

Digital twin of seismogeological objects: building and applications

Cheverda V., Kolyukhin D., Lisitsa V., Protasov M., - **IPGG SB RAS**

Reshetova G., Glinsky B., Chernykh I., Kulikov I. – **ICM&MG SB RAS**

Merzlikina A., - **JSC IGRGI**

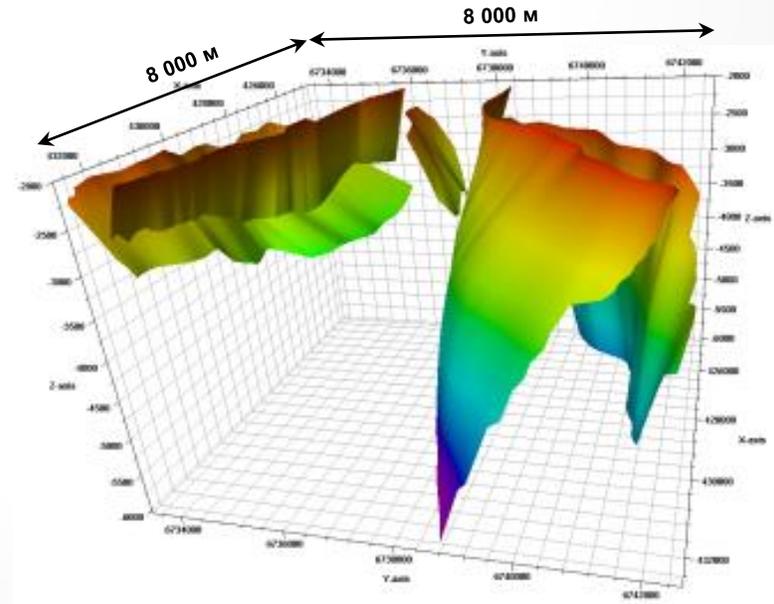
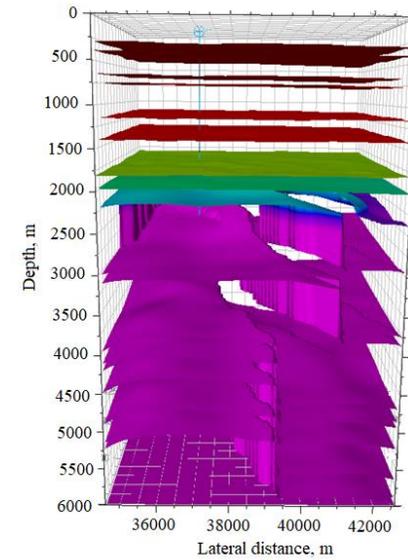
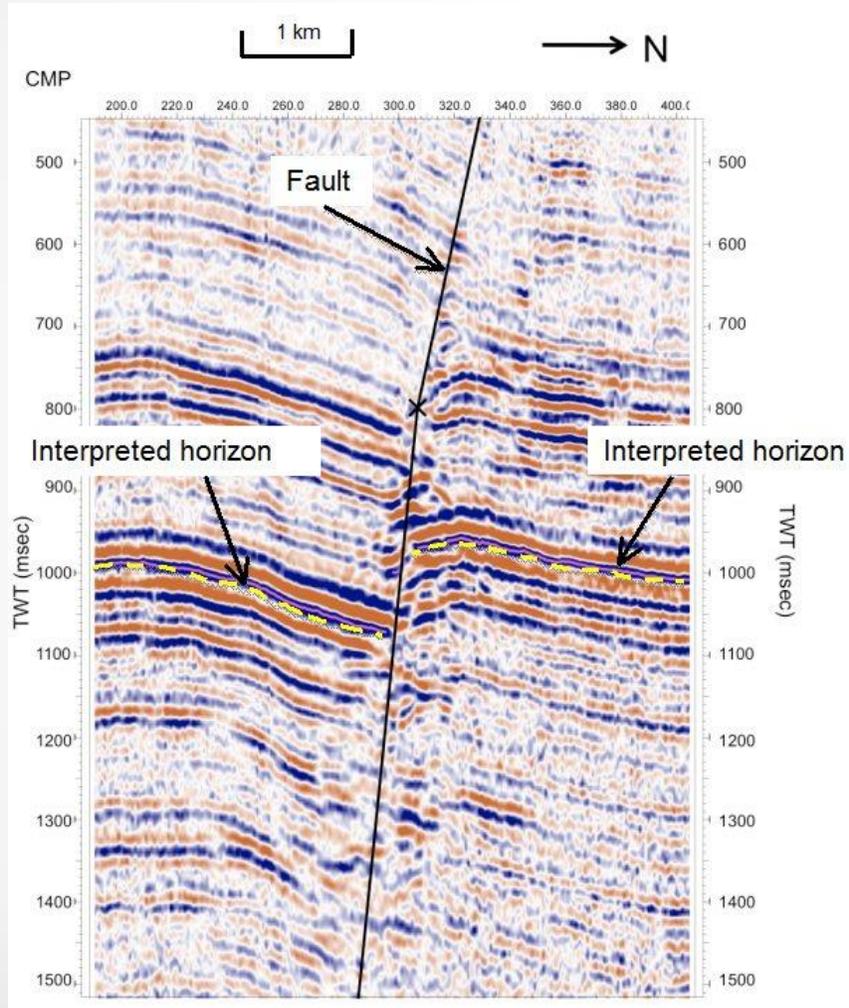
Volyanskaya V. - **PJSC Rosneft**

