

Учитывая малость $\Delta\alpha$ и $\Delta\omega$, при выводе (26) принимаем $\cos \Delta\alpha \approx \cos \Delta\omega = 1$ и $\sin \Delta\alpha \approx \sin \Delta\omega = 0$. Из анализа (26) видно, что точность (m_x, m_y) планового смещения оси ГПА зависит от точности измерения превышений и высоты расположения смещаемых точек над осадочными марками. С увеличением высоты точность определения смещения оси снижается. Точность смещения по высоте зависит практически только от точности измерения превышений.

Заметим, что при заданной точности определения смещений приведенным выше способом можно определить соответствующую точность измерений, а отсюда и способ определения осадок.

Список литературы: 1. *Новак В. Е., Клошин Е. Б.* Вычисление и оценка точности деформационных характеристик оснований прецизионных сооружений. — Исследования по геологии, аэрофотосъемке и картографии, 1979, вып. 5. 2. *Моденов П. С.* Аналитическая геометрия. — М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1969. 3. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. — М.: Наука, 1970.

Статья поступила в редакцию 08.06.83

УДК 528.42

Р. М. РУДЫН

О КЛАССИФИКАЦИИ РЕЛЬЕФА

Количественная оценка микрорельефа представляет собой интерес, поскольку выполненные в данной области исследования [5, 6] не дают надежных количественных критериев, по которым можно было бы судить о пересеченности, ориентированно-текстурных признаках.

В настоящее время широко используются непрерывное двухмерное преобразование Фурье, получаемое с помощью когерентно-оптических устройств. Таким образом, можно выделить признаки анализируемой поверхности. При этом оптическая система создает электрическое поле, пропорциональное двухмерному спектру. Устранением Фурье-образов одноплоскостных ландшафтов создается карта потока спектров, так как спектр Фурье позволяет получать точное и удобное математическое описание структуры изображений.

При цифровой записи рельефа в результате математической обработки легко получить двухмерные энергетические спектры [4] и автокорреляционные функции участков земной поверхности или поверхности дна моря. В результате можно выявить анизотропию рельефа, т. е. неодинаковую расчлененность рельефа по разным направлениям. Двухмерные энергетические спектры будут соответствовать спектрам, получаемым когерентно-оптическими устройствами и обладать теми же свойствами. Следовательно, их можно интерпретировать как спектры, полученные аналоговыми методами.

Двухмерную автокорреляционную функцию можно представить выражением

$$B(\epsilon, \eta; j, k) = \sum_{j=0}^{N1-1} \sum_{k=0}^{N2-1} f(x, y) f(x - \epsilon; y - \eta). \quad (1)$$

$B(\epsilon, \eta; j, k)$ вычисляются на окне размером $N1 \times N2$ для каждой дискретной точки функции $f(x, y)$.

Однако спектр Фурье двухмерной автокорреляционной функции равен квадрату модуля спектра Фурье исходного изображения. Следовательно, $B(\epsilon, \eta; j, k)$ можно найти из преобразования Фурье, т. е. обратным преобразованием из квадрата модуля амплитудно-фазовой характеристики:

$$B(\epsilon, \eta; j, k) = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{k=0}^{N1-1} \sum_{k=0}^{N2-1} |S(\omega_x, \omega_y)|^2 \exp\left(\frac{\omega_x x}{N1} + \frac{\omega_y y}{N2}\right) \Delta\omega_x \Delta\omega_y, \quad (2)$$

где $S(\omega_x, \omega_y)$ — преобразование Фурье функции $f(x, y)$. Согласно теореме Парсеваля, два представления энергии изображения через функцию $f(x, y)$ и так называемый энергетический спектр Фурье $G(\omega_x, \omega_y)$, или спектр дисперсий, связаны между собой выражением

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |f(x, y)|^2 dx dy = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |S(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y. \quad (3)$$

В связи с этим энергетический спектр вычисляются как произведение спектра Фурье исходной функции на комплексно-сопряженный

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega_x, \omega_y) S^*(\omega_x, \omega_y) d\omega_x d\omega_y = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} |S(\omega_x, \omega_y)|^2 d\omega_x d\omega_y, \quad (4)$$

где $S^*(\omega_x, \omega_y)$ — комплексно-сопряженный спектр Фурье к спектру $S(\omega_x, \omega_y)$.

Так же как двухмерный спектр Фурье изображения рельефа, двухмерный энергетический спектр и двухмерную автокорреляционную функцию можно использовать в качестве критериев для классификации рельефа.

Экспериментальные исследования выполнили с использованием эталона из [3]. Рельеф каждого эталона задан с помощью цифровой модели отметками в перекрестиях сетки квадратов размером 21×21 .

Первая категория рельефа — плоскоравнинный участок с небольшой впадиной в центре с перепадом высот (приняв сечение рельефа 1 м) около 2 м.

