

строения разреза. Исходя из этих соображений нами для определения соответствия между значениями  $V_R/V_P$  и типом грунтов, слагающих геологический разрез, было выполнено сопоставление этих значений с данными разведочного бурения. По результатам такого анализа вертикальные карты скоростей продольных волн были перестроены в геосейсмический разрез.

Дополнительно с целью уточнения положения зон разуплотнения пород в геосейсмическом разрезе нами был рассмотрен ряд дополнительных факторов, которые могут указывать на наличие аномальных участков, связанных с карстовыми полостями или разуплотнением. Важными среди них, на наш взгляд, являются: *характерный вид сейсмической записи*, связанный с аномальным поглощением сейсмических волн, *форма годографа первых вступлений*, *характер скоростного разреза продольных волн*, положение областей уменьшения значений скоростей поверхностных волн и зон с увеличенным отношением скорости поверхностных волн к скорости продольных волн. Кроме этого проводился спектральный анализ сейсмограмм, который позволил сделать заключение об изменении частотного состава волн в пределах участка. Вся эта информация была использована авторами для формирования интегрального *комплексного показателя карстоопасности*.

Сравнение скоростных разрезов, карт, результатов, полученных по различным характеристикам волнового поля, показало, что выделяемые по ним аномальные участки хорошо коррелируются между собой по месту положения на профиле. Поэтому решение вопроса об отнесении того или другого участка профиля к категории участка повышенного риска проводилось на основе учета всего комплекса данных, описанного выше. Такой принцип интерпретации применялся для построения прогнозной карты карстоопасных участков.

В результате выполняемых исследований доказаны большие возможности сейсморазведки при решении задач оперативного, надежного контроля за состоянием горных пород на карстоопасных территориях. Определена оптимальная методика полевых исследований, а также состав и последовательность операций обработки и интерпретации сейсмических данных. Разработан программный комплекс для обработки и представления результатов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рекомендации** по изучению карста геофизическими методами / ПНИИС Госстроя СССР М.: Стройиздат, 1986. 112 с.
2. **Дубейковский С.Г., Афанасиади Э.И.** Отчет о результатах карстологического обследования перегона ст. Кунара - ст. Богданович. Екатеринбург, 2000. НПЦ Карст, Екатеринбургский филиал. 71 с.
3. **Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М.** Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 143 с.

УДК 550.834

**В.И. Бондарев, С.М. Крылатков, Н.А. Крылаткова**

#### НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СПОСОБА МНОГОКРАТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Идея способа многократных перекрытий была предложена Г. Мейном еще в 1950 году [8]. За полвека она превратилась в весьма эффективный метод сейсмической разведки, называемый в отечественной литературе методом общей глубинной точки - **МОГТ** [3]. Г. Мейном был сформулирован принцип горизонтального накапливания путем суммирования сейсмических записей равных удалений [7], который положен в основу большинства современных систем обработки сейсмических данных, получаемых по методике многократных перекрытий. Именно на основе этой идеологии были сделаны крупнейшие открытия XX века в нефтяной геологии. В последние годы теория и методика сейсмической интерпретации данных способа многократных перекрытий продолжает развиваться. Об этом свидетельствуют такие достижения последних лет, как **AVO**-анализ, миграция сейсмических записей до суммирования, использование в качестве моделей интерпретации анизотропных моделей сред, совместная интерпретация сейсмических данных с данными геофизических исследований скважин и многое другое. Все это позволяет по результатам сейсмических исследований строить весьма достоверные трехмерные модели нефтяных резервуаров.

Несмотря на то, что колоссальные успехи сейсмической разведки общепризнанны, основой сохранения ее авангардной роли в нефтяной геологии в будущем может служить только непрерывное и систематическое совершенствование всех элементов метода и, в частности, его теории и методики. Особенно это необходимо в области повышения горизонтальной разрешающей способности сейсмического метода для построения высокоэффективных сейсмических моделей нефтяных резервуаров, поскольку в настоящее время применение сейсморазведки на детальных стадиях разведки залежей углеводородов становится приоритетным.

Одним из возможных путей повышения горизонтальной разрешающей способности сейсмического метода может служить изложенная авторами ранее [1] идея использования в процессе обработки данных метода многократных перекрытий **несимметрично сформированных** (относительно общей средней точки) **выборки** сейсмических трасс. Идея нового метода обработки данных многократных перекрытий с целью повышения горизонтальной разрешенности сейсмического метода разведки базируется на использовании свойств соответствующих уравнений годографов отраженных волн. Поэтому для понимания сущности предлагаемого нами нового способа обработки исходной сейсмической информации предварительно рассмотрим вывод обобщенного уравнения годографа отраженной волны в методе многократных перекрытий для условий наблюдений по методике **3D**.

