



УДК 517.95, 519.6

А. Н. Данилин

## ВЫДЕЛЕНИЕ ДИФРАКТОРОВ В СЛОЖНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СРЕДАХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА CSP-RTD

Для обнаружения дифракторов, связанных с трещинно-кавернозными коллекторами углеводородов, применяется метод CSP (Common Scattering Point), наиболее эффективный для слабонеоднородных сред. Для сильнонеоднородных сред этот метод можно дополнить предварительным продолжением волнового поля на определенную глубину. В настоящей статье для этой цели используется процедура Reverse Time Datuming (RTD). Приводятся результаты численного исследования совместного применения RTD и CSP методов (CSP-RTD) на примере известной модели Мармоуси (Marmousi).

143

The CSP (Sommon Scattering Point) method is used to identify diffractors associated with cavernous fractured reservoirs of hydrocarbons. This method shows the highest efficiency in weakly inhomogeneous media. As to strongly inhomogeneous media, this method can be supplemented by the preliminary extension of wave field to a certain depth. To this end, the Reverse Time Datuming (RTD) procedure is used. The results of a numerical study of the joint application of RTD and CSP techniques (CSP-RTD method) are presented in the case of the well-known Marmousi model.

**Ключевые слова:** дифрактор, продолжение волнового поля, уровень, численное моделирование.

**Key words:** diffractor, wave field extension, numerical modeling.

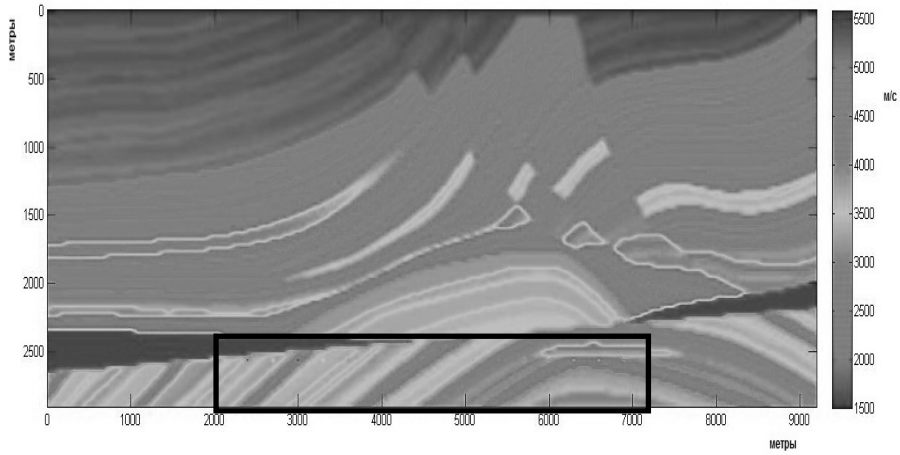
### Постановка задачи

Рассматривается следующая система первого порядка, эквивалентная уравнению акустики для двумерной среды:

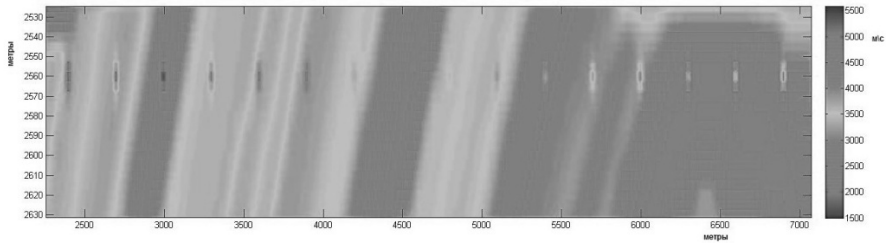
$$\begin{aligned} p_t &= \rho c^2 \operatorname{div} v + \rho c^2 f(t) \delta(x - x_s) \delta(z); \\ \rho v_t &= \nabla p, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\rho(x, z)$  — плотность;  $c(x, z)$  — скорость волн;  $x_s$  — координата точечного граничного источника;  $f(t)$  — импульс Рикера (с доминантной частотой 40 Гц).

Функция  $p$  и вектор-функция  $v$  связаны с давлением  $u$  равенствами  $p = u_t$ ,  $v = \nabla u$ . Система (1) дополняется нулевыми данными Коши:  $p(., 0) = 0$ ,  $v(., 0) = 0$ . Расчетную область окаймляют четыре PML-слоя (Perfectly Matched Layer). Принцип построения этих слоев можно найти в [8]. На рисунке 1, а представлена модель скорости звука и выделена область расположения дифракторов; на рисунке 1, б — дифракторы. По сути, за исходную была взята модель Мармоуси [7], в которую были добавлены дифракторы.



