Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1987, т. 113

УДК 550.838.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ МАЛОМОЩНЫХ ПЛАСТОВЫХ ТЕЛ ПО АНОМАЛИЯМ ΔT, ТРАНСФОРМИРОВАННЫМ МЕТОДОМ САКСОВА – НИГАРДА

В.П.ЗАХАРОВ

При обработке материалов высокоточной аэромагнитной съемки, проводимой с целью изучения осадочного чехла платформ и выявления в нем структурных осложнений, широко применяются различные трансформации аномального поля, предназначенные для ослабления аномалий, которые вызываются породами фундамента. В частности, достаточно широко используются трансформация, являющаяся разновидностью преобразования, предложенного С.Саксовым и К.Нигардом [3]. Для ослабления влияния поля глубинных источников они вывели формулу для трансформанты трехмерных аномалий, которая применительно к ΔT имеет вид

$$F(\Delta T)=\left[\overline{\Delta T}(R_1)-\overline{\Delta T}(R_2)\right]/(R_2-R_1), \qquad (I)$$

где $\overline{\Delta T}(R_1)$ и $\overline{\Delta T}(R_2)$ – средние значения ΔT на окружностях радиусами R_1 и R_2.

Такое преобразование приводит к снятию наклонного фона, существенному ослаблению влияния объектов, расположенных на глубинах, превышающих R_2, и почти полному подавлению аномалий, радиус автокорреляции которых меньше, чем R_1. Эти свойства трансформации Саксова – Нигарда явились причиной использования ее, правда, в несколько измененном виде для преобразования аномалий ΔT в платформенных регионах с целью более наглядного выделения составляющих этого магнитного поля, связанных со структурами и структурными осложнениями осадочного чехла, которые могут быть благоприятными для локализации залежей углеводородов. При решении этой задачи желательно не только максимально подавить аномалии, связанные с неоднородностью кристаллического фундамента, но и исключить самую высокочастотную составляющую поля, вызванную влиянием четвертичных отложений и случайных помех негеологической природы. Использование трансформации Саксова – Нигарда позволяет достигнуть этих целей.

В практике работ аэромагнитных партий при обработке материалов съемки наиболее распространенного в настоящее время масштаба 1:50000 используется двухмерный вариант преобразования Саксова – Нигарда, а кроме того опускается постоянный знаменатель формулы (I). Последнее позволяет получить трансформированные аномалии той же размерности, какая была у аномалий ΔT. Отметим, что при наличии сильно вытянутых, так называемых двух-

мерных аномалий, которые достаточно часто наблюдаются и в платформенных регионах, осреднение по окружности радиусом R совершенно идентично осреднению по линии маршрута на интервале $2R$.

Модификация трансформации Саксова - Нигарда, используемая при обработке материалов аэромагнитной съемки, позволяет получить так называемые разностные аномалии

$$\Delta T_P = \overline{\Delta T}(2R_1) - \overline{\Delta T}(2R_2) = \frac{1}{2R_1}\int_{x-R_1}^{x+R_1} \Delta T\,dx - \frac{1}{2R_2}\int_{x-R_2}^{x+R_2} \Delta T\,dx. \quad (2)$$

Вычисляемые с помощью трансформации (2) магнитные аномалии не могут рассматриваться как аномалии ΔT реальных объектов платформенного чехла даже в том идеальном случае, когда магнитный эффект фундамента практически отсутствует в аномалиях ΔT_P. Поэтому возникает необходимость в разработке специальных способов интерпретации разностных аномалий, получаемых при преобразовании поля по формуле (2), прежде всего линейных аномалий. Опыт показывает, что протяженные магнитные аномалии чехла обычно связаны с маломощными (от нескольких десятков до нескольких сотен метров) горизонтами терригенных пород, поэтому при истолковании таких аномалий уместно использовать представление о магнитном поле пласта малой мощности. Такой моделью аппроксимируются маркирующие горизонты, вскрытые эрозией на крыльях линейных складок, выклинивающиеся пласты, осевые поверхности антиклинальных структур [1], магнитные горизонты которых не вскрыты эрозией.

Выбрав начало координат над вершиной пласта и используя известное [2] аналитическое выражение поля ΔT пласта малой мощности, безграничного на глубину и намагниченного в произвольном направлении, можем записать выражение (2) для этой конкретной модели:

$$\Delta T_P = C\left[\frac{1}{2R_1}\int_{x-R_1}^{x+R_1} \frac{h\cos\varepsilon - x\sin\varepsilon}{h^2+x^2}\,dx - \frac{1}{2R_2}\int_{x-R_2}^{x+R_2} \frac{h\cos\varepsilon - x\sin\varepsilon}{h^2+x^2}\,dx\right], \quad (3)$$

$$C = \mu_0/(2\pi)\,J\Delta h \sin i \sin I/(\sin\varphi \sin\varphi_0),$$

где μ_0 - абсолютная магнитная проницаемость; J - намагниченность; Δh - истинная мощность пласта; i и I - углы наклонения векторов намагниченности и современного намагничивающего поля; φ и φ_0 - проекции углов i и I на плоскость xOz, ориентированную вкрест простирания пород; h - глубина залегания верхней кромки пласта; $\varepsilon = 90^0 - \varphi - \varphi_0 + \alpha$; α - угол падения пласта.

