

## Контекстное моделирование объектов земной поверхности с целью получения метаданных о содержании изображений\*

Н. М. КОВАЛЕВСКАЯ, К. А. БОЕНКО, О. В. ЛОВЦКАЯ  
*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия*  
e-mail: knm@iwer.asu.ru, bka@iwer.asu.ru, lov@iwer.asu.ru

Н.Н.ДОБРЕЦОВ  
*Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск, Россия*  
e-mail: dnn@uiggm.nsc.ru

А.Ю.КОРОЛЮК  
*Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия*  
e-mail: akorolyuk@csbg.nsc.ru

Предлагается модель для преодоления различий между классами естественных объектов земной поверхности с точки зрения их пространственно-спектрального представления на новой концептуальной основе. Модель дает новые возможности для выделения значимой структуры визуально-однородных образов, формализации оценок специалистов-экологов и автоматического создания аннотаций для аэрокосмических изображений.

*Ключевые слова:* поиск по содержанию, метаданные архивов изображений, гиббсовские модели, кусочно-однородные космические изображения.

### Введение

Науки об окружающей среде становятся все более междисциплинарными, поскольку проблемы, связанные с пониманием и рациональным использованием экологического потенциала планеты, требуют изучения связей между многими взаимодействующими процессами. Глобальное изучение сложных природных систем все более зависит от поступающей информации, так как для исследований в глобальном масштабе привлекаются буквально терабайты данных. Из-за высокой стоимости спутниковых наблюдений крайне важно, чтобы полученные с орбиты данные анализировались различными специалистами во всевозможных экологических аспектах. Очевидно, что успешный междисциплинарный обмен требует эффективных подходов к формализации информации, созданию метаданных и каталогизации.

С другой стороны, традиционная библиотечная метафора не обеспечивает растущие потребности научного сообщества для совместного использования пространственно-спектральной информации. В частности, метаданные космических снимков опре-

---

\*Исследования проводились в рамках Интеграционного проекта СО РАН № 56 “Сопряженный анализ и моделирование пространственной структуры биотической и абиотической составляющих наземных экосистем (Алтайский экорегион)”.

деляются производителями информации, а не специалистами, работающими с этими данными. Очевидно, что назрела необходимость в составлении стандартов геопространственных метаданных с учетом анализа и содержательной составляющей изображений. Это позволит расширить возможности поиска в цифровых каталогах и архивах для специалистов в различных областях исследования окружающей среды.

До сих пор наиболее корректным определением метаданных является определение “данные о данных” [1]. На сегодня термин “метаданные” стал настолько часто применяться в различных описательных контекстах, что сложно дать четкое недвусмысленное понятие о том, что такое метаданные в общем смысле. Более того, поскольку традиционные библиотеки не имеют аналогов, соответствующих термину *пространственные метаданные*, необходимо связать этот термин с тем уровнем детальности информации, который возможен в современных цифровых коллекциях геопространственных данных и архивах космических снимков. Это особенно важно в отношении объектов на снимках земной поверхности, поскольку один и тот же космический снимок и/или отдельные его участки могут анализироваться с разным уровнем детальности специалистами различных направлений (ландшафтоведения, геоморфологии, почвоведения, геологии и др.).

Благодаря возможностям поиска объектов по содержанию в цифровых коллекциях и в архивах изображений нет четкого различия между данными и метаданными. Более того, в зависимости от заданного уровня детальности визуального содержания возможны несколько вариантов такого поиска. Поэтому необходимы исследования общего подхода к созданию метаданных о содержании изображений для различных типов пространственно-спектральной информации (многомерной спектральной, панхроматической, различного разрешения и т. д.). Целью данной работы является анализ возможностей применения различных способов содержательного описания и моделирования изображений и их реализаций для эффективного содержательного поиска информации в каталогах данных дистанционного зондирования Земли.

## 1. Модели метаданных для каталогов изображений земной поверхности

Метаданные согласно [2] определяются как “информация о том, что делает данные полезными”, включая три возможных подмножества:

- информация, необходимая для успешной обработки и использования данных, такая как формат и местоположение;
- информация, которая обобщает или резюмирует данные для выявления характерных содержательных особенностей и, таким образом, поддерживает функции поиска и просмотра;
- информация о качестве или любая другая информация, отсутствующая в содержании.

В цифровой библиотеке изображений первое и третье подмножества в определении метаданных являются контекстно-независимыми. Второе подмножество метаданных полностью зависит от содержания и является определяющим в выборе уровня детальности при содержательных запросах. Именно с этим подмножеством связан вопрос о моделировании пространственно-спектральных данных, в частности, выбор такой модели, которая, с одной стороны, является достаточно общей для различных типов объектов, а с другой — позволяет производить эффективный поиск по визуальному содержанию (образцу).

В определении из [2] подчеркивается, что метаданные не только являются характеристикой объекта, но также должны быть способны адаптироваться к точке зрения пользователя. Оценка “пригодности использования” объекта должна отражать как объект, так и взгляд на него пользователя и может быть уникальной для комбинации “объект — взгляд пользователя”.

В частности, простая содержательная модель геопространственных метаданных для изображений может состоять из трех частей:

- структура, определяемая как информация, необходимая для понимания расположения битов и байтов в объекте;
- контекст, который определен в качестве значения в более абстрактных терминах и общих свойствах объекта по отношению к окружающим объектам;
- содержание как конкретные классы объектов земной поверхности.

