

ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЛИНИЙ РЕЛЬЕФА АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Разработка автоматических методов картографирования тесно связана с различными способами представления рельефа, с созданием структурной модели, опирающейся на структурные линии, являющиеся границей количественного изменения закона интерполяции высот. Так как структурные линии указывают границы реально существующих изменений топографической поверхности и при вычерчивании рельефа используются в качестве линий ограничения для действия заданной математической зависимости, то они играют весьма важную роль в отображении морфометрических и морфологических характеристик рельефа автоматическими методами [3, 5].

Информацией для создания структурно-аналитической модели рельефа служат данные, полученные в результате обработки аэрофотосъемочных материалов или в результате наземных топографо-геодезических измерений, а также съемки шельфа.

Возникает задача выделения структурных линий из массива произвольно набранной информации, характеризующей исследуе-

мую поверхность. Кроме повышения качества отображения поверхности, решение поставленной задачи позволит сократить вводимое в ЭВМ количество точек, входящих в информационный массив модели рельефа, так как после выделения структурных линий количество точек внутри каждой замкнутой области может быть сокращено и не включаться в дальнейшую обработку. Важное значение имеет решение поставленной задачи при съемке шельфа, поскольку полученные данные о рельефе дна с помощью

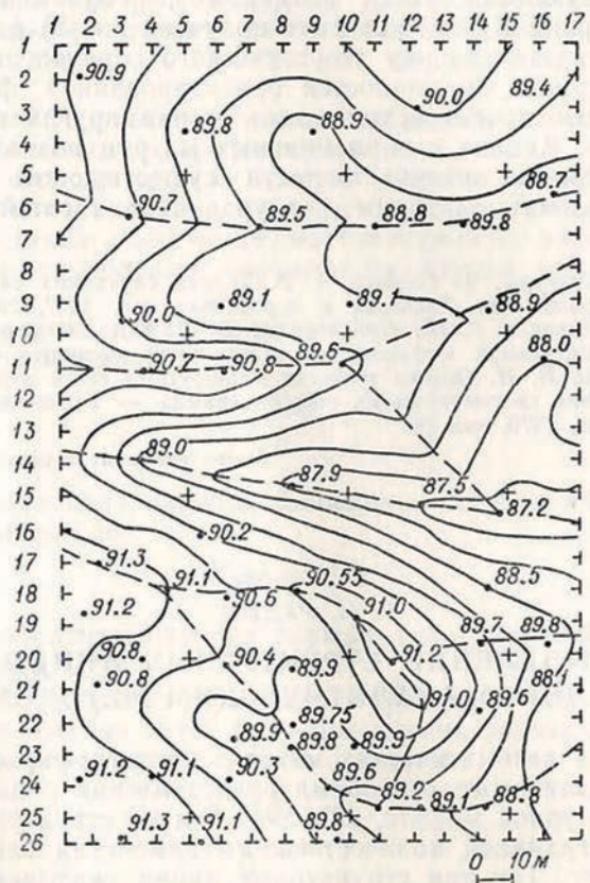


Рис. 1. Изображение рельефа со структурными линиями, выделенными визуально.
— горизontали, — структурные линии.

эхолотов не позволяют наметить визуально положение структурных линий.

В данной статье показана возможность аналитического выделения структурных линий как границ изменения рельефа. Пусть на первом этапе в обработку включено избыточное количество точек, расположенных в плане на пересечениях прямоугольной сетки. Таким образом, информация о поверхности задана матрицей отметок $B(i, j)$, где i, j — соответственно количество строк и

столбцов. Рельеф местности представлен как функция двух переменных

$$z = f(x, y). \quad (1)$$

Для $z = \text{const}$ получают линии уровня или горизонтали, проектируя указанные линии на плоскость Oxy . Так как (1) задана на прямоугольной сетке,

$$x = x_0 + ih; \quad y = y_0 + jk, \quad (2)$$

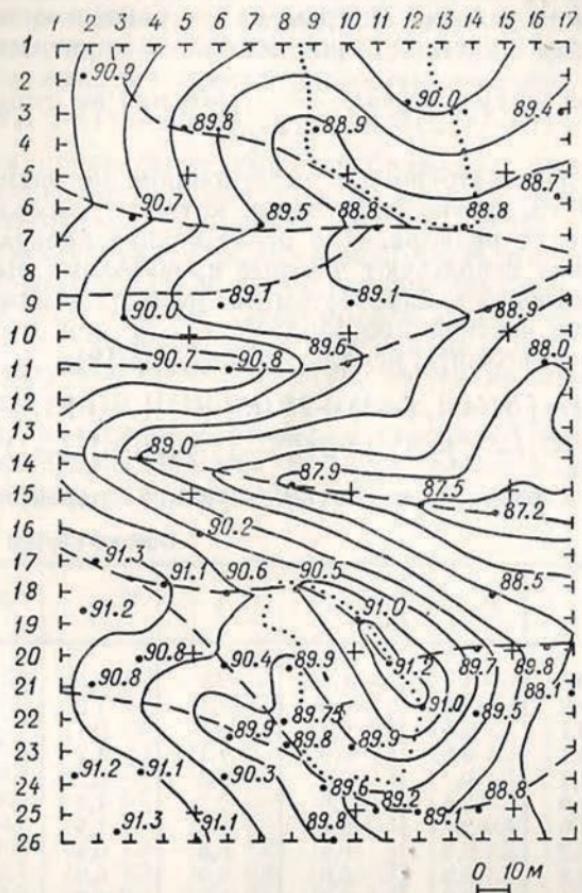


Рис. 2. Изображение рельефа со структурными линиями, выделенными аналитическим методом.

