

Создание и использование баз данных спектральных образов для решения задач тематической обработки гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли

Implementation and use of spectral footprint databases for specialized processing of Earth remote sensing hyperspectral data

Мальцев / Maltsev G.

Георгий Николаевич
(georgy_maltsev@mail.ru)

доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ, академик
Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского.
ФГКВОУ ВПО «Военно-космическая академия
им. А. Ф. Можайского» МО РФ
(ВКА им. А. Ф. Можайского), профессор.
г. Санкт-Петербург

Козинов / Kozinov I.

Игорь Александрович
(garry-spb@yandex.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ВКА им. А. Ф. Можайского, докторант.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли – Earth remote sensing; гиперспектральные данные – hyperspectral data; корреляционное распознавание – correlation image recognition; база данных – databases; спектральный образ – spectral footprint.

Рассмотрено основное содержание тематической обработки гиперспектральных данных космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с использованием баз данных спектральных образов. Описан метод анализа гиперспектральных данных ДЗЗ с использованием корреляционного алгоритма распознавания объектов по спектральным образам, основывающийся на сравнении спектральных характеристик, полученных в ходе съемки, со спектральными характеристиками уже известных материалов. Показано, что необходимым инструментом для корреляционного распознавания объектов по спектральным образам являются эталонные базы данных спектральных образов. Рассмотрено современное состояние разработок баз данных и библиотек спектральных образов, описана структура перспективной базы данных спектральных образов для тематической обработки гиперспектральных данных.

The principles of specialized processing of hyperspectral data yielded by space systems for Earth remote sensing (ERS) with the use of spectral footprints databases are reviewed. A technique is described for analyzing the ERS hyperspectral data using a correlation algorithm for object recognition by its spectral image based on comparing spectral characteristics retrieved from remote sensing with stored spectral footprints of known materials. It is demonstrated that the template databases of such spectral footprints is the core instrument needed for the correlation-based object recognition. The state of the art in developing such databases and libraries of spectral footprints is reviewed, and the structure of a prospect database of such spectral footprints to be used for specialized processing of hyperspectral data is described.

Введение

Создание и развитие космических средств и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является в настоящее время одним из важнейших направлений космической деятельности. Существующие и перспективные космические системы ДЗЗ обеспечивают широкие возможности получения в глобальном масштабе видеоданных с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением, что определяет их информационные возможности и обуславливает наблюдаемый в последние годы интерес ко всем видам космической съемки Земли со стороны различных потребителей и активное развитие рынка данных ДЗЗ. Одной из ведущих тенденций современного развития космических систем ДЗЗ является переход к широкому использованию бортовых гиперспектральных оптико-электронных систем (ОЭС), работающих в видимом и ИК-диапазонах и осуществляющих космическую съемку в сотнях спектральных каналов [1–3]. Результаты гиперспектральной съемки могут эффективно использоваться для обнаружения и идентификации наземных объектов, определения их состояния и динамики, при исследованиях природных ресурсов, атмосферы и океана, мониторинге чрезвычайных ситуаций [4, 5].

Гиперспектральные ОЭС наблюдения являются результатом эволюционного развития многоспектральных систем. Принятое деление ОЭС на многоспектральные и гиперспектральные основывается на числе каналов регистрации видеоданных: у многоспектральных систем – десятки спектральных каналов, у гиперспектральных систем – сотни спектральных каналов. Современная гиперспектральная аппаратура наблюдения – это научно-исследовательский тип приборов ДЗЗ для решения многих научных, социально-экономических

и оборонных задач [5–7]. Расширение возможностей обнаружения и распознавания наблюдаемых объектов в гиперспектральных ОЭС обусловлено наиболее полным использованием информации, содержащейся в принятом от наблюдаемого объекта излучении. В основе решения задач ДЗЗ с использованием гиперспектральной съемки лежит распознавание объектов по спектральным признакам, отражающим локальные различия спектров наблюдаемых объектов и подстилающей поверхности. Тематическая обработка гиперспектральных данных и распознавание наблюдаемых объектов по спектральным признакам неразрывно связаны с использованием соответствующих баз данных.

Тематическая обработка гиперспектральных данных с использованием баз данных спектральных образов.

