

УДК. 553.911.98

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

С.А. Рябоконеко

Космическое ландшафтоведение является одним из научных направлений, активно способствующих исследованию и решению различных природоохранных задач [7]. Исследуются различные информативные признаки ландшафтных структур, разрабатываются новые методы дешифрирования, определяются критерии оценки космических изображений природных ландшафтов (ПЛ) и т. д. В качестве информативных признаков широко используются такие оптические характеристики как спектры отражения и собственного излучения, коэффициент спектральной яркости и их производные [4].

Однако использование оптических признаков в виде отдельных спектральных диапазонов и разработанных на их основе критериев, в том числе регрессионных параметрических и непараметрических алгоритмов, не всегда дает положительные результаты. Это обусловлено тем, что перечисленные признаки не являются универсальными, а специфичны для конкретных ландшафтных структур, времени года, вегетационного периода и привязаны к географическому месту [1].

В отличие от методов, использующих для исследования геоэкологических характеристик ПЛ в качестве информативных признаков непосредственно оптические спектральные параметры, существует принципиально другой подход к распознаванию и классификации ПЛ. В основу последнего положен ландшафтно-системный метод [2, 4]. Суть его заключается в анализе ландшафтного комплекса как сложной системы - природной среды в целом на различных уровнях абстрактного описания с учетом иерархии подсистем - ландшафтных структур, их приоритетов в природной системе и формировании обобщенного критерия классификации ПЛ по типам. При морфолого-генетическом принципе классификации ПЛ обладают всеми чертами, присущими иерархическим системам. Здесь понятиями более низкого таксонометрического ранга выступают: местности, урочища, для урочищ - фации, для фаций - парцеллы [3]. По совокупности признаков, которые уверенно дешифрируются на аэрокосмических снимках, выделяются ландшафтные комплексы, которые классифицируются по типам. В свою очередь известно, что тип ПЛ с достаточной степенью достоверности определяет основные геоэкологические характеристики исследуемых регионов и на этой основе косвенными методами обнаруживаются те геоэкологические явления, которые не поддаются прямому дешифрированию [3, 4].

Для ландшафтных комплексов суши это уровень грунтовых вод, зоны интенсивного накопления загрязнений, участки возможного подтопления [5]. Для аквально-наземных ландшафтов (АНЛ) - гидрохимический и качественный состав водной среды, биопродуктивность, состояние нерестилищ и др. [7].

По совокупности перечисленных характеристик, полученных в результате дешифрирования космических изображений и заверенных наземными измерениями, производится классификация выделенных на снимке АНЛ по типам.

Рассмотрим принцип применения ландшафтно-системного метода на примере классификации АНЛ по распределению на его площади водных растительных ассоциаций. Представим исследуемый АНЛ* (например, участок устья реки) как природную систему A^* с совокупностью входящих в нее n подсистем нижнего уровня (ассоциациями растений) в виде:

$$A^* = [a_1(s_1)^*, a_2(s_2)^*, \dots, a_i(s_i)^*, \dots, a_n(s_n)^*], \quad (1)$$

где $a_i(s_i)^*$ - вид подсистемы (ассоциации растений - a_i^*) с ее текущим параметром s_i^* (площадь, занимаемая ассоциацией растений в системе A^*).

Обозначим содержащиеся в базе данных типы АНЛ_j - A_j , где $j = 1, 2 \dots k$; k - общее количество АНЛ_j в базе данных.

Особенностью ПЛ является то, что в естественных условиях под действием различных факторов их структурный состав непрерывно изменяется, что приводит к переходу одного типа ПЛ в другой. В связи с этим точное совпадение параметров исследуемого в естественных условиях АНЛ* с эталонными типами АНЛ_j мало вероятно. Переменное состояние АНЛ* учитывается путем установления в базе данных границ диапазонов параметров подсистем. В этом случае нижняя граница параметра s_i подсистемы a_i - $\underline{s}_i(a_i, A_j)$ и верхняя граница - $\bar{s}_i(a_i, A_j)$. Для подсистем, отсутствующих в A_j , значения границ диапазона устанавливаются равными нулю.

