

ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ СЪЕМКЕ ЦИФРОВОЙ КАМЕРОЙ

Станислав Андреевич Арбузов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: stan_i_slav84@mail.ru

Евгений Владимирович Грицкевич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры информационной безопасности, тел. (383)343-91-11, e-mail: gricew@mail.ru

Дарья Сергеевна Михайлова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ст. преподаватель кафедры физики, тел. (383)343-29-33, e-mail: kaf.physic@ssga.ru

Анна Вячеславовна Селезнева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотоники и приборостроения, тел. (383)343-91-11, e-mail: kaf.fip@ssga.ru

Мониторинг окружающей среды с помощью беспилотных летательных аппаратов в настоящее время является одной из наиболее развивающихся отраслей оптико-электронного приборостроения, поскольку устанавливаемые на этих аппаратах цифровые камеры позволяют производить съемку подстилающей поверхности с целью последующего выделения признаков, несущих информацию о ее состоянии. Перспективным случаем такого мониторинга является применение беспилотных летательных аппаратов для контроля сельскохозяйственных угодий. Разработана методика измерения спектральных коэффициентов отражения поверхностей, используемых для идентификации состояния растительности, наблюдаемой в поле зрения мультиспектральной цифровой камеры, осуществляющей мониторинг внешней среды с борта беспилотного летательного аппарата. Рассматриваемая методика позволяет определять спектральные коэффициенты отражения калибровочных поверхностей по эталонным поверхностям, а затем – рабочих поверхностей по калибровочным. Результаты работы применяются при анализе и обработке изображений, полученных в процессе работы беспилотной авиационной системы, осуществляющей контроль сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: спектральный коэффициент отражения, эталонная поверхность, калибровочная поверхность, рабочая поверхность, спектрофотометр, беспилотный летательный аппарат, методика измерения.

MEASUREMENT OF THE SPECTRAL REFLECTION COEFFICIENTS FOR SURFACES UNDER A MULTISPECTRAL AERIAL SURVEY BY DIGITAL CAMERA

Stanislav F. Arbuzov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: stan_i_slav84@mail.ru

Evgenij V. Gritskevich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Information Security, phone: (383)343-91-11, e-mail: gricew@mail.ru

Darja S. Michaylova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Physics, phone: (383)343-29-33, e-mail: kaf.physic@ssga.ru

Anna V. Selezneva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photonics and Device Engineering, phone: (383)343-91-11, e-mail: kaf.fip@ssga.ru

Monitoring of the environment with the help of unmanned aerial vehicles is currently one of the most developing branches of optoelectronic instrument-making. Digital cameras installed on these devices make it possible to survey the underlying surface in order to select its features. The use of unmanned aerial vehicles for the control of agricultural lands is a very perspective case of such monitoring. The technique of measuring the spectral reflection coefficients of surfaces is developed for identification of the vegetation state observed in the field of view of multispectral digital camera. The method allows determining the spectral reflectance of the calibration surfaces using the reference ones and after that to find the parameters of working surfaces using the calibration ones. The obtained results are applied under the analysis and processing of images obtained in the course of the unmanned aviation system that monitors agricultural lands.

Key words: spectral reflectance coefficient, reference surface, calibration surface, working surface, spectrophotometer, unmanned aerial vehicle, measurement technique.

Введение

В аграрном секторе экономики весьма актуальным представляется решение задачи оперативной обработки ситуаций, связанных с обнаружением, идентификацией и последующим своевременным реагированием на различные признаки состояния растительности, требующего немедленного вмешательства.

Наиболее надежным и простым способом детектирования признаков, свидетельствующих о том или ином состоянии растений, является изменение отражающих свойств их поверхностей по спектральному составу отраженного солнечного излучения [1–6]. Анализ таких изменений позволяет:

- выявлять участки с угнетенной растительностью;
- определять период созревания растений;
- устанавливать заболоченные сегменты;
- находить растительные массивы, пораженные болезнями или вредителями и т. д. и т. п.

Таким образом, разработка методики, позволяющей определять отражающие свойства подстилающей поверхности, представляется актуальной практической проблемой, для решения которой используются мультиспектральные видеокамеры на базе матричных фотоприемников. Поэтому, объектом исследо-

вания в предлагаемой работе будут являться подобные системы, функционирующие в составе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и предназначенные для идентификации подстилающей поверхности по спектральному составу отраженного излучения.

Соответственно, предметом исследования является методика идентификации состояния поверхности по спектральному составу отраженного излучения. Целью исследования будет являться разработка такой методики.