Отличительной особенностью гиперспектральных ОЭС является возможность одновременной регистрации пространственного распределения и спектральных характеристик наблюдаемых объектов и сцен. При этом используется многомерное пространственно-спектральное изображение – «гиперкуб» видеоданных, общий вид которого показан на рис. 1. «Гиперкуб» видеоданных представляет собой матрицу пространственного распределения коэффициентов спектральной яркости (КСЯ), совместно с третьей координатой, являющейся длиной волны регистрируемого излучения. Для определения КСЯ используют как абсолютные значения яркости, так и относительные, получаемые на основе сравнения яркости объекта и эталона. Значения КСЯ для различных длин волн представляют в форме графиков – кривых спектральной яркости или спектральных образов, как это показано на рис. 1. При гиперспектральной съемке эти спектральные образы регистрируются в отдельных элементах (пикселях) матричного фотоприёмного устройства гиперспектральной ОЭС. При этом переход к распознаванию по спектральным признакам позволяет осуществлять «обмен» линейного разрешения ОЭС на спектральное [8].

Предварительная обработка видеоданных, полученных гиперспектральными ОЭС (нормализация, координатная привязка), обычно осуществляется традиционными методами обработки изображений [4]. Задачами тематической обработки гиперспектральных данных, как правило, являются задачи классификации объектов съемки и определение их компонентного состава. Данные гиперспектрального наблюдения позволяют осуществлять распознавание наблюдаемых объектов по спектральным признакам, возможности выделения и обработки которых зависят от спектральной разрешающей способности ОЭС наблюдения. Эти признаки определяются поглощательной, излучательной и отражательной способностями наблюдаемых объектов в анализируемом диапазоне электромагнитных волн. При этом наблюдаемый объект может не разрешаться ОЭС наблюдения,

а зрительное восприятие спектрального образа наблюдаемого объекта по данным наблюдения, полученным в различных спектральных каналах, не имеет такого значения, как зрительное восприятие изображений. Поэтому при распознавании по спектральным признакам используется не структурное распознавание, как при распознавании по топологическим признакам и дешифрировании [9], а корреляционное, более удобное для реализации автоматизированного распознавания, хотя при этом сохраняется зависимость результатов распознавания от условий подсветки наблюдаемого объекта, его ракурса в момент наблюдения и параметров фона [8].

Корреляционный анализ спектральных образов наблюдаемых объектов основан на сравнении спектральных образов, полученных в ходе съемки, с эталонными спектральными образами объектов соответствующего класса. Спектральный образ наблюдаемого объекта $I(\lambda)$, представляющий собой зависимость его КСЯ от длины волны λ , регистрируется матричным фотоприёмным устройством ОЭС наблюдения или задается эталоном в виде дискретной функции, которая может быть представлена в виде

$$I^A(\lambda) = \sum_{m=1}^M I_m \delta_m(\lambda), \quad (1)$$

где

$I_m = \frac{1}{\Delta\lambda} \int_{(\Delta\lambda_m)} I(\lambda) d\lambda$ – m -ая составляющая дискретного спектрального образа, $\delta_m(\lambda)$ – функция окна, принимающая единичное значение в пределах полосы m -го спектрального канала $\Delta\lambda_m$ и нулевое – вне ее. Интегрирование по длине волны λ в каждом из слагаемых суммы по m в выражении (1) выполняется в пределах соответствующей полосы m -го спектрального канала $\Delta\lambda_m$.

В зависимости от объема априорной информации об условиях наблюдения в качестве составляющих эталона дискретного спектрального образа k -го типа (класса) наблюдаемого объекта $I_{m(k)}^{st}$ могут либо непосредственно использоваться составляющие эталонных коэффициентов спектральной яркости $R_{m(k)}^{st}$:

$$I_{m(k)}^{st} = R_{m(k)}^{st} = \int_{(\Delta\lambda_m)} R_{(k)}^{st}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где $R_{(k)}^{st}(\lambda)$ коэффициент спектральной яркости эталона k -го типа (класса) наблюдаемого объекта, либо эти же составляющие с учетом ожидаемого их преобразования атмосферой и оптической системой и наложения на них составляющей спектральной яркости подстилающей поверхности $Q_{m(n)}^{st}$:

$$\begin{aligned} I_{m(k)}^{st} &= \tau(\lambda) E(\lambda) (R_{m(k)}^{st} K_R + Q_{m(n)}^{st} K_Q) = \\ &= \tau(\lambda) E(\lambda) \left[K_R \int_{(\Delta\lambda_m)} R_{(k)}^{st}(\lambda) d\lambda + K_Q \int_{(\Delta\lambda_m)} Q_{(n)}^{st}(\lambda) d\lambda \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