Petrov D., Shilikov V., Melnik A., - **RN KrasnoyarskNIPIneft Limited**

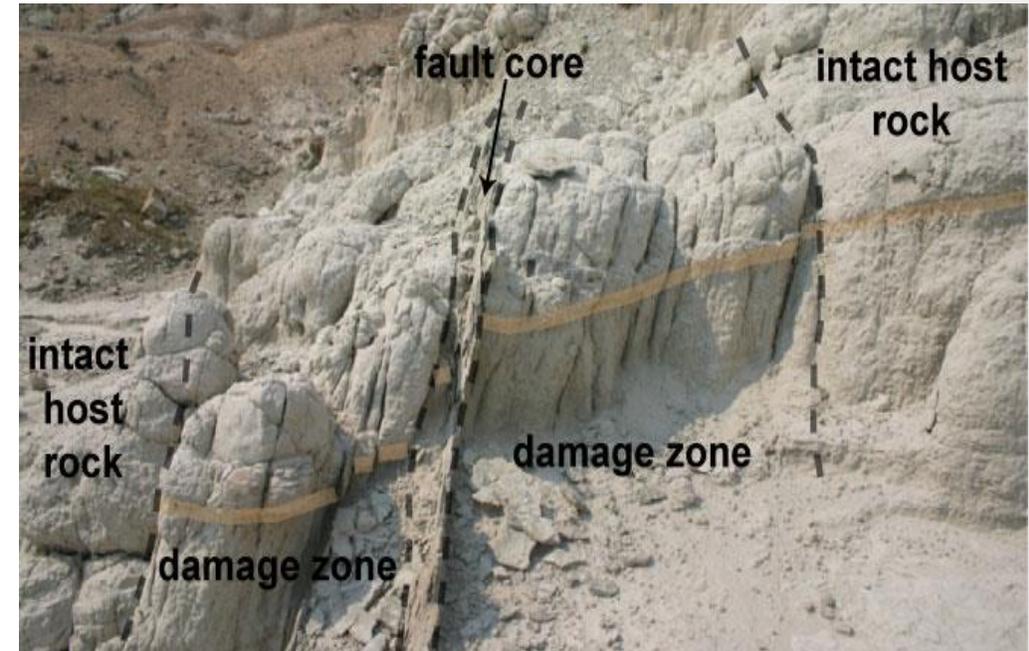
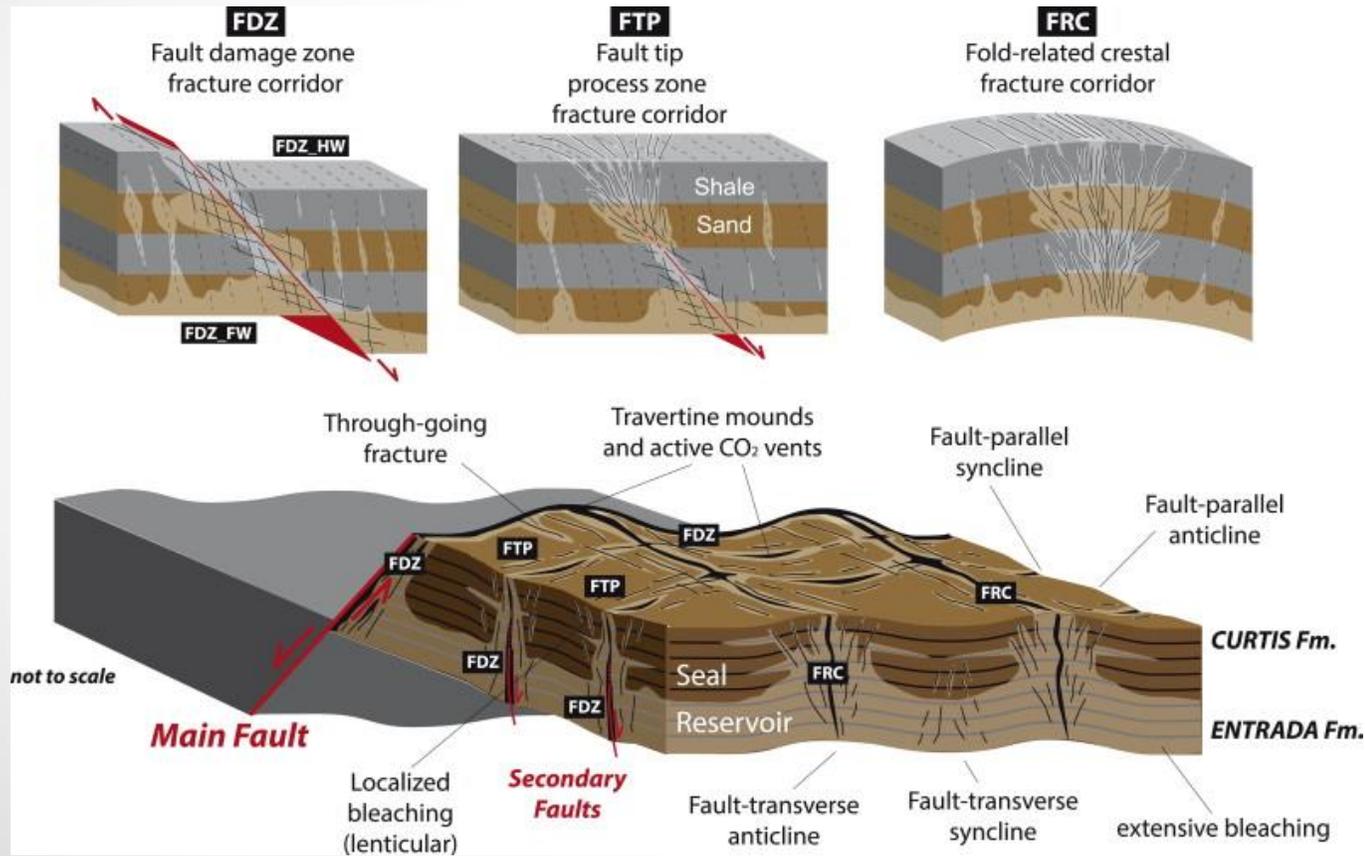
Содержание

1. Сейсмо-геологическая модель
2. Идеальные сейсмические изображения
3. Сейсмическое моделирование
4. Обработка и интерпретация синтетических данных

