

АНАЛИТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ МАГНИТНЫМИ АНОМАЛИЯМИ И ФОРМОЙ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Г. К. АВТЕНЬЕВ, Л. Я. ЕРОФЕЕВ, А. Т. СЫСОЕВ

(Представлена научным семинаром кафедры
геофизических методов разведки)

Существующие многочисленные аналитические зависимости между формой возмущающих объектов и характером магнитного поля в большинстве случаев выведены для одиночных локализованных возмущающих объектов в предположении, что поверхность наблюдения—горизонтальная либо однородно наклонная плоскость и что вмещающая среда практически немагнитна (В. В. Колюбакин и В. М. Ланина, 1960; Справочник геофизика, т. VI, 1969 и др.). В общем же виде характер влияния неровностей немагнитного рельефа исследован слабо. В основном эти исследования сводятся к выяснению характера изменения локальных магнитных аномалий от двухмерных тел правильной геометрической формы при различных наклонах линии наблюдения (Миков Б. Д., 1963). Влияние же магнитного рельефа произвольной формы на характер распределения магнитного поля практически не изучено. Это обстоятельство чрезвычайно затрудняет расшифровку природы площадных магнитных полей, наблюдаемых в горной местности, так как магнитный рельеф оказывает существенное влияние на структуру магнитного поля. Поэтому выявление влияния магнитного рельефа на характер распределения магнитного поля изучаемой площади крайне необходимо (Автеньев Г. К., Ерофеев Л. Я., 1970).

Отдельные аспекты этого вопроса отражены в некоторых опубликованных работах (Фарманджиев И. И., 1957; Попков Н. Е., Почтарев В. И., 1959; Логачев А. А., 1959; Миков Б. Д., 1959—1963; Круглякова Г. И., 1960; Ступак Н. К., Голиздра Г. Я., 1962; Хесин Б. Э., 1965—1969; Можаяев Б. Н., Иванова Л. Н., 1969 и др.). Однако детальное и систематическое изучение количественной стороны этого влияния задерживается отсутствием рекуррентных аналитических соотношений для расчета магнитных полей от основных форм магнитного рельефа. Тем не менее такие соотношения могут быть построены. Так, для двухмерного вертикального намагниченного рельефа произвольной формы при условии аппроксимации его ломаной линией, согласно А. А. Логачеву (1962) и Д. Милковену (1970), можно писать

$$Z(p) = 2J \left[\sum_{i=1}^n \cos^2 \theta_i (\omega_i - \omega_{i-1}) - \sum_{i=1}^n \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i \ln \frac{z_i}{z_{i-1}} \right] \quad (1)$$

Условные обозначения показаны на рис. 1. Нетрудно показать, что принципиально формула (1) справедлива и для случая, когда точка

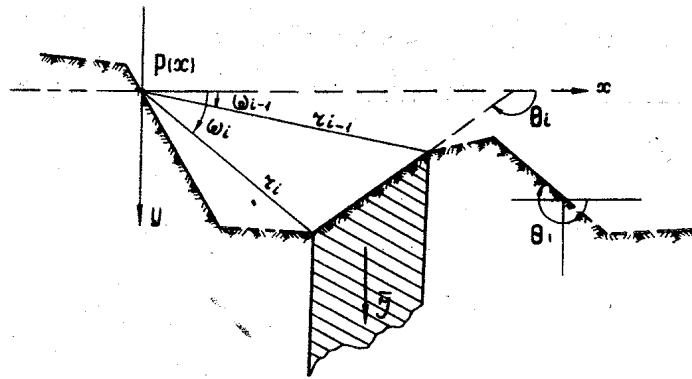


Рис. 1

$P(x, y)$ будет находиться в непосредственной близости от линии аппроксимации. Отрезки ломаной линии, аппроксимирующие дневной рельеф, могут быть дифференциально малыми, тогда, аналогично Милковену (1970), выражение для магнитного поля от вертикально-намагниченного рельефа, описываемого произвольной кривой, будет:

$$Z(p) = 2J \int \frac{h_i}{x^2 + h_i^2} \cdot dx, \quad (2)$$

$l(x, y)$

где

$l(x, y)$ — некоторое аналитическое выражение кривой реального дневного рельефа;

$u = h_i$ — глубина до верхнего полюса элементарного вертикального маломощного пласта однополюсной линии. При этом задача считается корректной, если при аппроксимации реального рельефа кривой линией $h_i = h_j + l \neq 0$.

