Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCII, 1982 г.

УДК 550.838.01

ОБ УЧЕТЕ ИНТЕРВАЛА ОСРЕДНЕНИЯ ПРИ ИСТОЛКОВАНИИ РАЗНОСТНЫХ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ МАЛОМОЩНЫХ ПЛАСТОВ И ПРОСТЫХ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СКЛАДОК

В.П.ЗАХАРОВ

Для повышения достоверности геологического истолкования материалов аэромагнитной съемки часто с помощью различных трансформаций стараются выделить из аномального поля составляющую, связанную преимущественно с определенным интервалом глубин магнитных пород. В районах развития линейных структур для этой цели широко используют осреднение скользящим средним. Если наибольший интерес представляет изучение разреза верхнего структурного этажа или яруса, то вычисляют разностные магнитные аномалии, вычитая осредненное поле из первоначального. Выбирая интервал осреднения в несколько раз меньшим, чем глубина залегания глубинных источников, можно добиться пренебрежимо малого эффекта последних в разностных аномалиях. Тогда можно считать, что разностные аномалии практически будут отражать влияние только верхней части разреза, и их можно использовать для вычисления глубины и элементов залегания соответствующих источников магнитного поля. Необходимо учитывать, однако, что выделенные таким способом аномалии ΔT содержат искажения, зависящие от соотношения между шириной интервала осреднения и глубиной залегания магнитных пород. Поэтому для вычисления глубины залегания и геометрических параметров намагниченных тел по разностным магнитным аномалиям нужны специальные способы, учитывающие размеры интервала осреднения.

Для пласта малой мощности, безграничного по падению, и простой антиклинальной складки, в строении которой принимает участие один горизонт магнитных пород, не вскрытый эрозией, учет интервала осреднения при истолковании разностных магнитных аномалий может быть осуществлен с помощью способа, описываемого ниже.

Обозначив ΔT приращение модуля полного вектора магнитной индукции и выбрав начало координат над вершиной маломощного пласта, имеющего большие размеры по падению, запишем магнитную аномалию такого объекта в СИ:

$$\Delta T = (\mu_0/\pi) J_{xz}\, b \sin\alpha \frac{h\cos\varepsilon - x\sin\varepsilon}{h^2 + x^2} \frac{\sin I}{\sin\varphi_0}, \qquad (1)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - абсолютная магнитная проницаемость вакуума; J_{xz} - проекция вектора намагниченности на плоскость $x0z$; b - видимая полумощность; α - угол падения; h - глубина залегания верхней кромки пласта; I - угол нормального магнитного наклонения; φ_0 - его проекция на плоскость $x0z$; $\varepsilon = 90^\circ - \varphi - \varphi_0 + \alpha$; φ - угол между вектором J_{xz} и осью x, для которой положительным считается направление в северных магнитных румбах или на магнитный восток.

Обозначив интервал осреднения $2R$, можем записать осредненное значение аномалии в произвольной точке x

$$\overline{\Delta T}(2R) = \frac{1}{2R} \int_{x-R}^{x+R} \Delta T\, dx. \qquad (2)$$

Тогда разностная аномалия $\Delta T_p = \Delta T - \overline{\Delta T}(2R)$, как это следует из выражений (1) и (2), может быть представлена в виде

$$\Delta T_p = (\mu_0/\pi) J_{xz}\, b \sin\alpha \left\{ \frac{h\cos\varepsilon - x\sin\varepsilon}{h^2 + x^2} - \frac{1}{2R} \left[\cos\varepsilon \operatorname{arctg} \frac{2Rh}{h^2 + x^2 - R^2} - \right.\right.$$

$$\left.\left. - \frac{1}{2} \sin\varepsilon \ln \frac{h^2 + (x+R)^2}{h^2 + (x-R)^2} \right] \right\} \frac{\sin I}{\sin\varphi_0}. \qquad (3)$$

Из выражения (3) следует, что разностную аномалию ΔT_p пласта малой мощности можно рассматривать как разность аномалии ΔT этого реального объекта и аномалии ΔT пласта, мощность которого $2R$, а намагниченность Jb/R. Понятно, что ΔT_p может существенно отличаться от действительной аномалии ΔT того же объекта.

Продифференцировав выражение (3) по x и выполнив простые преобразования, получим уравнение

$$x^4 \sin\varepsilon - 4hx^3\cos\varepsilon - x^2(6h^2 + R^2)\sin\varepsilon + 2hx(2h^2 + R^2)\cos\varepsilon + h^2(h^2 + R^2)\sin\varepsilon = 0, \qquad (4)$$

корни которого являются абсциссами экстремумов аномалии ΔT_p.

