

A034

Velocity Detection by Duplex Wave Migration

N. Marmalevskiy* (Ukrainian State Geological Research Institute), S. Gorbachev (LARGEO), Z. Gornyak (Tetrale Group), G. Dubrova (Tetrale Group) & B. Link (Tetrale Group)

SUMMARY

The sensitivity of the duplex wave migration to the wave propagation velocities is considered. On the field 3D data, the evaluation criteria for detection of correct velocity assignment are shown for the duplex wave migration based on the Kirchhoff integral. The opportunities of definition of velocity in thin layers, which thickness is less than length of a seismic wave and complicated with permeable fractures corridors are considered.

Введение

Миграция дуплексных волн (МДВ) предназначена для формирования изображений субвертикальных границ. Впервые изображение вертикальной границы при помощи дуплексных волн (ДВ) было получено McMechan (McMechan, 1983). В последнее время ДВ активно используются для формирования изображений стенок соляных штоков (Broto et al., 2001, Marmalyevskyy et al., 2005, Farmer et al., 2006), зон трещиноватости (Link et al., 2007, Khromova et al., 2010) и др.

Как при любой глубинной миграции качество МДВ существенно зависит от скоростной модели. За базовую глубинно-скоростную модель при МДВ принимают ту же скоростную модель, что и при обычной пре-стек глубинной миграции (PSDM). Чувствительность к скорости при МДВ выше, чем при PSDM (Горняк и др., 2008, Marmalevskiy et al., 2010) и она не падает, а увеличивается с глубиной.

В эффективно однородных средах глубина границы и время пробега волны по вертикали T_0 связаны между собой посредством только эффективной скорости. В случае анизотропных сред, в том числе квазианизотропных, вызываемых тонкослоистостью разреза, такой однозначной связи нет и здесь важную роль начинают играть параметры анизотропии, которые во многих случаях неизвестны. Это, как правило, приводит к тому, что изображения, полученные в результате изотропных PSDM, не удается увязать с данными скважин. При наличии последних можно внести поправку к глубине горизонта. При МДВ ошибки в скорости также приводят к погрешностям в изображениях среды. Для получения правильного положения вертикальных границ необходимо уточнение скорости миграции, которое выполняется на основе МДВ.

В данном докладе на модельных и реальных материалах показана возможность повышения разрешающей способности скоростного анализа на основе МДВ.

Метод

Чувствительность PSDM к скорости или разрешающая способность скоростного анализа зависит в основном от двух факторов: глубины отражающей границы и удаления источник-приемник. Чем меньше удаление источник-приемник - L , тем импульсный отклик PSDM ближе к окружности и разрешающая способность скоростного анализа стремится к нулю. Такая же ситуация наблюдается при больших глубинах, где импульсный отклик приобретает форму близкую к окружности даже при ненулевых значениях L . Отсюда следует известный факт, что разрешающая способность скоростного анализа с глубиной уменьшается. Свойства МДВ существенно отличаются от указанных выше.

При МДВ, основанной на интеграле Кирхгофа, функция Грина рассчитывается в соответствии с законом распространения ДВ. Импульсный отклик оператора МДВ можно рассматривать, как отклик PSDM, повернутый на 90° (Горняк и др., 2008). Из чего в частности следует, что разрешающая способность МДВ по латерали значительно выше, чем по вертикали, в то время как в PSDM наоборот. В отношении разрешающей способности скоростного анализа импульсный отклик МДВ следует рассматривать, как отклик PSDM, при котором для фиксированного приемника источник смещается в свое мнимое положение. Отсюда следует, что даже при $L=0$ отклик остается эллиптическим и эллиптичность тем больше, чем больше глубина.

Таким образом, роль удаления источник-приемник здесь начинает играть глубина опорной границы, что и означает рост разрешающей способности скоростного анализа с глубиной. Роль глубины отражающей границы, которая при PSDM, как отмечалось, имеет важное значение, в МДВ играет расстояние между источником и проекцией субвертикальной границы на поверхность. Учитывая, что в реальной системе наблюдений такое расстояние может быть сведено к нулю, разрешающая способность скоростного анализа при МДВ стремится к бесконечности, т.е. определять скорость можно с любой наперед заданной точностью. На практике это свойство скоростного анализа регулируется положением апертуры миграции относительно источника колебаний.