В реальных условиях

$$Z(x_i, y_i)_{\text{рел.}} = 2J \cdot \Delta x \sum_{i=j+1}^n \frac{h_i - h_j + b}{(x_i - x_j)^2 + (h_i + h_j + b)^2}, \quad (2a)$$

где

x_i, h_i — координаты точки, в которой определяется магнитное поле;

x_j, h_j — координаты элементарных тел, участвующих в создании этого поля.

Если принять Δx за шаг смещения и $x_i = \Delta x \cdot i$, $x_j = \Delta x \cdot j$, то получим окончательно

$$Z(x_i, h_i) = 2J \cdot \Delta x \sum \frac{h_i - h_j + b}{\Delta x^2 (i-j)^2 + (h_i - h_j + b)^2}. \quad (2b)$$

При этом i пробегает все значения от $\frac{a}{\Delta x}$ до $N - \frac{a}{\Delta x}$, а j меняется от 0 до

$n = \frac{2a}{\Delta x}$. Здесь $2a$ — принятая длина интервала влияния, N — число точек на профиле, b — величина, учитывающая мощность наносов и высоту прибора, измеряющего магнитное поле. Принципиально шаг смещения может быть и не равным мощности возмущающих элементарных тел. Для практики более удобен рабочий алгоритм формулы (1). Для аналитических же расчетов можно пользоваться более точным алгоритмом (2).

Легко заметить, что соотношения (1), (2б) при знании величины ин-

тенсивности намагничения пород, слагающих рельеф местности, позволяют рассчитывать значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля от двухмерного магнитного рельефа любой формы с любой заданной точностью. Последняя в конечном итоге будет определяться степенью близости линий аппроксимации и реального рельефа, т. е. для формулы (1) числом звеньев ломаной линии, описывающей дневной рельеф. Причем наибольшие погрешности будут в точках излома аппроксимирующей линии.

Магнитное поле от произвольно намагниченного рельефа (всего или отдельных его частей) можно рассчитать двумя путями. Оба они основаны на одном и том же известном способе преобразования координат. Первый, на наш взгляд, наиболее простой, заключается в том, что при наклонном намагничении масс, слагающих рельеф, рекуррентность (общность) формулы (1) не нарушается, если для расчета вертикальной составляющей напряженности магнитного поля от произвольно намагни-

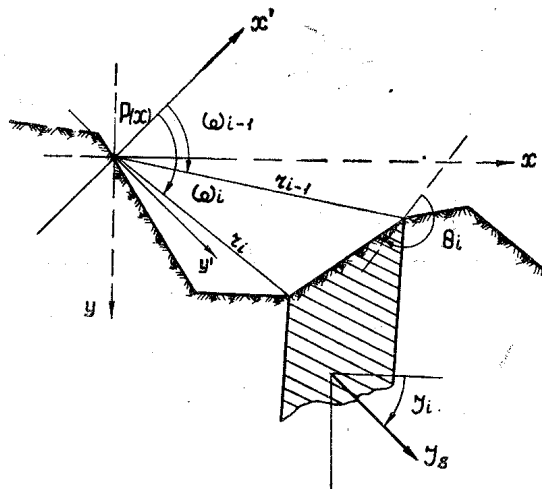


Рис. 2

ченного рельефа мы воспользуемся формулой для Z вертикально намагниченного рельефа (1), но углы ω_i и θ_i будем отсчитывать не от горизонта (рис. 1), а от линии, перпендикулярной к вектору намагничения J_s (рис. 2). Во-вторых, для наклонного намагничения можно вывести и самостоятельное выражение, воспользовавшись известным соотношением между составляющими напряженности магнитного поля вертикального (Z_v, H_v) и наклонного (произвольного) намагничения Z_n :

