

систему прогностических признаков. Мы надеемся, что наш опыт геодинамического районирования послужит первым шагом к разработке сначала методологии, а затем, на ее основе, теории и методики прогнозирования динамических событий на территории Верхнекамского месторождения калийных и калийно-магниевых солей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батугина И.М., Петухов И.М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. – М.: Недра, 1988. – 165 с.
2. Башорин В.В., Кассин Г.Г. Результаты гелиевой съемки применительно к изучению тектонического строения юго-восточной части Русской платформы // Методика поисков и разведки глубокозалегающих рудных месторождений. – Свердловск, 1975. – Вып. 128. – С. 127-134.
3. Булашевич Ю.П., Карташев Н.П., Башорин В.Н. Коэффициенты диффузии радона и гелия в естественном залегании пород // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1970. - № 1. – С. 70-73.
4. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
5. Гвишиани А.Д. и др. Прогнозирование мест землетрясений в регионах умеренной сейсмичности. – М.: Наука, 1988. – 176 с.

УДК 550.834

В.И. Бондарев, С.М. Крылатков

ТЕОРИЯ ГОДОГРАФОВ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН В МЕТОДЕ МНОГОКРАТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Метод многократных перекрытий (ММП) с использованием отраженных волн (ОВ) в настоящее время является основным видом сейсморазведочных работ на нефть и газ. Один из вариантов ММП, широко применяемый на практике в России, известен у нас как метод общей глубинной точки (МОГТ). Теория годографов ОВ в МОГТ достаточно подробно изложена как в зарубежной, так и отечественной литературе [1]. Однако эта теория, на наш взгляд, незаслуженно оставляет вне поля зрения некоторые важные аспекты, анализ которых может открыть новые интересные возможности в сейсморазведке.

Рассмотрим простейшую лучевую схему распространения отраженной волны для профильных наблюдений для случая, когда линия наблюдения ориентирована строго вкост простирания отражающей границы. Начало координат совместим с некоторой текущей точкой на линии наблюдений, которую по традиции в широком смысле слова будем называть **общей средней точкой – точкой ОСТ** (рис. 1). Именно для этой точки профиля всегда будем формировать сейсмограмму ММП, на основе которой последующим суммированием будем получать итоговую трассу временного разреза. Положение плоской отражающей границы относительно начала координат будем определять двумя параметрами – глубиной по нормали до границы $h_{ОСТ}$ и углом наклона границы к линии профиля φ . При этом угол φ будем, как обычно, считать положительным, если линия профиля ориентирована по падению границы.

Пункт возбуждения (ПВ) упругих волн расположен на расстоянии l_1 от ОСТ. Поставим задачу определения траектории луча и времени пробега волны до пункта приема (ПП), расположенного по другую сторону от ОСТ на расстоянии l_2 :

$$x = l_1 + l_2. \quad (1)$$

Из рассмотренной кинематической схемы, показанной на рис.1, следует, что координаты положения мнимого пункта возбуждения ПВ* будут равны:

$$\begin{aligned} x^* &= -l_1 - 2 \cdot (h_{ОСТ} - l_1 \cdot \sin \varphi) \cdot \sin \varphi, \\ z^* &= 2 \cdot (h_{ОСТ} - l_1 \cdot \sin \varphi) \cdot \cos \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

