Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. /XXУ1, 1978 г.

# ВЫЧИСЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ МАГНИТНЫХ ПОРОД В СВОДЕ ЛИНЕЙНЫХ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СКЛАДОК ПО АНОМАЛИЯМ $\Delta T$

Л.М.ГОРБУНОВА, В.П.ЗАХАРОВ

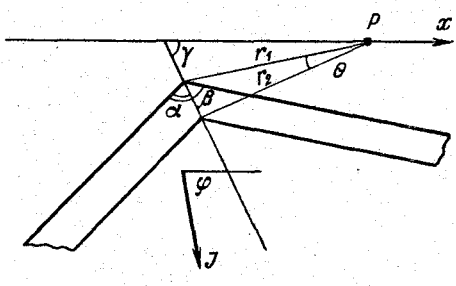



Рис.1. К выводу формулы (1)

Внедрение в практику высокоточных квантовых магнитометров существенно расширило круг задач, для решения которых используется магниторазведка. Большие объемы аэромагнитной съемки выполняются, в частности, для выявления складчатых структур в осадочных толщах платформ и геосинклинальных областей в связи с поисками нефти и газа. При этом наибольший интерес представляют антиклинальные структуры как перспективные на обнаружение таких месторождений.

Представление о характере поля $\Delta T$ таких структур при произвольном падении пород на крыльях и произвольном направлении намагниченности получают либо на основе результатов съемки над известными объектами, либо путем прямого расчета над моделями, так как аналитические выражения поля для такого общего случая не опубликованы. Поэтому нет и четких рекомендаций по определению мощности и глубины залегания магнитных пород в сводовой части структур даже в двухмерном случае. Поэтому представляет интерес вывести и рассмотреть аналитическое выражение $\Delta T$ хотя бы для простого случая двухмерной, т.е. сильно вытянутой антиклинальной складки, крылья которой погружаются без существенного изменения угла падения на большую глубину. В качестве геометрической модели такой структуры можно принять совокупность двух наклонных пластов с общей гранью (рис.I). Аналитическое выражение $\Delta T$ над таким объектом получено как сумма полей над произвольно падающими и произвольно, но одинаково намагниченными пластовыми телами, имеющими общую конечную грань. При этом использованы известные выражения для гравитационных аномалий $V_{zz}$ и $V_{xz}$ или $Z_a$ и $H_a$ при вертикальной намагниченности [2, 3] и общие аналитические выражения поля $\Delta T$ тел произвольной формы [I].



1270

Аналитическое выражение поля $\Delta T$ над такой складкой имеет вид

$$\Delta T = 2J\sin(\alpha+\beta)\left[\cos(2\gamma-\varphi-\varphi_0+\alpha-\beta)\ln\frac{r_2}{r_1} - \sin(2\gamma-\varphi-\varphi_0+\alpha-\beta)\theta\right]\frac{\sin i\sin I}{\sin\varphi\sin\varphi_0}, \qquad (1)$$

где $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\theta$, $r_1$ и $r_2$ – углы и расстояния, показанные на рис.1; $J$ – намагниченность пород; $i$ и $I$ – углы наклонения намагниченности и намагничивающего поля соответственно; $\varphi$ и $\varphi_0$ определяются соотношениями $\operatorname{ctg}\varphi = \operatorname{ctg} i\cos A$, $\operatorname{ctg}\varphi_0 = \operatorname{ctg} I\cos A_0$; $A$ и $A_0$ – углы между осью $x$ и проекциями векторов намагниченности и намагничивающего поля на горизонтальную плоскость соответственно.

В общем случае, когда конечная грань двух пластов не вертикальна, связь между значениями $\Delta T$, мощностью и глубиной залегания пород имеет сложный характер, что пока не позволяет найти способы определения этих величин. При вертикальной конечной общей грани двух пластов ($\gamma = 90^0$) входящий в аналитическое выражение $\Delta T$ логарифм становится четной, а арктангенс – нечетной функцией, и это существенно упрощает вычисление искомых параметров. В последнем случае

$$\Delta T = 2J\sin(\alpha_1+\alpha_2)\left[\cos(\varphi+\varphi_0+\alpha_2-\alpha_1)\ln\sqrt{\frac{(h+l)^2+x^2}{(h-l)^2+x^2}} - \sin(\varphi+\varphi_0+\alpha_2-\alpha_1)\operatorname{arctg}\frac{2lx}{x^2+h^2-l^2}\right]\frac{\sin i\sin I}{\sin\varphi\sin\varphi_0}, \qquad (2)$$

где $\alpha_1$ и $\alpha_2$ – углы падения северного и южного крыльев складки соответственно (рис.2).