### Вывод основных формул

Пусть в центре одного из бинов зафиксировано положение некоторой **общей расчетной точки (ОРТ)**, совмещенной с началом подвижной системы декартовых координат  $XOZ$ . Направление оси  $X$  зафиксируем относительно заданной геодезической системы координат. Пространственное положение отражающей границы  $L$  будем определять с помощью трех параметров: глубины по нормали из начала координат до границы  $h_{ОРТ}$ ; азимута направления нормали к границе (азимута линии "падение - восстание")  $\omega$ ; угла наклона нормали к границе по отношению к оси  $Z$   $\varphi$ . В этом случае уравнение отражающей границы можно представить в виде:

$$x \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega + y \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega + z \cdot \cos \varphi - h_{ОРТ} = 0 . \quad (1)$$

Скорость распространения упругих волн выше границы  $V$  постоянна и задана. При этом свойства среды ниже границы таковы, что граница слоев обязательно является отражающей. Пусть в точке  $S(x_{ПВ}, y_{ПВ})$  на плоскости наблюдений на расстоянии  $l_1$  от **ОРТ** расположен пункт возбуждения колебаний - **ПВ**. В точке  $M(x_{ПП}, y_{ПП})$  на той же плоскости на расстоянии  $l_2$  от **ОРТ** расположен один из приемников упругих колебаний **ПП**. Полагая, что все названные параметры известны, требуется получить уравнение годографа отраженной волны, соответствующее изложенной схеме наблюдений по методике многократных перекрытий. Решение задачи выполним с использованием мнимого пункта взрыва  $S^*$ . Его координаты нетрудно получить, используя схему обозначений, приводимую на рис.1:

$$x_{S^*} = x_{ПВ} + 2 \cdot h_{ОРТ} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - 2 \cdot x_{ПВ} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \omega - 2 \cdot y_{ПВ} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \sin \omega \cdot \cos \omega ; \quad (2)$$

$$y_{S^*} = y_{ПВ} + 2 \cdot h_{ОРТ} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega - 2 \cdot x_{ПВ} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \sin \omega \cdot \cos \omega - 2 \cdot y_{ПВ} \cdot \sin^2 \varphi \cdot \sin^2 \omega ; \quad (3)$$

$$z_{S^*} = 2 \cdot h_{ОРТ} \cdot \cos \varphi - 2 \cdot x_{ПВ} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega - 2 \cdot y_{ПВ} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \sin \omega . \quad (4)$$

Координаты точки пересечения прямой линии "мнимый источник - точка наблюдения"  $S^*M$  с отражающей границей - координаты точки отражения  $D$ :

$$x_D = x_{ПП} \cdot (1 - A/B) + x_{S^*} \cdot (A/B) , \quad y_D = y_{ПП} \cdot (1 - A/B) + y_{S^*} \cdot (A/B) , \quad (5)$$

$$z_D = z_{S^*} \cdot (A/B) ,$$

где

$$A = l_1 \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{ПП}) - h_{ОРТ} , \quad (6)$$

$$B = l_2 \sin \varphi \cos(\omega - \omega_{ПП}) - x_{S^*} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \omega - y_{S^*} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \omega - z_{S^*} \cdot \cos \varphi . \quad (7)$$

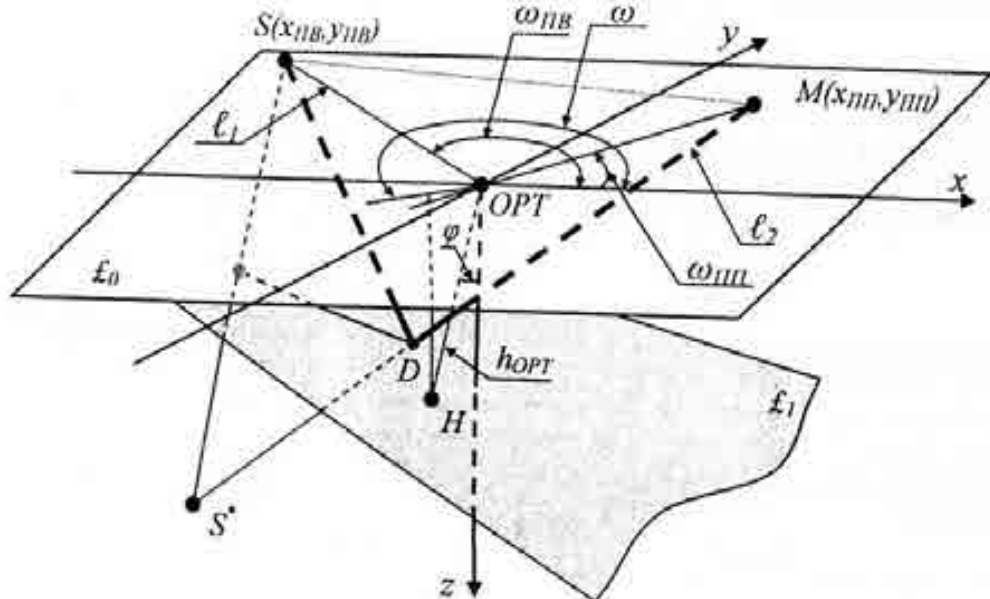


Рис. 1. Схема обозначений, используемых при выводе расчетных формул

Расстояние точки отражения (в плоскости отражения) от основания нормали, проведенной из OPT к отражающей границе:

$$R = \sqrt{(x_D - x_b)^2 + (y_D - y_b)^2 + (z_D - z_b)^2}. \quad (8)$$

Как известно, время пробега упругих колебаний из источника  $S$  до точки отражения  $D$  и от нее до точки приема  $M$  будет эквивалентно времени пробега упругой волны из мнимого источника  $S'$  до этой же точки приема  $M$ . Время  $t(x)$ :

$$t(x) = \frac{1}{V} \cdot \sqrt{l_1^2 - 2 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \cos(\omega_{mn} - \omega_{mn}) + l_2^2 + 4 \cdot h_{OPT}^2 + 4 \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot \sin^2 \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{npb}) \cdot \cos(\omega - \omega_{mn}) - 4 \cdot h_{OPT} \cdot \sin \varphi \cdot [l_1 \cdot \cos(\omega - \omega_{npb}) + l_2 \cdot \cos(\omega - \omega_{mn})]}. \quad (9)$$

Полученные формулы (8) и (9) открывают ряд путей к построению теории годографов отраженных волн в методе многократных перекрытий.

### Годографы МОГП

Предлагаемый нами новый подход к обработке и анализу данных метода отраженных волн на основе использования несимметричных выборок сейсмических трасс при фиксированном в процессе формирования сейсмограмм отношении параметров  $l_1$  и  $l_2$  мы назвали методом общей глубинной площадки МОВ - ОГП, или сокращенно - МОГП.

Если предположить, что между параметрами  $l_1$  и  $l_2$  имеется самая простая связь вида

$$l_2 = a \cdot l_1, \quad (10)$$

где  $a > 0$ , то уравнение годографа отраженной волны в методе многократных перекрытий - уравнение годографа МОГП будет иметь следующий общий вид:

$$t(x) = \sqrt{l_0^2 + \frac{x^2}{V_{OPT}^2} \cdot A(a) - \frac{2 \cdot x \cdot l_0}{V_{OPT}} \cdot B(a)}, \quad (11)$$

$$A(a) = \frac{1 - 2 \cdot a \cdot \cos(\omega_{npb} - \omega_{mn}) + a^2}{(1+a)^2 \cdot \cos^2 \varphi} + \frac{4 \cdot a}{(1+a)^2} \cdot \frac{\sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} \cdot \cos(\omega - \omega_{npb}) \cdot \cos(\omega - \omega_{mn}), \quad (12)$$

$$B(a) = \frac{\sin \varphi}{(1+a) \cdot \cos \varphi} \cdot [\cos(\omega - \omega_{npb}) + a \cdot \cos(\omega - \omega_{mn})]. \quad (13)$$

При этом, как обычно, введены общепринятые обозначения:

$$t_0 = \frac{2 \cdot h_{\text{ОПТ}}}{V}; \quad V_{\text{ОПТ}} = V / \cos \varphi, \quad x = l_1 + l_2. \quad (14)$$

Полученное уравнение (11) в системе координат  $x, t$  представляет собой уравнение гиперболы, угол наклона асимптот которой к оси  $X$  зависит, помимо скорости  $V$ , от коэффициента  $A(a)$ . Оно является естественным обобщением целого ряда известных частных видов годографов. Так, при  $a \rightarrow \infty$  оно соответствует известному уравнению годографа общей точки взрыва (ОТВ):

$$t(x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V^2} + \frac{2 \cdot x \cdot t_0}{V} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}. \quad (15)$$

Случай  $a = 1$  соответствует (при  $\omega_{\text{ПВ}} = \omega_{\text{ПВ}} + \pi$ ) классическому уравнению годографа ОГТ:

$$t(x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V_{\text{ОГТ}}^2} \cdot (1 + tg^2 \varphi \cdot \sin^2(\omega - \omega_{\text{ПВ}}))}. \quad (16)$$

При  $a = 0$  уравнение (11) переходит в уравнение годографа общей точки приема (ОТП):

$$t(x) = \sqrt{t_0^2 + \frac{x^2}{V^2} + \frac{2 \cdot x \cdot t_0}{V} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}. \quad (17)$$

### Годографы МФТО

Из анализа формулы (8), описывающей отклонение точки отражения  $D$  от основания  $H$  нормали, опущенной из ОПТ к отражающей границе, вытекает еще одна принципиальная возможность формирования сейсмограмм на основе полевых данных метода многократных перекрытий. На существование этой возможности впервые указал Н.Н. Пузырев [5]. В последующем более детально эта возможность для двумерного случая была исследована А.Н. Лёвиным [2] и Г.Н. Яшковым [6].

