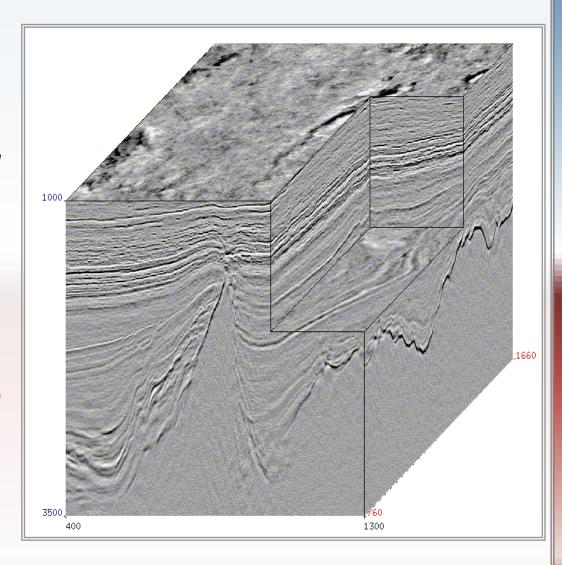


3-D глубинная сейсмическая миграция до суммирования «СейсмоСкан»

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 «3-мерная глубинная миграция до суммирования»
- *Миграция* реализуется как линейный оператор, фокусирующий каждую рассеянную волну в точку рассеяния



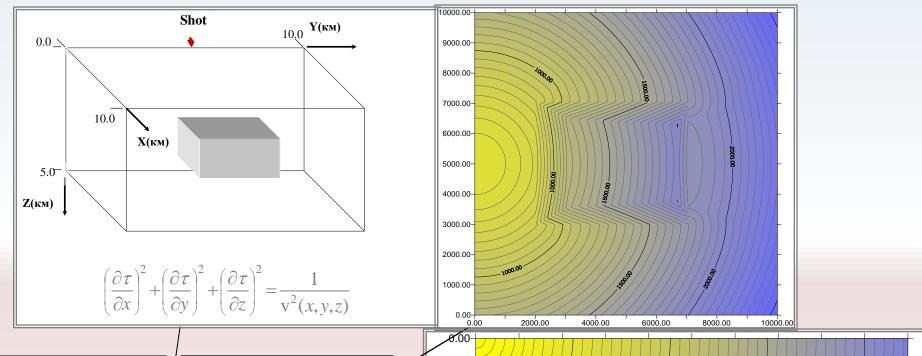
Место миграции в сейсмических исследованиях



Реализация миграции Кирхгофа

Миграция Расчет времен пробега Расчет лучевых амплитуд Интегрирование сейсмограмм

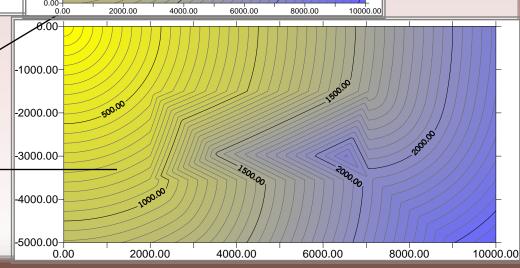
Конечно-разностное решение изотропного/анизотропного уравнения эйконала со 2-м порядком точности



Тестовая модель с низко-скоростным включением

Горизонтальное сечение фронтов волн

Вертикальное сечение фронтов волн



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:

$$f(\mathbf{r_0}) = \iint_{S_{\mathbf{g}}} W(\mathbf{s_0}, \mathbf{g}; \mathbf{r_0}) U_t' (\mathbf{s_0}, \mathbf{g}, \tau_{\Sigma}(\mathbf{s_0}, \mathbf{g}; \mathbf{r_0})) d\mathbf{g}, \qquad ()$$

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: ~10¹⁰-10¹¹;
- Общее число требуемых арифметических операций: ~10¹⁶-10¹⁷