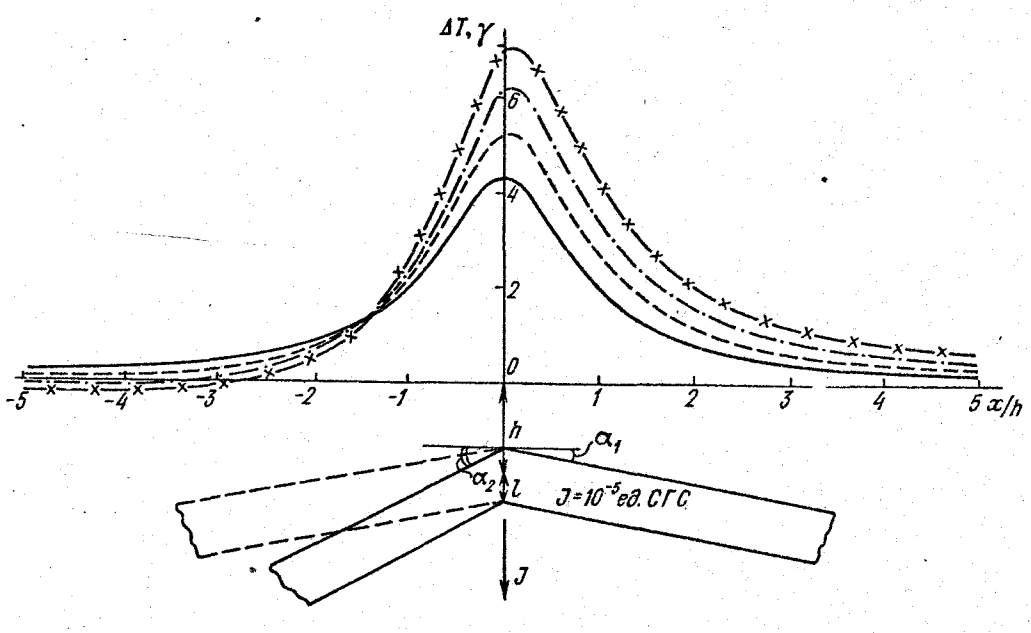



Рис.2. Кривые $\Delta T$ над антиклинальной складкой при различных углах падения крыльев

Из уравнения (2) следует, что при $\alpha_2 - \alpha_1 = 180^0 - \varphi - \varphi_0$ поле $\Delta T$ над антиклинальной складкой описывается простым соотношением

$$\Delta T = J\sin(\alpha_1 + \alpha_2)\frac{\sin i \sin I}{\sin\varphi \sin\varphi_0} \ln \frac{(h+l)^2 + x^2}{(h-l)^2 + x^2} , \qquad (3)$$

кривая $\Delta T$ имеет симметричный вид, максимальное значение поля отмечается над сводом складки.

В частном случае при вертикальной намагниченности или при меридиональном простирании и намагниченности по современному магнитному полю Земли симметрия кривых $\Delta T$ будет наблюдаться только над складками, имеющими одинаковые углы падения крыльев:

$$\Delta T = J\sin 2\alpha_1 \frac{\sin i \sin I}{\sin\varphi \sin\varphi_0} \ln \frac{(h+l)^2 + x^2}{(h-l)^2 + x^2} . \qquad (4)$$

Выражения (3) и (4) аналогичны выражению гравитационной аномалии $V_{xz}$ вертикального уступа и, следовательно, для определения входящих в них неизвестных можно воспользоваться рекомендуемыми в гравиразведке соотношениями:

$$h = \frac{x_{0,25}^2 - x_{0,5}^2}{2x_{0,5}} ; \quad l = \sqrt{h^2 - x_{0,5}^2} ; \quad J\sin(\alpha_1 + \alpha_2) = \frac{\Delta T_{max}}{\ln\frac{h+l}{h-l}} \frac{\sin\varphi\sin\varphi_0}{\sin i \sin I} ,$$

где $x_{0,5}$ и $x_{0,25}$ – абсциссы точек, в которых $\Delta T = 0,5\Delta T_{max}$ и $\Delta T = 0,25\,\Delta T_{max}$ соответственно.