В выражении (3) $\tau(\lambda)$ и $E(\lambda)$ – априорные оценки значений спектральных характеристик пропускания атмосферы и оптической системы, $Q_{(n)}^{\text{ст}}(\lambda)$ – коэффициент спектральной яркости эталона ожидаемого n -го типа подстилающей поверхности, K_R и K_Q – коэффициенты, определяющие ожидаемое соотношение между размером объекта и размером элемента разрешения многоспектрального датчика. Если S_{0k} – априорная оценка проекции поперечного сечения k -го объекта на плоскость изображения, объект не разрешается оптической системой и его изображение полностью попадает в пиксель фотоприёмного устройства, то $K_R = S_{0k}/S_{\text{эл}}$ и $K_Q = (S_{\text{эл}} - S_{0k})/S_{\text{эл}}$, где $S_{\text{эл}}$ – площадь элемента (пикселя) регистрирующего изображение матричного фотоприёмного устройства (полагаем, что размеры всех пикселей одинаковые).

В векторной форме спектральный образ, зарегистрированный в i -ом пикселе фотоприёмного устройства, может быть представлен в виде $I_i = (I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{iM})$. Аналогичным образом эталонный спектральный образ k -го объекта в векторной форме может быть представлен в виде: $I_{(k)}^{\text{ст}} = (I_{1(k)}^{\text{ст}}, I_{2(k)}^{\text{ст}}, \dots, I_{M(k)}^{\text{ст}})$. Таким образом, при регистрации в i -ом пикселе составляющих вектора I_i и при наличии полного каталога (базы данных) эталонных спектральных образов, описываемых векторами $I_{(k)}^{\text{ст}}$ где индекс k обозначает номер подлежащего распознаванию объекта (класса), имеем решающее правило корреляционно-экстремального алгоритма распознавания [10]:

$$d = \arg \max_k [g_{\text{кор}}(I_i, I_{(k)}^{\text{ст}})], \quad (4)$$

где $g_{\text{кор}}(I_i, I_{(k)}^{\text{ст}})$ нормированный коэффициент корреляции.

Входящий в выражение (4) нормированный коэффициент корреляции определяется в соответствии со следующим выражением:

$$g_{\text{кор}}(I_i, I_{(k)}^{\text{ст}}) = \frac{\sum_{m=1}^M (I_{im} - \bar{I}_i) \sum_{m=1}^M (I_{m(k)}^{\text{ст}} - \bar{I}_{(k)}^{\text{ст}})}{\sqrt{\sum_{m=1}^M (I_{im} - \bar{I}_i)^2 \sum_{m=1}^M (I_{m(k)}^{\text{ст}} - \bar{I}_{(k)}^{\text{ст}})^2}}, \quad (5)$$

где $\bar{I}_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M I_{im}$ и $\bar{I}_{(k)}^{\text{ст}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M I_{m(k)}^{\text{ст}}$ – выборочные средние для составляющих векторов I_i и $I_{(k)}^{\text{ст}}$ соответственно. Вычитание из значений составляющих спектральных образов $I_{m(k)}^{\text{ст}}$ и I_{im} их средних значений $\bar{I}_{(k)}^{\text{ст}}$ и \bar{I}_i может осуществляться на этапе подготовки эталонных спектральных образов и калибровки зарегистрированных гиперспектральных данных. При практической реализации корреляционно-экстремального алгоритма распознавания (5) для каждого пикселя гиперспектрального изображения осуществляется анализ коэффициентов корреляции спектральных образов, зарегистрированных в пикселе, с эталонными спектральными образами объектов соответствующего класса.

