

ТРЕХМЕРНАЯ АНИЗОТРОПНАЯ МИГРАЦИЯ ДАННЫХ 3D-СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НА ОСНОВЕ ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ

Максим Игоревич Протасов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-27-96, e-mail: protasovmi@ipgg.sbras.ru

Владимир Альбертович Чеверда

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией, тел. (383)330-27-96, e-mail: cheverdava@ipgg.sbras.ru

Илья Юрьевич Сильвестров

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-27-96, e-mail: silvestrovii@ipgg.sbras.ru

Андрей Петрович Правдухин

ООО «Ингеосервис», 625019, Россия, г. Тюмень, ул. Республики, 211, начальник отдела обработки материалов сейсморазведки, тел. (345-2)215-295, e-mail: apravduh@ingeos.info

Николай Григорьевич Исаков

ООО «Ингеосервис», 625019, Россия, г. Тюмень, ул. Республики, 211, зам. генерального директора по обработке, тел. (345-2)215-295, e-mail: isakov@ingeos.info

В работе представлена трехмерная миграция в истинных амплитудах данных 3D-сейсморазведки в анизотропной среде на основе разложения данных по Гауссовым пучкам. Основной целью была разработка процедуры миграции для анизотропных сред, которая может использовать нерегулярные данные без предварительной регуляризации. Метод протестирован на широком наборе синтетических данных, а также представлены примеры обработки реальных данных из Восточной Сибири.

Ключевые слова: трехмерная миграция, анизотропия, Гауссовы пучки, нерегулярные данные.

3D ANISOTROPIC IMAGING OF 3D SEISMIC DATA ON THE BASIS OF GAUSSIAN BEAMS

Maxim I. Protasov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Ph. D., Senior Research Scientist, tel. (383)330-27-96, e-mail: protasovmi@ipgg.sbras.ru

Vladimir A. Tcheverda

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptuyug Prospect 3, Doctor of Science, Professor, Head of the Laboratory, tel. (383)330-27-96, e-mail: cheverdava@ipgg.sbras.ru

Ilya Y. Silvestrov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Koptyug Prospect 3, Ph. D., Senior Research Scientist, tel. (383)330-27-96, e-mail: silvestrovii@ipgg.sbras.ru

Andrey P. Pravduhin

Ltd. InGeoService, 625019, Russia, Tyumen, Respublika Str. 211, Head of seismic data processing department, tel. (345-2)215-295, e-mail: apravduh@ingeos.info

Nikolay G. Isakov

Ltd. InGeoService, 625019, Russia, Tyumen, Respublika Str. 211, Deputy director general of data processing, tel. (345-2)215-295, e-mail: isakov@ingeos.info

The paper addresses 3D seismic depth true-amplitude migration of 3D irregular data in anisotropic media based on beam decomposition of the data. The main objectives is the development of the imaging procedure suitable for anisotropic media and handling 3D irregular seismic data without any preliminary regularization. The real data examples from Eastern Siberia are presented and discussed.

Key words: 3D imaging, anisotropy, Gaussian beams, irregular data.

ВВЕДЕНИЕ

Миграция на основе Гауссовых пучков является альтернативой миграции Кирхгофа. Впервые миграция на Гауссовых пучках была предложена в работе [5]. Первое обобщение на анизотропную модель было сделано в работе [2], где миграция реализована для данных после суммирования. Двумерная миграция на Гауссовых пучках в истинных амплитудах для скалярного случая была представлена в [7] и для изотропного упругого – в [8].

Миграция, представленная ниже, дает трехмерное изображение в истинных амплитудах данных 3D-сейсморазведки. Алгоритм является существенной модификацией для трехмерного случая разработанного ранее подхода в работах [7, 8], для 2D. Стандартная миграция на Гауссовых пучках работает в области центральная точка–вынос, при этом данные должны быть регулярны [6]. Предлагаемый нами подход не требует регулярности данных и может быть использован как в области источник–приемник, так и в области центральная точка–вынос.