Очевидно, что при $\varepsilon = \pi k$ уравнение (4) имеет три, а при других значениях ε - четыре действительных корня. Таким образом, аномалия ΔT_p пласта малой мощности, безграничного по падению, всегда имеет на два экстремума больше, чем аномалия ΔT того же объекта. Дополнительные экстремумы появляются с двух сторон на периферии, их амплитуда всегда меньше, чем амплитуда центральных (рис.1). Отметим, что расстояние между центральными экстремумами ΔT_p существенно меньше, чем у ΔT. Следовательно, если пренебречь искажением, вносимым трансформацией, и рассматривать разностные аномалии как чистые аномалии ΔT, то неизбежно ошибочное заключение о глубинах залегания верхней и нижней кромок пласта, а также о значениях угла ε.

Для определения h и ε представляется целесообразным попытаться использовать значения абсцисс и ординат наиболее отчетливо выраженных точек аномалии ΔT_p, т.е. ее экстремумов. Однако из уравнения (4) простые выражения для вычисления h можно получить лишь при $\varepsilon = 0$ (или 180^0)

$$h = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 - R^2/2}$$

и при $\varepsilon = \pm 90^0$ –

$$h = 0{,}5\sqrt{3(x_2 - x_1)^2 - 2R^2 + 2\sqrt{2(x_2 - x_1)^4 - 2R^2(x_2 - x_1)^2 + R^4}},$$

где x_1 и x_2 – абсциссы двух центральных, наибольших по амплитуде экстремумов ΔT_p.

При иных значениях ε из выражения (4) не удается получить пригодные для практического использования формулы, по которым можно было бы вычислить h и ε. Поэтому уравнение (4) было решено относительно x с помощью ЭВМ итерационным методом при дискретных значениях R/h и ε, а полученные значения x_1 и x_2 использованы для вычисления центральных экстремумов ΔT_p. Разности абсцисс $x_2 - x_1$, выраженные в единицах R, и ординаты центральных экстремумов ΔT_p положены в основу построения палетки (рис.2,а), позволяющей находить h и ε. Палетка составлена для $0 \leq \varepsilon \leq 90^0$, но может быть использована при любых углах ε. Наблюдаемая закономерность $\Delta T_p = f(\varepsilon)$ позволяет сформулировать правило определения ε с помощью предлагаемой палетки, основанное на взаимном расположении центральных экстремумов разностной аномалии и соотношении их амплитуд.

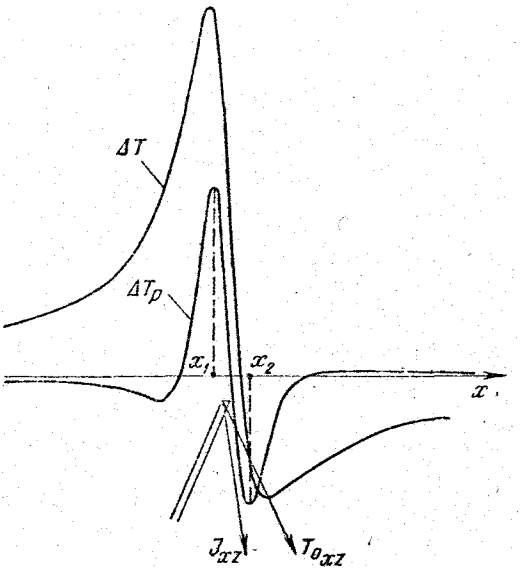


Рис.1. Аномалии ΔT и ΔT_p ($R/h = 2$) пласта малой мощности, безграничного по падению
T_{0xz} – проекция вектора индукции нормального поля Земли на плоскость xOz

Условимся в дальнейшем понимать под $\Delta T_{p_{max}}$ и $\Delta T_{p_{min}}$ наибольшие по абсолютной величине максимум и минимум аномалии. Из рис.2 следует, что если $\Delta T_{p_{max}} \geq |T_{p_{min}}|$, то $0 \leq |\varepsilon| \leq 90^0$. Знак ε в этом случае устанавливается по взаимному расположению центральных экстремумов ΔT_p: если $\Delta T_{p_{min}}$ лежит в области положительных значений оси x, то угол ε положителен, при противоположном расположении экстремумов ΔT_p – угол ε отрицателен.