Третья категория представляет собой участок с речкой, протекающей в меридиональном направлении. В широтном направ-

Т а б л и ц а 1
Значения нормированной двухмерной автокорреляционной функции

τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93
1	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93
2	0,98	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93
3	0,98	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
4	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92
5	0,95	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92
6	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91
7	0,95	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
8	0,94	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90
9	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90
10	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90
11	0,94	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90

К а т е г о р и я 1

К а т е г о р и я 3

0	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
1	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93
2	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89
3	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
4	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
5	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
6	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78
7	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
8	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76
9	0,78	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
10	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
11	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76

К а т е г о р и я 5

0	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
1	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
2	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
3	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
4	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
5	0,80	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
6	0,76	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
7	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
8	0,69	0,69	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
9	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
10	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68
11	0,66	0,66	0,66	0,65	0,67	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68	0,68

К а т е г о р и я 7

0	1,00	0,97	0,92	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74	0,72	0,71	0,71	0,71
1	0,96	0,94	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,74	0,73	0,72	0,72
2	0,92	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83	0,80	0,77	0,74	0,73	0,73	0,72
3	0,88	0,88	0,87	0,85	0,83	0,81	0,80	0,78	0,75	0,74	0,73	0,73
4	0,86	0,85	0,84	0,82	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74	0,73	0,73
5	0,85	0,84	0,82	0,80	0,78	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73
6	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,76	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
7	0,85	0,83	0,82	0,79	0,76	0,73	0,72	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72
8	0,87	0,85	0,83	0,80	0,76	0,73	0,71	0,71	0,70	0,70	0,71	0,71
9	0,89	0,87	0,84	0,82	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,69	0,69
10	0,90	0,87	0,84	0,83	0,79	0,76	0,73	0,71	0,70	0,69	0,68	0,69
11	0,90	0,88	0,86	0,83	0,79	0,76	0,73	0,71	0,70	0,69	0,68	0,69

лени рельеф образует две выпуклости. Перепад высот на участке достигает 26 м.
Участок рельефа пятой категории трудности имеет пять ярко выраженных провалов в широтном направлении и одну выпуклость в меридиональном направлении. Значительное количество мелких форм свидетельствует о шероховатости. Максимальный перепад высот 12 м.

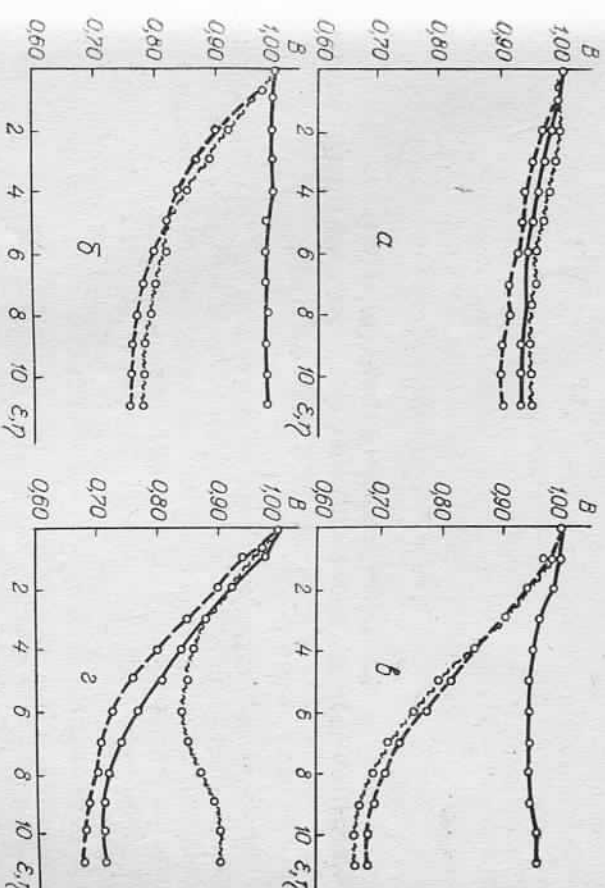
Рельеф седьмой категории — сильно пересеченная местность по всем направлениям с большим количеством мелких форм. Перепад высот на участке 28 м.

Так как анализ двухмерных преобразований Фурье от изображения рельефа выполнен в [4], здесь опишем автокорреляционные функции. Двухмерные нормированные автокорреляционные функции, вычисленные с использованием (3) и (4), представлены в табл. 1 (начало координат находится в левом верхнем углу). В табл. 2 приведены сдвиги этих же функций.

Анализ результатов, представленных в табл. 1 и 2, показывает, что крутизна автокорреляционной функции возрастает с увеличением высоты.

Т а б л и ц а 2
Смещения, соответствующие заданным значениям $B(\epsilon, \tau; l, k)$

Номер рис.	Значения $B(\epsilon, k)$		
	0,90	0,80	0,70
3	1	10	—
15	3	1	5
32	5	0	8
48	7	2	5
			3
			8
			7



Профили нормированных пространственных автокорреляционных функций категорий рельефа: первой (а), пятой (б), седьмой (в):
--- вдоль оси x ; — вдоль оси y ; ···· вдоль диагональных элементов.