По магнитным аномалиям раздельное вычисление углов падения крыльев складки и намагниченности пород невозможно. Даже при известном направлении намагниченности можно определить лишь разницу в углах падения крыльев, что может представлять практический интерес.

Использование абсциссы $x_{0,25}$, расположенной в области плавного изменения поля, где влияние других объектов сказывается наиболее существенно, приводит, как показывает уже имеющийся опыт, к значительным ошибкам в оценке глубины. В связи с этим нами выведено другое соотношение, рекомендуемое для вычисления $h$, использование которого дает более надежные результаты:

$$h = x_{0,5}\frac{x_{0,5}^2 - x_{0,75}^2}{2x_{0,75}^2} ,$$

где $x_{0,75}$ – абсцисса точки, в которой $\Delta T = 0,75\,\Delta T_{max}$.

Заметим также, что критерием принадлежности аномалии $\Delta T$ антиклинальной складке с падением крыльев, удовлетворяющим условию $\alpha_2 - \alpha_1 = 180^0 - \varphi - \varphi_0$, является выполнение соотношения $x_{0,75}x_{0,25} = x_{0,5}^2$.

Приведенные формулы для вычисления глубины залегания и мощности применимы лишь при условии правильного выбора уровня нормального поля. Это

не всегда выполняется, так как аномалии над структурами в осадочном чехле регистрируются на фоне изменений поля, вызываемых фундаментом; кроме того, возможны искажения аномалий при недостаточно точном исключении нормального поля Земли. В этих случаях нами рекомендуется для определения $h$ использовать отрезки, заключенные между абсциссами точек перегиба аномалии $\Delta T$ (отрезок $L_1$) либо между абсциссами $\Delta T_{max}$ и одной из точек перегиба (отрезок $L_2$), так как положение этих точек не зависит от выбора уровня нормального поля.

Зависимость $h$ от $L_1$ и $L_2$ выражается следующим соотношением:

$$h = \frac{L_1\sqrt{3}}{2\sqrt{2\sqrt{1+\left(\frac{l}{h}\right)^4}-\left(\frac{l}{h}\right)^2-1-\left(\frac{l}{h}\right)^2}}; \qquad L_2 = 0{,}5\,L_1 .$$

При $l/h \leqslant 0{,}3$ с незначительной погрешностью, не превышающей 9%, для определения глубины $h$ можно использовать простые соотношения:

$$h = \frac{\sqrt{3}}{2} L_1 ; \qquad h = \sqrt{3} L_2 .$$

Учитывая, что аэромагнитная съемка в платформенных районах производится на высоте не менее 200 м, а мощность горизонтов повышенной намагниченности, как правило, невелика, в большинстве случаев условие $l/h \leqslant 0{,}3$ выполняется. Следует отметить, что при $l/h \leqslant 0{,}3$ в точках перегиба кривой $\Delta T = 0{,}75\Delta T_{max}$; это может служить критерием правильности выбора уровня нормального поля.

В общем случае, описываемом уравнением (2), кривая $\Delta T$ над антиклинальной складкой имеет асимметричный характер; асимметрия кривой зависит от соотношения углов падения пород крыльев складки и направления намагниченности. Так как эта аномалия представляет собой алгебраическую сумму четной и нечетной функций, то первая из них $\Delta T_1 = 0{,}5\,[\Delta T(x) + \Delta T(-x)]$, вторая $\Delta T_2 = 0{,}5\,[\Delta T(x) - \Delta T(-x)]$; начало координат находится с помощью известного соотношения $\Delta T(0) = \Delta T_{max} + \Delta T_{min}$. Очевидно, что по кривой $\Delta T_1$ мощность и глубину залегания пород можно найти с помощью тех же формул, которые применимы для симметричной (четной) аномалии $\Delta T$. Для вычисления разницы между углами падения крыльев складки при известном $\varphi$ (например, при намагниченности по современному полю) может быть использовано соотношение $\Delta T_1$ и $\Delta T_2$ в любой точке. Для раздельного определения каждого из углов падения надо иметь дополнительные сведения не только о направлении, но и о величине намагниченности.