Потребуем, чтобы точка отражения  $D$  для всех сейсмических лучей в точности совпадала бы с точкой  $H$  - основанием нормали к отражающей границе. Это означает, что все сейсмические трассы в будущей сейсмограмме ММП будут обязаны своим происхождением отражению соответствующих лучей в одной фиксированной точке отражения (ФТО) на границе. Метод анализа данных сейсмической разведки с использованием сейсмограмм, полученных на основе такого подхода, мы будем называть методом фиксированной точки отражения - МФТО. Уравнение годографа такой отраженной волны будет иметь вид

$$t(x) = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot t_0^2 + \left(\frac{x \cdot \cos \varphi}{V_{\text{ОГТ}}}\right)^2} + t_0 \sqrt{\frac{1}{4} \cdot t_0^2 + \left(\frac{x}{V_{\text{ОГТ}}} \cdot tg \varphi\right)^2} \cdot \cos^2(\omega - \omega_{\text{ПВ}}). \quad (18)$$

Координаты пунктов приема и пунктов возбуждения колебаний, а также их удаления от ОПТ будут связаны между собой следующими простыми зависимостями:

$$x_{\text{ПВ}} = -x_{\text{ПР}} \cdot \frac{1}{1 - 2 \cdot (l_1 / h_{\text{ОПТ}}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}; \quad (19)$$

$$y_{\text{ПВ}} = -y_{\text{ПР}} \cdot \frac{1}{1 - 2 \cdot (l_1 / h_{\text{ОПТ}}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}; \quad (20)$$

$$l_2 = l_1 \cdot \frac{1}{1 - 2 \cdot (l_1 / h_{\text{ОПТ}}) \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}; \quad (21)$$

$$l_1 = \frac{h_{\text{ОПТ}} + x \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}}) - \sqrt{h_{\text{ОПТ}}^2 + x^2 \cdot \sin^2 \varphi \cdot \cos^2(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}}{2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\omega - \omega_{\text{ПВ}})}. \quad (22)$$

По внешнему виду уравнение (18) напоминает квазигиперболу с асимптотами  $t = \pm x/V$ .

В двумерном варианте ( $\omega = \pi$ ,  $\omega_{\text{ПВ}} = \pi$ ,  $\omega_{\text{ПВ}} = 0$ ) приведенное уравнение годографа МФТО приобретает вид, полученный ранее в вышеупомянутых работах [2, 6]:

$$t(x) = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot t_0^2 + \left(\frac{x/\cos\varphi}{V_{\text{ОГТ}}}\right)^2} + t_0 \sqrt{\frac{1}{4} \cdot t_0^2 + \left(\frac{x}{V_{\text{ОГТ}}} \cdot \text{tg}\varphi\right)^2}. \quad (23)$$

Полученное уравнение (23) по внешнему виду напоминает уравнение гиперболы, хотя и не является таковым. Соотношение между удалениями источников и приемников от **ОРТ** при этом легко находится по оригинальной формуле, не замеченной вышеупомянутыми авторами:

$$l_2 = \frac{l_1}{1 - 2 \cdot (l_1/h_{\text{ОРТ}}) \cdot \sin\varphi}, \quad x = l_1 + l_2. \quad (24)$$

Другие обозначения в формулах (23, 24) аналогичны обозначениям, принятым в уравнении (11).

Из сравнительного анализа формы годографов **МОГП** и **МФТО** вытекает, что годографы **МФТО** из-за их слабой зависимости от азимута и угла наклона линии падения отражающей границы мало пригодны для их определения. Заметим, что такими же свойствами обладают и симметрично полученные ( $a = 1$ ) годографы **МОГП**. В.А. Милашин [4] в рамках предложенной им технологии "тотальной сейсморазведки" попытался использовать подобные годографы для определения азимутов падения и углов наклона отражающей площадки.

В отличие от них несимметрично полученные годографы **МОГП** (при  $a \neq 1$ ) весьма чувствительны как к азимуту падения границы, так и к углу ее наклона. И поэтому на практике определение угловых параметров залегания отражающей границы возможно только на базе использования **несимметрично** собранных сейсмограмм **МОГП**.