Важнейшим свойством МДВ при изучении протяженных по латерали вертикальных границ является то, что целевой объект освещается с двух сторон, как слева, так и справа (в обычной ситуации субгоризонтальная граница, как целевой объект освещается только с одной стороны - сверху).

Учитывая общие свойства скоростного анализа, в соответствии с которыми при скорости ниже истинной границы смещаются к источнику и от него в случае, когда скорость выше истинной (Sattlegger, 1975), наличие двух источников при неправильной скорости приведет к «раздвоению» границы. Это показано на рис. 1, где скорость для МДВ последовательно изменяется от 2650 м/с до 3050 м/с. Истинная скорость - 2950 м/с. Необходимо особо отметить, что при скоростях 2850 м/с и 3050 м/с синфазно суммируются фазы, знак которых противоположен знаку максимальной фазы сигнала. Поэтом на этих скоростях изображение границы имеет знак противоположный изображению соответствующему правильной скорости. Таким образом, симметричная смена знака изображения является важным диагностическим признаком правильной скорости преобразования при МДВ.

Важнейшей задачей при изучении трещиноватых коллекторов является определение скоростей в тонких трещиноватых пластах. При этом чаще всего мощность пластов содержащих трещиноватые проницаемые коридоры меньше длины сейсмической волны, а сами эти пласты расположены на глубинах, где разрешающая способность стандартного скоростного анализа уже достаточно низкая. Вместе с тем наличие указанных выше проницаемых коридоров, от которых формируются отраженные ДВ, позволяет повысить разрешение скоростного анализа.

На рис. 2 показана глубинно-скоростная модель, в которой на глубине 2700 м расположен 40м пласт содержащий шесть проницаемых трещиноватых коридоров, мощностью 7 м каждый. Пробразом данной модели являются отложения аномального бажена Западной Сибири. Отличительным свойством указанных коридоров является различие скоростных и плотностных параметров относительно вмещающее породы. На рисунке показаны отличия скоростей в процентах. Из рисунка видно, что субвертикальные границы заполнены как акустически более мягким, так и более жестким материалом относительно вмещающей породы.

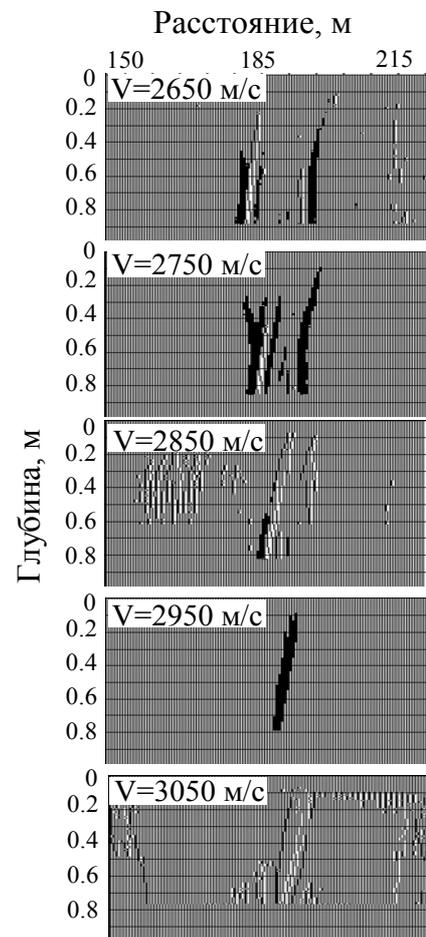


Рисунок 1 Скоростной анализ на основе МДВ при освещении целевого объекта с двух сторон.

