

# МИГРАЦИЯ ДАННЫХ НВСП ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГЛУБИННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С НЕИЗВЕСТНОЙ ВЕРХНЕЙ ЧАСТЬЮ РАЗРЕЗА В РАЙОНАХ СО СЛОЖНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ

Д.Неклюдов\*, И.Бородин\*\*

*\*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,*

*\*\*Schlumberger, Fuchinobe, Japan*

## MODIFIED REVERSE-TIME MIGRATION APPLIED TO IMAGING OF OFFSET VSP DATA WITH UNKNOWN OVERBURDEN IN COMPLEX AREAS

Dmitry Neklyudov\*, Igor Borodin\*\*

*\*Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian*

*Branch of Russian Academy of Science,*

*\*\*Schlumberger, Japan*

### **Аннотация**

В настоящей работе предложен модифицированный алгоритм Reverse Time Migration (RTM) данных НВСП, который позволяет строить глубинные изображения целевых областей околоскважинного пространства без учёта верхней части разреза. Достоверный результат может быть получен с использованием информации о скоростном строении среды только вдоль ствола скважины. Основная идея заключается в том, что волновое поле падающей волны от источника, расположенного на поверхности, аппроксимируется в целевой области с помощью проходящей Р-волны, зарегистрированной в скважине. Это осуществляется продолжением в обратном времени в целевую область проходящей Р-волны, после её выделения на сейсмограммах НВСП с помощью конечно-разностной схемы для скалярного волнового уравнения. Предложенный подход позволяет строить кинематически достоверные изображения границ по отражённым PP и PS - волнам, кроме того, может применяться для изображения границ соляных тел в окрестности скважин по проходящим обменным PS-волнам. Проведённые нами эксперименты на синтетических и реальных данных показывают, что модифицированная RTM позволяет получать достоверные глубинные изображения по данным НВСП при задании правильной скоростной модели только в окрестности скважины.

### **Abstract**

In this paper we propose a modified Reverse-Time Migration algorithm applied to OVSP data which gives a possibility to reconstruct depth structure image having no knowledge about overburden by using original registered seismograms without their re-datuming. Velocity model estimated in some depth interval in vicinity of borehole can be used for migration. Its main feature is approximation of source wavefield in the target area using downgoing wavefield registered in a borehole. To do it one needs to perform back-in-time

extrapolation of downgoing wavefield using finite-difference (FD) scheme for solving the scalar wave-equation (or using FD for elasticity). It is possible to migrate PP-reflections or transmitted PS-converted waves for formation boundaries or salt flank imaging. Our numerous experiments with synthetic and field OVSP data demonstrate that modified RTM provides a good quality image in complex geological conditions.

В настоящее время отмечается значительное повышение интереса к методу ВСП. Это связано как с техническим усовершенствованием аппаратуры (появление многоканальных скважинных приборов, которые позволяют размещать до 40 трёхкомпонентных приёмников), так и с существенным усложнением решаемых задач. Поисковые работы на нефть проводятся в регионах с очень сложной геологией, с наличием солянокупольной тектоники. Зачастую обработка данных поверхностных систем наблюдений не позволяет получить достоверной картины отражающих горизонтов под солевыми телами. Ещё одной важной задачей, которая возникает в этих случаях, является построение изображений границ солевых тел и отражающих границ в окрестности скважин. На основе этой информации принимаются решения о ходе дальнейшего бурения. Миграция данных ВСП даёт возможность успешно решать такие задачи

Наиболее универсальным методом глубинной миграции до суммирования является т.н. миграция в обратном времени (англ.-Reverse-Time Migration, RTM). В алгоритме RTM не накладывается никаких ограничений на макроскоростную модель среды и на допустимый угол наклона изображаемых отражающих границ. Кроме того, самым естественным образом учитываются физические особенности процесса распространения волн.

При реализации на практике миграционных процедур возникает проблема определения скоростного строения среды. Так, для построения изображений отражающих границ ниже солевого тела с помощью стандартной процедуры миграции необходимо правильно задать скоростную модель вышележащей толщи, включая саму солевую интрузию, которая может иметь очень сложную форму.

В настоящей работе предложен модифицированный алгоритм Reverse-Time Migration (MRTM) данных НВСП, который позволяет строить глубинные изображения целевых областей околоскважинного пространства без учёта верхней части разреза. При этом используются оригинальные зарегистрированные сейсмограммы без их пересчёта к фиктивной системе наблюдений, что используется в интерферометрии [1,2]. Основная идея заключается в том, что волновое поле падающей волны от источника, расположенного на поверхности, аппроксимируется в целевой области с помощью проходящей Р-волны, зарегистрированной в скважине. Это осуществляется продолжением в обратном времени в

целевую область проходящей Р-волны, после её выделения на сейсмограммах НВСП с помощью конечно-разностной схемы для скалярного волнового уравнения. Предлагаемый подход легко адаптируется на случай многокомпонентной RTM, основанной на конечно-разностном решении системы уравнений теории упругости.

Общепринятый подход к построению сейсмических изображений - представление изучаемой среды в виде суперпозиции двух составляющих:  $m = V_0 + R$ , гладкой макроскоростной модели  $V_0$ , отвечающей за времена пробега волн и не изменяющей направление распространения падающей волны, а также резко меняющейся локальной компоненты, не влияющей на время распространения волны, но существенно меняющей ее направление R (reflectivity). Определение этих двух компонент проводится независимо и соответственно составляет предмет скоростного анализа и миграции. Любая процедура глубинной миграции включает в себя приближённый расчёт функций Грина в заданной макроскоростной модели  $V_0$  или с помощью лучевого метода (Kirchhoff migration) или при численном решении волнового уравнения (Wave Equation Migration, RTM). При регистрации волнового поля в скважине в ходе НВСП можно полагать, что мы непосредственно измеряем функцию Грина для неизвестной в общем макроскоростной модели, а  $V_0$  – это проходящая Р-волна в окрестности её первых вступлений. Измерения проводятся в некоторых точках среды, расположенных внутри целевой области, где необходимо получить глубинное изображение. Для того, чтобы построить изображение целевой области без учёта скоростного строения вышележащей части разреза, нам необходимо экстраполировать функцию Грина, измеренную в нескольких внутренних точках среды внутрь всей целевой области. Мы предлагаем один из возможных решений этой задачи применительно к RTM.