Мультиспектральный метод идентификации состояния отражающей поверхности с помощью калибровочной процедуры

Основным способом получения информации об отражающих свойствах подстилающих поверхностей является мультиспектральная съемка с борта БПЛА, подразумевающая установку на БПЛА нескольких идентичных цифровых камер, каждая из которых снабжена индивидуальным абсорбирующим светофильтром, пропускающим излучение в узком спектральном диапазоне (квазимонохроматическое излучение) [7–9]. Таким образом, фотоприемные матрицы (ФПМ) каждой камеры регистрируют изображение только для определенного спектрального интервала. Соответственно, сигналы на выходе отдельной камеры будут соответствовать тому квазимонохроматическому излучению, для которого предназначен используемый в ней светофильтр. Если в поле зрения камер поместить поверхность с заранее известной функцией распределения спектральных коэффициентов отражения по длинам волн, то выходные сигналы, снимаемые с пикселей ФПМ, можно использовать в качестве опорных для калибровки прочих сигналов, на которые не попадает изображение калибровочной поверхности.

До или во время выполнения полета сигналы с выходов пикселей, на которых находится изображение калибровочных поверхностей, регистрируются в запоминающем устройстве цифровой камеры для каждого используемого спектрального диапазона. Сигналы, снимаемые с выходов пикселей, на которых находится изображение рабочих исследуемых поверхностей, количественно сравниваются с калибровочными сигналами.

Таким образом, для идентификации рабочих поверхностей необходимо знать значения коэффициентов отражения излучения в выделяемых спектральных диапазонах, как для калибровочной поверхности, так и для рабочих исследуемых поверхностей. Эти значения должны быть получены заранее (известны априорно) либо по результатам экспериментальных лабораторных исследований, либо из соответствующей справочной литературы, либо определены комбинированным способом, т. е. с использованием и экспериментальных, и справочных данных.

Анализ литературы, посвященной вопросам идентификации подстилающей поверхности по спектральному составу отраженного излучения [10, 11], показал, что калибровочный метод является основным методом, применяемым при использовании беспилотной авиации в сельском хозяйстве.

В качестве математической модели, лежащей в основе разрабатываемой методики, целесообразно использовать формализованное описание процесса измерения, представленное в работе [12].

В литературе, посвященной идентификации различных типов состояния растительности [13–19], в качестве идентифицирующего количественного признака чаще всего используется так называемый индекс *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный вегетационный индекс), рассчитываемый по формуле

$$NDVI = \frac{\rho_{ИК} - \rho_K}{\rho_{ИК} + \rho_K},$$

где $\rho_{ИК}$ – коэффициент отражения исследуемой поверхности в инфракрасной области спектра; ρ_K – коэффициент отражения той же поверхности в красной области спектра.

Данный индекс является показателем здоровья растения. Хлорофилл поглощает красные волны, а клеточная структура отражает ближние инфракрасные волны. Поэтому, здоровое растение, в котором много хлорофилла и хорошая клеточная структура, активно поглощает красный свет и отражает ближний инфракрасный. Больное растение – наоборот.

Таким образом, для идентификации типа состояния растительности достаточно иметь два оптических канала в красной и ближней инфракрасной областях спектра.

Требования, предъявляемые к разрабатываемой методике, сформулированы исходя из реальных условий ее использования и особенностей применяемой математической модели:

- предполагается, что освещенность подстилающей поверхности формируется за счет прямого и (или) рассеянного солнечного излучения;
- эта освещенность не изменяется в течение съемочного процесса и не зависит от места положения и ориентации БПЛА;
- калибровочные и исследуемые рабочие поверхности являются диффузными;
- высота полета БПЛА не превышает 200 м, а метеорологическая дальность видимости атмосферы не более 20 км.

При выполнении последнего условия можно пренебречь влиянием потерь в атмосферном канале и не учитывать изменения высоты в ходе полета.

Необходимо отметить, что эти требования не являются искусственно созданными, а сформулированы исходя из реальных условий применения БПЛА в сельскохозяйственном производстве.

Результаты

В качестве калибровочных поверхностей использовались белые тефлоновые пластины. Измерения спектральных коэффициентов отражения калибровочных поверхностей производились с помощью спектрофотометра СФ-56.

В роли эталонных поверхностей применялись 2 баритовые пластины. Это связано с тем, что в интересующей области спектра барит обладает равномерным коэффициентом отражения по всем длинам волн, что показано на рис. 1, полученном из работы [20] путем оцифровки графика. По выделенным на рисунке точкам было произведено усреднение всех значений спектральных коэффициентов, в результате чего получено средневзвешенное значение 0,914.