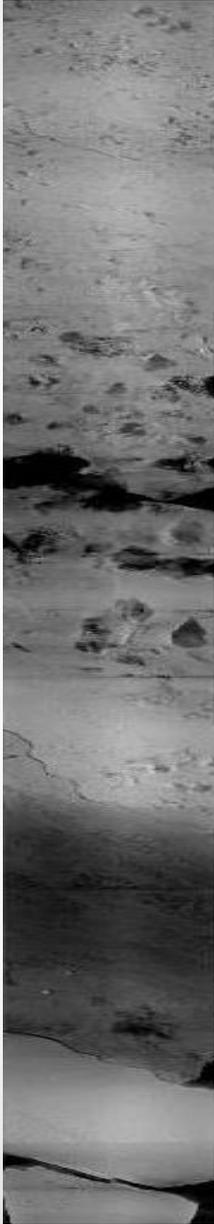
Сейсмо-геологическая модель



Разломы, приразломные зоны и коридоры трещиноватости



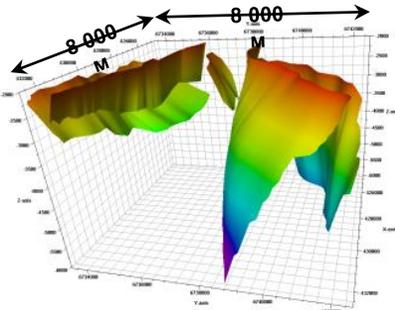
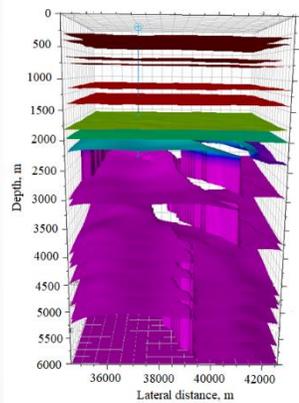
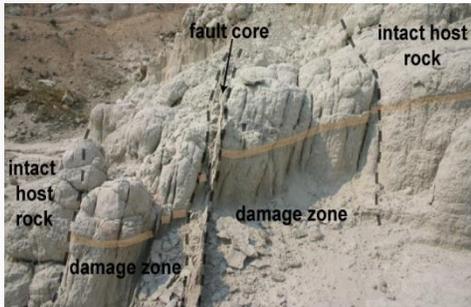
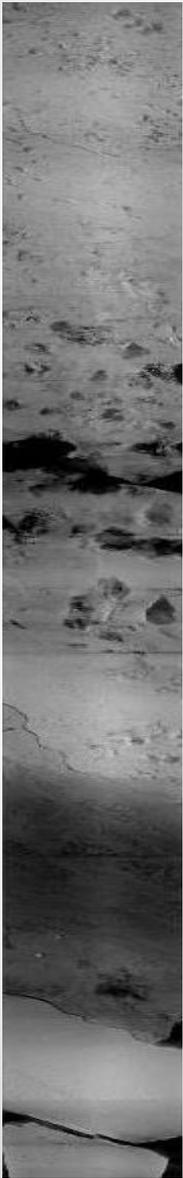
5 см



