



Submission ID: 43751

# New Interpretive Seismic Models Are an Important Tool for Obtaining Migrated Images of the Geological Environment

V.I. Bondarev\* (Ural Mining University), S.M. Krylatkov (Ural Mining University)

# SUMMARY

The model of a horizontally layered medium, lying in the basis of obtaining geological results, using technology CDP is a strongly simplified assumption about the structure of the real world. Previously, the authors proposed a new approach for obtaining migrated seismic images of the geological environment, according to the source, data from more than one method of superposition. It is based on the use of more complex models seismic interpretation geological environment - environment with the inclined

reflecting boundary. A distinctive feature of the proposed approach to obtain seismic images of the geological environment is another method of accumulating information about the environment in those parts of the section, which really could be the sources of reflections. This approach allows to obtain depth and time-migrated seismic image of the geological environment on the results of standard seismic survey, obtained by the method of multiple overlapping seismic 2D and 3D.





# Новые интерпретационные сейсмические модели – важный инструмент для получения мигрированных изображений геологической среды

В.И. Бондарев \*(УГГУ), С.М. Крылатков (УГГУ)

## Введение

Более 60 лет основным методом поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений служит технология ОГТ. Лежащая в основе получения геологических результатов по этой технологии сейсмической разведки модель горизонтально слоистой среды является сильно упрощенным предположением о строении реальных сред. Успешное использования метода ОГТ в реальных условиях достигается последующим применением многочисленных процедур дополнительной обработки (различные виды миграции, DMO и т.п.). В докладе авторов на конференции EAGE "Геомодель-2016" (Bondarev, Krylatkov, 2016) был предложен новый подход к получению мигрированных сейсмических изображений геологической среды по исходным данным метода многократных перекрытий ММП (МОГТ). Он основан на использовании более сложной, чем в МОГТ, сейсмической интерпретационной модели геологической среды – среды с наклонными отражающими границами раздела. Отличительной особенностью предлагаемого подхода к получению сейсмических изображений геологической среды является другой способ накопления информации о среде. Накопление осуществляется в тех частях разреза, которые реально могли бы быть источниками отражений. Этим предлагаемый способ отличается от технологии МОГТ, где накопление информации происходит на уровне сейсмических трасс - трасс ОГТ. Такое отличие позволяет получать как глубинные, так и временные мигрированные сейсмические изображения геологической среды по результатам стандартных сейсморазведочных работ, полученных по методике многократных перекрытий МОГТ-2D и МОГТ 3D.

#### Постановка задачи

Введем в рассмотрение понятие фрагмента локальной отражающей границы (отражающего элемента) в изучаемом разрезе, как части отражающей границы в виде отрезка прямой линии (для профильных наблюдений 2D), либо фрагмента плоской отражающей границы (для технологии 3D). Положение этих элементов в пространстве фиксируем координатами центров этих элементов, углами наклона и азимутами нормали (в случае 3D) к этим элементам. Минимальные линейные размеры таких элементов границы должны быть соизмеримы с размерами зоны Френеля (Bondarev, Krylatkov, 2011) для рассматриваемой части среды. Координаты центров этих элементов границы будем считать далее координатами точки отражения и обозначать соответственно в двухмерном случае как  $x_{TO}$  и  $z_{TO}$ , в трехмерном -  $x_{TO}$ ,  $y_{TO}$ ,  $z_{TO}$ . Угол наклона элемента границы  $\varphi$  будем отсчитывать от горизонтали, азимут падения границы  $\omega$  от направления оси ОХ (рисунок 1).