Отметим, что все углы отсчитываются от горизонта, а углы, лежащие в плоскости xOz, - от положительного направления оси Ox, ориентированной в северных магнитных румбах или на магнитный восток.

Из выражения (3), выполнив интегрирование и подставив пределы, получим

$$\Delta T_P = C\left\{\frac{1}{2R_1}\left[\left(arctg\frac{x+R_1}{h} - arctg\frac{x-R_1}{h}\right)\cos\varepsilon - \frac{1}{2}\sin\varepsilon \ln\frac{h^2+(x+R_1)^2}{h^2+(x-R_1)^2}\right] - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{2R_2}\left[\left(arctg\frac{x+R_2}{h} - arctg\frac{x-R_2}{h}\right)\cos\varepsilon - \frac{1}{2}\sin\varepsilon \ln\frac{h^2+(x+R_2)^2}{h^2+(x-R_2)^2}\right]\right\}. \quad (4)$$

Таким образом, разностную аномалию ΔT_P пласта малой мощности можно рассматривать как аномалию ΔT, но не реальной, а некоторой более сложной модели. Так, например, ее можно воспринимать как разность аномалий ΔT двух пластов, у первого из которых видимая мощность составляет $2R_1$ и намагниченность $-Jb/R_1$, а у второго – видимая мощность – $2R_2$ и намагниченность $-Jb/R_2$ (здесь b – I/2 видимой мощности реального пласта). Углы падения и направление намагниченности этих пластов такие же, как у реального объекта (рис.I).

Из изложенного следует, что определение глубины залегания верхней кромки пласта малой мощности по аномалии ΔT_P, полученной с использованием трансформации Саксова – Нигарда, задача достаточно сложная. Наличие в выражении (4) функций арктангенса и логарифма не позволяет вычислять h и ε по аномалии ΔT_P строго аналитически, за исключением частных случаев, когда ε принимает значения 0, $\pm 90^0$ или 180^0. Не были получены удовлетворительные результаты при попытках определения h и ε и при использовании интерпретационных программ „Тонкие пласты" и „Особые точки-2". Поэтому для решения этой задачи в самом общем случае было решено попытаться разработать специальные номограммы, которые позволяли бы определять h и ε при известных K_1 и K_2, используя значения некоторых абсцисс и ординат аномалии ΔT_P, прежде всего ее экстремумов, как наиболее ярких особенностей поля.

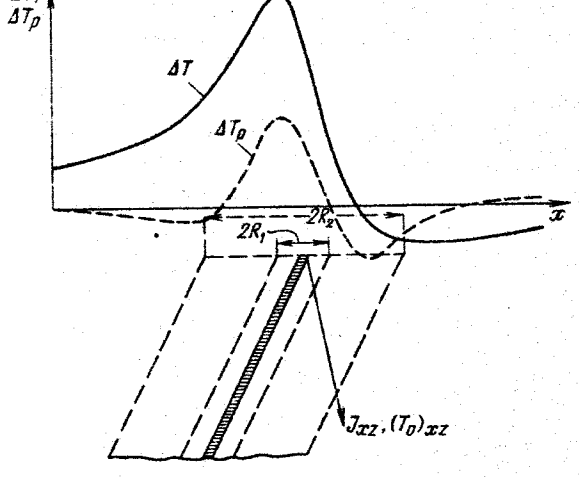


Рис.1. Аномалии ΔT и ΔT_P пласта малой мощности, безграничного по падению

Вычислив производную от ΔT_P по x и приравняв ее нулю, получим полное уравнение четвертой степени, корни которого являются абсциссами экстремумов аномалии ΔT_P. Отсюда ясно, что разностная аномалия по сравнению с аномалией ΔT_P имеет на два экстремума больше. Эти

дополнительные экстремумы располагаются на периферии аномалии ΔT_P и имеют меньшие амплитуды, чем центральные.

