

ных КТ и DODCI, при частоте возбуждения $25\ 000\ \text{см}^{-1}$ (кривая 1). Особо следует отметить, что степень поляризации флуоресценции при регистрации на высокочастотном крае спектра испускания превышает 50 %. Падение степени поляризации флуоресценции на низкочастотном крае объясняется тем, что в этой области светят молекулы красителя, получившие энергию за счет переноса.

Таким образом, за счет «убывания» акцептора возможно формирование нелинейной флуоресценции донора, а также достижение высоких значений степени поляризации его флуоресценции.

Литература

1. *Cordero S. R., Carson P. J., Estabrook R. A., e. a.* Photo-activated luminescence of CdSe quantum dot monolayers // *J. Phys. Chem. B* 2000. Vol. 104. № 51. P. 12137–12142.
2. *Reindl S., Penzkofer A.* Higher excited-state photoisomerization and singlet to triplet intersystem-crossing in DODCI // *Chem. Phys.* 1998. Vol. 230. № 1. P. 83–96.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЛЕСОВ

Л. В. Катковский, С. В. Хвалей

Основными видами данных, получаемых системами дистанционного зондирования (ДЗ) Земли являются спектрзональные изображения, видеоизображения (стандартные R, G, B каналы) и спектры подстилающих поверхностей. Эти три вида данных регистрирует видеоспектральный комплекс ВСК-2, разработанный и созданный в НИИ ПФП БГУ для целей оперативного мониторинга лесов с борта вертолета [1, 2].

Проблема выбора количества спектральных каналов, их положений на шкале длин волн и полуширин всегда стояла перед разработчиками спектрзональных и видеоспектральных систем ДЗ. Этот выбор зависит от исследуемых объектов и стоящих задач. Правильный выбор каналов оптимизирует оптическую систему ДЗ по критерию эффективность/стоимость и является весьма важным.

Для характеристики состояния определенного класса объектов, вводят ряд биофизических параметров. Для растительности наиболее часто используемыми параметрами являются: сырая биомасса, индекс листового покрытия, высота растений, урожайность и другие [3]. При классификации лесных насаждений в качестве параметров могут выступать породы деревьев, их возраст, степень усыхания определенных пород деревьев, процент поражения вредителями и т.д. [4].

Многоканальное изображение позволяет повысить надежность распознавания и классификации объектов. Однако, гиперспектральная информация часто является избыточной. Так в работе [3] показано, что оптимальная линейная комбинация от двух до четырех узких спектральных каналов объясняет от 64 % до 92 % изменчивости биофизических параметров растительности, соответственно. Однако в различные периоды вегетации максимум информации можно получить, используя различные длины волн, например в тех же двухполосных вегетационных индексах. Практически, наиболее часто приходится анализировать двух или трёхканальные изображения как ввиду наглядности и возможности интерактивного анализа, так и в силу того, что, как показали исследования многих авторов, для идентификации объектов земной поверхности достаточно двумерного рассмотрения, но с использованием нескольких спектральных каналов. Однако использование узкополосных каналов может быть решающим для обеспечения дополнительной информации, приводящей к значительному уточнению количественных биофизических параметров растений в сравнении с широкими спектральными каналами. Информативность используемых спектральных каналов можно оценить, используя следующие два критерия: во-первых, исследуя парные коэффициенты корреляции яркости (СПЭЯ или КСЯ) отражения на различных длинах волн по представительной выборке данных для данного типа объектов, во-вторых, исследуя корреляционные связи отражательных характеристик на различных длинах волн с используемыми в рамках поставленной задачи биофизическими параметрами объектов.