Рисунок 1 Схема условных обозначений отражающего элемента границы, лежащая в основе вывода искомых расчетных формул: 1-плоскость наблюдения, 2-фрагмент отражающей границы; ОА-проекция линии падения на дневную поверхность; DC- линия падения отражающего элемента; GB - горизонталь, проходящая через центр отражающего элемента; ПВ и ПП положение точек возбуждения и приема; G- точка отражения; w и \u03c6 - азимут и угол наклона отражающего элемента

Для разработки алгоритма решения обратной задачи – задачи формирования сейсмического изображения изучаемой области среды необходимо предварительно решить прямую задачу –





установить формульные связи между параметрами наблюденного волнового поля – временами регистрации, зафиксированными амплитудами отраженных волн, с одной стороны, и координатами сейсмических источников и приемников. Такие связи между координатами фрагмента отражающей границы и координатами точек приема и возбуждения будут различными для каждого конкретного типа используемых сейсмограмм.

## Предлагаемый способ решения

Для практической реализации предлагаемого способа нами получены общие формулы в трехмерном случае, связывающие координаты пунктов возбуждения и приема и координаты точек отражения для плоской отражающей границы, занимающей произвольное положение в нижнем полупространстве. На основе этих формул строится технология нахождения положения в разрезе отражающего элемента, который в рамках эффективной модели среды наилучшим образом соответствовал бы годографу отраженных волн от наклонного отражающего элемента. В качестве параметра перебора в той задаче нами выбрана глубина до рассматриваемой плоской отражающей границы под пунктом возбуждения. Меняя этот параметр задачи, можно получить координаты точек возможного положения отражающего элемента границы. Для трасс ОТВ центры отражающих элементов для фиксированного положения ПВ и ПП на плоскости наблюдений будут располагаться в нижнем полупространстве на линях сложной формы. Эти линии центров отражающих площадок мы будем называть, следуя Диллону (Dillon, Thomson, 1984), линиями точек отражения (ЛТО). Каждой точке этой линии может соответствовать реальная отражающая граница, если на зарегистрированной трассе на соответствующем времени имеется четко выраженная запись (амплитуда) отраженной волны. Время пробега отраженной волны от источника колебаний до рассматриваемой точки отражения и далее до пункта приема легко находится по простым известным формулам. Полностью полученные соответствующие формулы общего вида здесь не приводятся ввиду их громоздкости.

Полученные формулы могут быть использованы для численного решения обратной задачи – по координатам ПВ и ПП, а также времени регистрации и амплитуде отраженной волны – определять параметры пространственного положения элемента отражающей границы. Естественно, что по одному значению амплитуды, принесенной с наблюденной трассы, в условиях действия разного рода помех, достоверно оценить реальную отражательную способность границы, невозможно. Нужно воспользоваться интерференционным приемом накапливания. Для этого необходимо использовать множество зарегистрированных трасс с различных пунктов возбуждения. Если по совокупности наблюденных трасс, полученных для различных взаимных положений точек приема и возбуждения определить координаты точек отражения и перенести в эти точки ЛТО множество сейсмических амплитуд, то результат их конструктивной интерференция может характеризовать действительные отражающие свойства геологического разреза в рассматриваемой области среды. Наоборот, результат деструктивной интерференция сюда амплитуд может свидетельствовать об отсутствии отражательной способности в этой части пространства.

Важнейшим условием применения данного способа для получения сейсмических изображений геологической среды является знание характера распределения угловых параметров разреза по площади (профилю) и по глубине. На первый взгляд это кажется очень сложной и не выполнимой задачей. Однако вспомним, что аналогичные требования к характеру распределения скорости в среде, еще совсем недавно казавшимися чрезмерно сложными и трудновыполнимыми, в настоящее время уже не представляются таковыми. Если предлагаемый способ получения сейсмических изображений будет востребован практикой, то нет сомнений, что будут созданы и разработаны технологически доступные способы установления локального характера пространственного распределения угловых характеристик отражающих границ. При этом следует учитывать, что эти характеристики разреза (азимуты простирания и углы падения основных толщ), хотя и приближенно нередко могут быть оценены по результатам ранее проведенных геолого-геофизических работ.