Рассмотрим алгоритм RTM в случае выносного ВСП. Он состоит из следующих этапов [3]:

1) Разделение поля восходящих  $W_{obs}^{UP}$  и нисходящих  $W_{obs}^{DOWN}$  волн. Выделение в поле нисходящих волн  $W_{obs}^{DOWN}$  падающей Р-волны ( $P_{obs}^{DOWN}$ ).

2) Продолжение в обратном времени зарегистрированного в скважине поля отражённых волн  $W_{obs}^{UP}(\vec{r}_g, \vec{r}_s, t)$  изо всех приёмников в среду с заданным макроскоростным строением. Так как мы рассматриваем скалярную процедуру продолжения поля  $W_{obs}^{UP}(\vec{r}_g, \vec{r}_s, t)$ , оно должно быть разделено на монотипные РР и обменные PS-волны, а само продолжение должно осуществляться с соответствующей скоростью  $V_p(\vec{r})$  или  $V_s(\vec{r})$ .

Математически продолжение поля отражённых волн в обратном времени означает численное решение задачи Коши в обратном времени:

$$\frac{1}{V_p^2(\vec{r})} \frac{\partial^2 W^{UP}}{\partial t^2} = \Delta W^{UP} + \sum_{RECEIVERS} W_{obs}^{UP}(\vec{r}_G, \vec{r}_S, t) \quad (1)$$

$$W^{UP} \Big|_{t=T} = \frac{\partial W^{UP}}{\partial t} \Big|_{t=T} = 0$$

где  $W^{UP}(\vec{r}; \vec{r}_S; t)$  - поле отражённых волн, вычисленное в каждой точке целевой области,  $\vec{r}_S = (x_S, z_S)$ ,  $\vec{r}_G = (x_G, z_G)$  - координаты источников и приёмников. Отметим, что при решении (1) скоростная модель в окрестности поверхностного источника, т.е. вне целевой области, не влияет на точность экстраполяции поля отражённых волн.

3) Стандартная процедура RTM подразумевает расчет поля прямой волны  $U(\vec{r}, \vec{r}_S, t)$  распространяющейся из источника, расположенного на поверхности в точке  $\vec{r}_S$  в каждой точке целевой области. Это требует задания макроскоростной модели во **всей** области, от поверхностного источника до линии приёмников.

Мы предлагаем [3] аппроксимировать поле прямой волны  $U(\vec{r}, \vec{r}_S, t)$  от поверхностного источника с помощью падающей Р-волны ( $P_{obs}^{DOWN}$ ), зарегистрированной в скважине. Для этого продолжим в обратном времени выделенную Р-волну  $P_{obs}^{DOWN}$  из всех приёмников, т.е. будем решать задачу:

$$\frac{1}{V_p^2(\vec{r})} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \Delta U + \sum_{RECEIVERS} P_{obs}^{DOWN}(\vec{r}_G, \vec{r}_S, t) \quad (2)$$

$$U_{t=T} = \frac{\partial U}{\partial t} \Big|_{t=T} = 0$$

При этом для решения (2), как и для решения (1) могут использоваться миграционные скорости, определённые вдоль ствола скважины начиная с некоторой глубины ниже области с возможными латеральными скоростными аномалиями или солевой интрузией. Выше лежащая часть разреза не будет влиять на достоверность глубинного изображения, полученного таким образом, т.к. её влияние уже учтено в проходящих волнах. Можно показать, что решение задачи (2) есть экстраполяция точно заданной в нескольких точках целевой области функции Грина для неизвестной в общем макроскоростной модели в остальные точки этой области.

4) Заключительным этапом процедуры RTM является применение условия визуализации, т.е. вычисление в каждой точке целевой области кросс-корреляции двух продолженных полей:  $I(\vec{r}, \vec{r}_S) = \int_0^T U(\vec{r}, \vec{r}_S; t) \cdot W^{UP}(\vec{r}, \vec{r}_S; t) dt$

В докладе будут приведены результаты численных экспериментов на синтетических данных, рассчитанных для модели SIGSBEE2A, а также других реалистичных моделях.

### ***Список литературы***

1. Bakulin, A., Calvert R., [2004], Virtual source: New method for imaging and 4D below complex overburden: 74<sup>th</sup> Annual International Meeting, SEG, Exp.Abst., 2477-2480.
2. Chang W., McMechan G., [1986], Reverse-time migration of offset vertical seismic profiling data using the exitation-time imaging condition, Geophysics, 51, pp. 67-84
3. Neklyudov D., Borodin I., [2007], Modified reverse-time migration applied to offset VSP data acquired in area with complex geological conditions: 69<sup>th</sup> EAGE Conference and Exhibition, Exp.Abst., P048
4. Schuster, G.T., J.Yu, J.Sheng, and J.Rickett, [2004], Interferometric/Daylight seismic imaging. Geophys. J. Int., 157, 838-852

Работа выполнена совместно с Московским научно-исследовательским центром “Шлюмберже”, при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 07-05-00538, 05-05-64277-а, Лаврентьевского гранта СО РАН 2007

\*\*\*\*\*