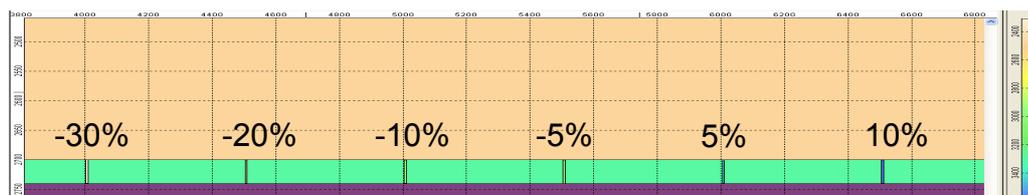


Рисунок 2 Глубинно-скоростная модель тонкого пласта с вертикальными трещиноватыми коридорами.

На рис.3 показано сейсмическое изображение, полученное в результате МДВ по модели, приведенной на рис.6. Можно видеть, что на изображении различие в скачке свойств целевых вертикальных пластов относительно вмещающей породы проявляются как в виде интенсивности изображения, так и в виде смены знака сигнала. На рис.4 показано сравнение изображений, полученных при помощи PSDM (вверху) и МДВ (внизу). Можно видеть, что по результатам PSDM визуально обнаружить проницаемый коридор при типичном скачке параметров, практически невозможно. В то же время на результатах МДВ хорошо проявляется не только наличие субвертикальной неоднородности, но и характеристика ее заполнения.

На рис.5 показан перебор интервальной скорости внутри 40 метровой пачки пород, на основе МДВ и PSDM. В первом случае скорость внутри пласта была определена с точностью 10%, что не является пределом. В случае же определения интервальной скорости на основе перебора скоростей PSDM информация о скорости внутри пласта не получена, что согласуется с представлениями о разрешающей способности скоростного анализа при стандартной глубинной миграции.

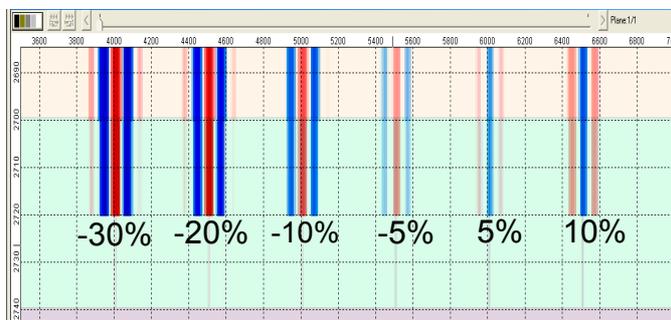


Рисунок 3 Сейсмическое изображение, полученное в результате МДВ по модели, показанной на рис.2.

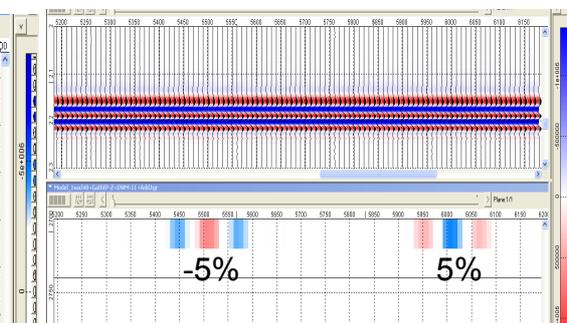


Рисунок 4 Сравнение изображений, полученных при помощи PSDM (вверху) и МДВ (внизу).