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

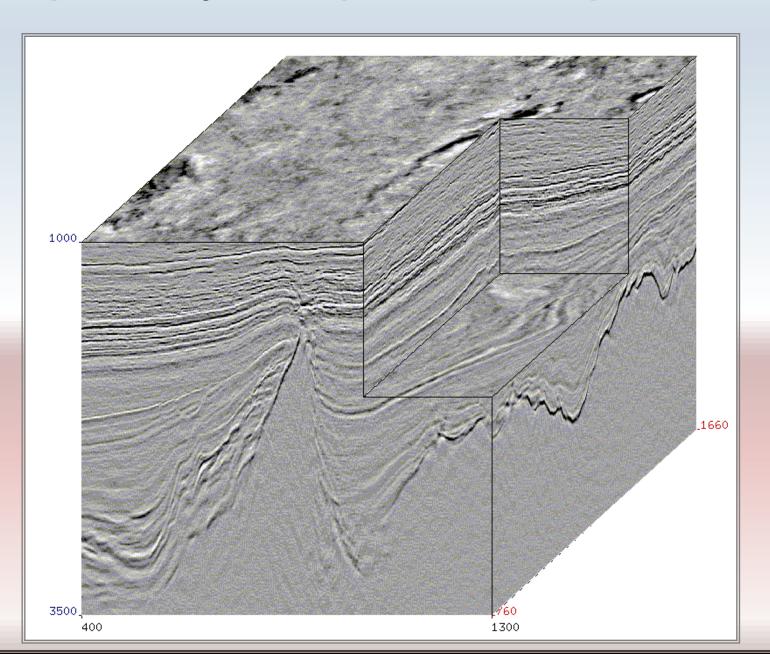


24-процессорный кластер "ТКС" МГТУ им. Н.Э.Баумана 2001 г.

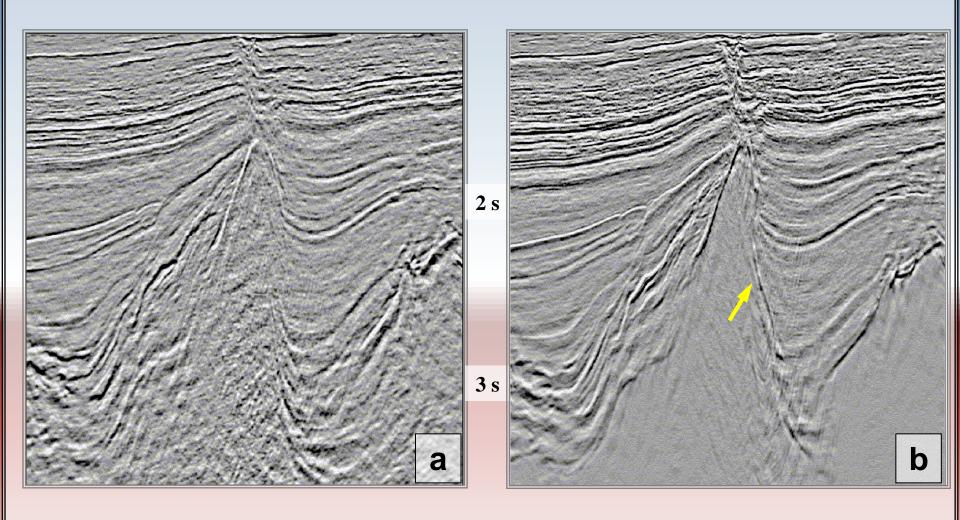
Суперкомпьютер «МВС-100К» 11 680 процессорных ядер МСЦ РАН 2008 г.