Например, цифровой космический снимок может быть описан следующим образом:

- структура: формат файла;
- контекст: снимок ленточного бора, Алтайский край, полученный со спутника QuickBird 06.08.2005 в 12.06.15;
- содержание: лесопосадки, лес на песках, лиственный лес, поляны, поляны с единичными деревьями, засоленные участки, травяные болота, кустарниковые болота, водные участки.

Чтобы найти изображение искомого объекта, пользователь, как правило, опирается на структуру снимка и связи с окружающими объектами. Для оценки качества изображения объекта необходимо получить представление о содержании снимка и связи объекта с окружающими объектами, и, наконец, для анализа и использования изображения необходимы структура и содержание.

Важный вопрос по поводу содержания изображения возникает с точки зрения каталогизации снимков в архиве — должно ли содержание включать информацию о классах объектов только в том случае, когда это информация получена с помощью автоматического анализа (и/или моделирования), или содержание должно также включать результаты ручной интерпретации? Это очень важный аспект в создании каталогов и в последующем использовании цифровой космической информации, поскольку возможные интерпретации снимков — автоматические и ручные — зачастую оказываются весьма сложными и неоднозначными.

Большинство тематических архивов и коллекций изображений содержат снимки самого разного разрешения и размерности. Поэтому особенно важно разрабатывать такой подход к созданию метаданных пространственно-спектральной информации, который способен охватывать объекты некоторого общего класса независимо от разрешения и размерности имеющейся визуальной информации, например спектрально- или пространственно-однородные естественные объекты.

С другой стороны, очевидно, что результаты поиска по содержанию в архивах изображений зависят от уровня детальности, установленного моделью контекста данных.

Таким образом, для получения (а в последующем и автоматической генерации) метаданных содержания изображений и эффективного поиска по содержанию необходима такая модель представления контекстуальной информации об объектах окружающей среды, которая способна перенастраиваться и охватывать информацию об объектах с различным уровнем детальности.

## 2. Реализации систем содержательного поиска

### 2.1. Семантический поиск

Существует целая серия стандартов метаданных для описания географической информации, которая, несомненно, включает и данные дистанционного зондирования Земли. К ним относятся такие известные стандарты как Дублинское ядро [3], ISO 19115 [4] и разработанный на его основе российский стандарт ГОСТ Р 52573 [5] и др. В задачу данной работы не входит подробное описание существующих стандартов, так как авторов интересует только та их составляющая, которая позволяет использовать элементы содержательного описания применительно к данным дистанционного зондирования.

С точки зрения цифровых каталогов и архивов геопространственных данных наборы элементов почти всех стандартов могут быть расширены с помощью включения дополнительных элементов, необходимых для поддержки пространственно-визуального поиска. Одним из таких расширений для Дублинского ядра является структура метаданных географического каталога [6] Александрийской цифровой библиотеки (Alexandria Digital Library, ADL), который содержит более 4 000 000 наименований в различных пространственных покрытиях — участки земной поверхности, физиографические признаки, искусственные объекты, земельные участки, гидрографические признаки, административные районы. ADL-каталог является функционально совместимым с цифровыми архивами USGS [7] и NGIA [8].

В частности, тематический список ADL-элементов содержит такие объекты как бесплодные земли, скалы, кратеры, дюны, горные хребты, долины, пустоши, пустыни, леса, окаменелые леса, луга, оазисы, тундры, водно-болотные угодья. Данные добавляются и обновляются по мере появления новой информации. ADL-каталог содержит обширную информацию, в том числе связанную с визуальным представлением объектов земной поверхности, и возможность поиска аэрофотоснимков (рис. 1).

Реализация тематического ADL-поиска осуществляется на уровне задания ключевых слов, описывающих характеристики объектов земной поверхности на английском языке. Это существенно ограничивает возможности поиска по следующим причинам:

- ключевые слова часто задают только тематику документа, а не его содержание;
- использование конкретного естественного языка затрудняет межъязыковой поиск;
- выражения на естественном языке часто неоднозначны;
- для сравнения текста запроса на естественном языке и поискового образа требуются нетривиальные операции. И хотя, в принципе, можно преодолевать вариативность анализа методом проведения эквивалентных трансформаций текста в аннотациях [9],

такой метод предполагает решение двух сложнейших задач — создание модулей синтаксического анализа и семантической интерпретации предложений произвольного текста, а также аппарата перефразирования предложений произвольного текста. Эти задачи пока остаются на стадии исследования.

Следует отметить, что перечисленные ограничения являются существенными не только для реализации систем содержательного поиска на базе Дублинского ядра, но присущи всем системам, основанным на семантических описаниях. Иными словами, семантические описания изображений позволяют сравнительно легко создать контекстную модель конкретного изображения, но ограничены в реализации систем поиска и сравнения данных по этим моделям.

Альтернативой поиску по описательным характеристикам объектов, присутствующих в изображении, могут быть системы поиска по визуальному содержанию.