### Предлагаемая стратегия обработки данных ММП

Появление в уравнении годографа **МОГП** четкой зависимости времени прихода отраженной волны от угла наклона сейсмической границы и азимута ее падения (при  $a \neq 1$ ) открывает новую принципиальную возможность в сейсморазведке **3D** – возможность определения координат пространственной ориентировки глубинных отражающих площадок. Знание этих параметров отражающей границы можно с успехом использовать для повышения латеральной разрешенности "кубов" сейсмических данных. Поставленной цели можно достичь путем выполнения следующих действий по предлагаемой технологии **МОГП - МФТО**:

- найти на каждой **ОРТ** с помощью известных процедур обработки вертикальный спектр скоростей по стандартным сейсмограммам **МОГТ**;
- сформировать из исходных сейсмограмм **ОТВ** в соответствии с заранее выбранным значением параметра **a** массив новых сейсмограмм - сейсмограмм **МОГП**;
- на основе использования ранее найденной зависимости  $V_{\text{ОГТ}}(t_0)$  на каждой **ОРТ** произвести определение азимутов и углов наклона отражающей границы как функции времени  $t_0$  по двумерным спектрам сейсмограммам **МОГП** методом регулируемого направленного анализа (**РНА**). Сечения получаемых двумерных спектров по аналогии будем условно называть соответственно вертикальным спектром углов наклона границ и вертикальным спектром азимутов падения;
- зная в каждой точке исследуемой площади зависимости  $V_{\text{ОГТ}}(t_0)$ ,  $\varphi(t_0)$  и  $\omega(t_0)$ , для нужного горизонта (нужного интервала временного разреза) произвести новую выборку трасс из массива сейсмограмм **ОТВ** в соответствии с условием (21). Такая выборка трасс – сейсмограмма **МФТО** - будет уже существенно более точно отображать динамические особенности сейсмической записи отраженной волны для выбранного горизонта. Именно так собранные фрагменты сейсмограмм **МФТО** должны использоваться в различных методах, изучающих динамические особенности отраженных волн в зависимости от удалений (углов) регистрируемых трасс.

Совокупность подобных результатов определений азимутов и углов по каждому горизонту для соседних общих расчетных точек позволяет получить сводные графики  $\omega(t_0, x, y)$  и  $\varphi(t_0, x, y)$ , формально напоминающие горизонтальные спектры скоростей. Эти графики позволят давать количественную оценку латеральной изменчивости угловых параметров изучаемых структурных элементов. К сожалению, напрямую знания углов наклона и азимутов линий падения отражающих элементов разреза невозможно использовать при построении временных разрезов, поскольку все трассы в них откладываются только по вертикали. Однако нам кажется, что эта дополнительная информация  $\omega(t_0, x, y)$  и  $\varphi(t_0, x, y)$  в будущем может предоставить и новые, пока трудно



предсказуемые возможности ее применения при истолковании сечений временных “кубов” (разрезов).

### Результаты численного моделирования

В качестве одного из возможных и простейших путей использования на этапе детального анализа двумерных временных разрезов дополнительной информации об углах наклона отражающих площадок можно указать следующий путь. Допустим, что известны углы наклона отражающих элементов в ряде соседних, относительно близко расположенных, общих расчетных точек (**ОРТ**). Даже правильно собранная суммарная сейсмическая трасса, отнесенная к точке **ОРТ**, характеризует свойства отражающей границы в точке **Н**, которая не лежит на вертикали, проведенной из данной **ОРТ**. Поэтому динамические и кинематические свойства этой трассы не соответствуют, строго говоря, той части разреза, к которой мы обычно приписываем данную трассу временного разреза. При анализе временных разрезов по обычной технологии **ОГТ** (когда неизвестен угол наклона  $\varphi$ ) эта проблема как бы остается вне нашего внимания. Совместное использование при обработке предложенных способов **МОГП** и **МФТО** открывают принципиальную возможность решить указанную проблему. Чтобы сейсмическая трасса временного разреза действительно несла в себе информацию об отражательной способности той части отражающей границы, которая лежит строго по вертикали, проведенной из данной **ОРТ**, необходимо при построении итогового временного разреза произвести некоторые перемещения суммарных сейсмических трасс. Такой сейсмической трассой является трасса, полученная ранее в некоторой другой точке профиля (площади). Эту точку будем называть дочерней точкой **ОРТД** по отношению к исходной точке **ОРТ**. Перед выполнением перемещения предварительно в эту трассу должна быть введена дополнительная кинематическая поправка:

$$\Delta t = t_0^{\text{ОРТД}} \cdot (1 - \cos \varphi) . \quad (25)$$

Положение на профиле (площади) дочерней точки **ОРТД** легко рассчитывается по простым формулам:

$$x_{\text{ОРТД}} = x_{\text{ОРТ}} - V_{\text{ОГТ}}(t_0^{\text{ОРТ}}) \cdot t_0^{\text{ОРТ}} \cdot \text{tg} \varphi \cdot \cos \omega / (2 \cdot \cos \varphi); \quad (26)$$

$$y_{\text{ОРТД}} = y_{\text{ОРТ}} - V_{\text{ОГТ}}(t_0^{\text{ОРТ}}) \cdot t_0^{\text{ОРТ}} \cdot \text{tg} \varphi \cdot \sin \omega / (2 \cdot \cos \varphi) . \quad (27)$$

Последовательно осуществляя рекомбинацию всех трасс начального варианта временного разреза, можно получить новый временной разрез. Можно надеяться, что этот разрез будет существенно более объективно отражать динамические (и кинематические) особенности изучаемого геологического разреза. В описанной процедуре, как легко видеть, одновременно реализуются и элементы геометрического миграционного преобразования временного разреза.