Для поиска оптимального решения (определения типа АНЛ_j) целесообразно использовать метод теории нечетких множеств, который позволяет заменить точную принадлежность исследуемого участка к какому-либо типу АНЛ_j на непрерывную функцию принадлежности, определяющую степень соответствия исследуемого АНЛ* каждому типу АНЛ_j. Отнесение АНЛ* к конкретному типу производится по максимальному значению функции принадлежности. При проведении классификации АНЛ* задача решается в два этапа. На первом этапе определяется соответствие ассоциаций растений $a_i(s_i)^*$, произрастающих на исследуемом участке A^* , видовому составу ассоциаций растительности $a_i(s_i)$ в базе данных для всех АНЛ_j (A_j).

На основе теории нечетких множеств функция соответствия $f(a_i^*, A_j)$ подсистемы $a_i(s_i)^*$ для системы A_j определяется по формуле:

$$f(a_i^*, A_j) = \rho_i(a_i, A_j) [\varphi(a_i^*, A_j) - \Delta S_j(a_i^*)/100], \quad (2)$$

где $\Delta S_j(a_i^*)$ - функция штрафа за несоответствие значения параметра s_i^* подсистемы a_i^* в системе A^* диапазону значений в базе данных соответствующего параметра s_i подсистемы $a_i(s_i)$ в системе A_j ;

$$\Delta S_j(a_i^*) = \begin{cases} \underline{s}(a_i, A_j) - s_i^*, & \text{при } s_i^* < \underline{s}(a_i, A_j), \\ 0 & \text{при } \underline{s}(a_i, A_j) = s_i^* = \bar{s}(a_i, A_j), \\ s_i^* - \bar{s}(a_i, A_j) & \text{при } s_i^* > \bar{s}(a_i, A_j), \\ s_i^* & \text{при } \underline{s}(a_i, A_j) = \bar{s}(a_i, A_j) = 0, \end{cases}$$

$\varphi(a_i^*, A_j) = 1$, если подсистема $a_i(s_i)^*$ присутствует в A_j , и в случае отсутствия таковой - $\varphi(a_i^*, A_j) = 0$; $\rho_i(a_i, A_j)$ - весовой коэффициент ассоциации a_i в A_j .

На втором этапе решается задача классификации исследуемого участка A^* (АНЛ *) как задача многокритериальной оптимизации в пространстве n критериев [16], каждый из которых является функцией соответствия $f(a_i^*, A_j)$ ассоциации $a_i(s_j)^*$ каждому типу АНЛ $_j$.

Решением исходной задачи многокритериальной оптимизации будет тип АНЛ $_j^*$, для которого обобщенный критерий оптимальности или функция принадлежности $f(A, A_j^*)$ достигает наибольшего значения:

$$f(A, A_j^*) = \sum_{i=1}^n \rho_i^* f(a_i^*, A_j) - \sum \rho_i \xi_i(a_i, A_j)/100, \quad (3)$$

$$a_i^*(A^*) \notin A, a_i(A) \notin A^*,$$

где ρ_i^* - весовой коэффициент ассоциации a_i^* на участке A^* (АНЛ *).

В формулах (2) и (3) весовые коэффициенты отражают приоритеты подсистем в зависимости от их роли в системе.

Первое слагаемое выражения (3) представляет собой характеристическую функцию принадлежности исследуемого участка A^* определенному типу АНЛ $_j$. Когда распределение площадей, занятых ассоциациями $a_i(s_j)^*$ на участке A^* , совпадает с распределением площадей соответствующих ассоциаций $a_i(s_j)$ в A_j , то слагаемое $\sum \rho_i^* f(a_i^*, A_j)$ равно единице. Чем больше различия в распределении площадей ассоциаций, тем меньше значение первого слагаемого в формуле (3). Если в A_j не присутствует ни одной подсистемы $a_i(s_j)^*$, характеристическая функция $\sum \rho_i^* f(a_i^*, A_j)$ равна нулю. Второе слагаемое выражения (3) является функцией штрафа за то, что в системе A_j присутствуют подсистемы, не принадлежащие исследуемой системе A^* . Функция штрафа равна нулю, если в A_j присутствуют только те подсистемы, которые есть в A^* , и возрастает с увеличением количества и "веса" несовпадающих подсистем.

