

**УДК. 553.911.98.**

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

***С.А. Рябоконенко***

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.

Известно, что для определения по космическим снимкам экологического состояния различных ПЛ 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, уроцища, для уроцищ - 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 процессы и 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,

характеристики подстилающих грунтов 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<sub>j</sub> -  $A_j$ , где  $j = 1, 2 \dots k$ ;  $k$  - общее количество АНЛ<sub>j</sub> 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<sub>j</sub> 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 -  $\overline{s}_i(a_i, A_j)$ . Для подсистем, отсутствующих в  $A_j$ , значения границ диапазона устанавливаются равными нулю. Для поиска оптимального решения (определения типа АНЛ<sub>j</sub>) целесообразно использовать метод теории нечетких множеств, который позволяет заменить точную принадлежность исследуемого участка к какому-либо типу АНЛ<sub>j</sub> на непрерывную функцию принадлежности, определяющую степень соответствия исследуемого АНЛ\* каждому типу АНЛ<sub>j</sub>. 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<sub>j</sub> ( $A_j$ ).

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  $A_j$ ;

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

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

$\varphi(a_i^*, A_j) = 1$ , 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  $a_i(s_i)^*$  каждому типу АНЛ<sub>j</sub>.

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

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

$$\begin{aligned} a_i^*(A^*) &\notin A \\ a_i(A) &\notin A^* \end{aligned}$$

где  $\rho_i^*$  - 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<sub>j</sub>. Когда распределение площадей, занятых ассоциациями  $a_i(s_i)^*$  на участке  $A^*$ , совпадает с распределением площадей соответствующих ассоциаций  $a_i(s_i)$  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  $a_i(s_i)^*$ , 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]. Существующие компьютерные методики обработки изображений используют различные способы "улучшения" их качества в надежде на то, что человек сможет увидеть пространственную мозаику,

которую образуют природные объекты. 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 двухмерного распределения плотности фототона исследуемого фрагмента снимка в виде набора соответствующих пространственных гармоник, называемого пространственно - частотным спектром (ПЧС). Известно, что под пространственным гармоническим распределением яркости в теории построения изображений понимают распределение яркости в плоскости изображения по синусоидальному закону [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. При этом значения амплитуды гармонических составляющих определяют соответствующими коэффициентами Фурье-спектров.

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 геоэкологические параметры.

#### **Список литературы**

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. Ландшафтovedческий 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. Януш Д. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М: "Недра". 1991. 240 с.

### **С. А. РЯБОКОНЕНКО СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЛАНДШАФТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ**

**Аннотация:** Рассматриваются методические вопросы дешифрирования космических снимков природных ландшафтов на основе ландшафтно – системного подхода и комплексного использования оптических спектральных и пространственных признаков для оценки основных геоэкологических характеристик исследуемых регионов. Изложен принцип применения ландшафтно-системного метода на примере классификации аквально- наземных ландшафтов (АНЛ).

**Ключевые слова:** системный подход, дистанционные методы, ландшафтные комплексы, классификация.

Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев

### **S.A. RYABOKONENKO INTEGRATED APPROACH TO STUDYING LANDSCAPE COMPLEXES USING REMOTE SENSING METHODS**

**Summary:** The issues of decoding satellite images of natural landscapes, based on the landscape-system approach and an integrated use of spectral and spatial characteristics for the assessment of the main geo-environmental characteristics of the study regions are considered in the article. The principle of landscape-system method, using the example of the aquatic-land landscapes classification, is described.

**Keywords:** Remote Sensing methods, landscape complexes, classification, system approach.  
Center of space researches of the Earth of Institute of geological sciences NAS of Ukraine, Kiev

### **С. О. РЯБОКОНЕНКО СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ПРИ ВІВЧЕНІ ЛАНДШАФТНИХ КОМПЛЕКСІВ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ**

**Анотація:** Розглядаються методичні питання дешифрування космічних знімків природних ландшафтів на основі ландшафтно - системного підходу та комплексного використання оптических спектральних і просторових ознак для оцінки основних геоекологічних характеристик досліджуваних регіонів. Викладено принцип застосування ландшафтно-системного методу на прикладі класифікації аквально- наземних ландшафтів (АНЛ).

**Ключові слова:** Системний підхід, дистанційні методи, ландшафтні комплекси, класифікація.

Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Рябоконенко Сергей Александрович, Центр аэрокосмических исследований Земли  
Института геологических наук НАН Украины, Киев, инженер, тел.( 044) 2166370