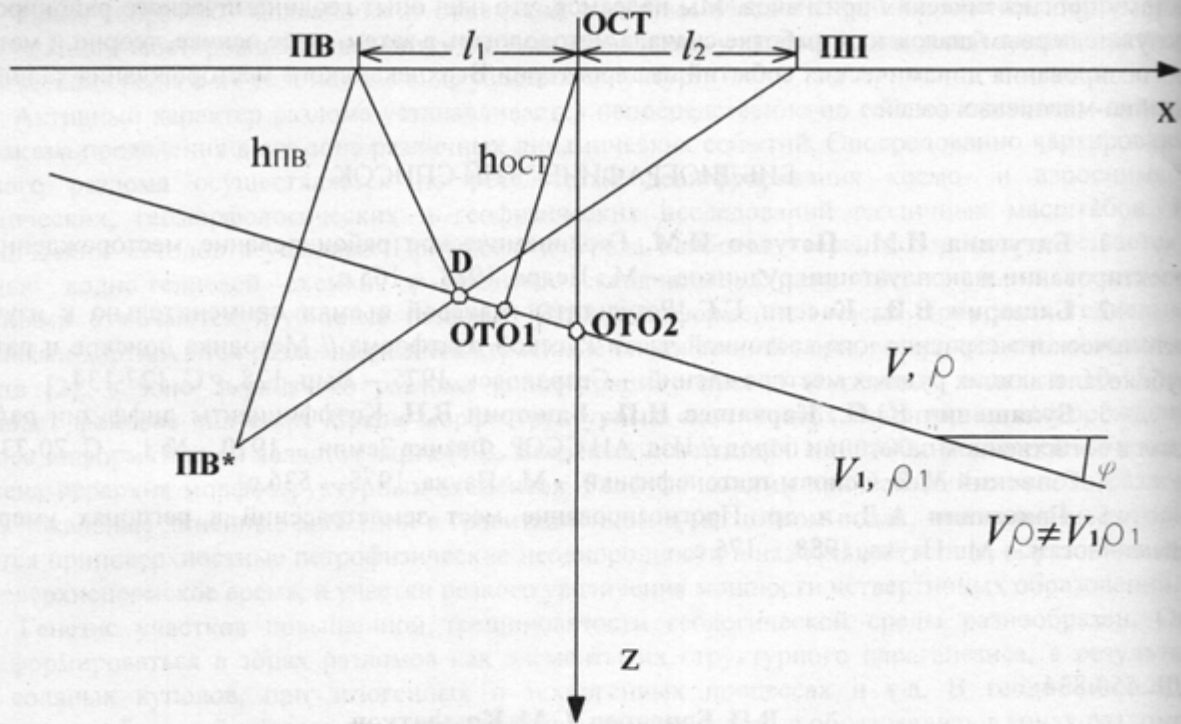


Рис. 1. Схема, поясняющая вывод уравнения годографа ОВ в ММП

С учетом этого действительное время пробега отраженной волны из источника ПВ до отражающей границы и от нее до пункта приема ПП формально будет равно времени пробега волны по прямой линии из мнимого источника ПВ* до ПП:

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{1}{V} \cdot \sqrt{(l_2 - x^*)^2 + (z^*)^2} = \\
 &= \frac{1}{V} \cdot \sqrt{4 \cdot h_{ост}^2 + (l_2 - l_1)^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos^2 \varphi + 4 \cdot (l_2 - l_1) \cdot h_{ост} \cdot \sin \varphi}.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Для дальнейшего анализа весьма важным представляется знание координаты точки отражения D. Из условия пересечения двух прямых линий – следа отражающей границы на плоскости чертежа и линии ПВ* - ПП нетрудно получить, что x_D - координата точки D будет равна:

$$x_D = \frac{h_{ост} \cdot (l_2 - l_1) \cdot (2 \cdot \cos^2 \varphi - 1) - 2 \cdot \sin \varphi \cdot (l_1 \cdot l_2 \cos \varphi + h_{ост}^2)}{2 \cdot h_{ост} + (l_2 - l_1) \cdot \sin \varphi} \quad (4)$$

Полученные общие формулы (3) и (4) позволяют написать конкретные выражения уравнения годографов отраженных волн, которые будут иметь место для сейсмограмм ММП, сформированных по конкретной методике.

Прежде всего приведенные формулы позволяют понять, что при выводе конкретного уравнения годографа ОВ ММП можно исходить из двух различных предположений.

