

Р. М. РУДЫЙ

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ФОРМ РЕЛЬЕФА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Формы рельефа можно разделить на сравнительно небольшое количество групп с выявлением существенных связей между ними методами кластерного анализа. Вопросам кластер-анализа, распознавания и классификации образов в настоящее время посвящено большое количество публикаций, например [1, 4, 5]. Однако эти работы касаются исследования объектов, весьма далеких от

топографии. В одной из первых публикаций, посвященных кластеризации рельефа [6], приведены результаты кластеризации отметок рельефа по их величине на четыре группы, а также разделенные южных и северных склонов местности. О важности этой работы свидетельствует тот факт, что она переведена и в сокращенном виде издана на русском языке [2].

Под классом понимаем участки рельефа земной поверхности,

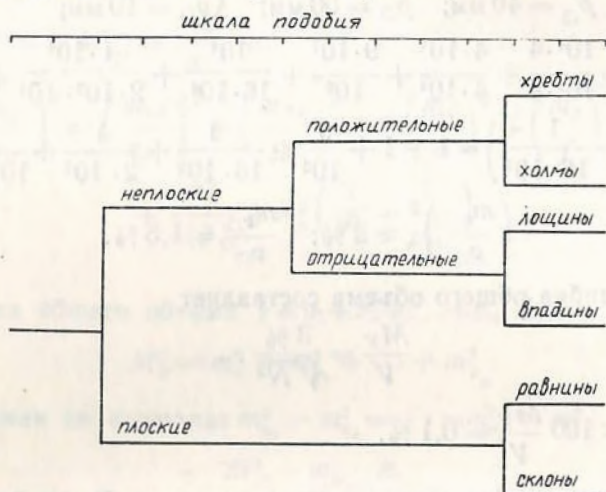


Рис. 1. Дендрограмма иерархической группировки форм рельефа.

обладающие некоторыми общими свойствами, т. е. такие отдельные формы рельефа, как холм, впадина, хребет и т. д. Образом в данном случае считаем описание такого участка как представителя соответствующего класса. Кластеризацией же считаем группирование образов по их близости на данном иерархическом уровне.

Группировки форм рельефа по иерархическому принципу, не учитывая их размеров, можно представить в виде дендрограммы (рис. 1). На ней не указаны составные формы и не сделана группировка образов по ориентированию их относительно геодезических координат.

Иерархические процедуры группировки разделяют на агломеративные и делимые [4]. Первые из них начинаются из одной группы и образуют последовательность объединяющихся групп, а вторые образуют последовательность расщепляющихся групп. В нашей задаче можно использовать обе процедуры. Расстояния между группами на любом уровне подобия допустимо взять те же, что используются для их разделения, например, евклидово расстояние между векторами признаков, характеризующих соответствующие образы. Следовательно, кластеризация форм рельефа будет состоять в разработке процедур, используемых для группировки форм земной поверхности, обладающих общими свойствами.

Экспериментальные исследования вели на том же участке рельефа, который использовался в [3]. В каждом окне размером 40×40 м построен образ, состоящий из восьмимерного вектора признаков. В качестве признаков использовали уклоны из центральной точки окна на его крайние точки, т. е. уклоны по радиус-векторам через каждые 45° .

Цифровая модель рельефа участка преобразована ЭВМ в трехмерный массив $P(i, j, k)$, где i, j — плоские координаты центральной точки каждого образа; k — вектор признаков, характеризующих образ с центром i, j .

Сущность эксперимента заключалась в группировании образов возле центра кластера, представляющего хребет, ложину, холм. Эталоны или центрами кластеров взяты образы z_1, z_2, z_3 , изображенные в окнах с центрами, показанными на рис. 2.

Используя массив P , на следующем этапе получили кластеры, образованные для различных центров или эталонов по принципу минимума евклидового расстояния — D_i между образом, представляющим центр кластера z_0 и всеми остальными образами — x_i :

$$D_i = \|x_i - z_0\|.$$

Таблица 1

Евклидовы расстояния для кластеризации форм рельефа с центром $P(15,11)$ (л — ложина)

i/j	3	5	7	9	11	13	15
3	2,4	1,9/л	1,8/л	2,2	3,1	3,3	2,9
5	2,8	2,6	2,2	1,7/л	2,4	2,7	2,4
7	3,0	2,9	2,8	2,5	1,9/л	1,9/л	2,2
9	1,4/л	1,1/л	1,1/л	1,6/л	2,3	2,6	3,2
11	4,5	5,0	5,0	4,1	3,5	2,6	2,1
13	1,4/л	1,9/л	2,8	3,1	3,4	3,3	2,6
15	2,1	1,8/л	1,1/л	0,8/л	0,0/л	1,1/л	1,6/л
17	3,4	3,7	3,8	3,9	3,4	2,4	1,7/л
19	2,9	3,1	3,0	3,9	4,3	3,4	3,0
21	2,0/л	2,0/л	2,5	2,4	4,4	4,4	3,5
23	2,2	1,6/л	1,4/л	2,2	3,4	3,6	2,6

