

УДК 528.8. 04: 551.4

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНЫХ
КОМПЛЕКСОВ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ЗАДАЧ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

А. Д. Федоровский, С. А. Рябоконеко, А. Д. Рябоконеко, Я. В. Пархисенко

Классификация материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляет собой процесс сортировки пикселей в конечное число индивидуальных классов или категорий данных, которая основывается на их значениях в файле данных. Если пиксел удовлетворяет определенному набору условий, он приписывается к классу, который соответствует данному критерию. Данный процесс также называют сегментацией изображений.

В зависимости от типа информации, которую желательно получить из исходных данных, классы могут быть связаны с известными характеристиками земной поверхности или просто могут представлять области, которые "смотрятся различно" на компьютере. Примером классифицированного изображения является карта земельного покрова, отображающая растительность, пустыри, пастбища, городские территории и т.п.

Обычно, алгоритм классификации, при выполнении, располагает набором принимающих значения классов. Такой набор называется схемой классификации (или системой классификации). Цель такой схемы - обеспечить рамочную интегрированную систему организации и категоризации извлекаемой из данных информации. Соответствующая схема классификации включает классы, которые, с одной стороны, важны для исследования, а с другой, заметно отличаются от имеющихся в распоряжении данных.

Классификация ландшафтных комплексов (ЛК) по материалам ДЗЗ подразумевает распознавание природных образований или их индикаторов по тону, цвету, структуре рисунка, его размерам, спектральным характеристикам. Эти внешние характеристики присущи только фотофизиономичным компонентам ландшафта, имеющим непосредственное отражение на снимке, т. е. образующим отличающиеся по оптической плотности изображения благодаря различным спектральным яркостям. В связи с этим только незначительное число природных компонентов может быть дешифрировано по прямым признакам.

Принадлежность ландшафтных комплексов к тому или иному классификационному роду определяется главным образом текстурными чертами рисунка, размерами и конфигурацией контуров. Несмотря на изменчивость тона космического изображения, обусловленную сменой сезонных и погодных состояний ландшафта, особенности рисунка сравнительно долгое время могут сохраняться, отражая горизонтальную внутри ландшафтную дифференциацию природных

элементов. Текстуре ландшафтов, изучаемых по снимкам из космоса, можно дать не только качественную, но и количественную оценку. С этой целью используются разнообразные математико-статистические методы. Ландшафтная индикация позволяет разработать новые дешифровочные показатели, использование которых позволяет автоматизировать процесс дешифрирования ландшафтной информации по материалам космической съемки.

Ниже приведены несколько методик для дешифрирования космических снимков ландшафтных комплексов на основе структурно-текстурного анализа.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ ЛК НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА

Известно, что одним из информативных признаков структурно-текстурных параметров изображений ЛК является их пространственно-частотный спектр (ПЧС) [1]. Изменению яркости и координат точек в плоскости предмета или его изображения в терминах спектрального анализа соответствует изменение амплитуды и фазы по пространственным частотам. Таким образом, изображению ЛК, имеющему определенную структуру, соответствует ПЧС, характеризующийся суммой пространственных составляющих (гармоник) с соответствующими амплитудами и фазовыми сдвигами между этими составляющими. Значения амплитуд определяют вклад соответствующих пространственных частот в формирование изображения, а значения фазовых сдвигов определяют изменение координат отдельных точек в изображении относительно их положения в объекте. Неискаженному изображению соответствует область пространственных частот, в пределах которой характеристика фазового ПЧС равна нулю, т. е. в изображении сохраняются первоначальные координаты различных точек объекта. В качестве ПЧС наиболее часто используются двумерные спектры Фурье. Составляющие ПЧС - $C(n,m)$ вычисляются по методу дискретного двумерного преобразования Фурье в соответствии с выражением [4]:

$$C(n,m) = \frac{1}{A \cdot B} \sum_{x=0}^{A-1} \sum_{y=0}^{B-1} L(x,y) \cdot \exp \left(-j \left[\left(nx / A \right) + \left(my / B \right) \right] \right) \quad (1)$$

где: n, m - номера пространственных гармоник по осям X, Y ; x, y - номера пикселей в пределах выделенного фрагмента по осям X, Y ; $L(x,y)$ - распределение яркости в изображении; A, B - количество отсчетов по осям X, Y .