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

Фрагмент куба изображения: шельф Вьетнама



Пример сравнения сечений кубов изображения

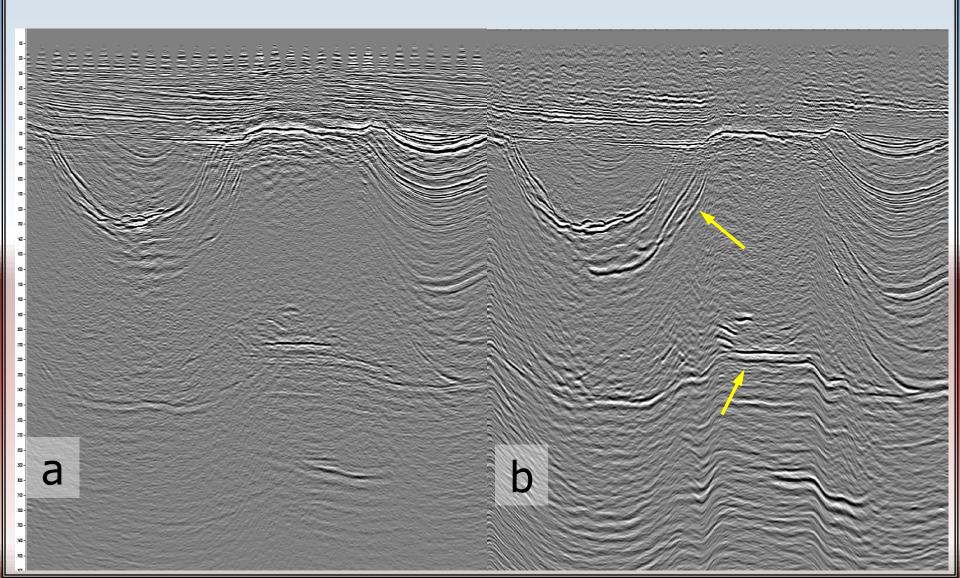


(a) - 3-D Poststack TM

(b) - 3-D PSDM

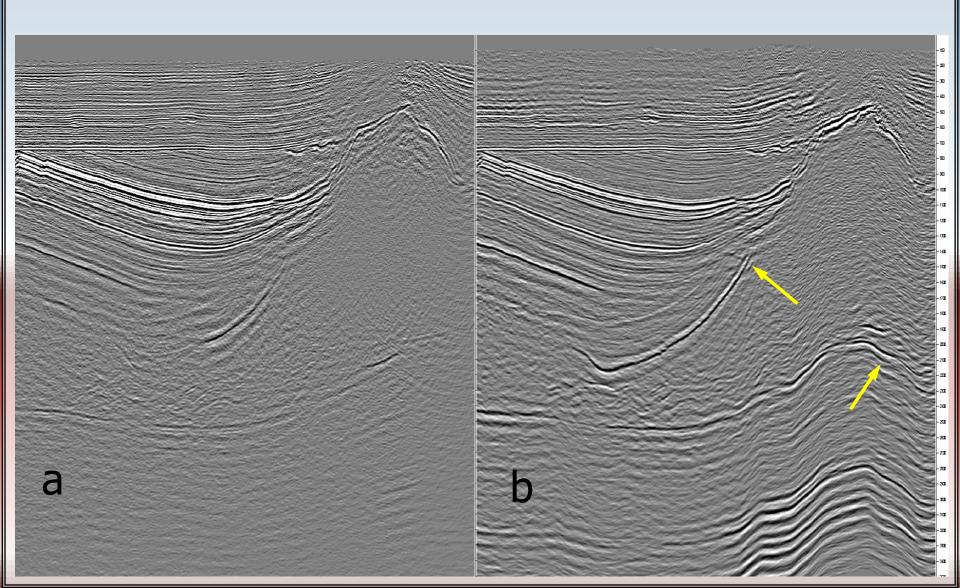
Астраханский свод,

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