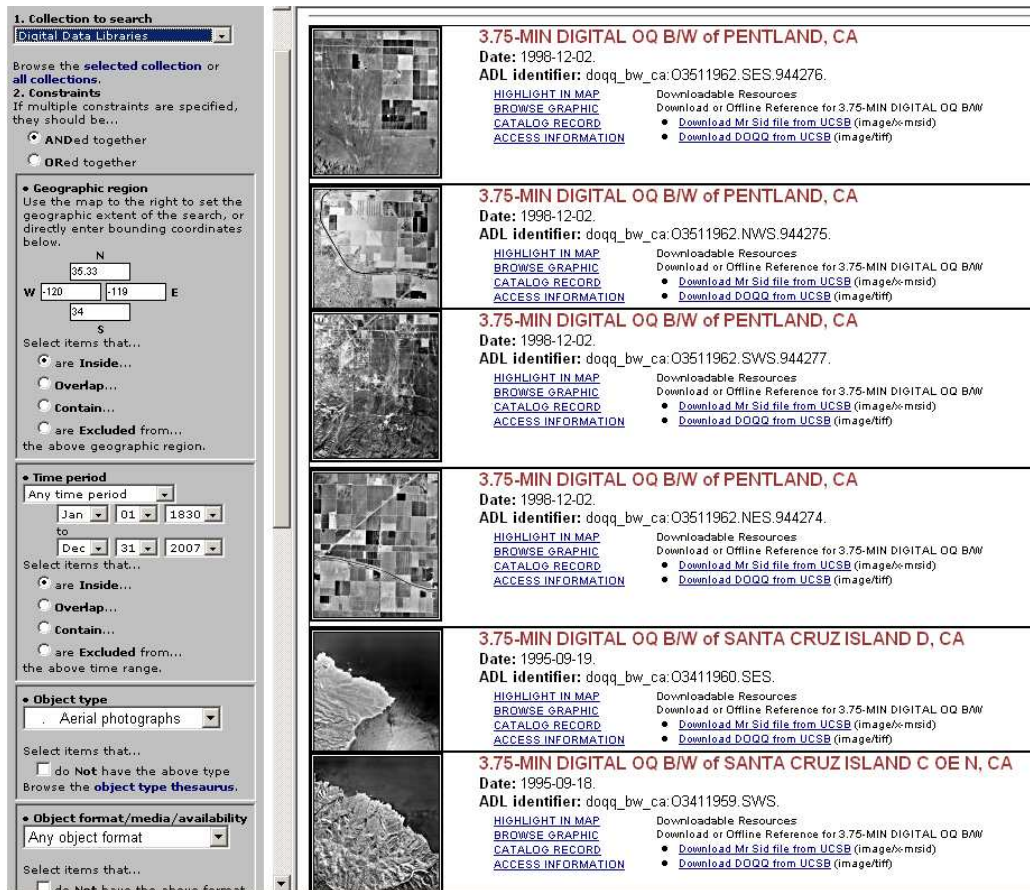


Рис. 1. Интерфейс поисковой ADL-системы

Все существующие системы поиска по визуальному содержанию созданы на основе выделения одной из трех групп визуальных характеристик объектов:

- характеристики формы;
- цветовые характеристики;
- пространственно-спектральные характеристики.

Поскольку поиск объектов земной поверхности по заданным форме и цветовым характеристикам имеет ограниченные возможности, существующие системы содержательного поиска в цифровых библиотеках аэрокосмической информации вынуждены опираться на анализ локальных пространственно-спектральных или многомерных спектральных соотношений в элементах растра изображений.

## 2.2. Контекстный поиск в цифровой библиотеке ADL

Цифровая библиотека ADL содержит более 15 000 элементов геопространственной информации, в том числе аэрофотоснимков [10].

Поиск по содержанию визуальной информации основан на сравнении двух визуальных образцов  $Img_1$  и  $Img_2$  с помощью заданного (нормализованного) расстояния в некотором выбранном признаковом пространстве:

$$DIST^{ADL}(Img_1, Img_2) = \sum_m \sum_n dist_{mn}(Img_1, Img_2),$$

где

$$dist_{mn}(Img_1, Img_2) = \left| \frac{\mu_{mn}^{(Img_1)} - \mu_{mn}^{(Img_2)}}{\alpha(\mu_{mn})} \right| + \left| \frac{\sigma_{mn}^{(Img_1)} - \sigma_{mn}^{(Img_2)}}{\alpha(\sigma_{mn})} \right|,$$

$\mu_{mn}$  и  $\sigma_{mn}$  — соответственно средние значения и стандартные отклонения

$$\mu_{mn} = \iint |W_{mn}(x, y)| dx dy, \quad \sigma_{mn} = \sqrt{\iint (|W_{mn}(x, y)| - \mu_{mn})^2 dx dy}$$

коэффициентов двумерных функций Габора  $g(x, y)$  и порождающего вейвлет-преобразования

$$W_{mn}(x, y) = \int Img(x_1, y_1) g_{mn} \cdot (x - x_1, y - y_1) dx_1 dy_1,$$

$\alpha(\cdot)$  — стандартное отклонение соответствующей характеристики по всей библиотеке.

Для формализации характеристик пространственно-однородных объектов на снимках используется вектор признаков  $V = [\mu_{00}, \sigma_{00}, \dots, \mu_{35}, \sigma_{35}]$ , который состоит из 72 элементов [11].