В частных случаях корни уравнения, являющиеся абсциссами экстремумов ΔT_P, при $\varepsilon = 0$ и $\varepsilon = 180^0$

$$x_1=0; \quad x_{2,3}=\pm\sqrt{h^2+(R_1^2+R_2^2)/2}, \qquad (5)$$

при $\varepsilon = \pm 90^0$

$$x_{1,2,3,4}=\pm\sqrt{\left[6h^2+R_1^2+R_2^2\pm\sqrt{(6h^2+R_1^2+R_2^2)^2-4(h^2+R_1^2)(h^2+R_2^2)}\right]/2}. \qquad (6)$$

Следовательно, если аномалия ΔT_P представлена только четной составляющей, то глубина залегания верхней кромки пласта

$$h=\sqrt{(x_2-x_1)^2-(R_1^2+R_2^2)/2}, \qquad (7)$$

где $|x_2-x_1|$ – расстояние от центрального максимума (при $\varepsilon = 0$) до любого из двух симметрично расположенных минимумов ΔT_P.

Соответственно, если ΔT_P представлена только нечетной составляющей, то

$$h=\sqrt{\left[1{,}5(x_2-x_1)^2-R_1^2-R_2^2+\sqrt{2(x_2-x_1)^4-2(x_2-x_1)^2(R_1^2+R_2^2)+(R_2^2-R_1^2)^2}\right]/2}, \qquad (8)$$

где $|x_2-x_1|$ – расстояние между двумя большими по модулю экстремумами аномалии ΔT_P.

При иных значениях угла ε для вычисления h и ε рекомендуется использовать специальные номограммы. Для составления таких номограмм требуется предварительно вычислить x_1, x_2, $\Delta T_P(x_1)$ и $\Delta T_P(x_2)$ при разных значениях ε, h/R_2 и R_1/R_2. Уже имеющийся опыт практического использования номограмм показывает, что при их построении достаточно иметь значения абсцисс и ординат ΔT_P при углах ε, равных 0, 15^0, 30^0, 45^0, 60^0, 75^0 и 90^0. Отношение h/R_2 достаточно изменять в пределах от 0,1 до 2,0 с шагом, равным 0,1.

Номограммы рассчитываются для таких значений R_1/R_2, которые практически используются при трансформации поля ΔT в конкретной организации. Отметим, что С.Саксовым и К.Нигардом предусматривалось выполнять предложенную ими трансформацию при $R_1 \ll R_2$, но в современной практике работ аэромагнитных партий это преобразование осуществляется при разных соотношениях R_1/R_2. Последнее объясняется тем, что увеличивая R_1, рассчитывают не только избавиться от влияния магнитной неоднородности четвертичных отложений, но и подавить аномалии более мощной толщи пород, например, включающей неогеновые и палеогеновые образования, чтобы в разностных аномалиях, вычисленных по формуле (2), могли отчетливее проявиться эффекты более глубоких горизонтов осадочного чехла.

Для значений угла ε, равных 0, 180^0 и 90^0, абсциссы наибольших по модулю экстремумов аномалии ΔT_P, которые условимся в дальнейшем обозначать $\Delta T_{P_{max}}$ и $\Delta T_{P_{min}}$, вычислялись соответственно по формулам (5) и (6). Значения абсцисс экстремумов этой аномалии при иных углах ε на-

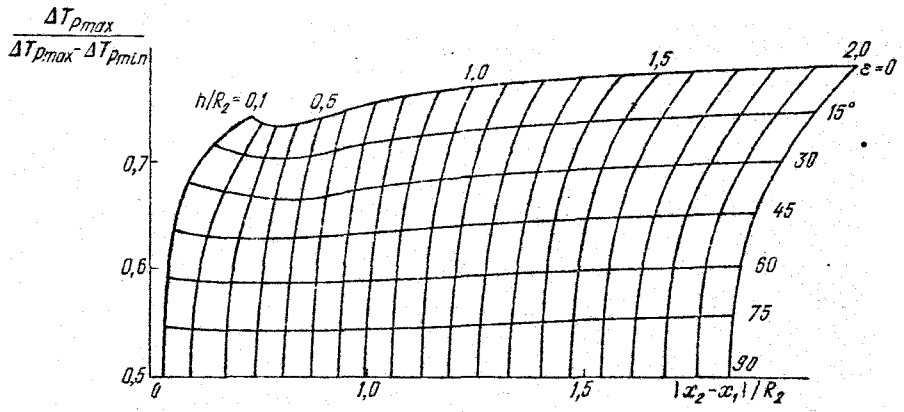


Рис.2. Номограмма для определения h и $|\varepsilon|$ по трансформантам ΔT_P, вычисляемым по формуле (2), магнитных аномалий пластов малой мощности, безграничных по падению, и линейных антиклинальных складок при $R_1/R_2 = 0,25$

ходилось приближенно на ЭВМ с погрешностью, не превышающей $10^{-4}h$. Одновременно вычислялись и экстремальные значения аномалии ΔT_P.

