

## **O1      КОНЕЧНО-РАЗНОСТНАЯ МИГРАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИИ СЕЙМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОЙ ЧЕТКОСТИ**

Д.Г. Туйков\*, А.В. Баев\*\*, А.А. Табаков\*, В.Л. Елисеев\*, А.А. Мухин\*\*\*,  
Д.А. Мухин\*\*\*, А.С. Колосов\*\*\*  
(\* ООО «ГЕОВЕРС», Москва, \*\* МГУ, г. Москва,  
\*\*\* ООО «УНИС», Санкт-Петербург)

### **FINITE-DIFFERENCE MIGRATION IN HIGH DEFINITION SEISMIC TECHNOLOGY**

D.G. Touikov\*, A.V. Baev\*\*, A.A. Tabakov\*, V.L. Eliseev\* A.A. Muhin\*\*\*,  
D.A. Muhin\*\*\*, A.S. Kolosov\*\*\*  
(\* *GEOVERS Ltd., Moscow*, \*\* *Moscow State University*,  
\*\*\* *UNIS Ltd., Saint-Petersburg*)

**Аннотация.** Процесс миграции сейсмических данных состоит из двух различных шагов – продолжение поля во внутренние точки среды и получение изображения в каждой точке среды.

Продолжение поля по конечно-разностной схеме применимо для моделей строения среды произвольной сложности и используется в СВЧ (Сейморазведка высокой четкости) технологии. В самом общем бескомпромиссном подходе продолжаются полные 3С волновые поля и в каждой внутренней точке среды выполняется векторная селекция волн по скоростям и решение обратной динамической задачи.

В работе излагаются результаты упрощенного подхода, используемого, например, для 1С данных. В этом случае продолжение поля отраженных волн производится в обратном времени из точек приема или возбуждения (из тех, каких больше: для экономии времени счета) с дальнейшей корреляцией, например, с импульсом Риккера на времени и точке пространства прихода падающей волны, рассчитанных лучевым методом.

Результаты такой миграции для модельных данных в 2D и 3D моделях показывают возможность построения правдоподобных изображений разнонаклонных границ.

**Abstract.** Migration of seismic data may be presented as two different steps – continuation of wavefield inside the medium and imaging in each point of medium.

Wavefield continuation by finite-difference scheme is applicable for any complexity velocity models and is used in HDS (High Definition Seismic) technology. The most general uncompromising approach includes continuation

of full 3C wavefields and vector wave selection in each interior point of the medium with solution of the inverse dynamic problem.

The paper presents the results of a simple approach to migration of 1C data. In this case continuation of a wavefield of the reflected waves is made in reverse-time with correlation, for example, with the Ricker impulse on the DP-wave arrival time, calculated by the ray method, in all finite-difference knots.

The results of such migration for 2D and 3D velocity models show the possibility of constructing realistic images for variable dip boundaries.

### **Введение**

Наиболее общий подход миграции включает в себя продолжение полного 3С волнового поля во внутренние точки среды согласно системе волновых уравнений Ламэ, аппроксимированных конечно-разностной схемой, с дальнейшей селекцией волн по скоростям и решением обратной динамической задачи. Однако в случае использования 1С данных вполне оправдано использование более простой миграции, основанной на продолжении 1С поля восходящих волн на базе акустического уравнения распространения волн в среде (1):

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \rho v_p^2 \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{1}{\rho} \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (1)$$

где  $u$  - деформация,  $v_p$  - скорость продольных волн,  $\rho$  - плотность, с дальнейшей корреляцией продолженного поля с синтетической падающей волной.

В качестве способа миграции и дальнейшего получения изображения среды предложена следующая схема:

- построение сетки параметров для конечно-разностной схемы
- расчет времен первовступлений прямой падающей волны DP в каждом узле сетки, учитывая, что распространение происходит из текущей точки взрыва или точки приема (выбор зависит от количества точек взрыва и точек приема и влияет на время расчета)
- продолжение полей отраженных волн UP из пунктов взрыва, либо пунктов приема со скоростью продольных волн по акустической схеме
- корреляция поля отраженных волн с синтетической падающей волной, представляющей собой импульс Риккера на времени первовступления волны DP в каждом узле сетки, рассчитанном лучевым методом

- построение изображения, составленного из коэффициентов корреляции полей падающей и отраженных волн
- Повторение процедуры для всех точек приема (взрыва) и суммирование результатов

### Модельный эксперимент

Численный эксперимент проводился для ВСП системы наблюдения. Для точности результата миграции подготовлено синтетическое векторное поле ВСП на заданной вертикальной скважине, имеющей координаты  $X=0$  м,  $Y=0$  м. Сейсмоприемники расположены на глубине от 800 до 1150 метров с шагом 20 метров, всего 15 приемников. Источники находятся на глубине  $Z=4$  м. Расположены вдоль поверхности с шагом 50 метров. В случае двумерной миграции - 19 пунктов взрыва по линии через 50 метров, в трехмерном случае - 361 пункт взрыва на сетке с шагом 50 метров в обоих направлениях. Поскольку для миграции используется акустическая конечно-разностная схема, исходное векторное 3С поле было преобразовано в 1С со следящей компонентой.