$$Z_n = Z_b \sin J_i - H_b \cos J_i \quad (3)$$

Здесь J_i — наклонение вектора намагничения. Таким образом, общее выражение для расчета магнитного поля от двухмерного произвольно намагниченного рельефа может быть записано в следующем виде:

$$Z_n(x_i, y_i) = 2J \left\{ \sin J_i \left[\sum_{i=1}^n \cos^2 \theta_i (\omega_i - \omega_{i-1}) - \sum_{i=1}^n \sin \theta_i \cos \theta_i \cdot \ln \frac{r_i}{r_{i-1}} \right] - \cos J_i \left[\sum_{i=1}^n \cos^2 \theta_i (\omega_i - \omega_{i-1}) + \sum_{i=1}^n \cos \theta_i \cdot \sin \theta_i (\omega_i - \omega_{i-1}) \right] \right\} \quad (4)$$

После несложного преобразования можно получить в окончательном виде

$$Z_H = 2J \sum_{i=1}^n \cos \theta_i \cdot \left[\sum_{i=1}^n \cos (\tau_i - \theta_i) \cdot (\omega_i - \omega_{i-1}) - \sum_{i=1}^n \sin (\tau_i - \theta_i) \cdot \ln \frac{r_i}{r_{i-1}} \right]. \quad (5)$$

Для ручного счета удобнее пользоваться первым (графо-аналитическим) способом.

Для реализации на ЭЦМ целесообразно выведенные соотношения записать в декартовых координатах. Так, для вертикального намагничивания выражение (1) может быть записано в следующем виде (рис. 3):

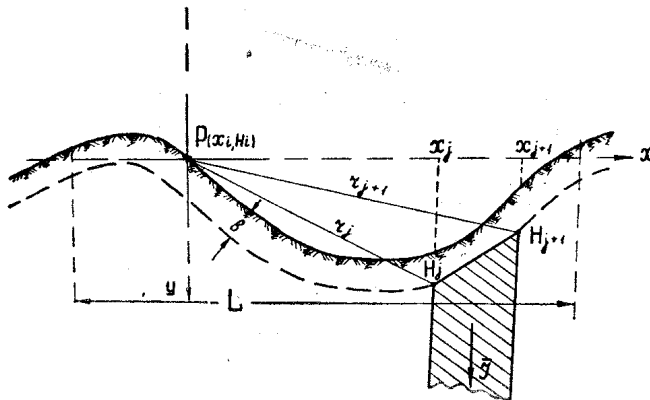


Рис. 3.

$$Z(x_i, H_i) = 2J \sum_{n=0}^n \left[\frac{(x_{j+n} - x_j)^2}{(H_{j+n} - H_j)^2 + (x_{j+n} - x_j)^2} \cdot \arctg \frac{\frac{x_{j+n} - x_i}{H_i - H_{j+n} + b} - \frac{x_j - x_i}{H_i - H_j + b}}{1 + \frac{(x_{j+n} - x_i)(x_j - x_i)}{(H_i - H_{j+n} + b)(H_i - H_j + b)}} - \frac{0.5 (H_j - H_{j+n})(x_{j+n} - x_i)}{(H_{j+n} - H_j)^2 + (x_{j+n} - x_i)^2} \cdot \ln \frac{(H_i - H_j + b)^2 + (x_j - x_i)^2}{(H_i - H_{j+n} + b)^2 + (x_{j+n} - x_i)^2} \right]. \quad (6)$$

Здесь H_{ij} — абсолютная отметка (альтитуда) магнитного рельефа.