Полученные массивы значений абсцисс и ординат наибольших по модулю экстремумов аномалии ΔT_P пласта малой мощности, безграничного по падению, были положены в основу построения номограмм, предназначенных для вычисления h и ε. Номограмма представляет собой совокупность точек, декартовыми координатами которых являются $|x_2-x_1|/R_2$ и $\Delta T_{Pmax}/(\Delta T_{Pmax}-\Delta T_{Pmin})$, где $\Delta T_{Pmax}-\Delta T_{Pmin}$ – полная амплитуда аномалии. Через эти точки проведены линии равных значений $|\varepsilon|$ и линии равных значений h/R_2 (рис.2).

Номограмму, составленную для $0 \leqslant |\varepsilon| \leqslant 90^0$, можно использовать для определения h и ε при любом значении этого угла. Если $\Delta T_{Pmax} > |\Delta T_{Pmin}|$, что для магнитного поля рассматриваемой модели наблюдается при $0 \leqslant |\varepsilon| \leqslant 90^0$, то по значениям $|x_2-x_1|/R_2$ и $\Delta T_{Pmax}/(\Delta T_{Pmax}-\Delta T_{Pmin})$ находится точка в поле номограммы. В общем случае эта точка оказывается расположенной в пределах элемента, ограниченного линиями с разным значением $|\varepsilon|$ и линиями с разным значением h/R_2. По положению точки в данном элементе линейной интерполяцией определяем $|\varepsilon|$ и h/R_2, свойственные источнику рассматриваемой аномалии; тем самым, определяем h, так как R_2 известно. Знак угла ε устанавливается по взаимному расположению наибольших по модулю экстремумов ΔT_P. Принимая во внимание, как отмечалось выше, что положительное направление оси Ox должно быть ориентировано в северных магнитных румбах или на магнитный восток, устанавливаем следующую зависимость: $\varepsilon > 0$, если ΔT_{Pmin} лежит в области положительных значений x (ΔT_{Pmax} – в области отрицательных значений x). При противоположном расположении экстремумов ΔT_P угол ε – отрицателен.

При интерпретации аномалий, у которых $\Delta T_{Pmax} < |\Delta T_{Pmin}|$, по оси ординат номограммы надо откладывать $|\Delta T_{Pmin}|/(\Delta T_{Pmax}-\Delta T_{Pmin})$. Получаемое в этом случае по номограмме значение угла, которое обозна-

чим $\varepsilon_н$, отличается от истинного на 180^0. Искомый угол определяется как $\varepsilon = 180^0 + \varepsilon_н$, если $\Delta T_{P\,max}$ лежит в области положительных значений x, и $\varepsilon = 180^0 - \varepsilon_н$, если $\Delta T_{P\,max}$ лежит в области отрицательных значений x.

Зная ε, в некоторых случаях можно определить угол падения α маломощного пласта или осевой поверхности соответствующей антиклинальной складки. Так как $\alpha = \varepsilon + \varphi + \varphi_0 - 90^0$, то возможность определения α появляется, когда известно направление вектора намагниченности, что позволяет найти $\varphi = arctg\,(tg\,i/\cos A)$, или когда есть основание считать, что остаточная намагниченность существенно меньше индуцированной (здесь A – угол между проекцией вектора намагниченности на горизонтальную плоскость и осью Ox). В последнем случае допустимо принять, что $\varphi = \varphi_0$ и $\alpha = \varepsilon + 2\varphi_0 - 90^0$. Напомним, что для конкретного района при известном простирании пород, которое устанавливается по ориентировке оси магнитной аномалии, угол $\varphi_0 = arctg\,(tg\,I/\cos A_0)$, где A_0 – магнитный азимут линии, ориентированной вкрест простирания пород, создающих рассматриваемую аномалию [2].

Определение значений α по материалам аэромагнитной съемки в платформенных регионах, где, в основном, и используется трансформация Саксова – Нигарда в модификации (2), способствует выяснению геологических причин возникновения аномалии. Так как для пород платформенного чехла характерно преимущественно пологое залегание, то вычисленное значение α близкое к нулю или к 180^0, указывает на наличие вскрытых эрозией или выклинивающихся по восстанию пород. Если α близко к 90^0, то источником магнитной аномалии является антиклинальная складка в породах чехла, магнитный горизонт которой не вскрыт эрозией.

В заключение отметим, что, хотя предлагаемые номограммы пригодны для интерпретации аномалий ΔT_P сравнительно узкого класса моделей, эти модели весьма широко распространены именно в пределах платформенного чехла. Это дает основание предполагать, что данные номограммы найдут применение при массовом определении глубин залегания пород и оценке элементов залегания последних по трансформантам Саксова – Нигарда магнитных полей платформенных регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В.П. Определение положения маломощного горизонта в разрезе сундучной складки по симметричной аномалии ΔT. – В кн.: Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа. Пермь, изд. Пермского ун-та, 1981, с. 81–87.

2. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л., Недра, 1979. 351 с.

3. Saxov S., Niggard K. – Geophysics, 1953, v.18, N 4.