Таблица 2

Евклидовы расстояния для кластеризации форм рельефа с центром $P(11,3)$ (х — хребет)

i/j	3	5	7	9	11	13	15
3	2,6	3,0	3,1	3,3	2,6	2,0	2,1
5	2,0	2,2	2,4	3,2	2,9	2,6	2,7
7	1,8/х	1,9/х	1,9/х	2,3	2,9	2,8	2,5
9	3,8	4,7	3,9	3,1	2,4	2,1	1,6
11	0,0/х	0,9/х	1,2/х	1,1/х	1,5/х	2,3	2,8
13	4,0	3,6	3,0	2,9	2,3	1,9/х	2,4
15	3,2	3,7	4,6	4,9	4,5	3,4	3,1
17	1,8/х	2,0	2,5	3,2	3,6	3,6	3,5
19	1,7/х	1,5/х	1,7/х	1,6/х	2,4	3,1	2,6
21	2,6	2,6	2,4	3,3	1,6/х	1,4/х	2,0
23	2,6	3,2	3,2	2,9	2,4	2,3	2,9

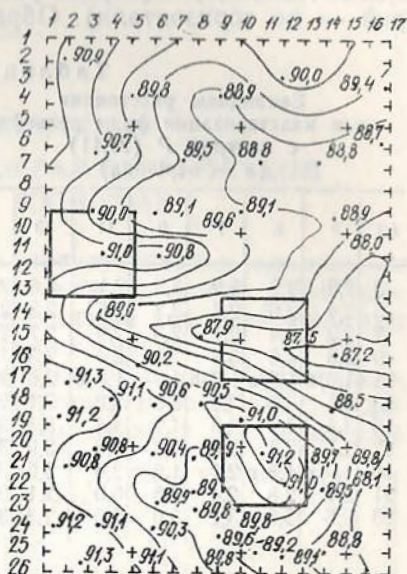


Рис. 2. Топографический план участка местности с центрами кластеров

В приведенных табл. 1 и 2 даны расстояния D_i , по которым формируются соответствующие кластеры. Анализируя данные, представленные в табл. 1, 2 и рис. 2, видно, что кластеризация форм рельефа по выбранному эталону имеет место во всех трех случаях.

В табл. 1, судя по минимальным D_i , к лощине, взятой эталоном, весьма близка лощина, проходящая через точки с координатами 9; 3,9; 5,9; 7 (первой указана координата по вертикали, второй — по горизонтали). Образ, взятый эталоном, представляет собой середину лощины, поэтому в табл. 1 отмечено, что лощиной являются и смежные образы. Кроме упомянутых двух лощин, выделились еще две лощины: одна — в верхней части участка и другая — в нижней части. Однако лощина в верхней части участка не очень похожа на лощину-эталон, так как евклидово расстояние составляет 1,8... 1,9, т. е. больше соответствующих расстояний в других лощинах.

Таблица 3
Евклидовы расстояния
для кластеризации форм рельефа
с центром P (21,11)
(в — вершина)

i/j	3	5	7	9	11	13	15
3	2,8	3,2	3,2	3,3	2,1	1,6	2,2
5	2,4	2,6	2,7	3,3	2,6	2,3	2,6
7	2,2	2,4	2,1	2,3	2,9	2,7	2,4
9	3,8	4,6	3,8	3,1	2,4	2,3	1,7/в
11	1,6/в	1,8/в	1,8/в	1,9/в	1,9/в	2,6	2,9
13	4,1	3,6	3,0	3,0	2,2	2,1	2,7
15	3,4	3,7	4,6	4,9	4,4	3,3	3,1
17	2,1	2,4	3,0	3,3	3,8	3,9	3,6
19	1,9/в	1,8/в	2,1	1,6	2,4	3,6	3,1
21	2,7	2,8	2,4	3,3	0,0	2,1	2,9
23	2,6	3,3	3,2	3,0	2,0	2,3	3,3

Наиболее удаленными к принятому эталону будут хребты. Они являются теми образами, к которым евклидово расстояние больше трех. Например,

образы, в которых центры расположены в точках 11; 3,11; 5,11; 7,11; 9.

В табл. 2 приведены евклидовы расстояния от образа, представляющего хребет, до остальных образов. Данные этой таблицы — почти полная противоположность данным, приведенным в табл. 1. На участке кластеризовались три хребта, проходящих в горизонтальном направлении. Их противоположностью являются лощины, для которых D_i больше 4.

В табл. 3 приведены D_i от эталона, представляющего вершину, холм. Отметим, что на анализируемом участке (см. рис. 2), кроме эталона, больше холмов нет. Наиболее близкими к вершине-эталону являются другие возвышенности, например хребты. Однако евклидовы расстояния в этом случае 1,6—1,9, т. е. значительно больше, чем при кластеризации этих же образов, когда центром кластера был принят хребет.

В заключение отметим, что выполненные исследования показали возможность кластеризации определенных форм рельефа местности. В экспериментах не учитывалась ориентировка образов относительно осей координат, однако она не может представлять принципиальных трудностей, а только усложнит процесс программирования.

1. *Дида Р., Харт П.* Распознавание образов и анализ сцен. М., 1976. 8. *Маркус Б., Молнар Т.* Выявление характерных особенностей рельефа с применением ЭВМ // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1985. № 6. С. 57—64. 3. *Рудый Р. М.* Распознавание образов локальных участков земной поверхности // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1987. Вып. 46. С. 127—131. 4. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов. М., 1978. 5. *Фу К.* Последовательные методы в распознавании образов и обучении машин. М., 1971. 6. *Markus B., Molnar T.* A domborzat jellegzetességeinek feltárása számítógéppel // Geod. es kartogr. 1983. V. 35. N 4. P. 279—283.

Статья поступила в редколлегию 28. 05. 86