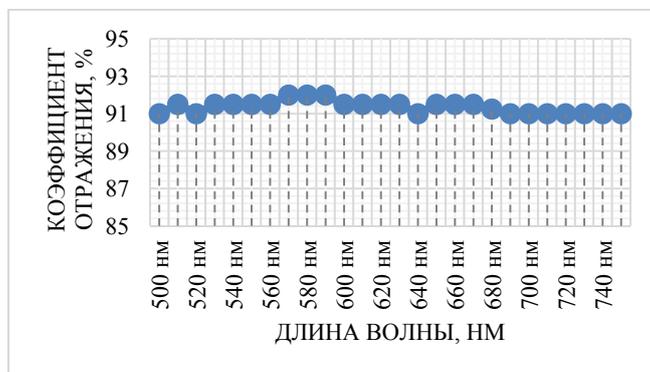


Рис. 1. График спектрального коэффициента отражения барита

На рис. 2 представлен полученный экспериментально и усредненный по двум баритовым эталонным образцам график спектральных коэффициентов отражения тефлона. Полученная зависимость использовалась для определения спектральных коэффициентов отражения исследуемых рабочих растительных поверхностей.

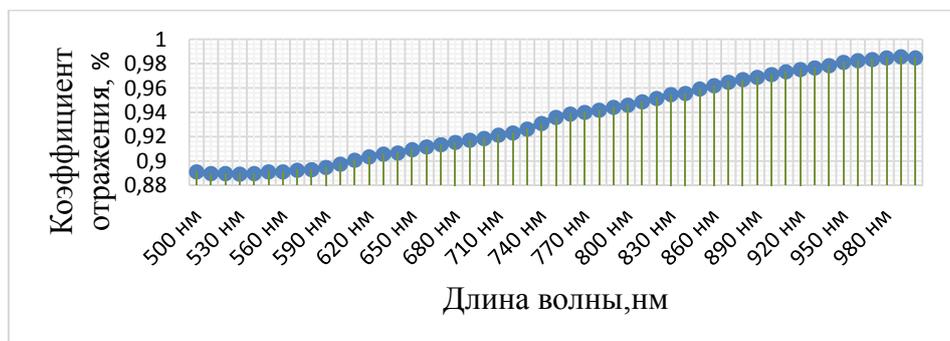


Рис. 2. Усредненный график спектральных коэффициентов отражения тефлона по бариту

На рис. 3, 4 представлены графики спектральных коэффициентов отражения желтого и зеленого листов по тефлоновой пластине, экспериментально полученные на спектрофотометре.

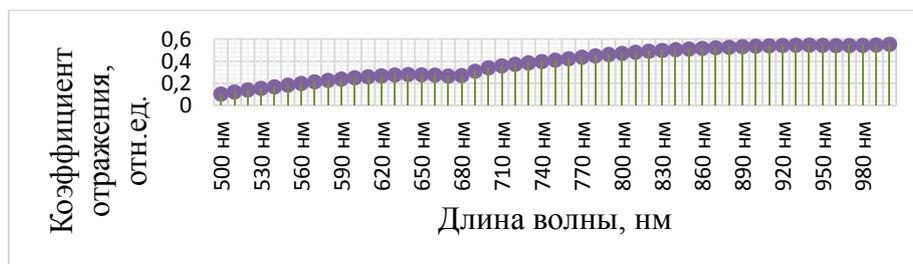


Рис. 3. График спектрального коэффициента отражения желтого листа по тефлоновой пластине, экспериментально полученный на спектрофотометре

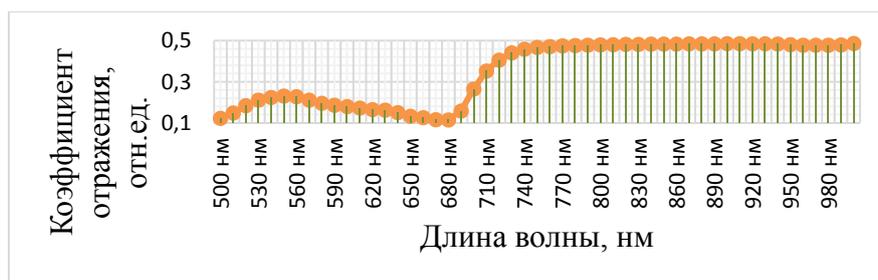


Рис. 4. График спектрального коэффициента отражения зеленого листа по тефлоновой пластине, экспериментально полученный на спектрофотометре

Рекомендации по применению методики и выводы по работе

Для эффективного применения полученных результатов в практическом использовании мультиспектральных цифровых камер, размещаемых на БПЛА, для нужд сельскохозяйственного производства необходимо выполнить ряд рекомендаций, рассматриваемых ниже.