При использовании корреляционных методов распознавания объектов анализ видеоданных ведется попиксельно. При низком пространственном разрешении в область пикселя могут попадать спектры как объектов, подлежащих распознаванию, так и фона (подстилающей поверхности). Такое явление отрицательно сказывается на качестве распознавания, и наилучшим вариантом условий наблюдения является согласование размеров изображения или элемента разрешения наблюдаемого объекта с размером элемента (пикселя) матричного фотоприёмного устройства. Однако на практике это не всегда возможно, и для распознавания в общем случае необходимо использовать эталонные спектральные образы из баз данных, содержащих наиболее вероятные комбинации спектров объектов и фонов [11]. Обобщенная схема реализации корреляционного распознавания объектов по спектральным образам показана на рис. 2.

Устройство или программа, осуществляющие распознавание наблюдаемых объектов, с использованием базы данных эталонных спектральных образов объектов соответствующего класса вычисляют меру сходства между спектральной характеристикой, зарегистрированной в каждом пикселе «гиперкуба» видеоданных, и спектральными характеристиками, содержащимися в базе эталонных спектральных образов. Реализации корреляционного распознавания предшествует предварительная обработка данных наблюдения, полученных гиперспектральной ОЭС (гиперспектральным датчиком), и эталонных спектральных образов из базы данных. Приведению эталонных спектральных образов к условиям наблюдения соответствует учет априорных оценок значений спектральных характеристик пропускания атмосферы и оптической системы в соответствии с выражением (3).

Анализ может вестись по всем эталонным спектральным образам, содержащимся в базе данных, или по отдельным спектральным образам или группам спектральных образов, представляющим интерес для решения конкретной задачи тематической обработки с учетом имеющейся априорной информации. Для уменьшения масштаба поиска должна использоваться любая априорная информация об объекте и условиях наблюдения. Таким образом, эффективность использования гиперспектральных ОЭС во многом зависит от знания параметров и характеристик объектов (спектральных образов), по которым они работают. Очевидно, что для реализации корреляционно-экстремального алгоритма распознавания объектов по гиперспектральным данным необходимо наличие баз данных эталонных спектральных образов различных объектов и видов подстилающей поверхности. Поэтому создаваемые в настоящее время унифицированные и специализированные базы данных и библиотеки спектральных образов различных классов природных и техногенных объектов становятся незаменимым инструментом, используемым при тематической обработке гиперспектральных видеоданных [11–13].

Формирование баз данных и библиотек спектральных образов наблюдаемых объектов основывается на следующих основных принципах:

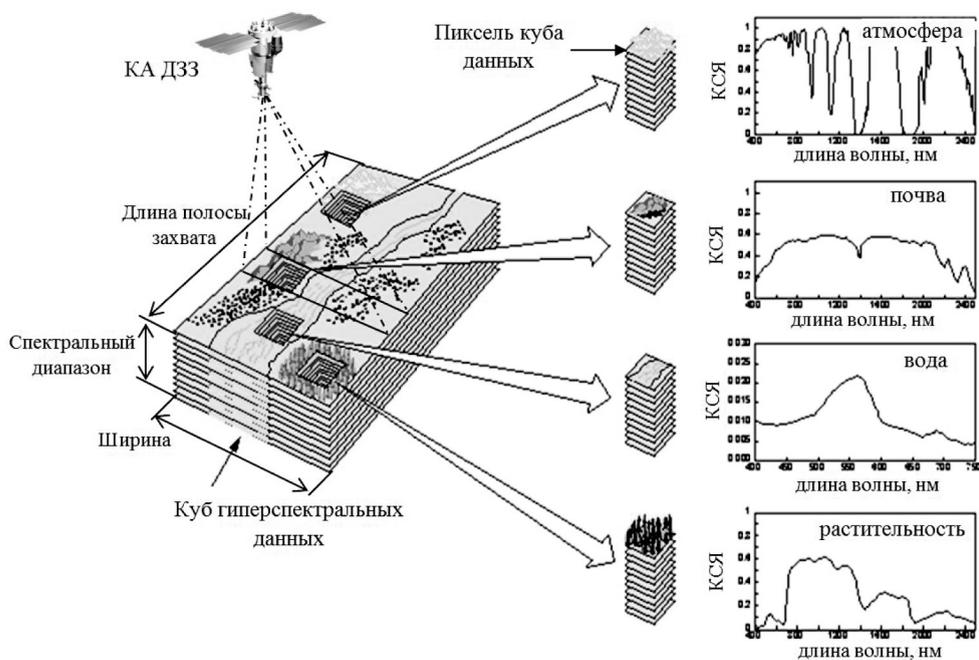


Рис. 1. «Гиперкуб» видеоданных



Рис. 2. Корреляционное распознавание по спектральным образам

1. Для получения эталонных данных необходимо использовать максимально чистые образцы. Определение наличия примесей и их количества принципиально необходимо для дальнейшего определения пригодности данных для их использования в конкретных задачах, и библиотека спектральных образов должна содержать информацию о чистоте каждого материала. Кроме того, библиотека спектральных образов также должна включать и данные по образцам, являющимся смесями многих материалов. Такие смеси исследуются, когда получить лучший образец невозможно или для дальнейшего исследования требуется определить не конкретный материал, а всю смесь.

2. Процесс получения данных также сопровождается несколькими этапами коррекции, вызванными различными эффектами при прохождении оптического излучения в атмосфере и в оптической системе. Например, необходимо учитывать поглощение излучения водяным паром в диапазоне длин волн около 3 мкм и искажение спектральных характеристик регистрируемого излучения в диапазоне длин волн 1,3...2 мкм для некоторых спектральных приборов.

3. Перед измерениями при формировании эталонных спектральных образов в обязательном порядке оценивается точность определения длины волны используемого спектрометра. Это можно сделать при помощи измерения отражательной способности материала, для которого данные хорошо известны и проверены, а также содержат множество узких полос поглощения.

4. Для практического использования эталонные данные унифицированных спектральных библиотек и характеристики используемого гиперспектрального датчика калибруются с учетом ожидаемых условий съемки, прежде всего, для устранения влияния атмосферы. Для решения конкретных задач могут создаваться специализированные спектральные библиотеки, формируемые под каждую задачу и конкретное программное обеспечение, или осуществляться коррекция данных под существующую библиотеку.

5. Спектральные характеристики в библиотеке спектральных образов и измеряемые прибором должны иметь одинаковые единицы измерения. Поскольку спектральные библиотеки содержат информацию о значениях КСЯ на поверхности Земли, выражаемых, как правило, в долях единицы, зарегистрированные гиперспектральным датчиком яркости в пикселях матричного фотоприемного устройства для последующего корреляционного распознавания должны быть приведены к такому же виду.

6. Спектральные характеристики наблюдаемых объектов в библиотеке спектральных образов и измеряемые гиперспектральным датчиком должны иметь одинаковые спектральный диапазон и спектральное разрешение. При этом библиотеки спектральных образов должны содержать информацию о трансформации спектральных образов различных объектов в зависимости от сезона, времени суток, положения Солнца и других

факторов на момент наблюдения с целью дальнейшего их учета при корреляционном распознавании.

Современное состояние разработок баз данных и библиотек спектральных образов

Вопросами формирования библиотек спектральных образов в настоящее время занимаются различные национальные и международные организации. В нашей стране работы по сбору и систематизации спектральных характеристик различных объектов и видов подстилающей поверхности ведутся, начиная с 30-х годов XX века, с использованием данных наземных и авиационных исследований КСЯ природных и техногенных объектов. В настоящее время систематизированные данные по спектральным характеристикам природных объектов в зависимости от диапазона, географических, астрономических, метеорологических условий и геометрии наблюдения представляются в электронных библиотеках спектральных образов – как ведомственных, так и общедоступных в сети Интернет.

К числу общедоступных электронных библиотек спектральных данных относятся библиотеки Johns Hopkins University spectral library, JPL spectral library, USGS Spectroscopy Lab's splib06, ASTER spectral library, IGCP264 Spectral Library, GIS-Lab [14–16]. В эти библиотеки включены данные о спектрах различных веществ, природных фоновых образованиях и некоторых антропогенных объектов. В этих библиотеках спектральные образы анализируемых объектов представлены в виде графических зависимостей коэффициентов отражения или КСЯ от длины волны $I(\lambda)$, полученных многоканальными спектрометрами в полевых или лабораторных условиях. Значения длин волн, на которых проводились измерения КСЯ, как правило, указываются в микрометрах или нанометрах, а значения коэффициентов отражения или КСЯ в рассматриваемых диапазонах спектра обычно представляются в долях единицы.