Возможности предложенной технологии обработки в области анализа динамических особенностей сейсмической записи показывают материалы математического моделирования двумерных и трехмерных волновых полей.

На рис. 2, а приведена теоретическая сейсмограмма **МОГП**, содержащая записи отраженных волн для серии наклонных границ. Результаты выполненного регулируемого направленного анализа этой сейсмической записи подтверждают принципиальную возможность получения высокоинформативных вертикальных спектров для определения углов наклона отражающих границ (рис. 2, б).

Аналогичный подход может быть реализован и при обработке данных **3Д**. В качестве объекта для анализа в этом случае также выбрана модель среды в виде однородного слоя, который отделен от нижележащего полупространства плоской произвольно ориентированной ( $\omega = 210^\circ$ ,  $\varphi = 10^\circ$ ,  $h_{\text{ОРТ}} = 2000$  м,  $V = 2200$  м/с) отражающей границей. На плоскости наблюдений по трем пересекающимся в **ОРТ** профилям выполнены сейсмические наблюдения по методике многократных перекрытий. Азимуты профилей выбраны, соответственно:  $\omega_{\text{ПВ1}} = 120^\circ$ ,  $\omega_{\text{ПВ2}} = 180^\circ$ ,  $\omega_{\text{ПВ3}} = 250^\circ$ . Максимальное удаление “взрыв – прибор” принято равным 2100 м, шаг между **ПВ** и **ПП** равен 50 м. На основе рассчитанных сейсмограмм **ОТВ** были сформированы сейсмограммы **МОГП** при  $a = 2$ . После выполнения регулируемого направленного анализа по любым двум переменным получались соответствующие двумерные спектры функций отклика. В качестве таковых использовались значения нормированной энергии суммарной сейсмической трассы в заданном временном интервале

На рис. 3 показан типичный вид в изолиниях двухмерного спектра "угол наклона границы – азимут восстания". Как видно из представленных данных, угловые параметры отражающих границ определяются вполне уверенно. Также уверенно по двумерным спектрам типа "угол наклона границы – скорость  $V_{OГТ}$ " и "азимут восстания - скорость  $V_{OГТ}$ ", при известном третьем параметре границы, определяются два анализируемых параметра. Многочисленные результаты моделирования таких спектров показывают значительную устойчивость этих процедур обработки к амплитудным и фазовым помехам.

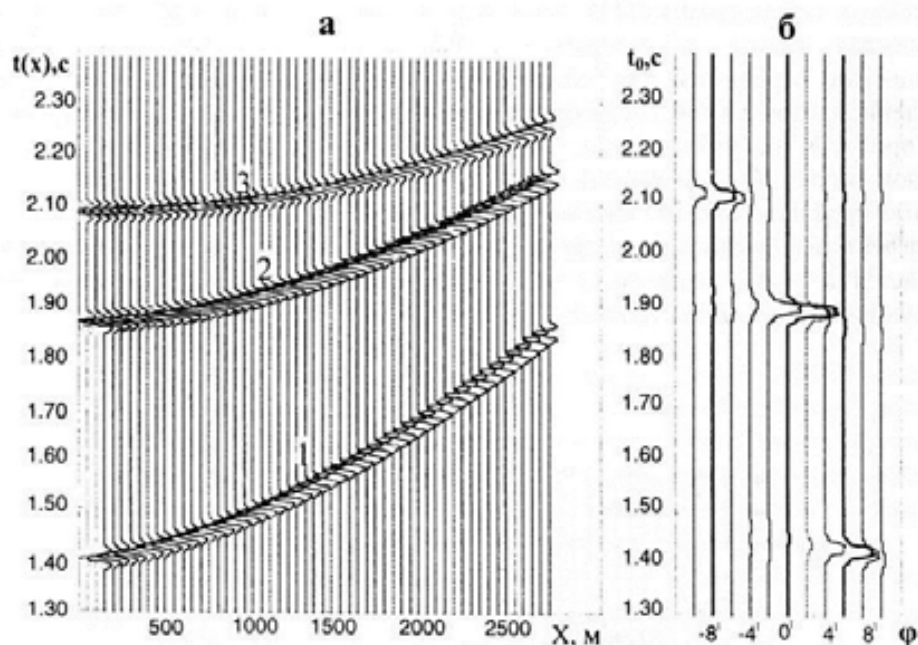


Рис. 2. Теоретическая сейсмограмма МОГП (а) и вертикальный спектр углов наклона (б), соответствующие модели среды с тремя отражающими границами при углах наклона: 1 -  $6^\circ$ ; 2 -  $0^\circ$ ; 3 -  $8^\circ$