Желательно иметь несколько тефлоновых пластин, для каждой из которых, нужно измерить спектральные коэффициенты отражения. Это позволит усреднить результаты наблюдений, что обеспечит повышение точности измерений.

Время полета БПЛА необходимо ограничивать с целью избегания изменений условий освещенности за один съемочный период.

При сканировании с воздуха небольших территорий тефлоновые пластины целесообразно разместить равномерно вдоль предполагаемой трассы полета. Если же исследуется большая по площади территория или на исследуемой территории расположены труднодоступные участки, то калибровку камер по нескольким тефлоновым образцам следует производить перед началом полета, расположив эти образцы на локальном участке местности. При этом съемку следует производить несколько раз с разных высот. Результаты таких съемок необходимо усреднить.

Итак, была разработана и апробирована методика измерения спектральных коэффициентов отражения различных диффузных поверхностей. Цель, поставленная перед началом исследований, достигнута. Полученные результаты ис-

пользуются в рамках реализации проекта создания беспилотных авиационных систем, обеспечивающих мониторинг сельскохозяйственных угодий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Richardson A. J., Wiegand C. L. Distinguishing vegetation from soil background information // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1977. – Т. 43. – Р. 1541–1552.
2. Multispectral analysis for determining plant health [Electronic resource]. – Mode of access: <https://publiclab.org/wiki/multispectral-analysis-for-determining-plant-health> (дата обращения: 05.05.2019).
3. Данилин И. М., Медведев Е. М., Мельников С. Р. Лазерная локация земли и леса. – Красноярск : Институт леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН, 2005. – 182 с.
4. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
5. Джабиев А. Н., Ишанин Г. Г., Панков Э. Д. Оптическое излучение естественных объектов и фонов и его имитация. – СПб. : СПб ГИТМО (ТУ), 2001. – 199 с.
6. Crist E. P., Cicone R. C. Application of the tasseled cap concept to simulated thematic mapper data // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1984. – Т. 50. – Р. 343–352.
7. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. – М. : Университетская книга : Логос, 2007. – 192 с.
8. Drone Data Management System [Electronic resource]. – Mode of access: <https://event38.com/drone-data-management-system> (дата обращения: 15.05.2019).
9. Parrot Sequoia [Electronic resource]. – Mode of access: http://pdf.directindustry.com/pdf/airinov/parrot-sequoia/177048-660644-_8.html (дата обращения: 05.05.2019).
10. Clevers J. G. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index // Remote Sensing of Environment. – 1988. – Т. 35. – Р. 53–70.
11. Lillesand T. M., Kiefer R. W. Remote Sensing and Image Interpretation // 2-nd edition, John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. – 1987. – 721 p.
12. Арбузов С. А., Грицкевич Е. В. Использование цифровых камер для мультиспектральной съемки с беспилотного воздушного судна // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «СибОптика-2018» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 2. – С. 62–67.
13. Baret F., Guyot G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment // Remote Sensing of Environment. – 1991. – Т. 35. – Р. 161–173.
14. Crippen R. E. Calculating the Vegetation Index Faster // Remote Sensing of Environment. – 1990. – Т. 34. – Р. 71–73.
15. Deering D. W., Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. Measuring "forage production" of grazing units from Landsat MSS data // Proc. Tenth Int. Symposium on Remote Sensing of Environment, University Michigan, Ann Arbor. – 1975. – Р. 1169–1178.
16. Gates, David M. Biophysical Ecology. – New York : Springer-Verlag, 1980. – 611 с.
17. Sellers P. J. Canopy reflectance, photosynthesis, and transpiration // International Journal of Remote Sensing. – 1985. – Т. 6. – Р. 1335–1372.
18. Huete A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI) // Remote Sensing of Environment. – 1988. – Т. 25. – Р. 53–70.
19. Holben V. N. Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR Data // International Journal of Remote Sensing. – 1986. – Т. 7, № 11. – Р. 1417–1434.
20. Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1947. – 270 с.

© С. А. Арбузов, Е. В. Грицкевич, Д. С. Михайлова, А. В. Селезнева, 2019