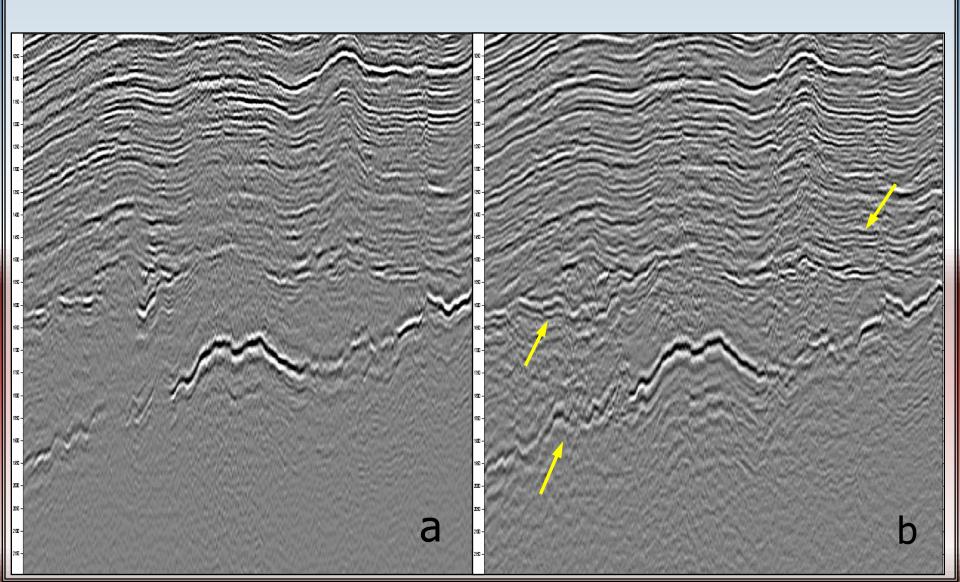


Астраханский свод,

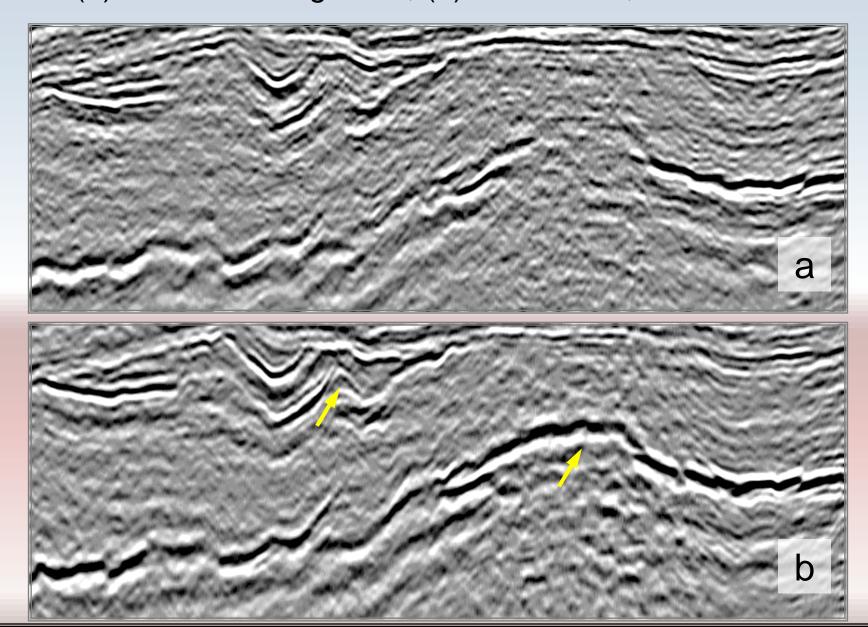
фрагменты Crossline -сечений кубов: (a) Poststack-миграция; b) 3-D PSDM;



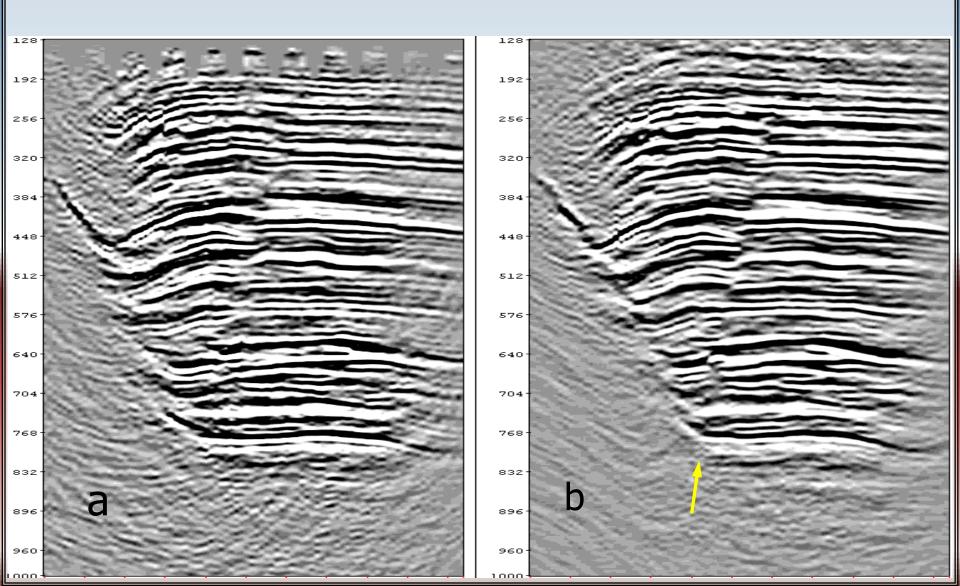
Казахстан, фрагменты Inline-сечений кубов: (a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;