Информация в большинстве электронных библиотек спектральных данных хранится в виде HTML-файлов и доступна для использования во многих программных продуктах используемых для анализа спектральных данных, таких как ENVI, ERDAS, MyltiSpec и другие. Данные выдаются в виде таблиц формата ASCII. В библиотеках файлы, как правило, разделены по типу материалов (минералы, почвы и камни, их смеси, грунт, жидкости, искусственные материалы, растительность). Одни файлы содержат описание материала, другие содержат данные о спектре – зависимость КСЯ от длины волны. Файлы библиотек спектральных данных также содержат информацию о диапазоне излучения, разрешении прибора, на котором были проведены измерения, и спектральной чистоте материала. Последний параметр связан с отсутствием лучшего образца или необходимостью измерений в другом, недоступном пока, диапазоне. Для формирования библиотек, как правило, использу-

Многоспектральные и гиперспектральные датчики

Датчик	Производитель	Число спектральных каналов	Спектральное разрешение	Спектральный диапазон
Hyperion	NASA Goddard SFC	220	10 нм	0.4-2.5 мкм
MODIS	NASA	36	40 нм	0.4-14.3 мкм
CHRIS	ESA	63	1.25 нм	0.415-1.05 мкм
AVIRIS	NASA Jet Propulsion Lab	224	10 нм	0.4-2.5 мкм
HYDICE	Naval Research Lab	210	7.6 нм	0.4-2.5 мкм
PROBE-1	Earth Search Sciences Inc.	128	12 нм	0.4-2.45 мкм
CASI 550	ITRES Research Limited	288	1.9 нм	0.4-1 мкм
CASI 1500		288	2.5 нм	0.4-1.05 мкм
SASI 600		100	15 нм	0.95-2.45 мкм
TASI 600		64	250 нм	8-11.5 мкм
HyMap	Integrated Spectronics	125	17 нм	0.4-2.5 мкм
ROSIS	DLR	84	7.6 нм	0.43-0.85 мкм
EPS-H	GER Corporation	133	0.67 нм	0.43-12.5 мкм
EPS-A		31	23 нм	0.43-12.5 мкм
DAIS 7915		79	15 нм	0.43-12.3 мкм
AISA Eagle	Spectral imaging	244	2.3 нм	0.4-0.97 мкм
AISA Hawk		320	8.5 нм	0.97-2.45 мкм
AISA Dual		500	2.9 нм	0.4-2.45 мкм
MIVIS	Daedalus	102	20 нм	0.43-12.7 мкм
AVNIR	OKSI	60	10 нм	0.43-1.03 мкм
FieldSpecR	ASD Inc.	2151	3-30 нм	0.35-2.5 мкм
Сокол-ГЦП	ФГУП «Госцентр «Природа»	105	4.6-7.1 нм	0.53-0.95 мкм
УФ-ВИД, ВИД-ИК1, 2, 3	ЗАО «НПЦ Реагент»	500	1-3 нм	0.3-0,55 мкм
		500	3 нм	0.4-1.0 мкм
ВС Лептон	ЗАО «Лептон»	290	0.35-12.7 нм	0.4-0.989 мкм
ВС Фрегат	НИУ ИТМО	256	3.5-7 нм	0.48-0.95 мкм
ГСА	ОАО Красногорский завод им. С.А.Зверева	255	5-10 нм	0.4-1.1 мкм

ются несколько различных спектрометров, что позволяет собирать данные в широком диапазоне спектра и несколько серий съемки. Большинство библиотек содержит сведения о спектрах в диапазоне 0,2...15,0 мкм и иногда в радиолокационном диапазоне. При использовании различных спектральных приборов, создании библиотек спектральных данных, работе с ними данные в обязательном порядке калибруются.

Для регистрации спектральных данных используются авиационные, космические и полевые ОЭС. Характеристики используемых в их составе при формировании баз данных и библиотек спектральных образов многоспектральных и гиперспектральных датчиков, представлены в таблице 1.