Таким образом, в основе моделирования визуальной информации для ADL-поиска по содержанию используются предположение об обязательном наличии образца, который, в свою очередь, может быть найден только по стандартному набору метаданных, включая семантические описания; предположение о локальной пространственно-спектральной однородности искомым объектам для поиска; традиционное статистическое решающее правило, в основе которого лежит предположение о гауссовском распределении векторов-признаков изображений в имеющейся цифровой библиотеке.

### 2.3. Контекстный поиск в системе CANDID

Поисковая система CANDID [12] ориентирована на запросы в цифровых архивах, содержащих многоспектральные снимки Landsat (рис. 2).

В основе CANDID-моделирования визуальной информации лежит предположение о том, что объекты земной поверхности на снимках адекватно описываются моделью

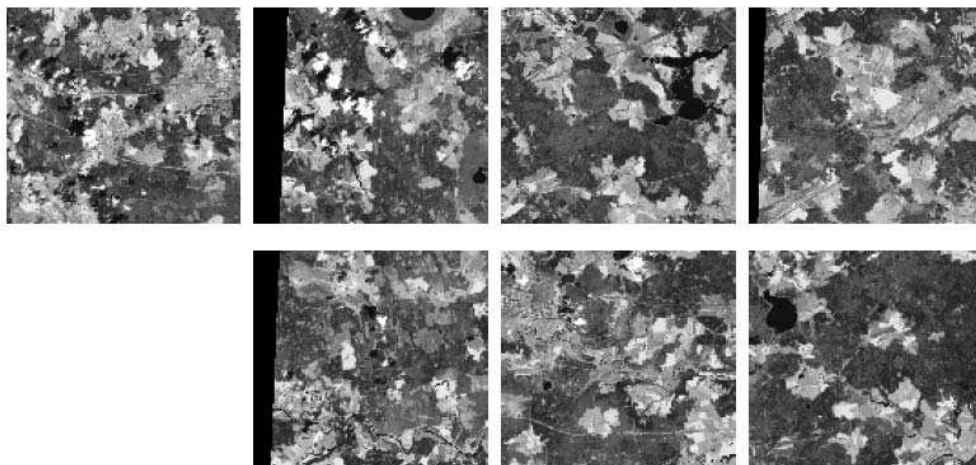


Рис. 2. Результаты поиска по архиву, содержащему 100 снимков Landsat размером  $512 \times 512$ : первый снимок — запросный, остальные представлены системой как первые результаты поиска с расстояниями  $DIST_2$ , равными (слева направо) 0.89, 0.84, 0.83, 0.81, 0.80, 0.76

кусочно-постоянного изображения, искаженного аддитивным независимым гауссовским шумом. В этом случае вероятность многоспектрального снимка  $Img$ , содержащего  $K$  объектов земной поверхности, может быть представлена с помощью гауссовской взвеси:

$$P_{Img}(\bar{c}) \approx \sum_{i=1}^K w_i G_i(\bar{c}),$$

$$G_i(\bar{c}) = (2\pi)^{-\frac{N}{2}} \left| \sum_i \right|^{-\frac{1}{2}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\bar{c} - \bar{\mu}_i)^T \sum_i^{-1} (\bar{c} - \bar{\mu}_i) \right],$$

где  $\bar{c} = (color_{band_1}, \dots, color_{band_N})$  — вектор в  $N$ -мерном спектральном пространстве,  $\bar{\mu}_i$ ,  $\sum_i$  вычисляются с помощью алгоритма кластерного анализа  $K$ -средних.

Поиск осуществляется на основе сравнения пар визуальных образцов  $Img_1$  и  $Img_2$  с помощью двух типов расстояний, которые в качестве характеристики целого изображения используют его вероятность, соответствующую  $K$  изображенным объектам:

$$DIST_1^{CANDID}(Img_1, Img_2) = \left[ \int (P_{Img_1}(\bar{c}) - P_{Img_2}(\bar{c}))^2 d\bar{c} \right]^{\frac{1}{2}},$$

$$DIST_2^{CANDID}(Img_1, Img_2) = \frac{\int P_{Img_1}(\bar{c}) P_{Img_2}(\bar{c}) d\bar{c}}{\left[ \int P_{Img_1}^2(\bar{c}) d\bar{c} \int P_{Img_2}^2(\bar{c}) d\bar{c} \right]^{\frac{1}{2}}}.$$

Таким образом, CANDID-поиск охватывает следующие факторы:

- требует наличия образца, который, в свою очередь, может быть найден только по стандартному набору метаданных;
- не учитывает локальную пространственную зависимость элементов раstra для однородных участков;
- использует многомерный статистический анализ для векторов со спектральными компонентами в элементах раstra;
- ориентирован на архивы многоспектральных космических снимков среднего и низкого разрешения (30 м и ниже).

## 2.4. Контекстный поиск в системе SIMPLIcity

Цифровая библиотека поисковой системы SIMPLIcity [13] содержит более 50 000 многоспектральных и панхроматических изображений объектов, снятых из космоса.