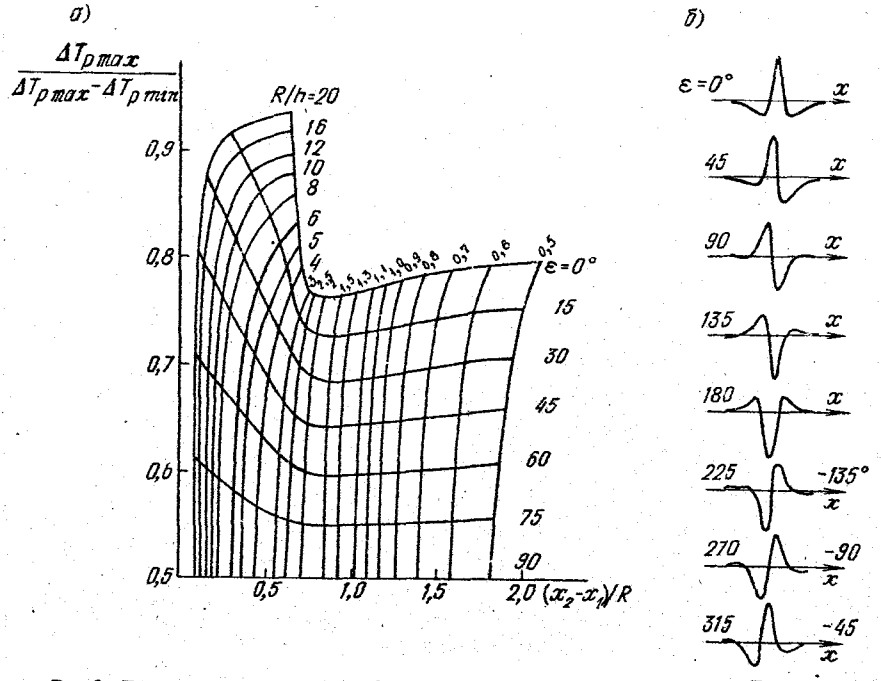


Рис.2. Палетка для вычисления h и ε по аномалиям $\Delta T_p = \Delta T - \overline{\Delta T(2R)}$ пласта малой мощности, безграничного по падению, и простой антиклинальной складки (а) и типы аномалий ΔT_p при различных ε (б)

При наличии аномалий, у которых $\Delta T_{p_{max}} < |\Delta T_{p_{min}}|$, на оси ординат палетки надо откладывать $|\Delta T_{p_{min}}|/(\Delta T_{p_{max}} - \Delta T_{p_{min}})$. Найдя в последнем случае по палетке значение $\varepsilon_п$, определяют истинное $\varepsilon = 180^0 - \varepsilon_п$, если ε принадлежит второй четверти, и $\varepsilon = 180^0 + \varepsilon_п$, если он принадлежит третьей четверти. Принадлежность к конкретной четверти устанавливается по взаимному расположению центральных экстремумов аномалии ΔT_p (рис.2,б).

Аналитическое выражение ΔT простой антиклинальной складки, в строении которой принимает участие один маломощный горизонт магнитных пород, не вскрытый эрозией, с точностью до постоянного множителя совпадает с выражением ΔT пласта малой мощности, безграничного распространения на глубину. Различие заключается лишь в том, что в случае складки α – угол падения ее осевой поверхности (рис.3), а h – глубина залегания средней линии горизонта в своде структуры. Понятно, что будут подобны и разностные магнитные аномалии этих двух моделей, поэтому предлагаемая палетка может быть использована для определения h и ε по аномалии ΔT_p такой складки.

Напомним, что вычисление угла падения пласта $\alpha = \varepsilon - 90^0 + \varphi + \varphi_0$ при практическом отсутствии влияния нижней кромки возможно, если известно направление полного вектора намагниченности. Сведения об этом можно получить только при наличии специально отобранных ориентированных образцов. Измерив их магнитную восприимчивость и составляющие вектора естественной остаточной намагниченности, определяют модуль и общее

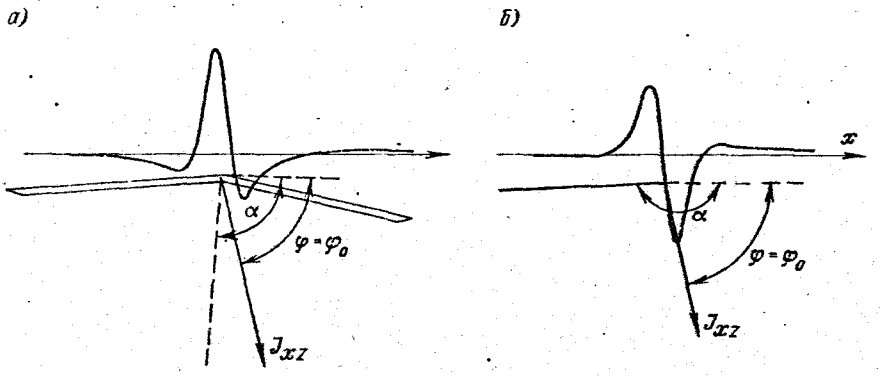


Рис.3. Аномалии ΔT_p (R/h = 1) простой линейной антиклинальной складки (а) и пласта малой мощности, безграничного по падению (б)