МЕТОД

Миграция, представленная ниже, дает трехмерное изображение и состоит из двух основных частей: вычисление лучевых атрибутов и взвешенное суммирование данных.

РАСЧЕТ АТТРИБУТОВ

Чтобы решить задачу трассирования лучей в трехмерной анизотропной среде, мы использовали систему уравнений, похожую на описанную в работе [3]. Но мы не ограничились слоистой средой и допустили вариации анизотропных параметров. Система уравнений луча решается методом Рунге-Кутта

третьего порядка. Чтобы вычислить таблицы атрибутов, которые используются в анизотропной миграции по Гауссовым пучкам (см. [1]), мы использовали метод, похожий на метод, представленный в работе [4]. На первом шаге веер лучей вычисляется для каждого положения центра пучка. Далее атрибуты экстраполируются в точки на заданной сетке посредством использования парааксиального приближения. Чтобы вычислить динамические параметры, используются вторые производные времен пробега, которые вычисляются посредством вариации луча.

СУММИРОВАНИЕ

Теоретический базис представляемой миграции можно найти в работах [7, 8] для 2D-случая. Основные отличия 3D-алгоритма заключаются в следующем:

- алгоритм работает с данными во временной области, а не в частотной;
 - используются поверхностные координаты, а не структурные углы в глубине.
- Окончательно условие визуализации имеет следующую форму:

$$f_{pp}(\bar{x}; \bar{h}) = \int dx_s dy_s dx_r dy_r dx_{m0} dy_{m0} \cdot BelDet \cdot T_{gbt}^s(x_s, y_s; \bar{x}; x_{m0}, y_{m0}, \bar{h}; t_{gb}^s) \cdot \bar{T}_{gbt}^r(x_r, y_r; \bar{x}; x_{m0}, y_{m0}, \bar{h}, t_{gb}^r) \cdot \bar{\varphi}(x_r, y_r; x_s, y_s; t = t_{gb}^s + t_{gb}^r). \quad (1)$$

Здесь $\bar{\varphi}(x_r, y_r; x_s, y_s; t)$ – данные 3D-сейсморазведки; $x_{m0} = (x_{s0} + x_{r0})/2$ и $y_{m0} = (y_{s0} + y_{r0})/2$ – координаты центральной точки; $\bar{h} = \begin{pmatrix} h_{x0} \\ h_{y0} \end{pmatrix}$ – выносы, где $h_{x0} = (x_{r0} - x_{s0})/2$, $h_{y0} = (y_{r0} - y_{s0})/2$; (x_{s0}, y_{s0}) , (x_{r0}, y_{r0}) – координаты точек центров пучков. $BelDet$ – это определитель Белкина. Восстановленная функция $f_{pp}(\bar{x}; \bar{h})$ является потенциалом рассеяния в зависимости от выноса. Весы суммирования T_{gbt}^s , \bar{T}_{gbt}^r являются следами пучков, посчитанных на основе лучевых атрибутов, описанных выше.

ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Разработанный алгоритм 3D-миграции был протестирован на синтетических и реальных данных. Синтетические данные были посчитаны для реалистичной анизотропной (вертикально трансверсально-изотропной) модели из Восточной Сибири. Она представлена на рис. 1а, 1б. Результаты миграции для полученных синтетических данных представлены на рис. 2а, 2б, 2в. В изотропной миграционной модели отражающие границы на сейсмограммах общей точки изображения являются искривленными и не сфокусированными. Это говорит о том, что анизотропия существенно влияет на кинематику и должна быть учтена. Анизотропная миграция дает прямые на сейсмограммах общей точки изображения, и границы отображены на правильном положении в глубине. Результаты применения разработанного алгоритма миграции к реальным данным из Восточной Сибири представлены на рис. 3а, 3б. Они представлены в сравне-

нии с результатами миграции Кирхгофа из промышленной обрабатывающей системы. Результаты миграции на пучках являются менее шумными и более когерентными, чем результаты миграции Кирхгофа.