Предлагаемый подход был апробирован при анализе доминирующих направлений рукавов устьев рек, геологических разломных структур и лесопосадок. На рис. 1а изображен космический снимок участка устья Днепра, а на рис. 1б график азимутального распределения ПЧС изображения.

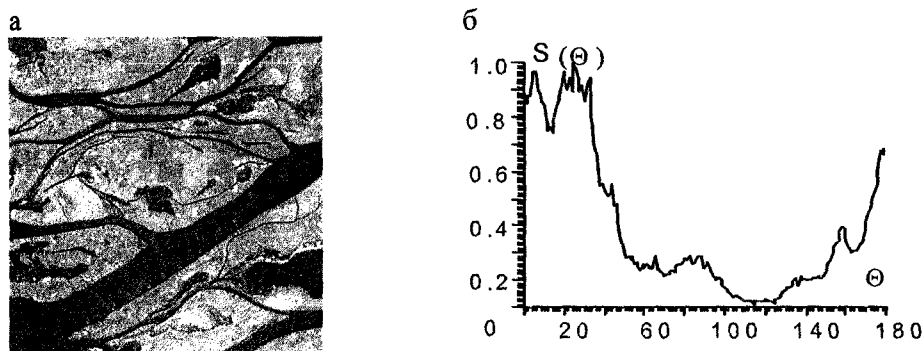


Рис. 1. Определение преимущественного направления водных потоков:
 а - фрагмент космического снимка участка устья реки Днепр,
 б график азимутального распределения ПЧС изображения

КЛАССИФИКАЦИЯ ЛК НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

На основе понятия фрактала (изломанный объект с дробной размерностью) и его приложения к описанию различных объектов рассмотрим возможность построения моделей классов случайных структур ЛК. В качестве объекта фрактального описания берется квадратный участок снимка $a \times a$ пикселей, который преобразуется в двумерный массив яркостей. Для этого массива производится построение фрактального образа трехмерного объекта в соответствии с выражениями (4) в виде параметров фрактального преобразования F_{ij} , $\forall i \in \overline{0, m} \quad \forall j \in \overline{1, N_1}$, где i - порядковый номер ПФП, j - номер значения параметра, $m = (a - 1)^2$ $a_{ij}^p, d_{ij}^p, k_{ij}^p, l_{ij}^p, m_{ij}^p, e_{ij}^p, f_{ij}^p, g_{ij}^p$. Значения ПФП предлагается использовать в качестве модели изображений ЛК.

$$\begin{aligned}
 a_{ij}^u &= \frac{x_{i+1} - x_i}{x_n - x_0}, & d_{ij}^u &= \frac{y_{j+1} - y_j}{y_m - y_0}, & (4) \\
 k_{ij}^u &= \frac{F_{i+1,j} - F_{ij}}{x_n - x_0} - m_{ij}^u \frac{F_{n0} - F_{00}}{x_n - x_0}, \\
 l_{ij}^u &= \frac{F_{ij+1} - F_{ij}}{y_m - y_0} - m_{ij}^u \frac{F_{0n} - F_{00}}{y_m - y_0},
 \end{aligned}$$

$$m_{ij}^u = \left[F_{ij} + x_0 \frac{F_{n0} - F_{00}}{x_n - x_0} + y_0 \frac{F_{0n} - F_{00}}{y_m - y_0} \right],$$

$$e_{ij}^u = x_i \frac{x_n}{x_n - x_0} - x_{i+1} \frac{x_n}{x_n - x_0},$$

$$f_{ij}^u = y_j \frac{y_m}{y_m - y_0} - y_{j+1} \frac{y_m}{y_m - y_0},$$

$$g_{ij}^u = F_{ij} - y_0 \frac{F_{ij+1} - F_{ij}}{y_m - y_0} - x_0 \frac{F_{i+1j} - F_{ij}}{x_n - x_0}.$$

Проверка возможности дешифрирования ЛК производилась экспериментальным путем. Для проведения эксперимента было разработано программное обеспечение, позволяющее работать с космическими снимками, получать из выбранных на снимке окон анализа яркости пикселей изображения, выполнять для них фрактальные преобразования, а также выполнять обработку и сравнение фрактальных моделей для разных ЛК.