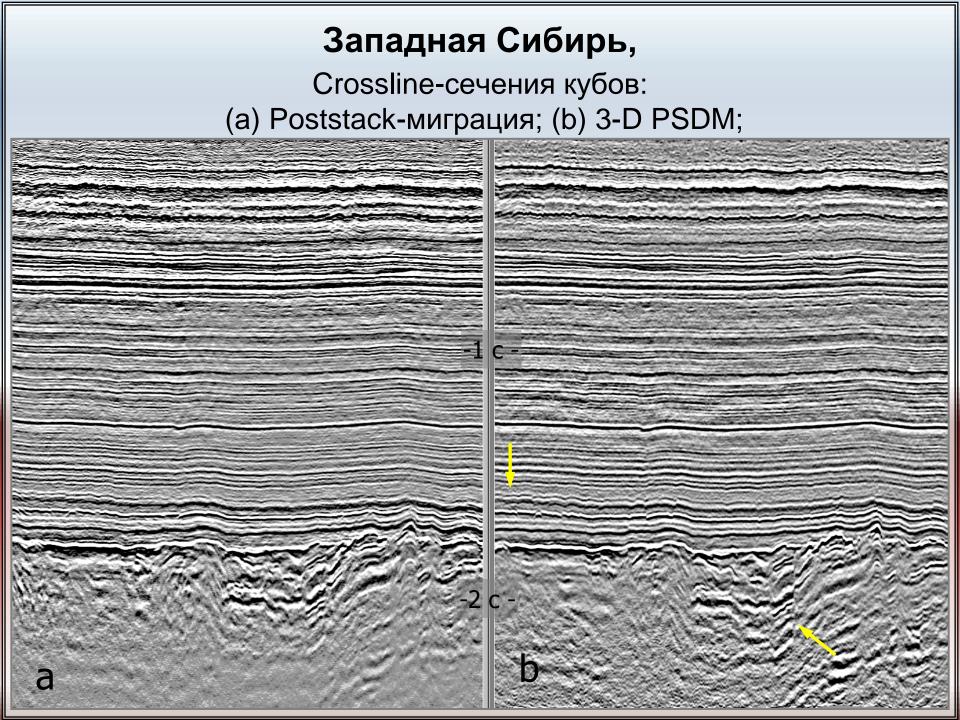


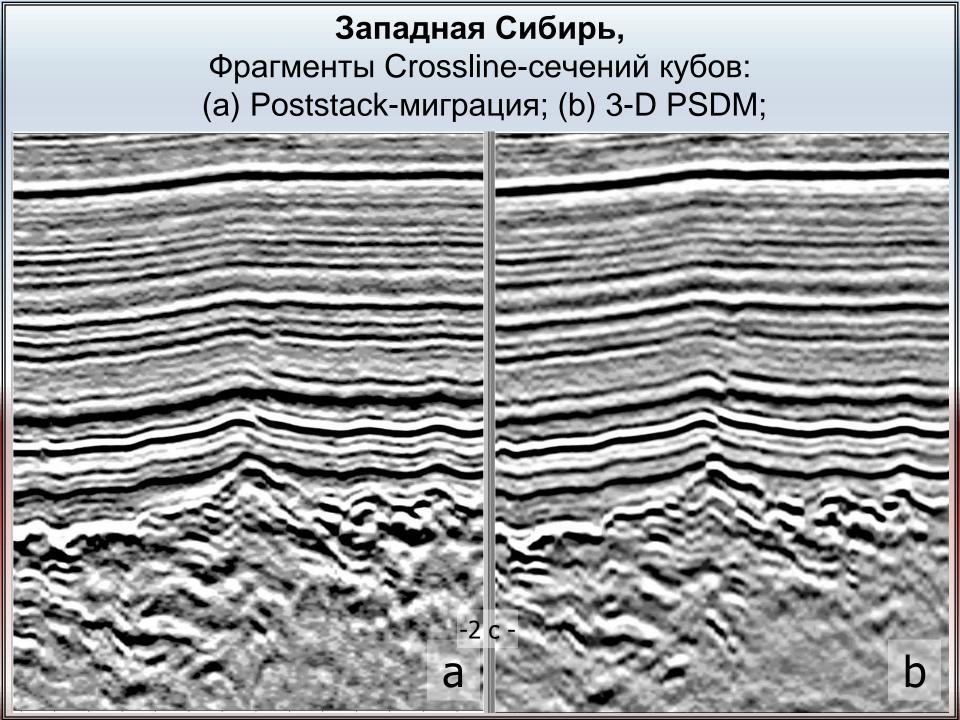
Пример сравнения сечений кубов изображения: (a) PostStack migration; (b) 3-D PSDM; Казахстан