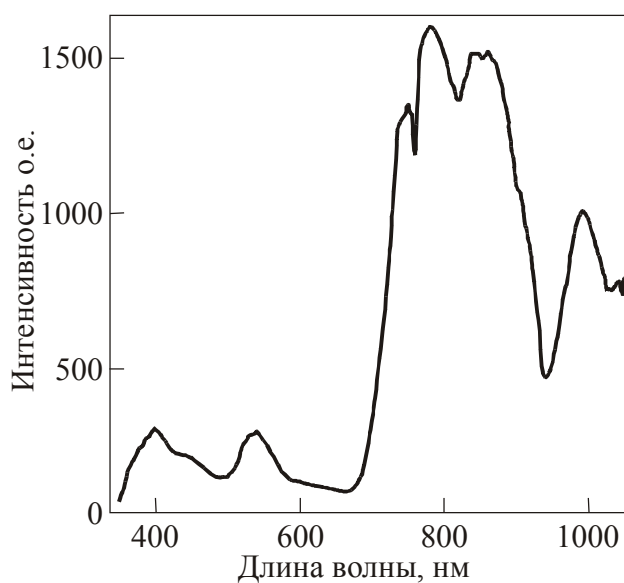


Рис. 1. Спектр растительности

Для ДЗ лесов в блоке спектральной съемки комплекса ВСК-2 были выбраны следующие каналы: 560 ± 30 нм — область отражения, определяющая цвет растительности; 655 ± 30 нм — область поглощения хлорофилла; 820 ± 20 нм — ИК плато отражения растительностью.

Данный выбор объясняется, с одной стороны, характерным видом спектра отражения растительного покрова (рис.1.).

С другой стороны, данные спектральные диапазоны являют-

ся менее всего зависимыми между собой, что делает их значимыми для возможного нахождения значений спектра вне выбранных зон по определенным методикам (различные методы экстраполяции и интерполяции данных).

Проведенное исследование парных корреляционных связей СПЭЯ на различных длинах волн на основе спектров, полученных при трассовой съемке с борта вертолета комплексом ВСК-2, показало, что выбором трех, четырех относительно узких спектральных каналов с невысокой линейной корреляцией между собой может быть перекрыт весь диапазон в видимой и ближней ИК области спектра. Остальные длины волн коррелируют с выбранными с коэффициентом корреляции выше 0,95. Такими длинами волн (центрами каналов) могут быть длины волн из диапазонов 540–570, 655–680 и 720–860 нм.

На рис. 2 приведены графики коэффициентов линейной корреляции для четырех длин волн (со всеми остальными длинами волн видимого и ближнего ИК диапазона). Кроме трех выбранных для спектральной съемки длин волн (560, 655, 820 нм) приведен график для длины волны 710 нм. Диапазон 700–710 нм характерен тем, что имеет низкий коэффициент корреляции со всеми другими длинами волн, т.е. для некоторых задач ДЗ необходимо использование дополнительного канала 700–710 нм.

Для обнаружения усыхающих древостоев, ветровалов, буреломов, пожаров и гарей по спутниковым съемкам обычно используются следующие каналы: 550–600, 630–690, 760–860, 530–610, 780–900 нм, а также панхроматический канал 520–900 нм.