Качество модели ЛК для задачи дешифрирования зависит от размера участка анализа в пределах исследуемого ЛК, но с увеличением участка возрастают требования к вычислительным ресурсам. Определение оптимального значения a производилось путем последовательного увеличения участка анализа. На космическом снимке выбирались квадратные участки анализа размера 4×4 , 6×6 и 8×8 пикселей в пределах анализируемых ЛК. По участкам определялись эталонные усредненные ПФП \bar{T}_{ij}^l . Отдельные участки использовались для создания контрольных ПФП T_{ij}^k ($\forall l, k \in 1, 2, \dots$ и являются номерами ЛК). Оценка параметров фрактальных моделей производилось на основе разностей значений параметров отдельных контрольных участков и усредненных эталонных значений в соответствии с выражением

$$\Sigma_i^{kl} = \sum_{j=0}^{m-1} (T_{ij}^k - \bar{T}_{ij}^l)^2 \quad (5)$$

и фрактальной модели в целом

$$\Sigma^{kl} = \sum_{i=1}^{N_l} \Sigma_i^{kl} \quad (6)$$

В качестве критерия оценки фрактальной модели для дешифрирования ЛК использовалось отношение значений (6), вычисленных для контрольного участка, не принадлежащего эталонному ЛК Σ^{kl} но принадлежащего - Σ^{ll}

$$\mu^{kl} = \frac{\Sigma^{kl}}{\Sigma^{ll}} \quad (7)$$

Если $\mu^{kl} \geq M^{kl} \cdot \mu^{ll}$ для $\forall l, k \in 1, 2, \dots$, (M^{kl} - пороговые значения, определяемые в процессе набора статистики по КС), то ПФП могут быть использованы для дешифрирования ЛК, а если $\mu^{kl} < M^{kl} \cdot \mu^{ll}$, то дешифрирование ЛК невозможно. С использованием критерия (7) в результате проведенного эксперимента было выбрано оптимальное в рамках обработанных КС значение стороны квадрата анализа $a = 8$. Некоторые результаты эксперимента по космическому снимку КС Житомирской области, сделанному с помощью спутника SPOT 30.04.1995 в диапазонах - 1 ~ 500 нм-590 нм, 2 ~ 610 нм-680 нм, 3 ~ 790 нм-890 нм приведены ниже. На снимке для эксперимента были выбраны три ЛК: лес, сельхозугодья и городская застройка и вычислены эталонные ПФП: для леса $\overline{T_{ij}^1}$, для сельхозугодий $\overline{T_{ij}^2}$ и для городской застройки $\overline{T_{ij}^3}$ ($\forall i \in \overline{0, N} \quad \forall j \in \overline{0, m}; N = 12 \quad m = 48$). Затем вычислялись ПФП для контрольных участков $T_{ij}^1, T_{ij}^2, T_{ij}^3$ и на основании полученных данных определялись Σ^{kl} в соответствии с (5). Полученные данные показывают, что трех слоев снимка суммы квадратов разностей ПФП (5) для контрольного участка и эталонных значений леса Σ_i^{11} значительно меньше сумм для контрольного участка сельхозугодий и эталонных значений леса Σ_i^{21} , а также городской застройки и эталонных значений леса Σ_i^{31} . Последнее показывает целесообразность использования параметров фрактального преобразования для дешифрирования ЛК.

Литература

1. Янутш Д. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М: "Недра", 1991. 240 с.
2. Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: "Мысль", 1986. 180с.
3. Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Издательство Моск. ун-та, 1979. 160 с.
4. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М, 1978. 848 с.
5. Бондаренко В.А., Дольников В.М. Фрактальное сжатие изображений по Барнсли – Слоану // АиТ, 1994. № 5. С. 12 – 19.
6. Кроновер Р. Фракталы и теория хаоса в динамических системах. М.: Издательство Постмаркет, 2000. 350 с.

Статья поступила в редакцию 14 мая 2003 г.