SIMPLIcity-поиск изображений, наиболее сходных по визуальному содержанию с заданным образцом, сводится к поиску карт участков (результатов сегментаций), наиболее сходных с картой участков заданного изображения (рис. 3, 4). В основе получения карт участков лежит алгоритм кластеризации  $K$ -средних по векторному пространству  $V$ , состоящему из шести векторных компонент [13]

$$V = (Col^1, Col^2, Col^3, f^{HL}, f^{LH}, f^{HH}),$$

$$Col^1 = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} color_i^1, \quad Col^2 = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} color_i^2, \quad Col^3 = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} color_i^3,$$

$$f^{HL} = \left( \frac{1}{4} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 (c_{k+i,l+j}^{HL})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad f^{LH} = \left( \frac{1}{4} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 (c_{k+i,l+j}^{LH})^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

$$f^{HH} = \left( \frac{1}{4} \sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^1 (c_{k+i,l+j}^{HH})^2 \right)^{\frac{1}{2}},$$

где  $color_i^1, color_i^2, color_i^3$  — значения цветовых компонент в окрестности элемента раstra  $4 \times 4$ ,  $c_{k,l}^{HL}, c_{k,l+1}^{HL}, c_{k+1,l}^{HL}, c_{k+1,l+1}^{HL}$  — коэффициенты вейвлет-преобразования в HL-канале (аналогично в LHV- и HH-каналах).

В SIMPLicity-моделировании визуальной информации для поиска по содержанию используется предположение о локальной пространственно-спектральной однородности искомым объектов для поиска. Но поскольку вычислительные ресурсы системы ограничены установлением зависимости в весьма малой окрестности элементов раstra —  $4 \times 4$ , то очевидно, что SIMPLicity-поиск оказывается более эффективным для архивов, содержащих спектральные снимки среднего разрешения, чем для архивов панхроматической информации высокого разрешения (рис. 5).

Таким образом, SIMPLicity-поиск характеризуется следующими факторами:

- требует наличия образца, который, в свою очередь, может быть найден только по стандартному набору метаданных;
- учитывает локальную пространственную зависимость элементов раstra для однородных участков;
- использует промежуточный результат кластеризации изображения для проверки предположения о локальной пространственно-спектральной однородности искомым объектов для поиска;

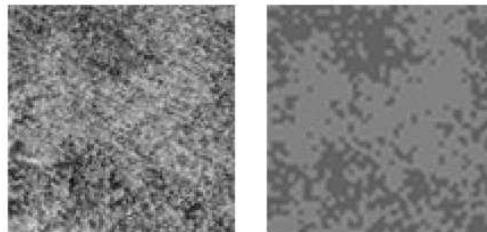


Рис. 3. Результат сегментации запрашиваемого изображения на участки

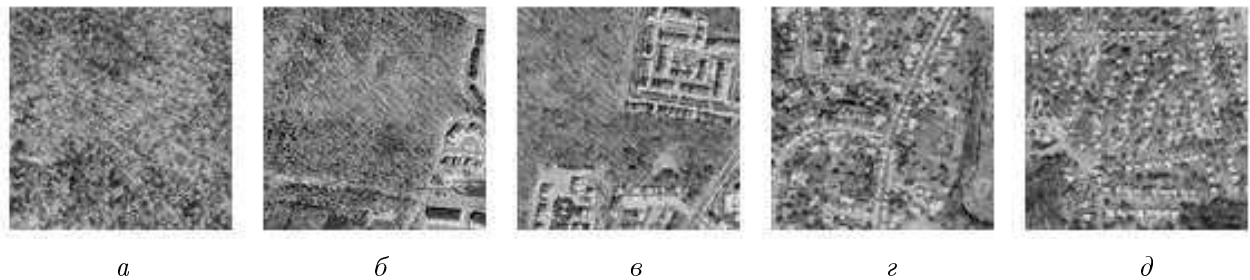


Рис. 4. Первые четыре результата SIMPLicity-поиска по архиву космических снимков в соответствии с увеличением расстояния до запрашиваемого образца:  $a$  — запрашиваемый образец;  $dist = 1.28$  ( $б$ ),  $1.38$  ( $в$ ),  $1.72$  ( $г$ ),  $1.89$  ( $д$ )



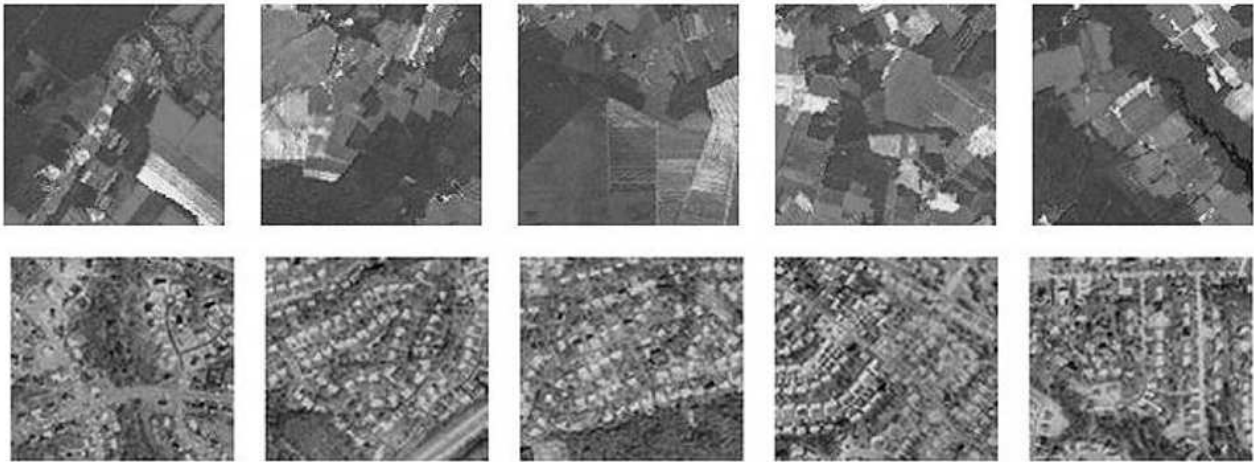


Рис. 5. Результаты SIMPLIcity-поиска изображений: верхний ряд — в библиотеке спектральных снимков среднего разрешения, нижний ряд — в библиотеке панхроматических снимков высокого разрешения

— эффективен при работе с архивами многоспектральных космических снимков среднего и низкого разрешения (30 м и ниже).