Очевидно, что выделение четной и нечетной составляющих $\Delta T$ может быть осуществлено только в случае достаточно локализованной аномалии, так как нахождение начала координат иногда требует использования поля на значительном удалении от центра аномалии. Во многих случаях на практике использование такого приема не представляется возможным. Однако выполненные расчеты показывают, что при характерных для платформенных областей различиях в углах падения крыльев складок ($\alpha_2 - \alpha_1 \leqslant 15^\circ$), при общем пологом падении пород и вертикальной намагниченности кривые $\Delta T$ близки к

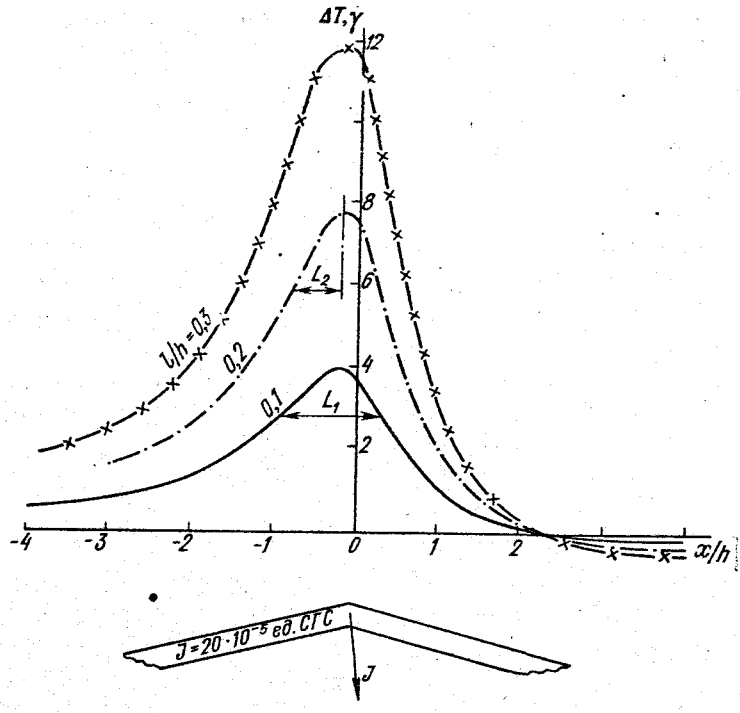



Рис.3. Кривые $\Delta T$ над симметричной антиклинальной складкой при косом намагничивании

четным (рис.3), поэтому непосредственно по ним без существенных ошибок можно вычислять $h$ и $l$ указанными выше способами. Способы справедливы, естественно, и в том случае, когда асимметрия кривых $\Delta T$ определяется не различием в углах падения крыльев, а отклонением намагниченности от вертикальной в незначительных пределах. Кривые $\Delta T$ на рис.3 получены при различных соотношениях $h$ и $l$ для складки с одинаковым падением крыльев при $\varphi = \varphi_0 = 78^0$. Расчеты показывают, что ошибки вычисления $h$ в этих случаях по формулам, справедливым для четных аномалий $\Delta T$, не превышают 8%.

В заключение необходимо отметить следующее.

I. Симметрия (четность) аномалии $\Delta T$ по профилю, ориентированному вкрест простирания оси антиклинальной складки, наблюдается при условии, что различие в углах падения южного и северного крыльев складки составляет $180^0 - \varphi - \varphi_0$. При меридиональном простирании оси складки и при намагничивании по современному полю четность аномалии $\Delta T$ возможна лишь при равных углах падения крыльев складки.

2. Асимметрия кривых $\Delta T$ над антиклинальными структурами может быть вызвана как различием в углах падения крыльев складки, так и наклонной намагниченностью. Не имея дополнительных данных, различить эти случаи невозможно.

3. Только по магнитному полю, не имея никаких дополнительных сведений о намагниченности, нельзя оценить ни угол падения пород на крыльях складки, ни величину намагниченности. Глубина залегания пород и их мощность могут быть вычислены с помощью простых приемов, приведенных выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л., Недра, 1973.

2. Тяпкин К.Ф. Интерпретация магнитных аномалий, обусловленных пластообразными телами и контактами. М., Недра, 1973.

3. Шванк О.А., Люстих Е.Н. Интерпретация гравитационных аномалий. М., Гостоптехиздат, 1947.