а



б

Рис. 1. Модель скорости (а), черным прямоугольником выделена область дифракторов; часть модели скорости с дифракторами (б)

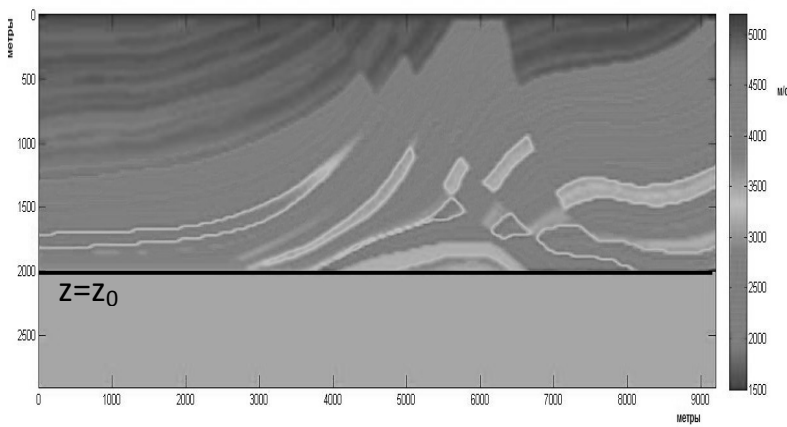


Рис. 2. Модель скорости, где она известна только до  $z = z_0$ , ниже скорость берется постоянной (3,5 км/с)



Наша цель — получить изображение дифракторов (предполагая их неизвестными) по синтетическому волновому полю

$$p_0(x, t; x_s) = p(x, 0, t; x_s),$$

рассчитанному для модели скорости на рисунке 1.

При этом мы считаем, что скорость нам известна только до некоторой глубины  $z = z_0 = 2$  км, а ниже скорость считается постоянной, то есть при решении обратной задачи (восстановлении дифракторов) мы основываемся на модели скорости, представленной на рисунке 2.

Задача решается по следующей схеме: сначала с помощью процедуры RTD (описанной в [3–6]) волновое поле  $p_0$  продолжается на уровень  $z = z_0$ . То есть рассчитывается волновое поле  $p(x, z_0, t; x_s)$ , порождаемое точечными источниками, расположенными на линии  $z = z_0$  и регистрируемое там же; затем применяется CSP-обработка.

145

### Результаты численных экспериментов

Сначала с помощью конечно-разностного метода ([3]) было рассчитано волновое поле  $p_0$  для модели скорости, представленной на рисунке 1, затем применялась процедура RTD для модели скорости, приведенной на рисунке 2. Ниже представлена серия рисунков (рис. 3–7), иллюстрирующих проведенные численные эксперименты.

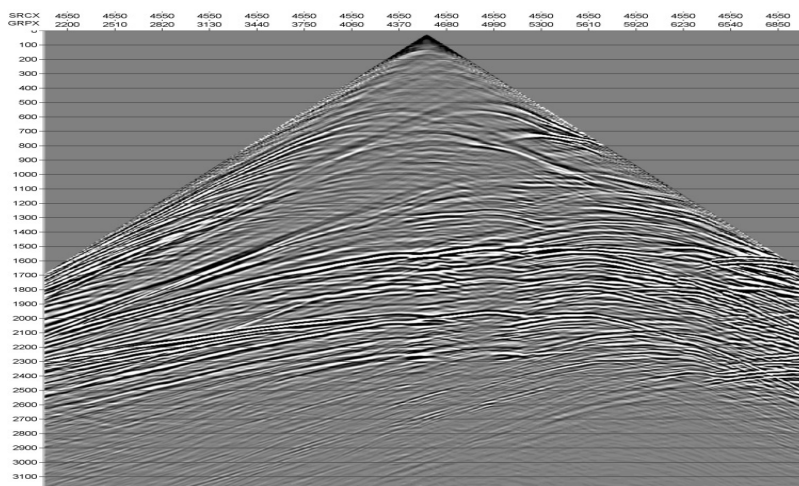


Рис. 3. Пример сейсмограммы ОТВ (общей точки взрыва)

Оказывается, что для рассматриваемой модели стандартные методы не позволяют выявить дифракторы. В частности (рис. 4), использовался метод RTM (Reverse Time Migration) [9].

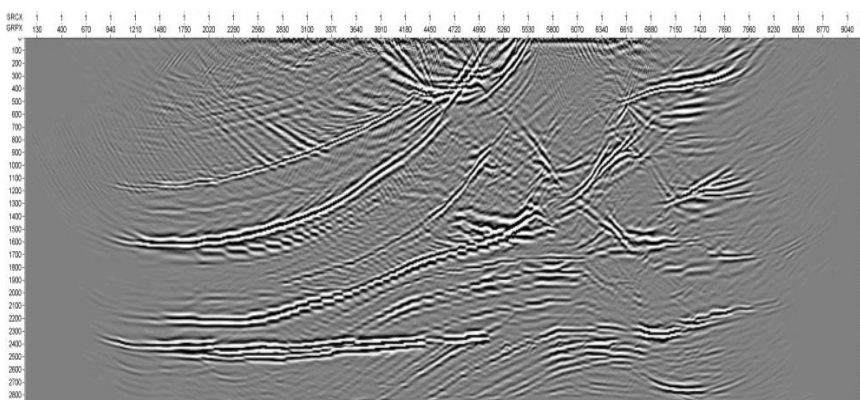


Рис. 4. Результат стандартной RTM-миграции

Результат применения метода CSP-обработки к исходным данным также дает неудовлетворительный результат (рис. 5), что связано со сложной геометрией модели.