### 3. Модель пространственно-однородных объектов для получения метаданных о содержании изображений

Описанные выше системы поиска аэрокосмических изображений по содержанию обладают рядом общих ограничений, к которым относятся:

- требование к наличию образца изображения для поиска;
- моделирование контекстуальной информации на разных концептуальных основах;
- использование формально несовместимых уровней представления и детальности контекстной информации об объектах;
- отсутствие возможности поддерживать функциональную совместимость с другими архивами путем установления семантических связей.

В свою очередь, эффективные для описания естественных объектов земной поверхности гиббсовско-марковские модели кусочно-постоянных объектов земной поверхности были представлены в работах [14, 15]:

$$P(Img) = Z^{-1} * \exp \sum_{r \subset R} V_r(Img_{mn} = c_{mn} : (m, n) \in r, c_{mn} \in Q), \quad (1)$$

где  $P(Img)$  — совместное распределение марковского случайного поля снимка  $Img$ ;  $V_r(\dots)$ ,  $r \subset R$  — потенциалы гиббсовского распределения на заданных парах соседних элементов  $r$ ;  $\{Img_{mn}, (m, n) \in r\}$  — переменные гиббсовского случайного поля, поддерживающие пару  $r$ ;  $Q = \{0, 1, \dots, q_{\max}\}$  — множество разных значений сигналов в элементах раstra;  $Z$  — нормирующая постоянная по пространству всех возможных состояний  $S$ :

$$Z = \sum_{Img \in S} \exp \sum_{r \subset R} V_r(Img_{mn} = c_{mn} : (m, n) \in r). \quad (2)$$

Эти модели являются весьма гибкими и позволяют “захватывать” существенную часть визуальной информации об объектах земной поверхности независимо от пространственного разрешения снимков. В частности, при увеличении разрешающей способности съемочной аппаратуры можно менять набор параметров, “захватывающих” визуальные признаки однородности в некоторой заданной окрестности.

Основными параметрами модели (1), (2) для получения метаданных о содержании визуального образца являются следующие:

- заданный размер окрестности (окна) для поиска пар соседних элементов;
- структура элементов в окрестности, представляющих основное визуальное содержание образца;
- значимость каждого элемента в структуре, представляющей визуальное содержание.

Эксперименты по получению визуального содержания проводились с двумя наборами модельных образцов из [16]:

- первый — несхожие образцы (рис. 6): допускается мгновенное (за время, не превышающее 200 мс) разделение образцов;

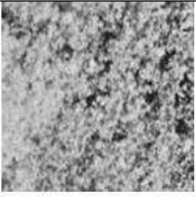
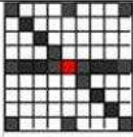
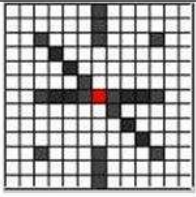

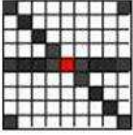
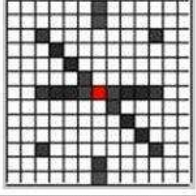
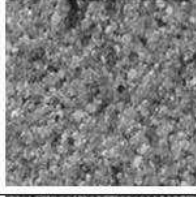
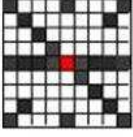
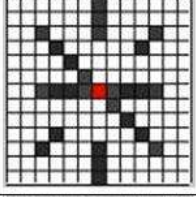
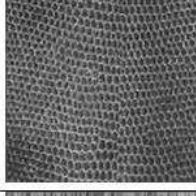
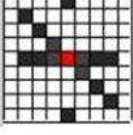
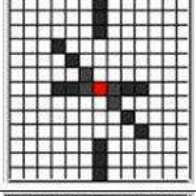
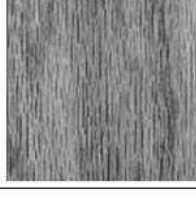
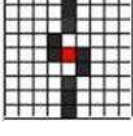
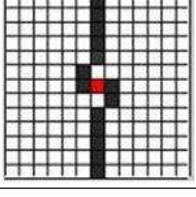
Визуальный образец, № в [13]	Значимая структура в окне поиска 9×9	Значимая структура в окне поиска 13×13
 D100		
 D12		
 D28		
 D3		
 D68		

Рис. 6. Визуально несхожие образцы и соответствующие значимые структуры

• второй — схожие образцы (рис. 7): возможно разделение образцов только после их тщательного сравнения.