чением сложности рельефа, но не в одинаковой степени по разным направлениям.

В некоторых случаях по разным направлениям автокорреляционная функция имеет различную крутизну, что свидетельствует об анизотропии представленного образа рельефа, наблюдаемой и визуально на рисунках в [3]. На нашем рисунке показаны профили пространственной автокорреляционной функции для указанных категорий рельефа вдоль осей и вдоль диагональных элементов. Они наглядно подтверждают описание $B(e, \eta; j, k)$.

Как и в случае одномерного корреляционного анализа [1] пространственную автокорреляционную функцию по различным направлениям можно без особых затруднений аппроксимировать аналитическим выражением, представляющим сложность рельефа.

Таким образом, сложный и подверженный субъективизму процесс классификации рельефа с применением пространственной автокорреляционной функции приобретает корректность и строгость.

Список литературы: 1. Бойко А. В. Методы и средства автоматизации топографических съемок. — М.: Недра, 1980. 2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. — М.: Мир, 1976. 3. Единые нормы выработки (времь) на геодезические и топографические работы: Камеральные работы. — М.: Недра, 1966. 4. Рудык Р. М. К анализу рельефа местности. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1984, вып. 40. 5. Вейгер А. Zur Erfassung flacher Geländes durch willkürlich verteilte Höhenpunkte. — Vermessungstechnik, 1972, v. 20, № 7. 6. Star F. Interpolace vysoké rompei digitalního modelu terénu. — Geod. a kartogr. obz., 1972, v. 18, № 10.

Статья поступила в редакцию 08.08.85

УДК 528.8

Р. М. ТАРТАЧИНСКИЙ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОМЕНТОВ МИНИМАЛЬНЫХ РЕФРАКЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИИ УГЛОВ В СЕТЯХ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Повышение точности угловых измерений в государственных сетях триангуляции, полигонометрии и сетях местного значения — одна из основных задач улучшения качества сетей. Этот вопрос комплексный и требует разрешения многих проблем.

Среди атмосферных влияний наиболее существенной погрешностью является боковая рефракция, так как ее влияние имеет систематический характер и может заметно исказить результаты измерения углов. Исследования земной рефракции показали, что боковая рефракция имеет явно выраженный суточный ход, а изменение знака этого хода совпадает с наступлением периода инверсии атмосферы. Поэтому определение этого момента в периоды измерений — первая задача борьбы с влиянием рефракции.

В результате выполненных исследований в настоящее время выделены следующие методы определения моментов изотермии: по колебаниям изображений визирных целей; по вертикальному градиенту температуры, определяемому по вертикальной разности температуры у места стояния инструмента; по значению радиационного баланса, измеряемого на высоте инструмента; по отклонению измеренного зенитного расстояния от его теоретического значения.

Каждый из указанных методов, проверенный экспериментально в различных климатических и физико-географических районах страны, дает положительные результаты.

Зная момент наступления изотермии, можно так строить программу наблюдений углов, чтобы в значительной степени ослабить влияние рефракции. Первой такой программой является программа симметричных наблюдений углов, относительно моментов «нулевых рефракций», предложенная А. Л. Островским [3] и экспериментально проверенная [4, 5]. Результаты эксперимента положительные. Вторая — программа редуцирования измеренных значений углов на момент нулевых рефракций, предложенная Н. В. Яковлевым [7].

Как в первой, так и во второй программе моменты «нулевых рефракций» и моменты наступления изотермии совпадают; моменты изотермии определяются надежно по одному из вышеперечисленных методов; измеренные рефракции подчиняются линейному закону.

При этих условиях как от первой, так и от второй программы можно ожидать почти полного исключения влияния рефракции. На самом деле определение изотермии по колебаниям визирных целей в значительной степени носит субъективный характер из-за целого ряда причин: опытность наблюдателя, неодновременность затухания изотермии по всем направлениям. Определенные времени наступления изотермии по вертикальному градиенту температуры и радиационному балансу отображает реальную картину только в локальной области — у места стояния инструмента и не дает полного представления о стратификации атмосферы на всем протяжении визирного луча. Этот недостаток устранен в методе определения моментов нулевых рефракций, определяемых по отклонению измеренных зенитных расстояний от их теоретических значений [6]. Однако данный метод требует измерения зенитного расстояния и, что самое главное, знания отметок наблюдаемых пунктов.

При азимутальных определениях, измерении углов в ходах полигонометрии и специальных сетях триангуляции, где отметки пунктов можно получить заранее, эти недостатки не снижают достоверность метода.

Исследования по повышению точности тригонометрического измерения углов [1], выполняемого в периоды видности, позволяют без дополнительных затрат определять моменты «минимальных искажений» как горизонтальных углов, так и измеренных зенитных расстояний.