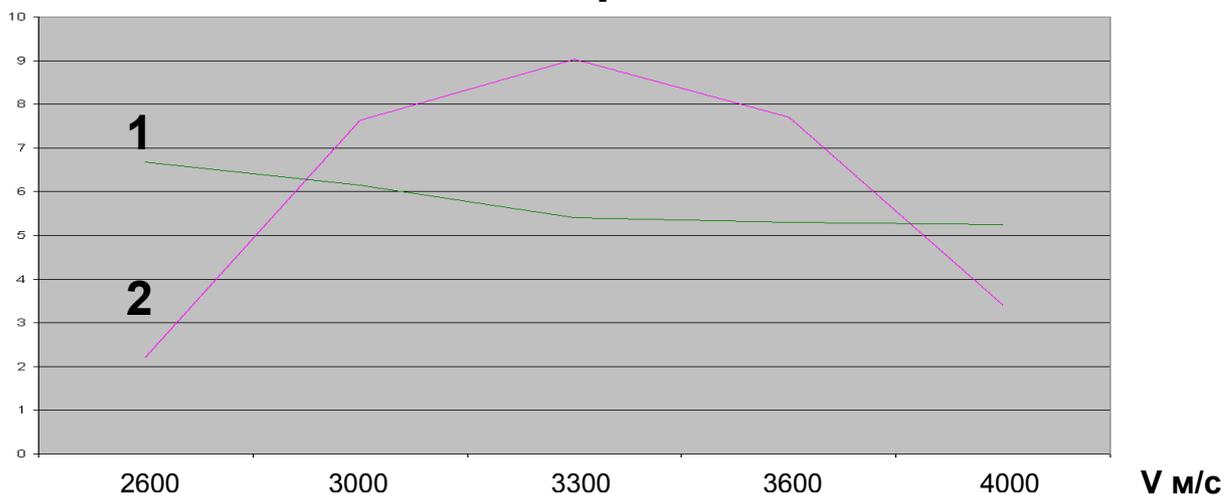


Рисунок 5 Перебор интервальной скорости внутри 40 метровой пачки пород, на основе МДВ и PSDM

Истинная скорость в тонком пласте $V=3300$ м/с
Обозначения: 1- PSDM, 2 – МДВ.

Пример уточнения скоростной модели на основе МДВ по реальным 3D данным

На рис.6 показан пример перебора скоростей МДВ на реальных материалах на одной из площадей Западной Сибири. Стратиграфические срезы, показанные на рис. 6 получены по

кубам МДВ, при формировании которых скорость последовательно изменялась на 1%, т. е. по отношению к среднему рисунку скорость изменялась в диапазоне $\pm 1\%$. Преобладающая фаза сигнала изображения субвертикальной границы (показана стрелками) на левом и правом рисунках является противоположной, наблюдаемой на центральном рисунке. Исходя из вышесказанного, можно заключить, что скорость миграции, примененная для получения куба МДВ, соответствующая центральному рисунку близка к действительной скорости распространения волны в среде. Разрешающая способность скоростного анализа в 1% на глубине почти 2700 м при использовании максимального удаления $L=2000\text{м}$, является весьма высокой. Ранее отмечалась значительная эллиптичность импульсного отклика оператора МДВ, которая в данном случае достигается расстоянием от приемника до мнимого источника близким к 5400м. С другой стороны, как показано для данного примера в работе (Dubrova et al., 2011), наибольшие коэффициенты отражения волны, отразившейся от вертикальной границы соответствуют большим углам падения, т.е. большая часть энергии дуплексной волны получается от источников, расположенных в непосредственной близости от проекции на поверхность субвертикальной границы. Этот факт также, способствует увеличению разрешающей способности скоростного анализа и чувствительности МДВ к скорости.

