после тренировки;
- оценить общий характер спектральных характеристик человеческого тела в сравнении с известными группами объектов;
- оценить перспективность метода.

Как известно, результаты спектральных измерений могут быть представлены в энергетических единицах и в коэффициентах спектральной яркости — КСЯ (Чапурский, 1986). В последнем случае одновременно с объектом должны быть проведены измерения эталонов яркости. На рис. 3 эталоны расположены между спортсменами — две белые и одна черная полосы.



578 нм



800 нм

Рис. 3. Монохромные изображения участка ансамбля

На рис. 3 представлены некоторые результаты полевого эксперимента — два монохромных изображения на средних длинах волн 580 и 800 нм и серии кривых коэффициентов спектральной яркости объектов ансамбля. Монохромные изображения представляют часть ансамбля с основными объектами, а их положение на шкале видимого и ближнего ИК-диапазонов определяется значениями длин волн до «красного края» и сразу за его пределами на «ИК-плато». Изображения наглядно иллюстрируют инверсию спектральных контрастов в интервале длин волн «красного края». Действительно, на первом изображении белая крыша корта и обнаженные тела спортсменов выглядят очень яркими, растительность и листва деревьев (вязы) — темными. На втором изображении крыша корта серая и с трудом выделяется на фоне растительности: трава газона очень яркая, освещенная листва — светлая. Интересно отметить контрасты зеленой стены корта (в центре изображений над эталонами между стволами деревьев): она хорошо видна на первом изображении и практически не выделяется на втором. Аналогично можно видеть, что черные или почти черные шорты спортсменов в видимом диапазоне не различаются; в ближнем ИК-диапазоне у правого спортсмена они существенно более светлые из-за различий в вещественном составе.

Все отмеченные особенности монохромных изображений (см. рис. 4) хорошо согласуются с общими закономерностями изменений кривых коэффициента спектральной яркости объектов ансамбля на рис. 4 (к сожалению, в литературе не удалось обнаружить данные о КСЯ человека; известно только о высоком коэффициенте излучения, что позволяет ожидать соответственно высоких значений КСЯ). Результаты эксперимента показывают, что для обнаженного тела человека в целом имеют место высокие значения коэффициента спектральной яркости по всем длинам волн. Наименьшие значения КСЯ (0,4...0,6) наблюдаются в синне-зеленой зоне (500...540 нм), откуда начинается резкий подъем примерно до длины волны 600 нм (0,80...0,95). Эти высокие значения сохраняются до длин волн 675...700 нм, затем происходит понижение КСЯ примерно до 0,8. Это величина с небольшими флуктуациями сохраняется до ближней ИК-зоны 850...875 нм.

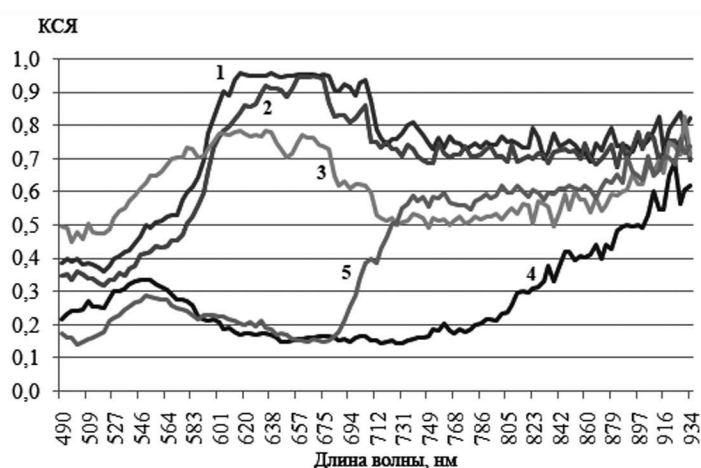


Рис. 4. Коэффициенты спектральной яркости объектов ансамбля:
 1 — грудь спортсмена в спокойном состоянии;
 2 — грудь спортсмена после интенсивной тренировки;
 3 — белая крыша теннисного корта (синтетическое покрытие);
 4 — стена теннисного корта (покрыта зеленой краской);
 5 — газон (нитрофильное высокотравье)