На рис. 7 представлены наборы образцов второго типа в соответствии с экспертной классификацией в [17]. На рис. 6, 7 также показаны значимые структуры для различных размеров окрестностей так, что значимость каждого элемента структуры обозначена уровнем серого цвета — чем темнее цвет элемента структуры, тем выше его значимость для представления визуального содержания. Из результатов экспериментов очевидно, что значимые структуры образцов объектов одного класса весьма схожи (класс 1, см. рис. 7) или практически совпадают, если образцы класса схожи по более чем одному критерию визуального сходства. Если образцы внутри класса визуально схожи только по одному критерию (класс 3, см. рис. 7), значимые элементы образцов показывают отличия в расположении окна поиска.

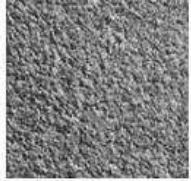
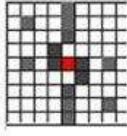
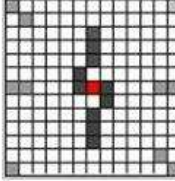
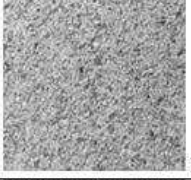
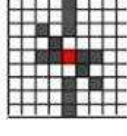
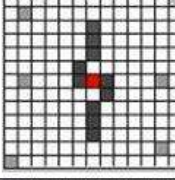
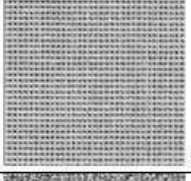
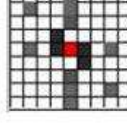
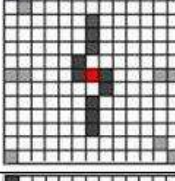
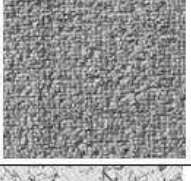
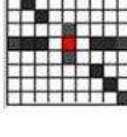
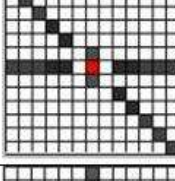

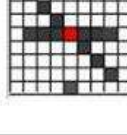
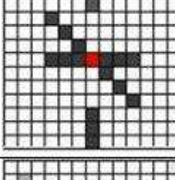
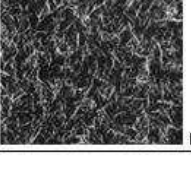
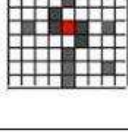
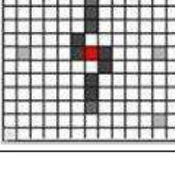
Классы схожих визуальных образцов (№ класса, № в [13])	Значимая структура в окне поиска 9×9	Значимая структура в окне поиска 13×13
 <p>класс 1, D4</p>		
 <p>класс 1, D29</p>		
 <p>класс 2, D21</p>		
 <p>класс 2, D84</p>		
 <p>класс 3, D107</p>		
 <p>класс 3, D108</p>		

Рис. 7. Визуально схожие образцы и соответствующие значимые структуры

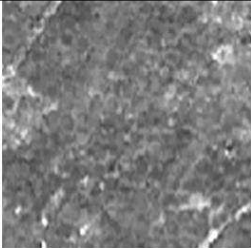
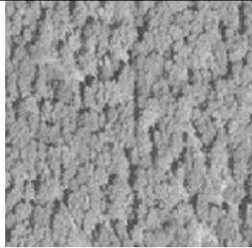
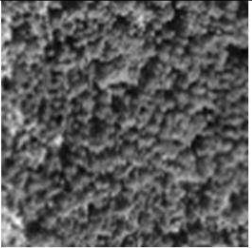
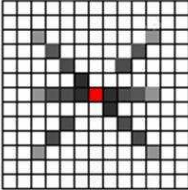
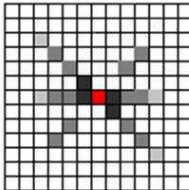
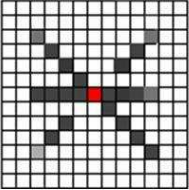
Образцы объекта «хвойный лес»			
Спутник	Landsat	Ikonos	QuickBird
Разрешение (м)	30	1	0,6
Зона спектра (мкм)	0,76 - 0,90	0,445-0,90	0,445-0,90
Структуры, значимые для визуального содержания			

Рис. 8. Образцы объекта “хвойный лес”, полученные с разных спутников, и соответствующие значимые структуры

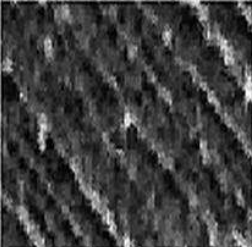
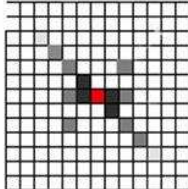
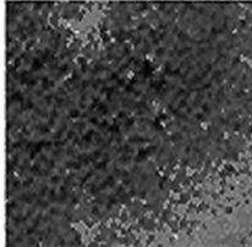
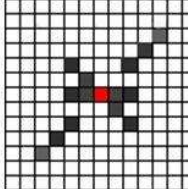
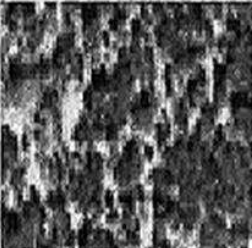
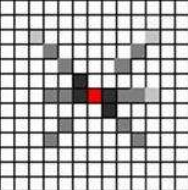
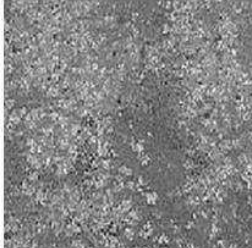
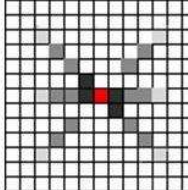
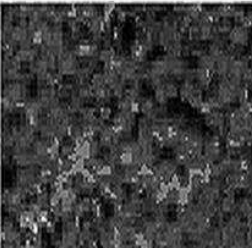
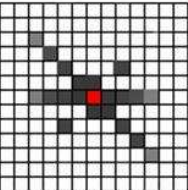