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

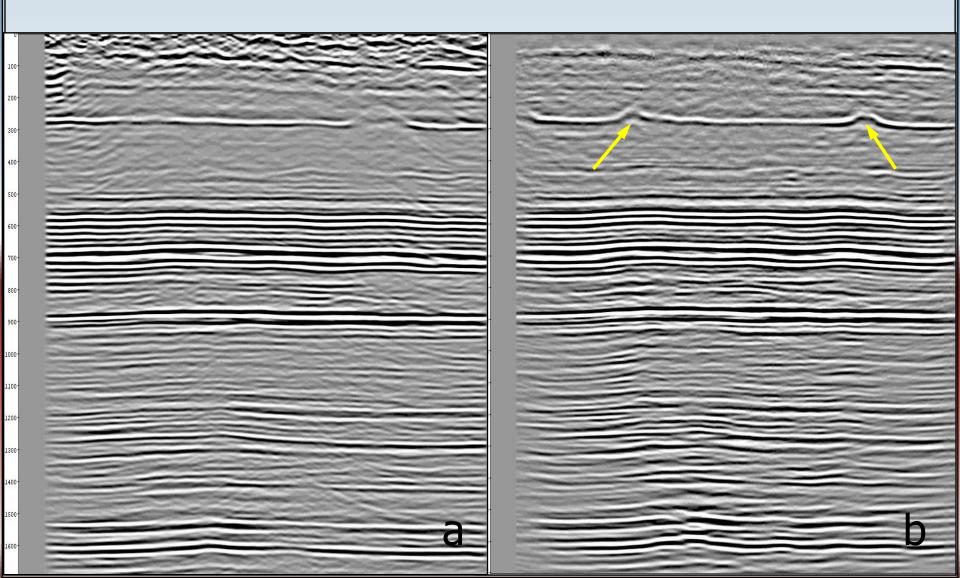




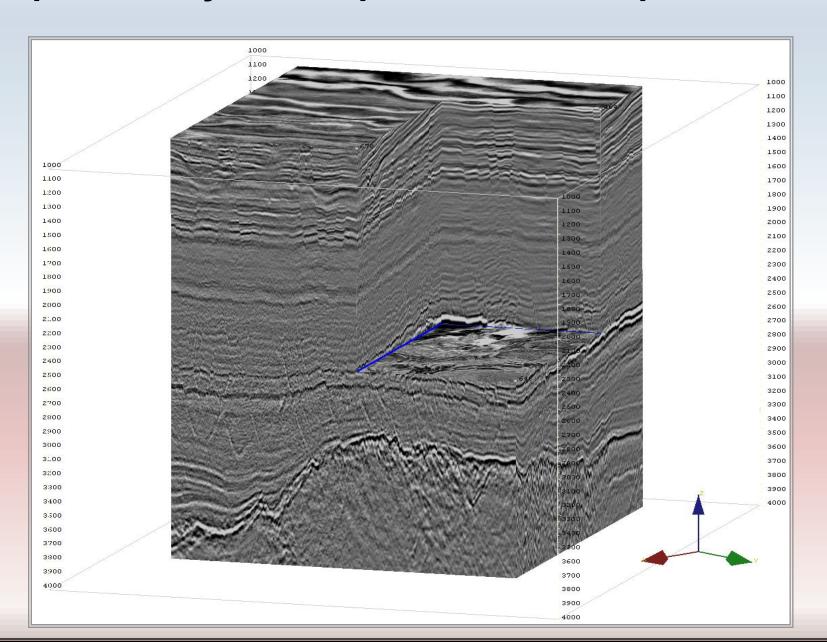


Пермская область,

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

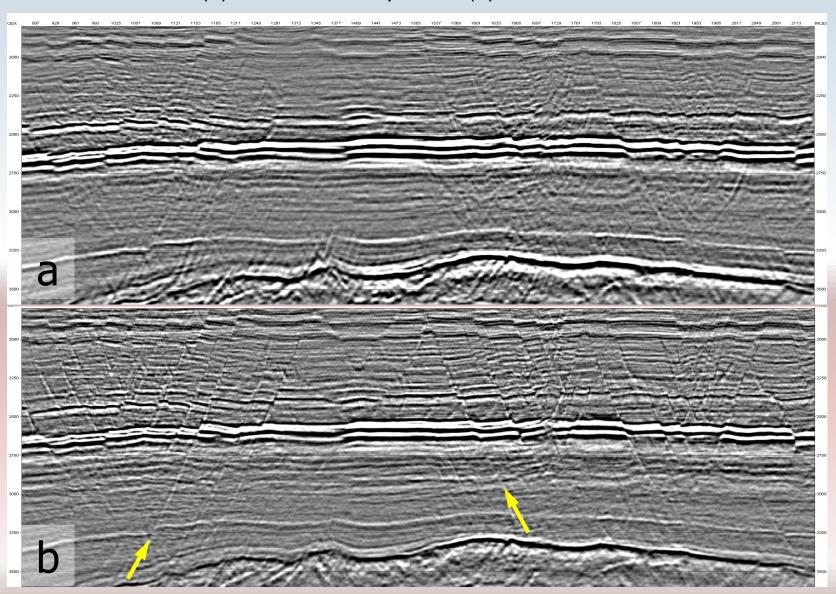


Фрагмент куба изображения: шельф Сахалина



Фрагменты Inline-сечений кубов; Сахалин, данные морских наблюдений

(a) Poststack-миграция; (b) 3-D PSDM;



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 х час**