Недостатком использования общедоступных электронных баз данных и спектральных библиотек спектральных образов является то, что данные в них недостаточно систематизированы и работа с ними требует от

пользователя выполнения большого объема операций по приведению их к виду, удобному для использования в специальном программном обеспечении при решении конкретных задач тематической обработки аэрокосмических изображений. Поэтому перспективные унифицированные базы данных спектральных образов необходимо разрабатывать в виде реляционных баз данных, способных интегрироваться в современные специальные программные средства тематической обработки аэрокосмических изображений, или же разрабатываться совместно с таким программным обеспечением. Обобщенная структура перспективной базы данных спектральных образов представлена на рис. 3.

Все объекты в базе данных отнесены к разным классам, каждый класс объектов в базе данных разбит на несколько типов. Таблица моделей индикатрис содержит коэффициенты аппроксимации визирования в зависимости от азимута для конкретного диапазона длин

волны. Таблицы значений КСЯ и соответствующих наименований диапазонов связаны таким образом, что для каждой строки со значением КСЯ также указан соответствующий диапазон КСЯ и номер объекта, к которому они относятся. Последняя таблица, содержащая непосредственную информацию об объекте подстилающей поверхности, включает в себя ссылку на классификатор, ссылку на модель индикатрисы, характерной для объекта, номер, связывающий со значениями КСЯ, номер фенологического периода для растительности, коэффициент аппроксимации КСЯ от высоты Солнца и наименование объекта.

Для каждого объекта в такой базе данных необходимо предусмотреть хранение дополнительных данных – идентификационного номера, физико-географической зоны, даты и времени наблюдения, номера фенологического периода (для растительных покровов), съемочного прибора, проективного покрытия, типа подстилающей поверхности, места измерения, угла высоты Солнца, азимутального и надирного углов измерения, высоты измерения, площади реферируемой поверхности, количества и формы облачности при измерениях, модели индикатрисы, источника данных, опорного значения КСЯ, сведений о свойствах объекта класса и других [17]. Опорные значения КСЯ, полученные при измерениях в надир при высоте Солнца 45° или приведенные к этой высоте Солнца, а также информация среднеква-

дратическом отклонении КСЯ объектов данного класса могут рассматриваться как усредненные данные о спектральном образе анализируемого объекта.

Поиск спектрального образа в такой базе данных осуществляется с помощью запросов, включающих следующие данные: наименование класса, типа объекта, географические координаты области наблюдения, дата и время планируемой съемки, надирный угол и азимут визирования относительно солнечного вертикала. Последние четыре параметра необходимы для расчёта значений КСЯ поверхности для заданных условий наблюдений. Этот расчёт осуществляется с использованием инженерных моделей индикатрис растительного покрова, обнажений, почв, твердых покрытий и строительных материалов, которые позволяют пересчитывать помещенные в базу данных опорные значения КСЯ на другие условия наблюдения, в частности углы визирования в диапазоне от 0° до 30°, углы высоты Солнца от 20° до 90° и все возможные азимуты визирования относительно солнечного вертикала.

Создание перспективных электронных баз данных и спектральных библиотек спектральных образов для тематической обработки данных гиперспектрального наблюдения предполагает обобщение результатов экспериментальных исследований КСЯ различных объектов и материалов, представленных в различных источниках. Реляционная база данных спектральных образов



Рис.3. Структура базы данных спектральных образов

объектов ландшафта, разработанная в соответствии с рассмотренной структурой, описана в работах [17, 18]. Все спектральные характеристики, используемые в базе данных, были получены при строгом соблюдении требований, предъявляемых к методикам проведения измерений оптических характеристик ландшафта [18]. Они представлены в цифровой форме и отличаются наиболее полным описанием условий проведения измерений.

Заключение

Разработка баз данных спектральных образов различных объектов, фонов и подстилающих поверхностей является в настоящее время актуальной задачей, обусловленной требованиями совершенствования средств и методов информационного обеспечения гиперспектральных ОЭС ДЗЗ на всех этапах их жизненного цикла. Для отечественных космических систем ДЗЗ это приобретает особое значение с учетом выведения на солнечно синхронную орбиту высотой около 480 км отечественных космических аппаратов «Ресурс-П1» и «Ресурс-П2» (и планами запуска в 2015 году аналогичного КА «Ресурс-П3»), в состав бортовых средств которых входит ОЭС наблюдения с гиперспектрометром ГСА, регистрирующим видеоданные в 255 спектральных каналах.