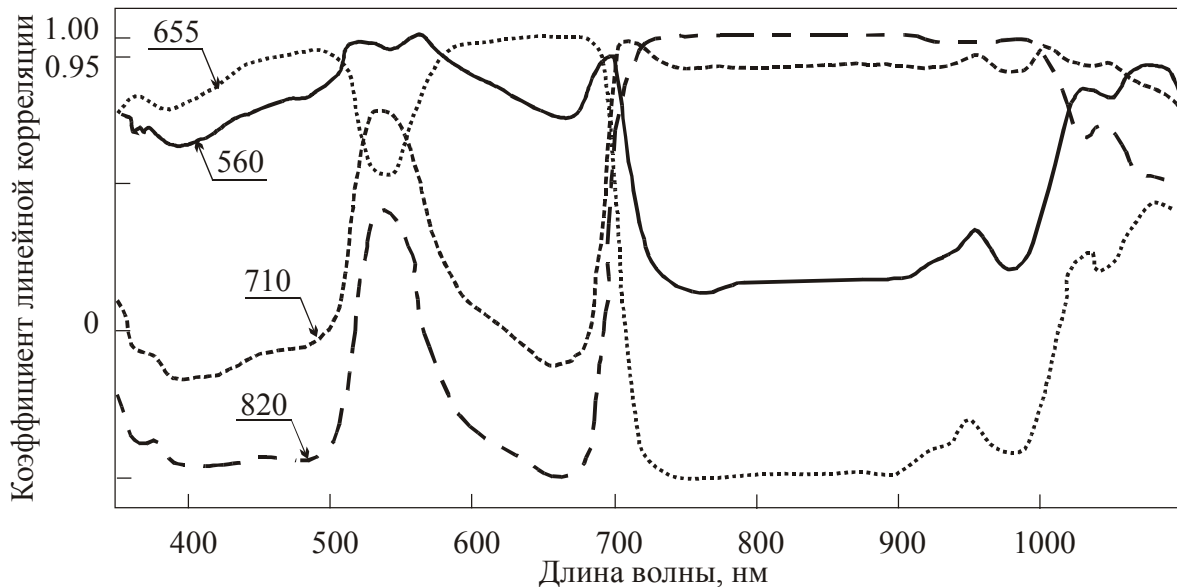


Рис.2. Коэффициенты линейной корреляции СПЭЯ леса на четырех длинах волн со СПЭЯ на всех других длинах волн

Достоинством спектрзональных изображений является их высокое пространственное разрешение, что позволяет обрабатывать данные, охватывающие большие площади (линейный размер на местности $\sim 10^2\text{--}10^3$ м). Недостатком же является ограниченный набор спектральных зон (полос), которые не могут передать всю спектральную специфику подстилающей поверхности. Выходом для решения данной проблемы является наличие в видеоспектральном комплексе спектрометра. В отличие от спектрзональной камеры, он имеет высокое спектральное разрешение в широком диапазоне длин волн (350–1150 нм) с размером спектрометрируемой подстилающей поверхности порядка $10^0\text{--}10^1$ м (по 4–6 спектров на кадр изображения). Информация, получаемая из такого спектра, зачастую является избыточной. Коэффициенты парной линейной корреляции для различных длин волн показывают (рис.2.), что значения СПЭЯ большого диапазона длин волн лежат в области высокой линейной корреляции ($r_{л.к.} \geq 0,95$) между собой, значения интенсивности в данных диапазонах являются линейно зависимыми и могут быть выражены через некоторые опорные длины волн, в частности 560, 655, 820 нм. Наличие указанных корреляций позволяет поставить задачу полного восстановления спектра в произвольной точке пространства (спектрзонального изображения) по данным спектрзональной камеры в этой точке и спектрам в других точках трассы.

Таким образом, проведенное исследование информативности спектральных каналов показывает, что для решения конкретных задач ДЗ на основе данных комплекса ВСК-2 достаточно ограничиться выбором трех-четырех линейно независимых спектральных каналов для съемки изображений и восстанавливать изображения на других необходимых длинах волн для последующей тематической обработки изображений.

Литература

1. *Беляев Б. И., Катковский Л. В., Сосенко В. А.* Аэрокосмические исследования природных образований в оптическом диапазоне длин волн // Выбранные научные работы Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта: В 7 т. Т.4. Фізика. Мн.: БГУ, 2001. С. 103–126.
2. *Беляев Б. И., Беляев Ю. В., Веллер В. В., Залетный В. М., Казак А. А., Катковский Л. В., Курикина Т. М., Нестерович Э. И., Сосенко В. А.* Авиационный аппаратно-программный комплекс ВСК-2 для контроля состояния лесов // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады III Всероссийской конференции, посвященной памяти Г.Г. Самойловича (Москва, 18–19 апреля 2002 г.) М.: ЦЭПЛ РАН, 2002. С. 111–115.
3. *Thenkabail P. S., Smith R. B., E. De Pauw.* Hyperspectral Vegetation Indices And Their Relationships With Agricultural Crop Characteristics // Remote Sensing of Environ, 2000. V.71. P. 158–182.
4. *Беляев Б. И., Катковский Л. В., Тяшкевич И. А., Ильючик М. А.* Обработка материалов дистанционного зондирования для мониторинга лесов // Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хозяйство. Мн., 2001. Вып. IX. С. 81–87.