При первом предположении для вывода годографов ОВ ММП можно принимать во внимание только исключительно соотношения расстояний ПВ и ПП от ОСТ. Этот случай приводит нас (при $l_1 = l_2$) к уже хорошо известному варианту – методике суммирования по общей средней точке (*common midpoint*). Эта технология у нас в России более известна под именем метода общей глубинной точки – МОГТ. Уравнение (3) в этом случае (при $l_1 = l_2 = x/2$) приобретает уже хорошо всем известный вид

$$t = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V_{огт}^2}} \quad , \quad (5)$$

где $t_0 = \frac{2 \cdot h_{OCT}}{V}$; $V_{OIT} = V / \cos \varphi$.

Естественным логическим обобщением рассмотренного подхода является предложение о том, что расстояния l_1 и l_2 могут быть связаны каким-либо более универсальным соотношением. Простейшим обобщением является предположение, что расстояния l_1 и l_2 могут находиться в следующей линейной зависимости:

$$l_2 = L + a \cdot l_1, \quad (6)$$

где L и a – некоторые разумно выбранные константы.

В этом случае уравнение (3) приобретает следующий вид:

$$t = \frac{1}{V} \cdot \sqrt{4 \cdot h_{OCT}^2 + x^2 \cdot \left[\frac{\left(\frac{a-1}{a+1}\right)^2}{\frac{4 \cdot a \cdot \cos^2 \varphi}{(a+1)^2}} + x \cdot \left[\frac{4 \cdot h_{OCT} \cdot \left(\frac{a-1}{a+1}\right) \cdot \sin \varphi}{4 \cdot L \cdot \left(\frac{a + \cos^2 \varphi}{a+1}\right)} - \frac{\left(\frac{4 \cdot L^2 \cdot \sin^2 \varphi}{(a+1)^2} + \frac{8 \cdot L \cdot h_{OCT} \cdot \sin \varphi}{a+1}\right)} \right]} \right]}, \quad (7)$$

где $l_1 + l_2 = x$.

Оставляя в стороне вопрос влияния параметра L на вид уравнения годографа ОВ, ограничимся пока рассмотрением случая $L=0$. В этом частном случае уравнение годографа ОВ ММП примет вид

$$t = \frac{1}{V} \cdot \sqrt{4 \cdot h_{OCT}^2 + x^2 \cdot \left[1 - \frac{4 \cdot a \cdot \cos^2 \varphi}{(a+1)^2} \right] + x \cdot \left[4 \cdot h_{OCT} \cdot \left(\frac{a-1}{a+1}\right) \cdot \sin \varphi \right]}. \quad (8)$$

После несложных преобразований данное уравнение можно привести к следующему приближенному виду:

$$t = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V_{OIT}^2} + 2 \cdot \frac{x \cdot t_0}{V_{OIT}} \left(\frac{a-1}{a+1}\right) \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (9)$$

При этом принято во внимание, что с высокой степенью точности практически всегда выполняется следующее неравенство:

$$\left(\frac{a-1}{a+1}\right)^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \varphi \ll 1. \quad (10)$$

Представление о сравнительной форме годографов ОВ ММП при различных значениях параметров a и φ можно получить из данных, приводимых на рис. 2.

Несимметричное (относительно ОСТ) суммирование данных ММП ($a \neq 1$) в дополнение к обычному суммированию открывает интересные перспективы в более объективном прослеживании крутопадающих отражающих границ. При этом суммированием с $a > 1$ мы улучшаем прослеживаемость сейсмических границ по падению, а при $a < 1$ – по восстанию. В силу принципа взаимности варианты суммирования с $a > 1$ и $1/a$ тождественны, если поменять знак угла наклона границы.

