

# 3-D глубинная сейсмическая миграция до суммирования «СейсмоСкан»

Успешный опыт производственной эксплуатации с 2003 года отечественной программно-алгоритмической разработки ОАО ЦГЭ и ИПМ им. М.В.Келдыша

#### Введение в задачу сейсмической миграции

- «Сейсмическая миграция» =
  = реконструкция изображения земной среды по сейсмическим данным - центральная задача сейсмической разведки земных недр при поиске нефти и газа
- Геологическая интерпретация
  куба изображения неоднородной
  земной среды позволяет
  построить детальную
  геологическую модель, оценить
  запасы нефти и газа, наметить
  места для бурения
- Наиболее совершенный метод реконструкции изображения – «З-мерная глубинная миграция до суммирования»
- Миграция реализуется как линейный оператор, фокусирующий каждую рассеянную волну в точку рассеяния





### Реализация миграции Кирхгофа



#### Конечно-разностное решение изотропного/анизотропного уравнения эйконала со 2-м порядком точности



**Изображение среды** можно свести к обратной задаче рассеяния либо к волновому продолжению.

**Асимптотическое решение** линеаризованной обратной задачи рассеяния и задачи волнового продолжения сводятся к многократному вычислению двойных интегралов типа Кирхгофа:

$$f(\mathbf{r_0}) = \iint_{S_g} W(\mathbf{s}_0, \mathbf{g}; \mathbf{r_0}) U_t' (\mathbf{s}_0, \mathbf{g}, \tau_{\Sigma}(\mathbf{s}_0, \mathbf{g}; \mathbf{r_0})) \mathbf{g}, \qquad (\mathbf{s}_0, \mathbf{g}; \mathbf{s}_0) \mathbf{g}$$

где  $f(\mathbf{r_0})$  передает изображение среды в глубинной точке  $\mathbf{r_0}$ (потенциал рассеяния/локальный коэффициент отражения);

 $U_{t}(\mathbf{q}_{0}, \mathbf{g}, t)$  - наблюденное сейсмическое поле однократно-отраженных и рассеянных волн для источника  $\mathbf{s}_{0}$  и приемников  $\mathbf{g}$  на времени t;

 $au_{\Sigma}(\mathbf{s}_0, \mathbf{g}; \mathbf{r}_0)$  - сумма времен пробега волн от источника и приемника до  $\mathbf{r}_0$ ;  $W(\mathbf{s}_0, \mathbf{g}; \mathbf{r}_0)$  - вес, связанный с геометрическим расхождением.

- Общее число интегралов вида (1) для реконструкции изображения типичного объекта сейсмической разведки составляет: ~10<sup>10</sup>-10<sup>11</sup>;
- Общее число требуемых арифметических операций: ~10<sup>16</sup>-10<sup>17</sup>

## Опыт высокопроизводительных вычислений в рамках выполнения 3-D миграции до суммирования

24-процессорный кластер "ТКС" МГТУ им. Н.Э.Баумана 2001 г.

12.005

Суперкомпьютер «МВС-100К» 11 680 процессорных ядер МСЦ РАН 2008 г.

Суперкомпьютер «Ломоносов» 35 776 процессорных ядер НИВЦ МГУ 2010 г.

#### Фрагмент куба изображения: шельф Вьетнама



#### Пример сравнения сечений кубов изображения



#### (a) - 3-D Poststack TM

(b) - 3-D PSDM

#### Астраханский свод, фрагменты Inline-сечений кубов: (a) Poststack-миграция; b) 3-D PSDM;



#### Астраханский свод, фрагменты Crossline -сечений кубов: (a) Poststack-миграция; b) 3-D PSDM;



#### Казахстан, фрагменты Inline-сечений кубов: (a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;



## **Пример сравнения сечений кубов изображения:** (a) PostStack migration; (b) 3-D PSDM; **Казахстан**



#### Казахстан, фрагменты Inline-сечений кубов: (a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;



#### Западная Сибирь,

Crossline-сечения кубов: (a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;



#### Западная Сибирь, Фрагменты Crossline-сечений кубов: (a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;



#### Пермская область,

Inline-сечения кубов: (a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;



#### Фрагмент куба изображения: шельф Сахалина



#### Фрагменты Inline-сечений кубов; Сахалин, данные морских наблюдений



#### Сводка основных параметров расчетов выполненных на СК «Ломоносов» программой миграции «СейсмоСкан»; открыто крупнейшее Южно-Киринское месторождение

- Площадь морской сейсмической съемки:
  800 кв.км (шельф Сахалина)
- Номинальная кратность съемки: 54
- Объем исходных сейсмических данных: 800 Гбт
- Предельная глубина изображения среды:
  8 км
- Исходная сетка бинов: **12,5м** х **25м**
- Шаг сетки куба изображения среды:
  25м х 25м х 5м
- Полная апертура миграции: 10км
- Число использованных процессорных ядер для выполнения основных расчетов: 3104
- Число независимых параллельных задач: 194
- Общее время основных расчетов: 10 ч
- Итого: 31040 процессор x час
- ВСЕГО: 31142 процессор х час



Суперкомпьютер «Ломоносов» 35 776 процессорных ядер НИВЦ МГУ 2010 г.

## Разработаны и реализованы новые технологии:

X'

**R(**α, φ)

 $\varphi_3$ 



- методика регуляризации широкоазимутальных данных по азимутам и удалениям ПВ-ПП;
- сохранение амплитуд как по удалениям, так и по азимутам направлений ПВ-ПП;

#### Азимутальный АVO-анализ:

- предназначен для выявления AVOаномалий и оценки параметров азимутальной анизотропии амплитуд, связанной с вертикальной трещиноватостью

#### Реализована технология устойчивого определения атрибутов азимутального AVO-анализа



Набор стратиграфических слайсов - (**a**),(**b**),(**c**), для последовательного набора глубин и вертикальный профиль - (**d**), куба азимутального атрибута **Gx** (аномальный градиент) ; Величины **Gx>0**, показанные желтым цветом, отвечают вскрытой скважинами газовой залежи



#### Стратиграфический слайс атрибута R0 с векторами вероятных направлений трещиноватости; длина векторов и цвет отвечает величинам Gx



#### Текущая разработка: асимптотическая 3-D глубинная миграция до суммирования с учетом многолучевого распространения волн и каустиками функций Грина



слева: модель среды с низкоскоростным включением; справа: многолистные фронты волн от точечного источника, расположенного на поверхности Z=0

#### Результаты расчета волн от точечного источника для модели среды с низкоскоростным включением по асимптотической интегральной формуле



#### Планы дальнейшей разработки:

реализация «полно-волновой» 3-D глубинной сейсмической миграции до суммирования с сохранением амплитуд, основанной на псевдо-Фурье методе расчета функций Грина и последующем использовании интегральной формулы решения вида:

$$f(\mathbf{r}) = \int d\omega \int \int G^* \mathbf{g}, \mathbf{r}, \omega \mathcal{G}^* \mathbf{g}, \mathbf{r}, \omega \mathcal{U} \mathbf{g}, \mathbf{s}, \omega \mathcal{J} \mathbf{g} d\mathbf{s}$$

временная частота;

и **(**, **s**, *w*) - пребразование Фурье по времени сейсмических записей;

 $G^*(\mathbf{g},\mathbf{r},\omega)$  - произведение функций Грина;