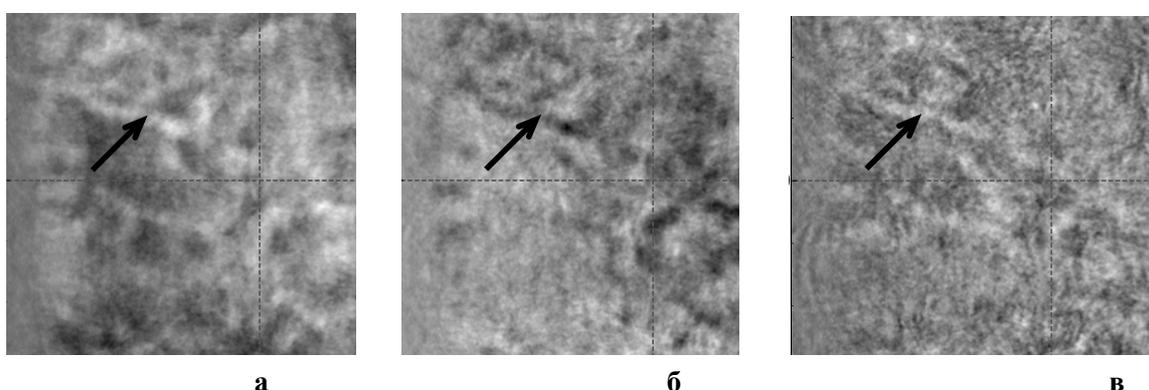


Рисунок 6 Пример перебора скоростей на основе МДВ. Скорости миграции на рисунках а и в отличаются от скоростей на рисунке б на -1% и 1% соответственно.

Заключение

Более высокая чувствительность к скорости для МДВ по отношению к обычной глубинной миграции позволяет осуществлять коррекцию скоростной модели, полученной на основе PSDM. Чувствительность МДВ к скорости зависит от упругих свойств на вертикальной границе. Так, например, если основная энергия ДВ сосредоточена в области больших углов падения волны на субвертикальную границу, чувствительность к скоростям будет наибольшей. Показанный пример определения скоростей на полевых материалах свидетельствует о высокой разрешающей способности скоростного анализа на основе МДВ. Продемонстрирована высокая точность определения скоростей в условиях тонких пластов с вертикальными проницаемыми коридорами.

Ссылки

- Горняк З.В., Костюкевич А.С., Линк Б., Мармалевский Н.Я., Мерший В.В., Роганов Ю.В., Хромова И.Ю. [2008]. Изучение вертикальных неоднородностей при помощи миграции дуплексных волн. - *Технологии сейсморазведки*. - №1, С.3-14.
- Broto, K., Lailly, P., [2001]. Towards the tomographic inversion of prismatic reflections. *71th Ann. Internat. Mtg., SEG. Expanded Abstract*, 726-729
- Claerbout, J. F. [1976] Fundamentals of geophysical data processing (with applications to petroleum prospecting). *McGraw-Hill Inc.*
- Dubrova G., Khromova I., Kostyukevych A., Luo D., Liang W., Li B., [2011]. Duplex Wave Migration Based AVO for Determination Properties of Vertical Boundaries. – *73rd EAGE Conference & Exhibition*, #P311.

- Farmer, P.A., Jones, I.F., Zhou, H., Bloor, R.I., Goodwin, M.C., [2006]. Application of reverse time migration to complex imaging problems: *First Break*, **24**, 65-73.
- Khromova, I., Link, B. [2010]. Fracture Delineation Case History from Russia and implications for plays in North America. *80th Ann. Internat. Mtg., SEG. Expanded Abstract*, 297-301.
- Link B., Marmalevskiy N., Roganov Y., Kostyukevych A., Gornyak Z., [2007]. Direct imaging of subtle, zero throw vertical faulting - a 3D real data example. *77th Ann. Internat. Mtg., SEG. Expanded Abstract*, 2359-2363.
- Marmalyevskyy, N., Roganov, Y., Gornyak, Z., Kostyukevych, A., Mershchiy, V., [2005]. Migration of Duplex Waves, *75th Ann. Internat. Mtg., SEG. Expanded Abstract*, 2025-2028.
- Marmalevskiy, N., Roganov, Y., Kostyukevych, A., Roganov V., [2008]. Duplex Wave Migration and Interferometry for Imaging Onshore Data without Angle Limitations. *70th EAGE Conference & Exhibition*, #P273.
- Marmalevskiy, N. Roganov, Y., Gornyak, Z., Kostyukevych, A., Link, B., Tirkel, M., [2010]. Velocity analysis in VTI media by Duplex wave migration. *72th EAGE Conference & Exhibition*, #P275.
- McMechan, G. A., [1983]. Migration by extrapolation of time-dependent boundary values: *Geophys. Prosp.*, **31**, 412-420.
- Sattlegger, I. W., [1975]. Migration velocity determination: *Geophysics*, **40**, 1-16