Второй подход к выводу уравнений годографов ОВ ММП основан на том, что трассы из сейсмограмм ОТВ следует брать по правилу, вытекающему из требования фиксирования положения на границе точек отражения. Таких характерных точек две. Первая из них (точка ОТО1) соответствует основанию нормали к границе, проведенной из ОСТ. Эта точка характерна тем, что всегда полагают, что именно здесь и происходит отражение всех трасс, объединяемых в сейсмограмму ОГТ. Именно по этой причине, как известно, существующая методика работ ММП получила название метода общей глубинной точки. На самом деле это условие выполняется лишь приближенно. Это допущение позволяет сильно упростить весь процесс суммирования и ввода кинематики на основании уравнения (5). Однако, как нам представляется, пришло время при решении современных задач отказаться от сделанного упрощения в целях более объективных представлений о среде.

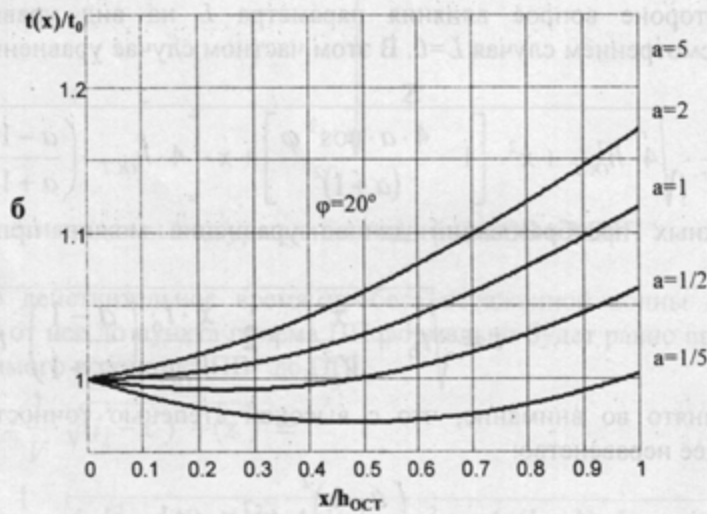
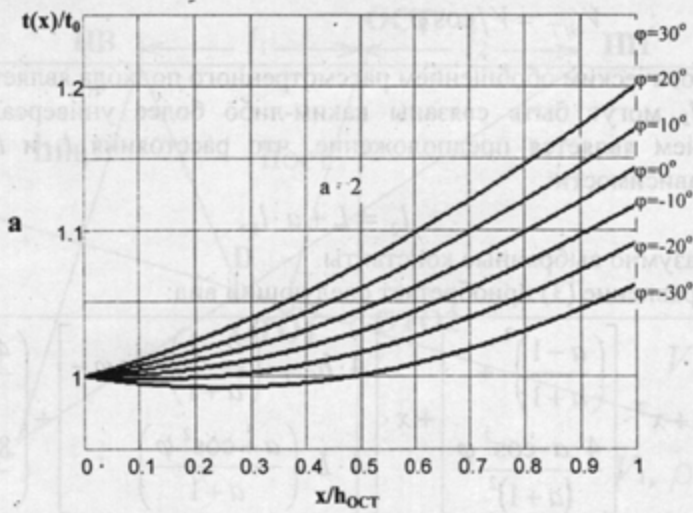


Рис. 2. Сравнительный анализ годографов ММП:

а – при значении коэффициента $a=2$ и различных углах наклона отражающей поверхности φ ; б – при угле наклона отражающей границы $\varphi=20^\circ$ и различных значениях параметра a

Если мы при формировании сейсмограмм ОБ ММП будем выбирать только те трассы из сейсмограмм ОТВ, которые связаны с отражением соответствующих сейсмических лучей в точке ОТО1, то правилом для такого выбора будут формулы

$$l_2 = l_1 \cdot \frac{1}{1 - 2 \cdot (l_1 / h_{OCT}) \cdot \sin \varphi}, \quad l_1 = \frac{l_2}{1 + (2 \cdot l_2 / h_{OCT}) \cdot \sin \varphi}. \quad (11)$$

Вводя в полученные по этой технологии сейсмограмм ОБ ММП соответствующие кинематические поправки, рассчитанные на основе уже полученного уравнения (9), мы получим новые временные разрезы. Эту технологию получения временных разрезов будем называть технологией суммирования по общей точке отражения 1 – СОТО1. Представляется, что дополнительные затраты на получение таких временных разрезов будут компенсироваться их повышенным качеством.