направление намагниченности. Последнее нужно знать, и чтобы найти угол падения осевой поверхности простой антиклинальной складки. В тех случаях, когда можно обоснованно предполагать, что породы намагничены по направлению современного магнитного поля Земли, $\varphi = \varphi_0$. Так как угол φ_0 определяется легко[x] ($\operatorname{ctg}\varphi_0 = \operatorname{ctg} I \cos A_0$, где A_0 – нормальный магнитный азимут оси x), то можно вычислить $\alpha = \varepsilon - 90^0 + 2\varphi_0$.

В последние годы аэромагнитная съемка с чувствительными квантовыми магнитометрами широко применяется для непосредственного обнаружения складчатых структур как при поисках рудных месторождений, так и при изучении строения платформенного чехла в связи с поисками месторождений нефти и газа. Естественно, что в последнем случае большое значение придается выделению антиклинальных складок и определению углов падения их крыльев. Однако, не зная направления намагниченности, по характеру аномалии ΔT или ΔT_p невозможно сделать заключение о том, создана ли она двумерной антиклинальной складкой, магнитный горизонт которой не вскрыт эрозией, или горизонтом магнитных пород во вскрытом эрозией крыле складчатой структуры.

Если направление намагниченности известно или установлено, что остаточная намагниченность для пород данной части разреза не характерна, то угол α вычислить можно. В районах с пологим залеганием пород, в частности – в платформенных, полученное значение α можно использовать для достаточно обоснованного суждения о вероятной модели источника аномалии. Если значение α близко к 90^0, значит в магнитном поле находит отражение ядро антиклинальной складки с не вскрытым эрозией картирующим горизонтом, если значение α близко к 0 или 180^0, то можно считать, что картируется вскрытое эрозией крыло складчатой структуры или зона выклинивания (рис.3).

Рекомендуемая палетка предназначена для определения h и ε по изолированной разностной аномалии, однако она может иметь достаточно широ-

[x] Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л., Недра, 1979.

кое практическое применение. Действительно, при выделении разностных аномалий автоматически уничтожается наклонный фон, отражающий влияние других, сравнительно удаленных объектов, и происходит резкая локализация аномалий (см. рис.I). При наличии в поле ΔT фона, описываемого многочленом третьей степени, разностные аномалии будут содержать только постоянный фон. Заметим, что это не скажется ни на расстоянии $x_2 - x_1$, ни на полной амплитуде аномалии $\Delta T_{p_{max}} - \Delta T_{p_{min}}$, а отразится лишь на величине снимаемого с графика значения $\Delta T_{p_{max}}$. Однако в пределах основной рабочей части палетки, где R/h меняется от 0,5 до 2,0, ошибка в определении $\Delta T_{p_{max}}$ очень слабо сказывается на вычисленном значении h, хотя и существенно влияет на правильность определения ε. Так, при $(x_2 - x_1)/R$ = I,25, ошибка в определении $\Delta T_{p_{max}}$, равная 40 %, ведет к погрешности определения глубины около 8 %. Следовательно, можно признать, что точность установления глубины залегания пород с помощью данной палетки вполне удовлетворительна даже при наличии в разностных аномалиях неучтенного постоянного фона.

Более существенным источником погрешности при определении h может оказаться неверно оцененное соотношение между видимой мощностью пласта и глубиной его залегания. Палетка предназначена для аномалий пластовых тел малой (по сравнению с глубиной залегания) мощности, поэтому ее применение в случае пластовых тел большой мощности приводит к тому, что найденное значение h окажется больше истинного.

Имеющийся практический опыт использования палетки для интерпретации материалов аэромагнитной съемки показывает, что при условии правильного выбора разностных аномалий вычисляемые с ее помощью значения h и ε весьма близки к истинным. Это утверждение основано на большом количестве расчетов, выполненных по данным съемок с квантовым магнитометром КАМ-28 в платформенных районах СССР с целью изучения разреза осадочного чехла.