возможные подходы к установлению таких зависимостей будут продемонстрированы в докладе. Будет интерес к предлагаемому подходу – будут разработаны и способы получения этой нужной информации.

#### Влияние угловых параметров и их получения

В качестве демонстрации работоспособности предлагаемого подхода к решению обратных пространственных задач сейсморазведки рассматривается вопрос о возможных погрешностях оценки глубины залегания отражающей границы по данным профильных наблюдений, когда профиль ориентирован по оси ОХ и не проходит вкрест простирания границы, а источник волн находится в начале координат. Для этого полученные ранее общие формулы для определения координат точек отражения были преобразованы для случая ведения наблюдений по линейному профилю с разными азимутами линии падения границы – 0 и 30 град. Соответствующие формулы для определения координат точек отражения координат точек отражения координат точек отражения имеют вид:

$$\begin{split} & \textit{при ориентации профиля наблюдений при азимуте падения 0 град. -} \\ x_{OT} &= \frac{h \cdot \left(x_{\Pi\Pi} \cdot \cos 2\varphi - 2 \cdot h \cdot \sin \varphi\right)}{2 \cdot h + x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi}; \ y_{OT} = 0; \ z_{OT} = \frac{2 \cdot h \cdot \cos \varphi \cdot \left(h + x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi\right)}{2 \cdot h + x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi}; \\ & \textit{при ориентации профиля наблюдений при азимуте падения 30 град. -} \\ x_{OT} &= \frac{h \cdot \left(x_{\Pi\Pi} \cdot (3 \cdot \cos^2 \varphi - 1) - 2 \cdot \sqrt{3} \cdot h \cdot \sin \varphi\right)}{4 \cdot h + \sqrt{3} \cdot x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi}; \ y_{OT} = \frac{-h \cdot \sin \varphi \cdot \left(\sqrt{3} \cdot x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi + 2 \cdot h\right)}{4 \cdot h + \sqrt{3} \cdot x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi}; \\ z_{OT} &= \frac{2 \cdot h \cdot \cos \varphi \cdot \left(\sqrt{3} \cdot x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi + 2 \cdot h\right)}{4 \cdot h + \sqrt{3} \cdot x_{\Pi\Pi} \cdot \sin \varphi}. \end{split}$$

Расчеты, выполненные по этим формулам, показывают, что без учета действительного азимута падения границы (т.е. в предположении ортогональной относительно линии простирания ориентировки профиля наблюдений) при построении изображения можно допустить значительные ошибки, как по глубине, так и в ортогональном профилю направлении. Эти ошибки могут составлять 15-25 % от средней глубины залегания отражающей границы. При решении многих задач современной сейсморазведки такие относительные ошибки в построении изображения являются чрезмерными.



Рисунок 2 Несимметричный способ формирования сейсмограмм

В монографии (Bondarev, Krylatkov, 2006) обобщая представление авторы, 0 сейсмограммах общей средней точки, ввели в рассмотрение новое понятие понятие о несимметричной сейсмограммах сборки (рисунок 2). В такие сейсмограммы для каждой конкретной общей расчетной точки (ОРТ) собираются трассы, для которых удаление от ПВ до ОРТ и от ПП до ОРТ различны. Годографы отраженных волн на таких сейсмограммах описываются более сложным

уравнением, которое имеет специфический вид:

$$t(l) = \sqrt{t_0^2 + \frac{l^2}{V_{OCT}^2} + \frac{2 \cdot l \cdot t_0}{V_{OCT}} \cdot \left(\frac{a - 1}{a + 1}\right) \cdot tg \,\varphi \cdot \cos\left(\omega_{nadenus} - \omega_{npo\phi}\right)}.$$

В это уравнение входят:  $t_0$  - время пробега волны по нормали к отражающей границе в ОРТ,  $l=l_1+l_2$  - суммарное удаление источник-приемник, a - параметр асимметрии,  $\omega_{nadenus}$  и  $\omega_{npo\phi}$ . - азимуты направления падения границы и направления профиля,  $\varphi$  - угол падения границы. Поскольку в структуру уравнения годографа входят угловые параметры отражающей границы,