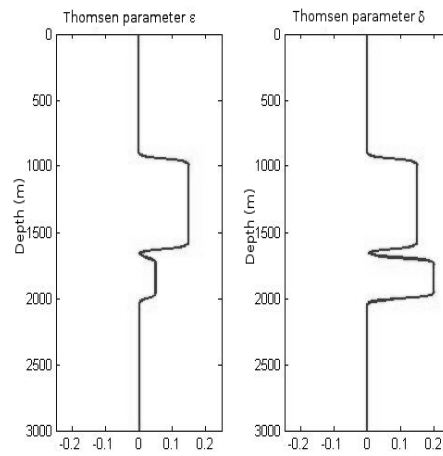
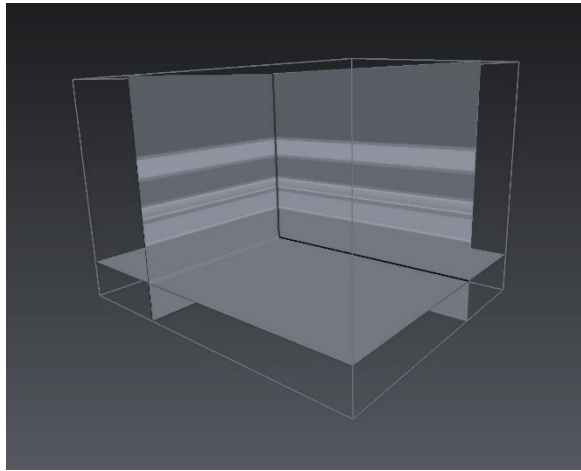


Рис. 1а. Синтетическая 3D-модель

Рис. 1б. Анизотропные параметры Томсена

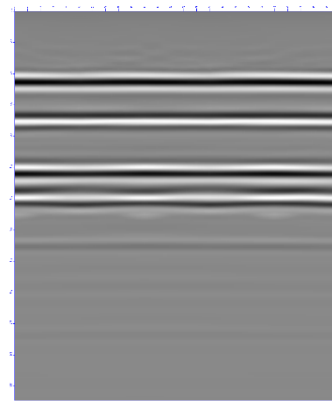
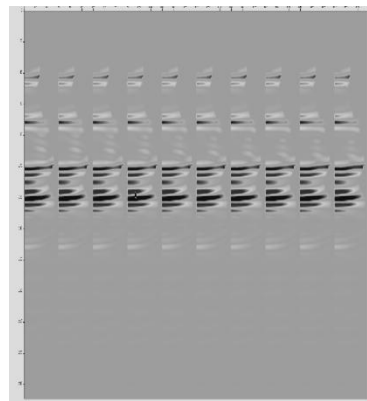
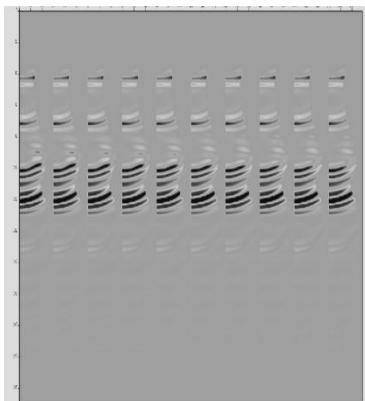


Рис. 2а. Сейсмограммы общей точки изображения в изотропной модели

Рис. 2б. Сейсмограммы общей точки изображения в анизотропной модели

Рис. 2в. Суммарное изображения в анизотропной модели. (двумерный срез)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан трехмерный анизотропный алгоритм миграции нерегулярных 3D-данных. Метод может быть применен как в области источник–приемник, так и в области центральная точка–вынос. Результаты миграции для реалистичных синтетических данных и реальных данных из Восточной Сибири показывают достоинства предложенного алгоритма. Полученные суммарные разрезы,

а также сейсмограммы общей точки изображения являются менее шумными и более когерентными по сравнению с результатами миграции Кирхгофа.