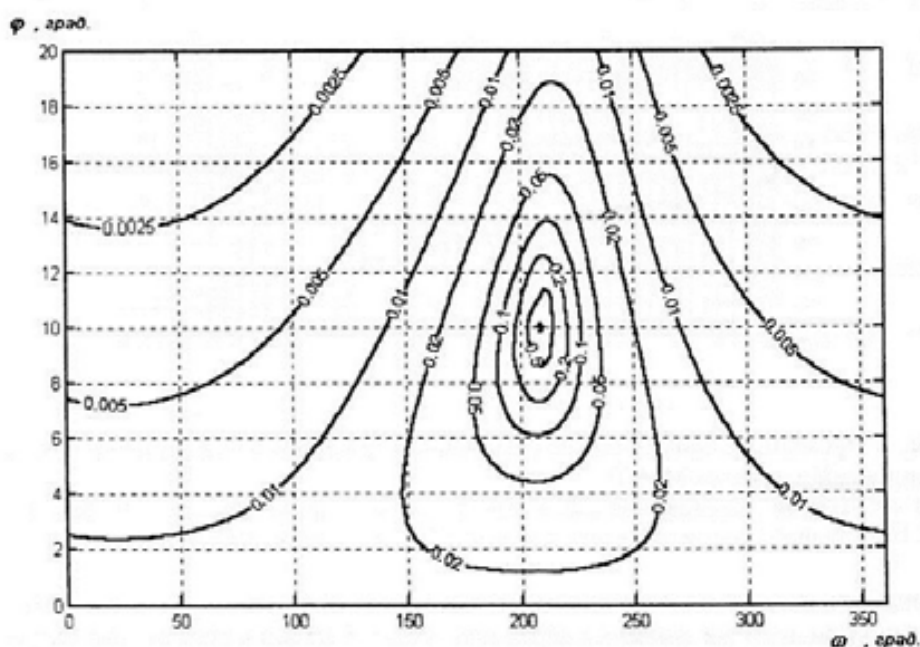


Рис. 3. Нормированный двухмерный спектр функции отклика, используемый для нахождения угловых параметров отражающей границы при известном значении скорости. Параметры, использованные в расчетах:  $h_{OГТ} = 2000$  м;  $\phi = 10^\circ$ ;  $\omega = 210^\circ$ ;  $V = 2200$  м/с;  $a = 2$

Для демонстрации принципиальных возможностей предложенной технологии обработки в части повышения латеральной разрешенности результатов сейсмической разведки рассмотрим следующие результаты простейшего моделирования двумерных волновых полей. Возьмем разрез с одной плоской наклонной отражающей границей. В центральной части профиля отражающая граница имеет локальный участок, на котором значение коэффициента отражения в пять раз превосходит соответствующие значения на соседних участках границы. Этим самым моделировалось наличие в рассматриваемом разрезе динамической аномалии типа "яркого пятна". На основе рассчитанных сейсмограмм ОТВ были сформированы обычным образом сейсмограммы ОГТ. При этом каждая трасса сейсмограммы ОТВ имела амплитуду, пропорциональную величине коэффициента отражения для соответствующего сейсмического луча. Эффекты, связанные с расхождением фронтов сейсмических волн и зависимостью коэффициента отражения от угла наклона лучей, при этом не учитывались. По полученным сейсмограммам ОГТ был построен итоговый временной разрез (без миграции). Соответствие этого глубинного разреза истинному разрезу для фрагмента профиля показано на рис. 4, а. Как видим, здесь имеет место хорошо известный в методе ОГТ эффект выполаживания отражающей границы на немигрированном разрезе. Одновременно наблюдается и менее очевидный факт - расфокусировка амплитуд динамического изображения интересующего нас участка границы.