Второй характерной точкой в данной геометрической схеме является точка, находящаяся строго по вертикали под ОСТ. Используя уравнение (4), легко найти, что параметры l_1 и l_2 в этом случае должны быть связаны уравнениями:

$$l_2 = \frac{l_1 + (h_{OCT} / \cos \varphi) \cdot \operatorname{tg}(2\varphi)}{1 - (l_1 / h_{OCT}) \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(2\varphi)}, \quad l_1 = \frac{l_2 - (h_{OCT} / \cos \varphi) \cdot \operatorname{tg}(2\varphi)}{1 + (l_2 / h_{OCT}) \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(2\varphi)}. \quad (12)$$

Выбор трасс в соответствии с приведенным правилом гарантирует, что суммарная трасса сейсмограммы ОВ ММП будет характеризовать разрез среды точно по вертикали под ОСТ. Это обстоятельство открывает принципиально новые возможности в формировании объективных временных разрезов, не нуждающихся в процедурах миграции. Технология получения временных разрезов на этой основе будем называть **суммированием по общей точке отражения 2 – СОТО2**.

Графическое представление о характере зависимостей (12) можно получить из рис.3.

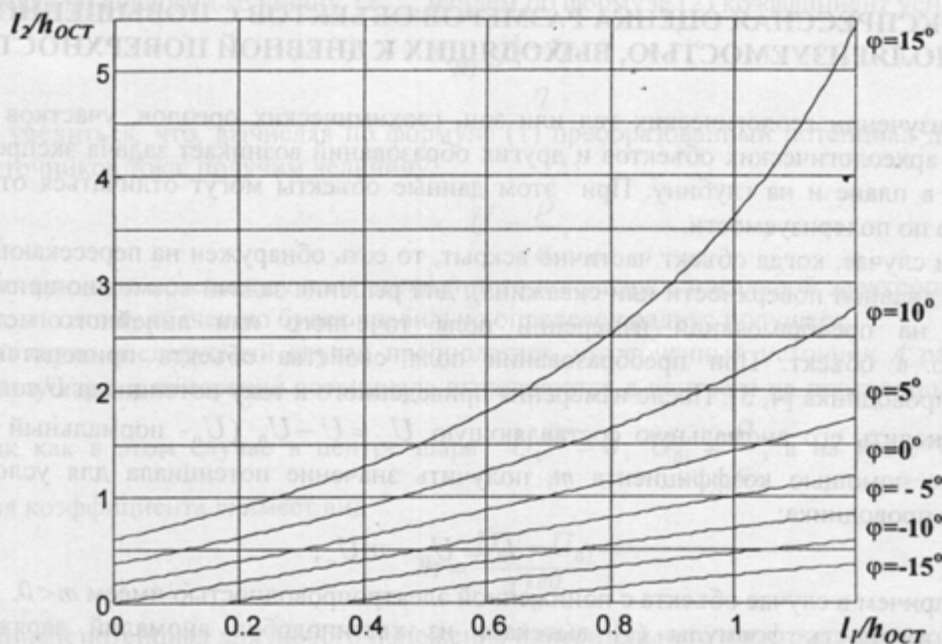


Рис 3. Зависимость величины l_2/h_{OCT} от l_1/h_{OCT} при различных значениях угла наклона границы φ

Сейсмограммы ОВ ММП, формируемые в соответствии с рассмотренными принципами по технологии СОТО1 или СОТО2, при прочих равных условиях будут всегда иметь более высокую кратность в сравнении с классическим случаем суммирования по технологии МОГТ [2]. Фактическая максимальная кратность, например для фланговых систем наблюдений, может превосходить обычно достигаемое в МОГТ значение кратности $N^{OГТ}$ в число раз, равное

$$k = \frac{N_{KРАТ}^{OВММП}}{N_{KРАТ}^{OГТ}} = 2 \cdot \frac{l_2 / l_1}{1 + (l_2 / l_1)}. \quad (13)$$