Модель среды четырехслойная, с тремя границами. Верхняя и нижняя границы горизонтальные, средняя имеет наклон 5 градусов. Скорость продольных и поперечных волн распределяется по слоям сверху вниз следующим образом: I – 2500 м/с и 1250 м/с, II – 2800 м/с и 1400 м/с, III – 2600 м/с и 1300 м/с, IV – 3000 м/с и 1500 м/с. Плотность во всех слоях одинаковая –  $1,0 \text{ г/см}^3$ .

На рисунке 1 представлены схемы модельных экспериментов для 2D и 3D случаев.

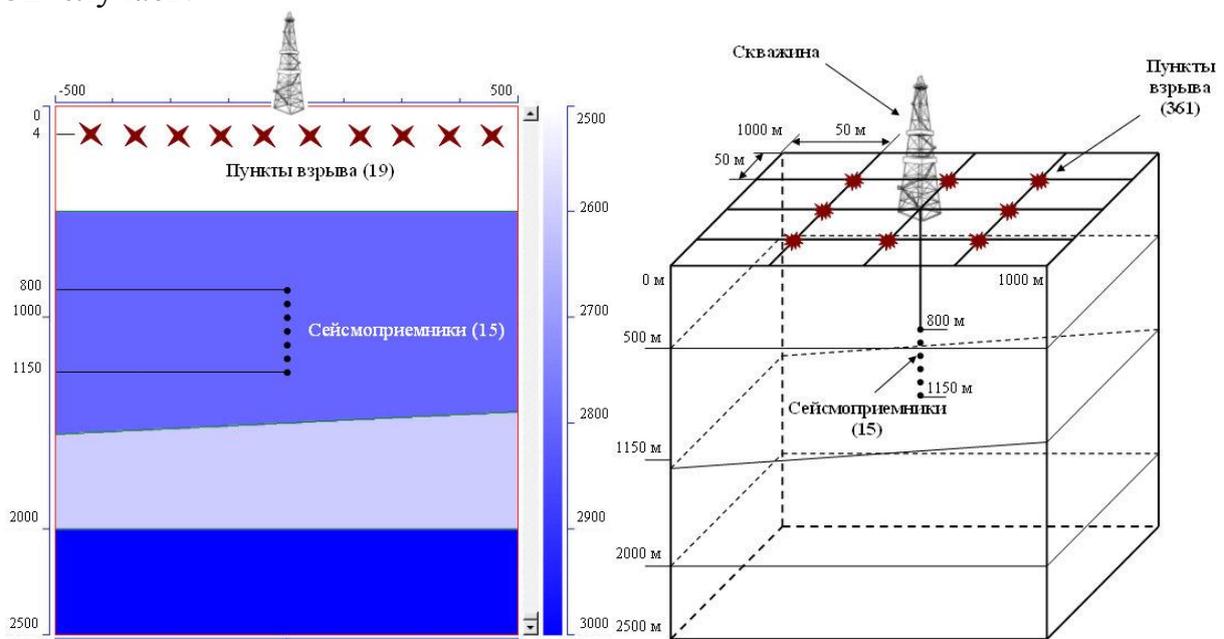
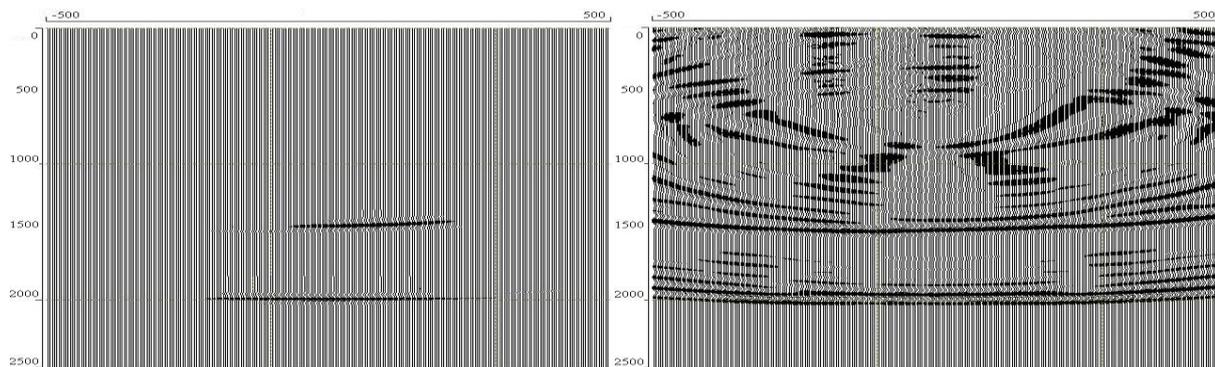


Рис. 1. Схема модельного эксперимента (2D и 3D).