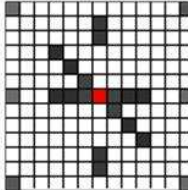
Образцы естественных объектов	Значимые структуры в окне поиска 13 x 13	Образцы естественных объектов	Значимые структуры в окне поиска 13 x 13
 Посадки леса		 Болото	
 Редкий лес с песком		 Зоогенные комплексы	
 Лиственный лес		 Дачный поселок	

Рис. 9. Значимые структуры для образцов естественных объектов, полученных со снимка QuickBird



Установлено, что свойство модели (1), (2) захватывать визуальную информацию в случае, если образцы одного класса сходны более чем по одному критерию, достаточно для того, чтобы эффективно сравнивать естественные природные объекты одного класса, полученные с различным разрешением спутниковой аппаратуры (рис. 8), и разных классов при одном и том же разрешении (рис. 9).

Важным результатом проведенного анализа оказался и тот факт, что пространственное расположение и количественный состав элементов растра, значимых для визуального представления однородного объекта, остаются постоянными даже при больших изменениях уровня детальности снимка.

Таким образом, описанные значимые легко формализуемые структуры являются достаточно надежными элементами содержательного представления объектов земной поверхности, присутствующих как в отдельно взятом изображении, так и в серии снимков разного пространственного разрешения. С их помощью возможно создание модели метаописаний изображений, и результаты такого моделирования могут служить основой для развития нового подхода к сбору, накоплению и использованию космической информации и баз данных космических изображений, основанного на концепции визуальной однородности естественных объектов земной поверхности.

## Список литературы

- [1] CNI White Paper on Networked Information Discovery and Retrieval. <http://www.cni.org/projects/nidr/>
- [2] BRETHERTON F. Metadata from the Perspective of an Environmental Scientist. NSF Invitational Workshop on Distributed Information, Computation, and Process Management for Scientific and Engineering Environments (DICPM), May 15–16, 1998. Hyatt Dulles, Herndon, Virginia. <http://deslab.mit.edu/DesignLab/dicpm/position.html>
- [3] THE Dublin Core Metadata Initiative. <http://dublincore.org/>
- [4] ISO Geographic Information: Metadata. [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=26020](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=26020)
- [5] ГОСТ Р 52573-2006. Географическая информация. Метаданные. <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=128907>
- [6] COLLECTION metadata for ADL gazetteer. [http://collections.alexandria.ucsb.edu/adl\\_gazetteer/metadata.html](http://collections.alexandria.ucsb.edu/adl_gazetteer/metadata.html)
- [7] U.S. Geological Survey. <http://www.usgs.gov/>
- [8] NATIONAL Geospatial-Intelligence Agency. <http://www.nga.mil/>
- [9] EMEJANOV G.V., KRECHETOVA T.V., KURASHOVA E.P. Tree grammars in the problems of searching for images by their verbal descriptions // *Patt. Recognit. and Image Analysis*. 2000. Vol. 10, No. 4. P. 520–526.
- [10] ALEXANDRIA Digital Library. <http://clients.alexandria.ucsb.edu/webclient/index.jsp>
- [11] MANJUNATH B.S., MA W.Y. Texture features for browsing and retrieval of image data // *IEEE Trans. on Patt. Analysis and Machine Intelligence (PAMI — Special Issue on Digital Libraries)*. 1996. Vol. 18, No. 8. P. 837–842.
- [12] KELLY P.M., CANNON T.M. Efficiency issues related to probability density function comparison // *Proc. IS&T/SPIE Symp. on Electronic Imaging*. 1996. Vol. 2670. P. 42–49.

- [13] WANG JAMES Z., LI JIA, WIEDERHOLD GIO. SIMPLIcity: Semantics-sensitive integrated matching for picture libraries // IEEE Trans. on Patt. Analysis and Machine Intelligence. 2001. Vol. 23, No. 9. P. 947–963.
- [14] KOVALEVSKAYA N. Gibbs model of image as a tools for thematic analysis // Patt. Recognit. and Image Analysis. 1999. Vol. 9, No. 2. P. 282–285.
- [15] GIMEL'FARB G. Image Textures and Gibbs Random Fields. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1999. 250 p.
- [16] BRODATZ Texture: A Photographic Album for Artists. and Designers. N.Y.: Dover, 1966.
- [17] MA W., MANJUNATH B. Texture FEATURES AND LEARNING SIMILARity // Proc. IEEE Internat. Conf. on Comput. Vision and Patt. Recognit. San Francisco, 1996. P. 425–430.

*Поступила в редакцию 4 декабря 2008 г.,  
с доработки — 25 февраля 2010 г.*