Если сравнить ход этих кривых с кривыми коэффициентов спектральной яркости других объектов (белой синтетической крышей корта, зеленой стеной корта, газона, листвы) можно отметить следующее. У белой крыши подъем кривой КСЯ начинается от длины волны 525 нм. Она выходит на максимум чуть меньше 0,8 в диапазоне 600...650 нм. Этот максимум заметно уступает максимуму для тела человека. Спад кривой КСЯ происходит в интервале

650...725 нм до значения 0,5. Фактически кривые КСЯ для тела и крыши различаются во всем регистрируемом диапазоне длин волн с инверсией контрастов в ближнем ИК диапазоне (см. рис. 3).

Характерная для растительности кривая коэффициента спектральной яркости газона (нитрофильное высокотравье) указывает на существенные различия с кривой КСЯ человека в видимом диапазоне на длинах волн 500...675 нм, далее за счет резкого возрастания — «красный край» растительности — до 750 нм различия почти нивелируются и в ближнем ИК-диапазоне оба «живых организма» имеют близкие высокие значения КСЯ (0,8 или чуть меньше).

Сравнение кривых КСЯ различных частей тела спортсменов до и после интенсивной тренировки выявило небольшие различия только для области грудной клетки для видимой зоны — КСЯ понижается после тренировки. Очевидно, это связано с увлажнением кожи за счет потоотделения или другими физиологическими механизмами.

Сравнивая кривые спектральной яркости «живых организмов» (кривые 1, 2 и 5) можно заметить их существенное сходство — имеются участки резкого подъема КСЯ и следующие за ними участки «высоких плато». Но для человека подъем приходится на диапазон 560...600 нм, а для растительности — на 675...725 нм; для человека плато связано с красной зоной, а для растительности — с ближней инфракрасной. Известно, что растительность отражает ненужный для фотосинтеза ближний ИК-диапазон; можно предположить, что и человек отражает ненужную и, возможно, даже вредную часть видимого диапазона. Здесь требуются дополнительные исследования.

Проведенные исследования показали, что полевая видеоспектральная съемка является эффективным методом сбора информации о спектральных характеристиках природных и антропогенных объектов земной поверхности. Ее производительность во много раз превышает таковую для полевых измерений точечными полевыми спектрометрами. Только видеоспектральная съемка позволяет наиболее объективно сравнивать спектральные характеристики большого количества объектов различных фоноцелевых ансамблей в реальном масштабе времени, что очень важно для изучения различного типа стресса растительности (недостаток или избыток влаги, загрязнения почвы и приземного слоя атмосферы, ионизирующие излучения). Из перспективных направлений видеоспектральной съемки отметим возможность оценки физиологического состояния человека.

Литература

Груздев В.Н., Красавцев В.М., Марков А.В., Чиков К.Н., Шилин Б.В. Действующие образцы видеоспектрометров для малого космического аппарата. // Региональная экология. 2010. № 3 (29). С. 112–117.

Марков А.В., Шилин Б.В. Проблемы развития видеоспектральной аэросъемки // Оп-тич. журн. 2009. Т. 76. № 2. С. 20–27.

Чапурский Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400...2500 нм. М.: Изд-во МО СССР, 1986. 160 с.

Operational experience of the imaging spectrometer using in fieldwork

A.A. Alexeev¹, B.V. Shilin², I.B. Shilin³

¹ *Military-space academy name of A.F. Mozhajsky
197082, St.-Petersburg, Zhdanovsk, 13
E-mail: saneok562@mail.ru*

² *St.-Petersburg Research Centre of Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences
197110, St.-Petersburg, Korpusnaya, 18
E-mail: bshilin@rambler.ru*

³ *National State University of Physical Training, Sports and Health Name of P.F. Lesgafta
190121, St.-Petersburg, Decembrists, 35
E-mail: bshilin@rambler.ru*

The technique and some results of field spectral researches with rotating platform-mounted imaging spectrometer for shooting of landscape-target ensembles are presented.

Keywords: imaging spectrometer, monochrome images, factor of spectral brightness.