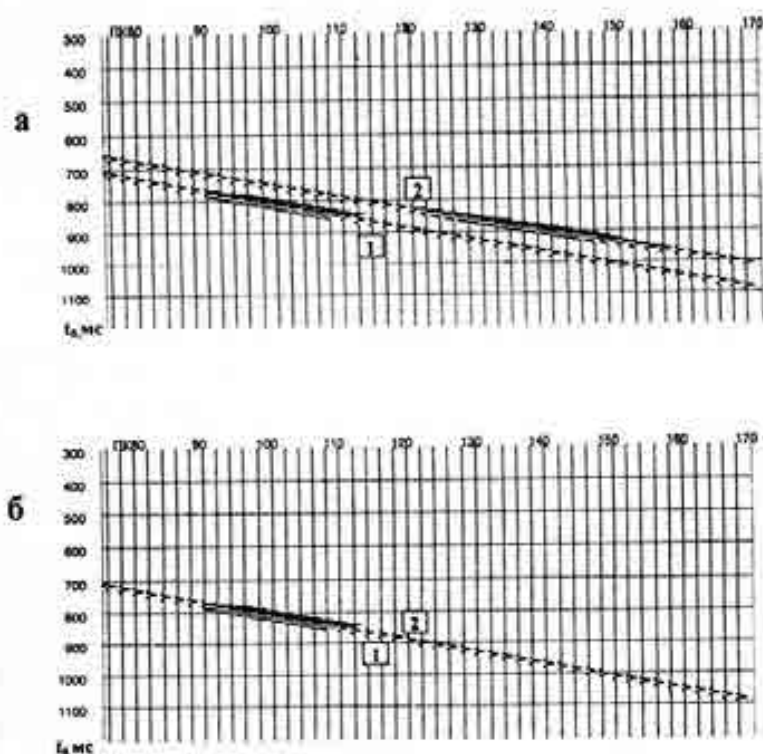


Рис. 4. Временные сейсмические разрезы, построенные с использованием различных способов формирования сейсмограмм ММП:

а: 1 - "истинный", соответствующий исходной сейсмической модели среды, 2 - разрез ОГТ, построенный без миграции; б: 1 - "истинный", соответствующий исходной сейсмической модели среды, 2 - разрез МОГТ

Далее для этой же модели был составлен временной разрез по технологии МОГП (при  $a = 2$ ). Одновременно при этом же значении параметра  $a$  был получен и вертикальный спектр углов наклона границы. В пределах погрешности ( $\pm 1^\circ$ ) максимумы спектра углов наклона, как и следовало ожидать, совпадали с исходным значением угла наклона отражающей границы в модели. После определения в каждой точке профиля угла наклона отражающих элементов по технологии ММП были сформированы новые сейсмограммы МФТО. На их основе построен третий временной разрез. После



его трансформации на основе формул (23, 24) получен временной разрез, который также показан на рис. 4, б. Как легко видеть, этот временной разрез отображает аномалию типа "яркое пятно" на отражающей границе существенно точнее как по местоположению на профиле и по протяженности вдоль границы, так и по степени фокусировки амплитуд отражений. Практически на этом разрезе отсутствуют переходные краевые зоны и другие нежелательные эффекты. Выполненное нами моделирование показывает, что особенно важно подобное устранение эффектов расфокусировки амплитудных аномалий при обработке данных сейсморазведки **3D**.

### Выводы

Предложен новый способ формирования сводных сейсмограмм по результатам работ методом многократных перекрытий - сейсмограмм метода общей глубинной площадки - **МОГП**. Получено уравнение годографа отраженной волны **МОГП** для такого способа формирования сейсмограмм.

Показано, что уравнение годографа фиксированной точки отражения - **ФТО** - является одним из вариантов годографов, получающихся при несимметричном способе формирования сейсмограмм в методе многократных перекрытий. Выполнено обобщение ранее известного двумерного варианта годографа **ФТО** на трехмерный случай. Выведены простые формулы, позволяющие легко осуществлять формирование сейсмограмм **ФТО**.

На основе численного моделирования показано, что сейсмограммы **МОГП** позволяют уверенно выполнять определение пространственных координат отражающей границы - азимутов и углов наклона линии падения. Использование для этих целей сейсмограмм **ФТО** менее перспективно.

Совместное использование сейсмограмм **МОГП** и **МФТО** открывает хорошие перспективы для разработки новой технологии формирования временных разрезов ("кубов" сейсмических данных), латеральная разрешенность которых будет существенно выше существующих.

Применение в обработке сейсмической информации, полученной по технологии многократных перекрытий, различных видов **несимметричного** суммирования - это перспективная основа для дальнейшего развития **МОГП**.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондарев В.И., Крылатков С.М. Теория годографов отраженных волн в методе многократных перекрытий // Изв. УГГГА. Вып.13. Серия: Геология и геофизика, 2001. С. 191-196.
2. Левин А.Н. Годограф общей точки отражения для однородной среды // Геология и геофизика. 9, 36, 1995. С. 81 – 85
3. Мешбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. М.: Недра, 1985. 264 с.
4. Милашин В.А. Проблемы обработки данных пространственной сейсморазведки и некоторые практические пути их решения // Нефтегазовая геология и геофизика. 1980. 2. С. 21-24.
5. Пузырев Н.Н. Временные поля отраженных волн и метод эффективных параметров. Новосибирск:Наука, 1979. 380 с.
6. Яшков Г.Н. К вопросу изучения среды технологиями миграции и DMO до суммирования // Геофизика, 2001. Специальный выпуск. С. 27 – 32.
7. Mayne W.H. Common-reflection-point horizontal data-stacking techniques: Geophysics, 27, 1962. P. 927-938
8. Mayne W.H. Seismic surveying. U. S. Patent. №.2732906 , 1950.