то открывается возможность этот фактор использовать для их определения. На основе использования этого уравнения нами была разработана методика определения угла падения отражающей границы по данным многократных перекрытий, выполненных по профилям, ориентированных вкрест простирания отражающих границ. Основными элементами этой методики являются:

- формирование для фиксированной ОРТ специальной сейсмограммы несимметричной сборки с заданным значением параметра асимметрии y=(a-1)/(a+1), где  $a=l_2/l_1$ ;

- введение стандартной кинематики для этого пикета профиля и формирование специальных *а*-сейсмограмм;

- регулируемый направленный анализ (PHA) остаточного волнового поля *а*-сейсмограммы в заданном диапазоне возможных сдвигов;



Рисунок 3 Временной разрез ОСТ, а - сейсмограмма общего удаления и суммолента РНА, соответствующие пикету 1380 профиля сейсморазведочных работ 2D

- определение и формирование зависимости конкретных сдвигов по суммоленте РНА для индивидуальных отраженных волн как функции времени регистрации t<sub>0</sub>;

- пересчет полученной зависимости в итоговую зависимость углов наклона отражающих границ как функцию времени *t*<sub>0</sub> (или глубины *h*).

В качестве примера работы этой технологии на рисунке 3 приводятся материалы, демонстрирующие этапы определения величин искомых сдвигов. характеризующие наклон отражающих границ на одном из профиля исследований на пикетов фоне временного разреза. Очевидна четкая взаимосвязь определяемых углов и общего характера временного разреза с углами наклона от 2° до 7°.

## Выводы

Использование в процессе построения сейсмических изображений новых типов геосейсмических моделей геологических сред, содержащих информацию не только о положении, но и о пространственной ориентации отражающих элементов границ, позволяет:

- на основе использования свойств линий точек отражения (ЛТО) формировать более объективные сейсмические изображения геологической среды;
- повышать пространственную равномерность освещения разреза по профилю исследований по данным, полученным как по регулярным, так и по нерегулярным системам наблюдений;
- получать мигрированные глубинные (временные) сейсмические разрезы.

#### Библиография

1. Бондарев В.И., Крылатков С.М. [2016]. Способ построения сейсмических изображений геологической среды по данным сейсморазведки 2D. Доклад на конференции EAGE "Геомодель-2016". Геленджик.

2. Бондарев В.И., Крылатков С.М. [2011]. Сейсморазведка. Учебник для вузов в двух томах. Изд. УГГУ. Екатеринбург. Т1- 396 с., T2 – 405 с.

3. Dillon P.B., Thomson R.C. [1984]. Offset source VSP surveys and their image reconstruction/ Geophysical Prospecting, 32, pp. 790-811.

4. Бондарев В.И., Крылатков С.М. [2006]. Новые технологии анализа данных сейсморазведки. Екатеринбург. Изд-во УГГУ. - 122 с.





## References

1. Bondarev V.I., Krylatkov S.M. [2016]. A Method for Producing Seismic Imaging of the Geological Environment by 2D Seismic Data. Oral presentation. 18th science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development "Geomodel -2016". Gelendzhik, Russia.

2. Bondarev V.I., Krylatkov S.M. [2011]. Exploration Seismology. Textbook for universities in two volumes. Publishing House UGGU. Ekaterinburg. V1- 396 p., V2 – 405 p.

3. Dillon P.B., Thomson R.C. [1984]. Offset source VSP surveys and their image reconstruction/ Geophysical Prospecting, 32, pp. 790-811.

4. Bondarev V.I., Krylatkov S.M. [2006]. New technologies of data analysis in the exploration seismology. The scientific edition. - Ekaterinburg: Publishing House UGGU, 2006. - 126 pp.