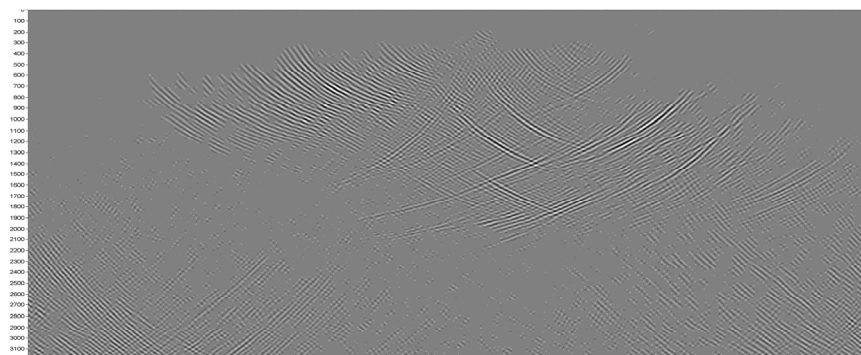


Рис. 5. Результат CSP-обработки исходного волнового поля

После применения алгоритма RTD получаем волновое поле на уровне  $z = z_0$  (рис. 6), к которому затем применяем метод CSP (рис. 7).

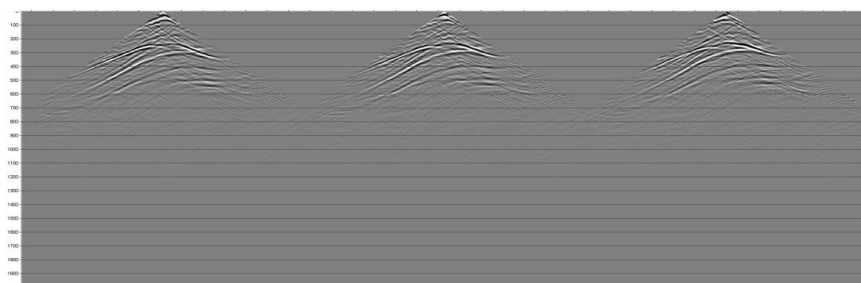


Рис. 6. Результат опускания волнового поля на  $z = z_0$  процедурой RTD (три источника)

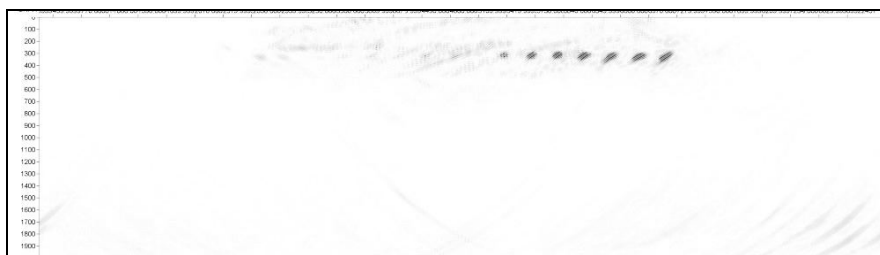


Рис. 7. Результат CSP-обработки опущенного волнового поля

В результате оказалось, что наиболее сильные дифракторы хорошо видны, а слабые остаются практически невидимыми.

147

### Список литературы

1. Kremlev A.N., Erokhin G.N., Starikov L.E., Zverev M.V. Reservoir fracture prediction-cavernous type on scattered seismic waves // Seismic prospecting technologies. 2008. № 3. P. 36–39.
2. Erokhin G.N., Kremlev A.N., Starikov L.E. et al. CSP-Method Prospecting of Fracture-cavernous Reservoirs in the Bazhen Formation of the Salym Oilfield // Extended abstract, 74th EAGE Conference & Exhibition. Copenhagen, 2012, Y028.
3. Данилин А.Н., Пестов Л.Н., Седайкина В.А. Алгоритм пересчета волнового поля на новый уровень // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2013. Вып. 10. С. 127–131.
4. Данилин А.Н., Ерохин Г.Н., Кремлев А.Н. и др. Численное решение задачи определения сверхслабых дифракторов в сложной акустической среде // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2014. Вып. 10. С. 115–119.
5. Berryhill J.R. Wave-equation datuming // Geophysics. 1979. Vol. 44. P. 1329–1344.
6. Петрашень Г.И., Нахамкин С.А. Продолжение волновых полей в задачах сейсморазведки. Л., 1973.
7. Математическая модель скорости *Marmousi*. URL: <http://www.caam.rice.edu/~benamou/testproblem.html#vel> (дата обращения: 14.02.2015).
8. Collino F., Tsogka C. Application of PML absorbing layer model to the linear elastodynamic problem in anisotropic heterogeneous media // Geophysics. 2001. № 66 (1). P. 294–307.
9. Baysal E., Kosloff D.D., Sherwood J.W.C. Reverse time migration // Geophysics. 1983. № 48. P. 1514–1524.

### Об авторе

Александр Николаевич Данилин — науч. сотр., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: ADanilin@kantiana.ru

### About the author

Alexandr Danilin, Research Fellow, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: ADanilin@kantiana.ru