Перспективность космических систем гиперспектрального наблюдения определяется как их высокой информативностью, так возможностью автоматизации всего цикла наблюдения и распознавания объектов от этапа съемки до этапа принятия решения о принадлежности наблюдаемого объекта к тому или иному классу на основе использования корреляционного распознавания наблюдаемых объектов по спектральным признакам с использованием баз данных эталонных спектральных образов. Дальнейшее увеличение числа объектов, представленных в используемых базах данных спектральных образов, и уточнение значений КСЯ и индикатрис объектов, т.е. актуализация баз данных, должны осуществляться с использованием данных, получаемых в процессе штатной эксплуатации КА ДЗЗ с гиперспектральными ОЭС наблюдения, а также материалов авиационных и наземных спектрофотометрических измерений отражательных свойств поверхностей. В перспективе материалы баз данных спектральных образов природных и техногенных объектов должны стать источником информации для решения широкого круга задач социально-экономического, научного и оборонного значения.

Литература

1. Концепция развития российской космической системы дистанционного зондирования Земли на период до 2025 года. – М.: ФКА, 2006. – 72 с.
2. Мальцев, Г. Н. Космические системы и технологии многоспектрального дистанционного зондирования Земли / Г.Н. Мальцев, И.А. Козинцов, А.П. Данилкин // Информация и Космос. – 2010. – № 1. – С. 148–158.
3. Аралов, Г. Д. Необъятные горизонты гиперспектральных технологий / Г.Д. Аралов // Крылья Родины. – 2013. – № 1–2. – С. 60–63.
4. Шовенгердт, Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
5. Козинцев, В. И. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / В.И. Козинцев, В.М. Орлов, М.Л. Белов. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.
6. Michael, T. Eismann Hyperspectral Remote Sensing / T. Michael // SPIE Press Monograph. – 2012. – Vol. PM210. – 748 p.
7. Рябова, Н. В. Малые искусственные спутники с оптико-электронной аппаратурой в программах дистанционного зондирования Земли / Н.В. Рябова, Д.Н. Еськов, А.П. Данилкин // Оптический журнал. – 1996. – № 1. – С. 4–19.
8. Козинцов, И. А. Принципы автоматизированного распознавания объектов по данным космического многоспектрального оптико-электронного наблюдения / И.А. Козинцов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 6. – С. 35–37.
9. Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учебное пособие для студентов вузов / И.А. Лабутина. – М. Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
10. Горелик, А. Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. – М.: Высшая школа, 1984. – 219 с.
11. Овчинников, А. М. Аппаратно-программный комплекс для обработки спектральной информации / А.М. Овчинников, Д.С. Ролдугин, М.Ю. Овчинников // Датчики и системы. – 2009. – № 6. – С. 41–46.
12. Обработка данных гиперспектрального аэрокосмического зондирования / В.В. Козодеров [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2012. – № 5. – С. 3–11.
13. Тарасов, В. В. Многоспектральные оптико-электронные системы / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков // Специальная техника. – 2002. – № 4. – С. 56–62.
14. Jeffrey, G. Spectral signatures database for remote sensing applications / G. Jeffrey, L. Ruby, L. Fisher // Proc. SPIE. – 2002. – Vol. 4816. – P. 156–163.
15. Черепанов, А. Спектральные библиотеки – источники данных по спектрам [Электронный ресурс] / А. Черепанов. – GIS-Lab. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/spectrum-lib.html>, свободный. – Загл. с экрана.
16. Дубинин, М. Спектры отражения природных объектов – база данных [Электронный ресурс] / М. Дубинин. – GIS-Lab. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/projects/spectra>, свободный. – Загл. с экрана.
17. Григорьева, О. В. Проблемы создания и информационного наполнения базы данных по коэффициентам спектральной яркости объектов наземных экосистем / О.В. Григорьева, Л.И. Чапурский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 3. – С. 18–25.
18. Саидов, А. Г. Структура реляционной БД КСЯ основных типов ландшафта и ее программное обеспечение на базе ГИС / А.Г. Саидов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т. 9. – № 3. – С. 70–74.