При ландшафтно-системном методе исследования изображений ПЛ важное значение приобретает распознавание структуры и текстуры элементов ПЛ. Уже в ранних работах по дешифрированию аэрокосмических изображений ПЛ наряду с оптическими спектральными признаками была показана значимость плановой структуры и текстуры изображений ПЛ [1, 4, 6]. В том числе размеров и формы контуров элементов ПЛ, их ориентации и взаимного расположения в изображении, а также их производных характеристик - пространственных спектров, гистограмм распределения, матриц смежности и др. [2].

Одними из наиболее информативных признаков пространственной структуры ПЛ являются пространственно-частотные спектры, которые позволяют уменьшить объем информации и в сжатой форме описать структурные особенности того или иного фрагмента изображения.

Под пространственно-частотным анализом в данном случае понимается представление двумерного распределения плотности фототона исследуемого фрагмента снимка в виде набора соответствующих пространственных гармоник, называемого пространственно - частотным спектром (ПЧС) [5].

Пространственными частотами N_x и N_y являются величины, обратные периоду T_x и T_y пространственных гармоник ($N_x=1/T_x$, $N_y=1/T_y$). Переход от пространственного распределения плотности фототона к распределению по пространственным частотам осуществляется с помощью преобразований Фурье.

Известны работы по исследованию ПЧС природных объектов, которые проводились на основе оптического когерентного спектрального анализа. Так, например, в работе [2] рассматривается структурно-зональный анализ (СЗА) как метод дешифрирования на космических снимках изображений геологических и других объектов. Идея СЗА состоит в преобразовании изображений и получении количественной оценки ПЧС по частотным и азимутальным зонам путем оптической фильтрации наиболее информативных признаков, характеризующих пространственную структуру изображения.

Проведенные исследования показали реальную возможность использования ПЧС, особенно при частичной автоматизации процесса дешифрирования изображений ПЛ. Наиболее эффективны комплексные методы, позволяющие реализовать все доступные информационные характеристики, т.е. оптические спектральные признаки необходимо анализировать в совокупности с ПЧС признаками изображений зондируемых природных объектов [3, 5].

Распознавание ландшафтных структур во многом зависит от качества изображений, которое непосредственно связано с параметрами космических снимков. При дешифрировании последних должна обеспечиваться максимальная вероятность обнаружения морфологических признаков ландшафтных структур, совокупность которых позволит распознать элементы ландшафта, а затем с учетом наземных наблюдений определить тип ПЛ и оценить его параметры.

Литература

1. Викторов А. С. Рисунок ландшафта. М. "Мысль", 1986. 178с.
2. Лялько В.И., Вульфсон Л.Д., Жарый В.Ю. и др. Аэрокосмические методы в геоэкологии. Киев, Наукова думка, 1992. 206с.
3. Лялько В.І., Маринич О.М., Федоровський О.Д. Аерокосмічні дослідження ландшафтних комплексів України. // Укр. Географ. Журнал, 1994. №4. С. 3-8.
4. Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. Основы ландшафтного анализа. М. "Наука", 1988. 189с.
5. Федоровский А.Д., Гриневецкий В. Т., Костюченко Ю. В., Кувшинов А. Ю. Ландшафтоведческий подход при дешифрировании космических снимков.// Космічна наука і технологія, 1998. Т. 4, №1.- С. 39-45.
6. Федоровский Ф. Д., Суханов К. Ю., Якимчук В.Г. К вопросу оценки космических снимков для дешифрирования природных ландшафтов // Космічна наука і технологія, 1999. Т. 5, №1/2.
7. Янутш Д. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М: "Недра", 1991. 240 с.

Статья поступила в редакцию 14 мая 2003 г.