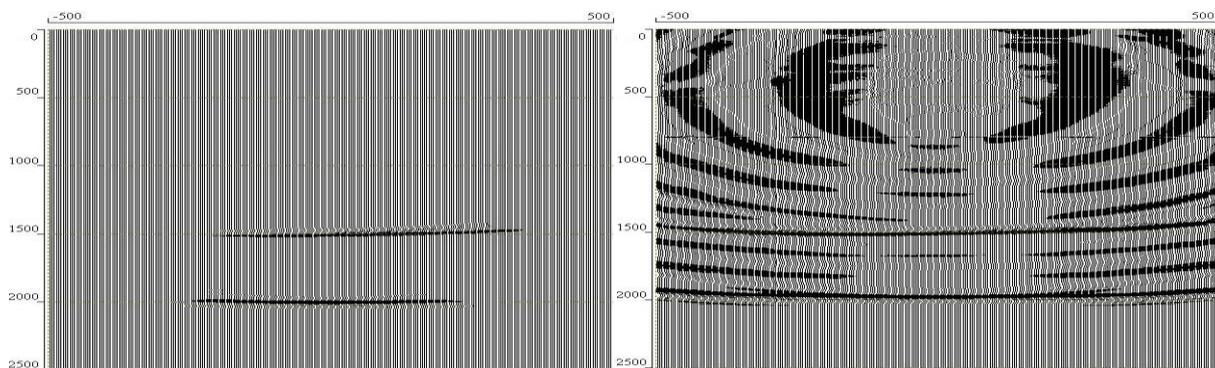
Первый этап миграции – обратное распространение волновых полей восходящих волн, зарегистрированных на скважине, внутрь среды с поверхностных пунктов взрыва. При этом каждый приемник по очереди становится источником. На каждый реальный пункт взрыва в обратном времени подается модельное поле восходящих волн для текущего сейсмоприемника. Одновременно с этим, происходит расчет времен прихода падающей волны в каждом узле сетки, учитывая, что пунктом взрыва является текущий пункт приема.

Вторым этапом является построение изображения. Для этого во временном окне происходит корреляция и суммирование продолженного поля восходящих волн с синтетической падающей волной. Из нормированных коэффициентов корреляции составляется изображение среды. Аналогичная процедура выполняется для всех пунктов приема, а результат суммируется и нормируется по количеству сейсмоприемников.

Полученные изображения среды для 2D и 3D миграции представлены на рисунках 2 и 3.



*Рис. 2. Изображение среды (2D миграция), полученное с помощью продолженного по акустической схеме поля ВСП (UP). Слева режим визуализации global. Справа - АРУ с окном 300 мс.*



*Рис. 3. Изображение среды (3D миграция, сечение ZOX), полученное с помощью продолженного по акустической схеме поля ВСП. Слева режим визуализации global. Справа - АРУ с окном 300 мс.*

## **Выводы**

- Реализованный алгоритм миграции в обратном времени позволяет получить правдоподобные изображения двумерных и трехмерных сред.
- Использование акустической схемы в связке с MPI и Thread распараллеливанием позволяют выполнять конечно-разностную миграцию однокомпонентных данных при приемлемых затратах вычислительных ресурсов.

## **Список литературы.**

1. Ivo Oprsal and Jiri Zahradnik, Elastic finite-difference method for irregular grids: Geophysics, vol. 64, 1999, p. 240-250.
2. John T. Etgen and Michael J. O'Brien, Computational methods for large-scale 3D acoustic finite-difference modeling: A tutorial: Geophysics, vol. 72, 2007, p. 223-230.
3. А.В. Баев, А.А. Табаков, И.Е. Солтан. Об инверсии и миграции данных ВСП. М.: Изд-во «РАО ЕЭС России». В сб.: «Гальперинские чтения-2001». 2001. С. 26.
4. А.В. Баев, А.А. Табаков, И.Е. Солтан, И.В. Яковлев, Оценка динамической представительности векторной конечно-разностной миграции данных ВСП: В сб.: «Гальперинские чтения-2002».
5. А.В. Баев, И.В. Яковлев, А.А. Табаков, И.Е. Солтан. Векторная миграция данных ВСП. Технологии сейсморазведки. 2004. 1. С. 4-9.
6. Д.Г. Туйков, А.А. Табаков, А.В. Баев, А.С. Колосов, А.А. Мухин, Д.А. Мухин, Векторная и акустическая миграции сейсмических волновых полей методом конечных разностей с использованием методов инверсии, разработанных для ВСП: В сб.: «Гальперинские чтения-2008».
7. Weng-Fong Chang and George A. McMechan, Elastic reverse-time migration: Geophysics, 1987, vol. 52, p. 1365-1375.