Теоретическое рассмотрение уравнений годографов отраженных волн на сейсмограммах, полученных по данным перекрытий, показывает:

- существуют различные приемы формирования суммарных сейсмограмм в ММП, отличные от широко используемых в настоящее время.
- применение несимметричных схем суммирования по общей средней точке открывает возможность существенно повысить эффективность изучения крутопадающих отражающих границ;
- технология суммирования СОТО2 открывает принципиальные возможности получения временных разрезов, не нуждающихся в применении процедур миграции.

1. Мешбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. - М.: Недра, 1985. - 264 с.
2. Сейсморазведка: Справочник геофизика. В двух книгах / Под ред. В.П. Номоконова. Книга вторая. - М.: Недра, 1990. - 400 с.

УДК 550.832.7

В.М. Сапожников, И.В. Мишедченко

ЭКСПРЕССНАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПОЛЯРИЗУЕМОСТЬЮ, ВЫХОДЯЩИХ К ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

При изучении геологических тел или зон, геохимических ореолов, участков техногенного загрязнения, археологических объектов и других образований возникает задача экспрессной оценки их размеров в плане и на глубину. При этом данные объекты могут отличаться от окружающей среды только по поляризуемости.

В том случае, когда объект частично вскрыт, то есть обнаружен на пересекающей его трассе (профиль на дневной поверхности или скважина), для решения задачи возможно применить способ, основанный на преобразовании измерений поля точечного или линейного источника тока, помещенного в объект. При преобразовании поля свойства объекта приводятся к условиям идеального проводника [4, 5]. После измерения приведенного к току потенциала U согласно способу следует вычислить его аномальную составляющую $U_a = U - U_0$ (U_0 - нормальный потенциал) и, усилив его с помощью коэффициента m , получить значение потенциала для условий идеально заряженного проводника:

$$\bar{U} = U_0 - mU_a, \quad (1)$$

где $|m| > 1$, причем в случае объекта с пониженной электропроводностью имеем $m < 0$.

Правомочность формулы (1) вытекает из квазиподобия аномалий заряженных тел с одинаковыми геометрическими параметрами, но с различной электропроводностью [5, 6].

Известно, что существует тесная математическая аналогия между аномальной частью первичного поля U_a и потенциалом поля вызванной поляризации (ВП) [2]. Следовательно, при измерении потенциала ВП в формуле (1) вместо U_a может использоваться значение $U^{ВП}$. Для реализации способа необходимо измерить значение потенциала в одной и той же точке при двух положениях источника тока в исследуемом теле: $U_1^{ВП}$ и $U_2^{ВП}$. Следуя теории взаимности, возможно измерить потенциал ВП в двух точках объекта при одном положении источника тока. Согласно способу коэффициент усиления m вычисляют по формуле

$$m = \frac{U_{01} - U_{02}}{U_2^{ВП} - U_1^{ВП}}, \quad (2)$$

а затем находят преобразованное значение \bar{U} . Входящие в формулы (1) и (2) величины первичного нормального потенциала U_0 измеряют в процессе работ.

Дальнейшие определения геометрических параметров объектов могут быть выполнены по палеткам А.К.Козырина [1] или по простым аналитическим формулам, предполагающим вычисление площади поверхности объекта, контактирующего с вмещающей средой [3].

Для демонстрации изменяемости рекомендованного способа рассмотрим теоретический пример, в котором полушар радиуса a с поляризуемостью η погружен в среду ($\eta = 0$) так, что его плоская поверхность совпадает с границей земля - воздух. Удельное сопротивление среды и полушара одинаковы и равны ρ .