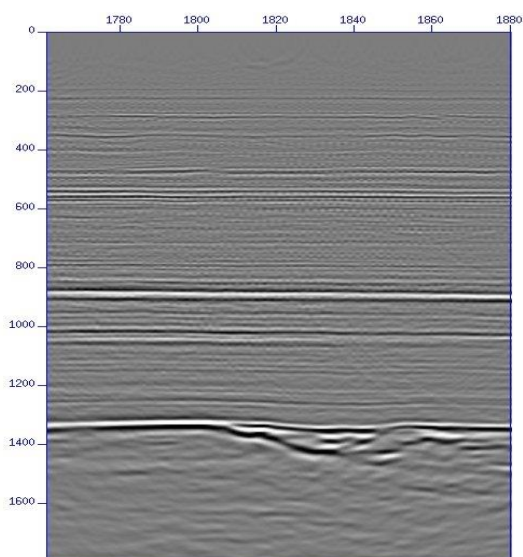


Рис. 3а. Миграция Кирхгофа:
суммарное изображение в
анизотропной модели

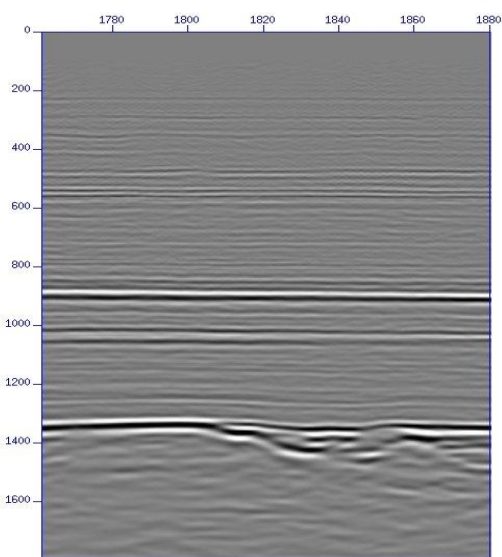


Рис. 3б. Миграция по пучкам:
суммарное изображение в
анизотропной модели

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Номофилов В.Е. Асимптотические решения системы уравнений второго порядка, сосредоточенные в окрестности луча // Зап. паучн. семин. ЛОМИ. - 1981. - Т. 104. - С.170-179.
2. Alkhalifah T. Gaussian beam depth migration for anisotropic media // Geophysics. - 1995. - Vol. 60. - P. 1474-1484.
3. Dehghan K., Farra V., Nicolétis L. Approximate ray tracing for P-waves in inhomogeneous layered media with weak structural anisotropy, Geophysics. - 2007. - Vol. 72. - P. SM47-SM60.
4. Gibson R.L., Sena A.G., Toksöz M.N. Paraxial ray tracing in 3D inhomogeneous, anisotropic media // Geophysical prospecting. - 1991. - Vol. 39. - P. 473-504.
5. Hill N.R. Gaussian beam migration // Geophysics. - 1990. - Vol. 55. - P. 1416-1428.
6. Hill N.R. Prestack Gaussian-beam depth migration // Geophysics. - 2001. - Vol. 66. - P. 1240-1250.
7. Protasov M.I., Tcheverda V.A. True amplitude imaging by inverse generalized Radon transform based on Gaussian beam decomposition of the acoustic Green's function // Geophys. Prospect. - 2011. - Vol. 59. - P. 197-209.
8. Protasov M.I., Tcheverda V.A. True-amplitude elastic Gaussian beam imaging of multi-component walk-away VSP data // Geophys. Prospect. - 2012. - Vol. 60. - P. 1030-1042.

© М. И. Протасов, В. А. Чеверда, И. Ю. Сильвестров,
А. П. Правдухин, Н. Г. Исаков, 2016