— структурные линии, полученные с использованием (3);
.... структурные линии, полученные с использованием (4).

где $i, j = 0, 1, 2, \dots$, то ее приближенно можно представить интерполяционной формулой, по которой могут быть найдены частные производные функции (1). Используя частные производные, можно исследовать характер представленной (1) поверхности, разделить ее на области, границы которых указывали бы реальные изменения рельефа, т. е. линии хребтов, тальвегов, водоразделов и т. д. Для поверхностей указанные структурные линии являются

особыми линиями, или линиями, состоящими из особых точек [1, 4]. Для поверхностей, как известно, рассмотрение вопроса об особых точках представляет сложную задачу, поэтому есть смысл упростить решение вопроса о положении структурных линий.

Для нахождения экстремальных точек исследуемой поверхности достаточно оценить направленные частные производные, по которым найти критические точки и, таким образом, определить положение структурных линий.

Необходимое условие экстремума — равенство нулю или отсутствие первой частной производной. В критических точках

$\frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{x=x_0, y=y_0} = 0$ или не существует, $\frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=x_0, y=y_0} = 0$ или не существует. Дан-

ное условие недостаточно для исследования поверхности, но оно позволяет найти критические точки, которые должны характеризовать изменения рельефа. Для исследования поверхности в критических точках используют частные производные высших порядков, однако в нашей задаче в этом нет необходимости.

Вычисление частной производной вдоль оси абсцисс можно приближенно выполнить, используя оператор [2]

$$SX(i, j) = [B(i-1, j-1) + 2B(i, j+1) + B(i+1, j+1)] - [B(i-1, j-1) + 2B(i, j-1) + B(i+1, j-1)], \quad (3)$$

где $B(i, j)$ — отметки в соответствующих перекрестиях сетки.

Оценки первой производной в

i/j	2	3	4	5	6	7	8
2	0,5	-1,1	-1,7	-2,2	-2,5	-2,8	-3,1
3	0,2	-0,2	-0,6	-1,1	-1,5	-2,2	-3,3
4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,1	-0,1	-0,5
5	0,1	0,6	0,9	1,1	1,2	1,7	2,4
6	-1,1	-0,7	-0,6	-0,5	-0,2	0,4	1,0
7	-1,9	-2,4	-2,6	-2,3	-1,6	-0,9	-0,4
8	-1,6	-2,1	-2,3	-2,3	-1,8	-1,2	-0,7
9	0,2	0,3	0,6	0,8	0,8	0,5	0,3
10	2,8	3,9	5,0	5,9	6,0	5,6	4,8
11	-0,1	0,2	0,8	1,5	1,9	2,0	1,6
12	-3,9	-5,0	-5,4	-5,2	-4,9	-5,0	-5,0
13	-2,6	-3,8	-4,9	-5,6	-5,9	-5,7	-5,1
14	1,1	1,3	0,8	-0,2	-1,6	-2,9	-3,6
15	3,9	5,1	5,7	5,4	4,5	3,5	2,5
16	3,2	4,0	4,6	4,8	5,1	5,9	6,6
17	2,1	2,7	3,0	3,0	3,3	4,4	6,1
18	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	1,7	2,4
19	-1,4	-1,6	-1,4	-0,8	-0,3	-0,8	-1,7
20	-1,4	-1,7	-1,9	-1,8	-1,3	-1,1	-1,7
21	-0,5	-0,8	-1,4	-2,1	-2,0	-1,2	-1,0
22	0,8	0,6	0,2	-0,5	-1,3	-1,3	-0,7
23	1,9	2,3	2,4	2,2	1,4	0,4	0,0
24	1,0	1,5	2,2	2,9	3,0	2,3	1,1
25	0,4	0,5	1,0	1,8	2,2	2,1	1,7

При этом используется окно размером 3×3 перекрестья. Как указано в [2], константы взвешивания 1, 2, 1 выбраны интуитивно. Частную производную вдоль оси ординат оценивают по формуле

$$SY(i, j) = [B(i+1, j-1) + 2B(i+1, j) + B(i+1, j+1) - \\ - [B(i-1, j-1) + 2B(i-1, j) + B(i-1, j+1)]]. \quad (4)$$