Если числовая матрица (массив) задана с шагом Δx , а значения магнитного поля рельефа рассчитываются с другим шагом, равным $\Delta x \cdot c_1$ (где c_1 — некоторое постоянное число), то

$$i = \Delta x c_1 k.$$

Здесь

k — номер точки на числовой оси, изменяющийся от $\frac{a}{\Delta x}$ до $\frac{L-a}{\Delta x}$, тогда

$$j = i - \frac{a}{\Delta x} + c_2 n,$$

где

$2a$ — интервал интегрирования (длина зоны влияния);

n — номер расчета, $n = 0, 1, 2, 3, \dots, \frac{2a}{\Delta x c_2}$;

c_2 — число шагов матрицы, вкладываемое в видимую мощность возмущающего объекта (при расчете удобно брать $c_1 = c_2$):

$$C_2 = \frac{x_{j+1} - x_j}{\Delta x}; \quad (7)$$

N — число точек в числовом массиве, равное $\frac{L}{\Delta x}$, где

L — длина профиля.

При подстановке принятых значений в выражение (6) рабочая формула может быть несколько упрощена. Принципиально выражение (6) также может быть обобщено на случай произвольного намагничения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. К. Автеньев, Л. Я. Ерофеев. О связи магнитного поля с рельефом местности золоторудных месторождений жильного типа. Матер. научно-исслед. конф. «Проблемы комплексного изучения географ. района...». Секция геологии и физ. географии, Новокузнецк, 1970.
2. Л. Я. Ерофеев, Г. К. Автеньев. О статистических закономерностях связи рельефа местности с магнитным полем на золоторудных месторождениях. Вопросы географии Кузбасса и Горного Алтая, вып. 4, Новокузнецк, 1971.
3. Ю. Б. Давыдов. К вопросу об учете влияния магнитного рельефа. Журнал Свердл. горн. ин-та, вып. 75, 1971.
4. В. В. Колюбакин и М. И. Лапина. Обзор способов решения прямой и обратной задач магнитной разведки. М., Изд. АН СССР, 1960.
5. Г. И. Круглякова. Зависимость магнитных аномалий от рельефа местности. Журнал НИИЗМ, вып. 16 (26), 1960.
6. А. А. Логачев. Вычисление элементов залегания намагниченных тел по материалам магнитной съемки в горной местности. Изв. вузов, «Геология и разведка», 1959, № 3.
7. А. А. Логачев. Курс магниторазведки. «Недра», 1962.
8. Б. Д. Миков. Влияние рельефа местности на результаты магнитной съемки. Изв. СО АН СССР. «Геология и геофизика», вып. 2, 1969.
9. Б. Д. Миков. Практические приемы интерпретации магнитных аномалий в условиях сложного рельефа местности. Методическое пособие. СО АН СССР, Новокузнецк, 1963.
10. И. А. Медушевская. Возможность получения дополнительной информации о характере тектонических нарушений при сопоставлении данных морфометрии и геофизики. Вопросы морфометрии, вып. 3, Саратов, 1971.
11. Б. Н. Можяев, Л. Н. Иванова. К методике совместного анализа современного рельефа и магнитного поля для изучения тектоники. В сб.: «Основные проблемы геоморфологии и стратиграфии антропогена Комского пол-ва». Л., «Недра», 1969.
12. Н. Е. Попков, В. И. Почтарев. Влияние топографического рельефа на магнитные измерения. Тр. НИИЗМИРР, вып. 14. Связьиздат, 1959.
13. Н. К. Ступак, Г. Я. Голыздра. Приведение двумерных магнитных и гравитационных аномалий к единому уровню. Разв. и прикл. геофизика. Гостехиздат, 1962, № 44.
14. Б. Э. Хесин. О простом способе учета влияния рельефа местности на результаты магнитной съемки. «Разведка и охрана недр», 1965, № 5.
15. Б. Э. Хесин. Рудная геофизика в горных областях. М., «Недра», 1969.
16. И. И. Фарманджиев. Релефни влияния вверху земного магнитного поля. Изв. Бълг. АН, отд. физ.-мат. и техн. наук, серия физ., № 6, 1957 (болгарск).
- D. Milcoveanu. Some formulas useful in the interpretation of gravitational and magnetic profiles. Geophysics, vol. 35, № 1, 1970, pg. 66—79.