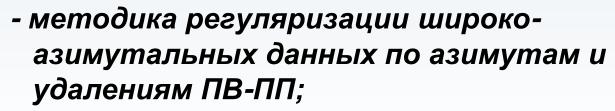


Суперкомпьютер «Ломоносов» 35 776 процессорных ядер НИВЦ МГУ 2010 г.

ВСЕГО: 31142 процессор х час

Разработаны и реализованы новые технологии:

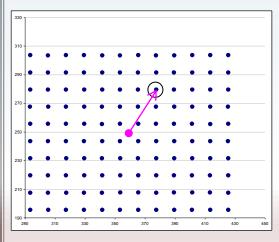
 Азимутальная 3-D глубинная миграция до суммирования:

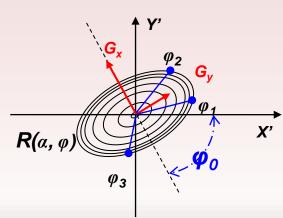


- сохранение амплитуд как по удалениям, так и по азимутам направлений ПВ-ПП;

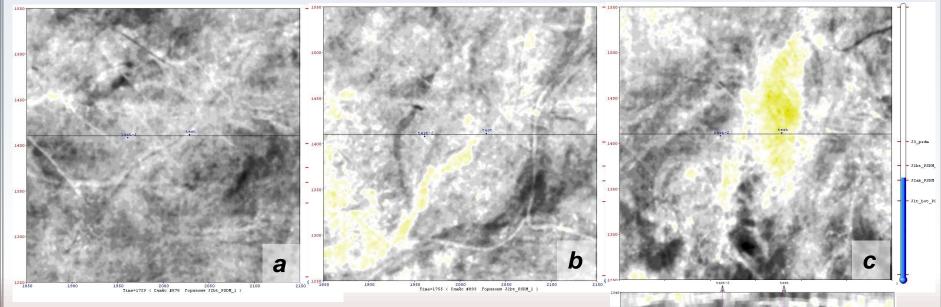
• Азимутальный AVO-анализ:

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



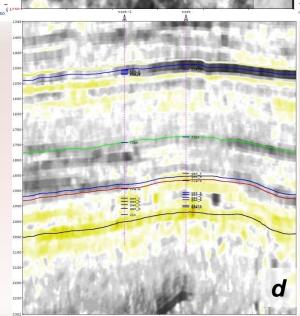


Реализована технология устойчивого определения атрибутов азимутального AVO-анализа



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

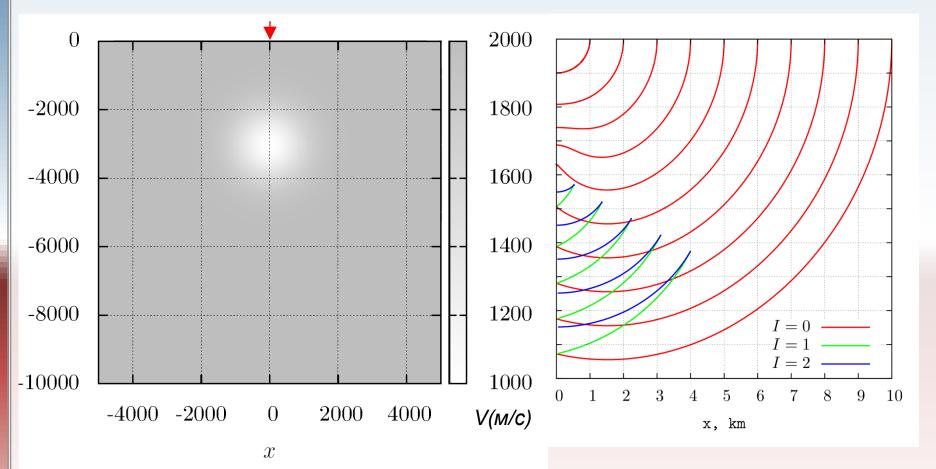
величины **Gx>0**, показанные желтым цветом, отвечают вскрытой скважинами газовой залежи



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

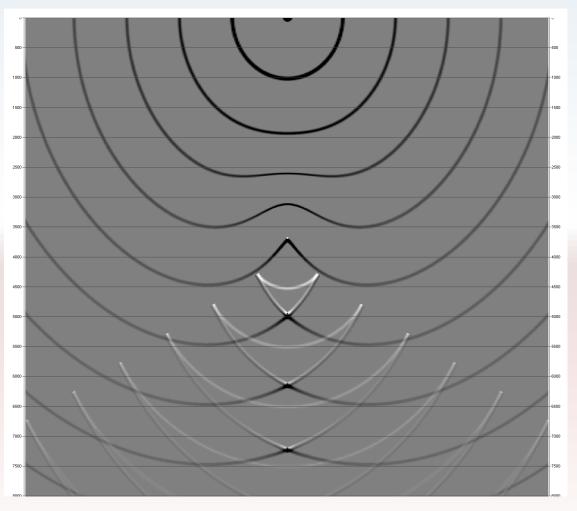
(Gx>0 – красным, Gx<0 – синим) - J3 psdm J2bt PSDM J2ab PSDM Jlt bot P: 2000 Time=1908 (Слайс #998 Горизонт J2ab_PSDM)

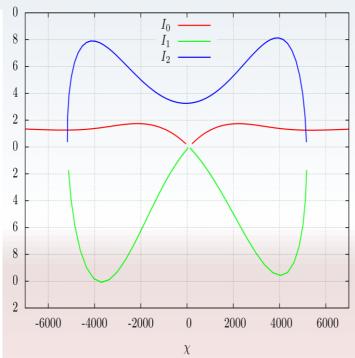
Текущая разработка: асимптотическая 3-D глубинная миграция до суммирования с учетом многолучевого распространения волн и каустиками функций Грина



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





Пример профиля 0X многолистной поверхности Якобиана на дневной поверхности Z=0

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:

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

(O - временная частота;

 $u(\mathbf{q},\mathbf{s},\omega)$ - пребразование Фурье по времени сейсмических записей;

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