Частные производные вдоль диагональных направлений можно приближенно оценить, рассматривая для клетки i, j окно размером 2×2 , элементы которого по диагонали связаны операцией вычитания. То есть направленную производную для каждого направления аппроксимируют просто разностью соседних элементов:

$$Q1 = B(i, j+1) - B(i+1, j); \quad Q2 = B(i, j) - B(i+1, j+1), \quad (5)$$

Используя приведенные выше соображения, были рассчитаны частные производные первого порядка по всем четырем операторам, представленным формулами (3), (4) и (5). Для экспериментальных исследований использована часть изображения рельефа, приведенного в [3], со структурными линиями, нанесенными, по-видимому, при анализе стереомодели под стереоскопом. Для исследования поверхности, изображенной на рис. 1, с целью выделения структурных линий пикетных точек на изображении рельефа недостаточно. Поэтому на данное изображение была наложена сетка квадратов с размером строки 10 м и в вершинах квадратов интерполяцией были определены отметки, которые использовали для дальнейшего анализа поверхности. Обра-

вертикальном направлении

9	10	11	12	13	14	15	16
-3,0	-2,4	-1,7	-1,2	-1,1	-1,3	-1,3	-1,1
-3,4	-2,8	-2,7	-2,7	-2,5	-2,2	-1,8	-1,6
-1,2	-1,9	-2,5	-2,9	-2,8	-2,5	-2,4	-2,4
1,6	-0,5	-2,2	-3,1	-3,4	-3,2	-2,9	-2,7
1,9	0,0	-1,0	-1,6	-1,8	-1,6	-1,2	-1,0
-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,2
0,0	0,7	1,0	0,8	0,5	0,4	0,4	0,1
1,0	0,8	1,9	1,6	1,1	0,2	-0,8	-1,3
3,4	2,1	1,2	0,3	-0,7	-1,7	-2,7	-2,8
0,7	0,0	-0,4	-0,9	-1,5	-1,9	-1,9	-1,3
-4,2	-3,2	-2,2	-1,2	-0,9	-1,1	-1,0	-0,5
-4,7	-4,2	-3,4	-2,6	-2,0	-1,6	-1,0	-0,7
-4,0	-4,3	-4,5	-4,3	-3,4	-2,4	-1,8	-1,8
1,7	0,8	-0,5	-1,7	-2,3	-3,1	-4,8	-6,1
6,9	6,6	5,2	3,4	2,0	1,1	0,7	0,5
7,3	7,4	6,8	5,9	4,9	5,1	6,7	7,6
4,0	5,5	6,0	5,7	5,1	4,6	4,1	3,6
-0,5	2,7	4,7	4,0	3,1	3,8	3,7	2,4
-2,4	-1,4	1,4	3,6	4,1	3,4	2,0	0,5
-1,3	-1,7	-1,3	1,5	3,1	0,8	-1,3	-1,6
-0,8	-1,9	-2,8	-2,8	-2,5	-2,3	-1,9	-1,3
-1,2	-3,1	-3,9	-4,4	-4,1	-2,5	-1,0	0,0
-0,5	-2,3	-3,8	-4,4	-3,7	-2,1	-0,6	0,4
0,7	-0,4	-0,9	-0,9	-0,5	0,0	0,3	0,5

зец рельефа со структурными линиями, выделенными визуально, показан на рис. 1. На рис. 2 на изображении того же рельефа показаны структурные линии, проведенные через точки, на которых частная производная первого порядка равна нулю. Если данная производная на соседних точках сетки изменяет знак, то положение структурной линии находили интерполяцией. Все вычисления велись на ЭВМ ЕС-1022.

Проведение структурных линий через критические точки при обработке информации на ЭВМ можно выполнять методом цепного кодирования или другим методом, приведенным в [2]. Визуальный анализ структурных линий на рис. 1 и 2 показывает, что аналитическим методом выделено значительно больше структурных линий, поэтому больше областей, в пределах которых следует вести интерполяцию, не нарушая морфологических и морфометрических характеристик рельефа.

В таблице приведены значения SX , характеризующие оценку первой производной в вертикальном направлении. Сравнение рис. 1 и рис. 2 показывает, что все структурные линии, отмеченные в результате визуального анализа стереомодели, получены после аналитической обработки числовой информации с использованием операторов 3 и 4. Исключение составляет одна линия из точки с координатами 11, 10 в точку 15, 12, эта линия выделяется оператором 5. Однако использование нескольких операторов для выделения структурных линий требует более сложной математической обработки результатов. Так как структурные линии, полученные различными операторами, могут оказаться смещеными на небольшую величину (см. рис. 2, точки 25, 10), их, следовательно, необходимо усреднить.

Линии, полученные при анализе поверхности вдоль оси X , могут не заканчиваться пересечением с линией, полученной при анализе поверхности вдоль оси Y . В этом случае для получения замкнутой области следует продлить данную линию до края исследуемой поверхности или до ближайшей структурной линии.

Список литературы: 1. Демидович Б. П., Марон И. А. Основы вычислительной математики. — М.: Наука, 1970. 2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образцов и анализ сцен. — М.: Мир, 1976. 3. Лимонтов Л. Я., Бойко А. В. К вопросу о структурно-аналитическом представлении рельефа местности. — Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка, 1975, № 3. 4. Погорелов А. В. Дифференциальная геометрия. — М.: Наука, 1969. 5. Шульмин М. В., Миттельман Е. Я. Мультиквадриковый метод аппроксимации топографической поверхности. — Геодезия и картография, 1974, № 2.

Статья поступила в редакцию 27.10.82