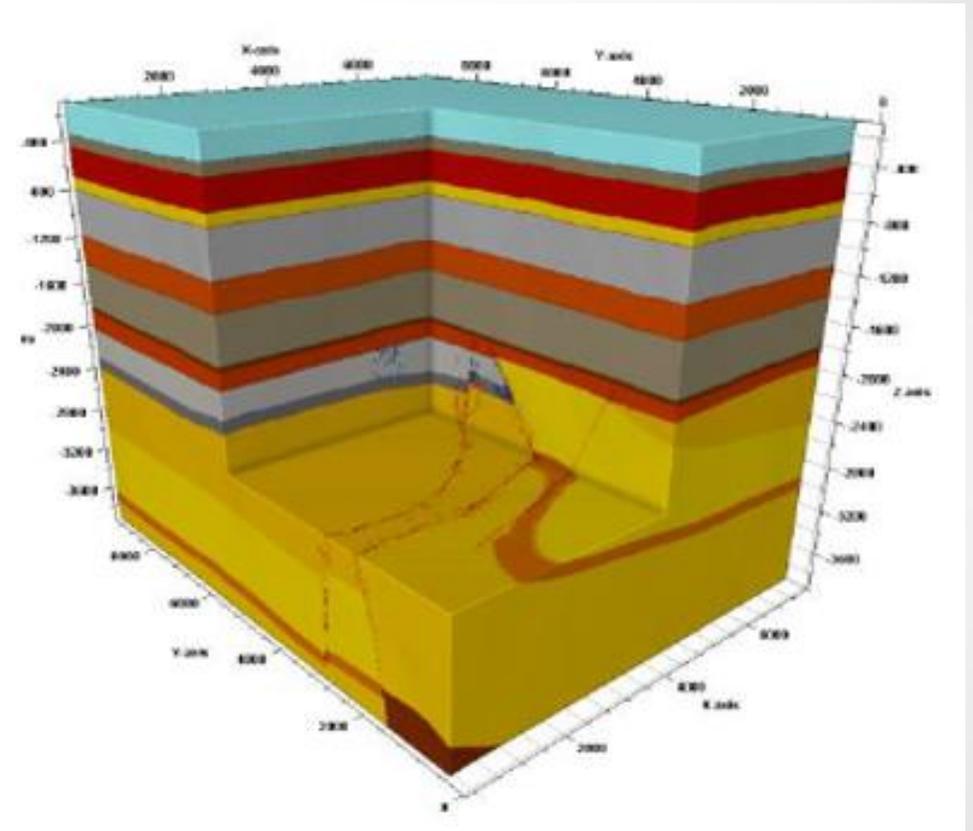
Кавернозные зоны



Сейсмо-геологическая модель

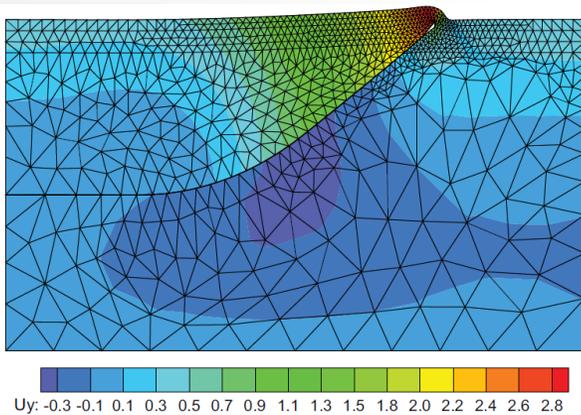


Геомеханика,
Тектоника,
Петроупругое
моделирование,
Петрофизика,
....

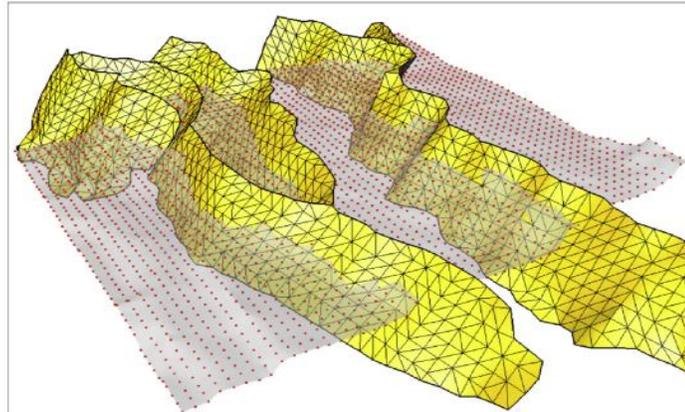


Методы моделирования разломов

Метод конечных элементов



Метод граничных элементов



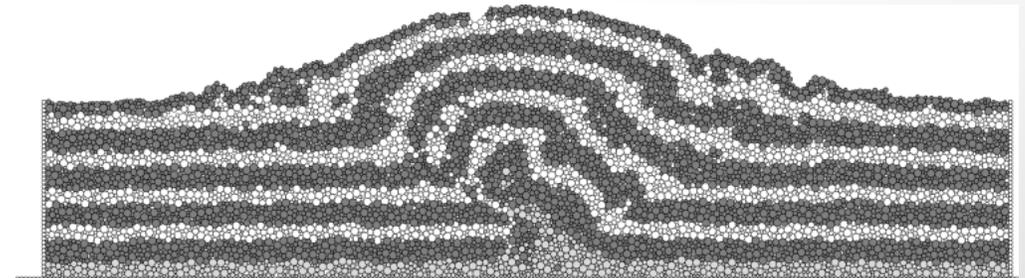
+ Вычислительно простые
(относительно)

- Положения разломов задается явно

+ Геометрия и структура разломов определяется физическими свойствами, а не пользователем

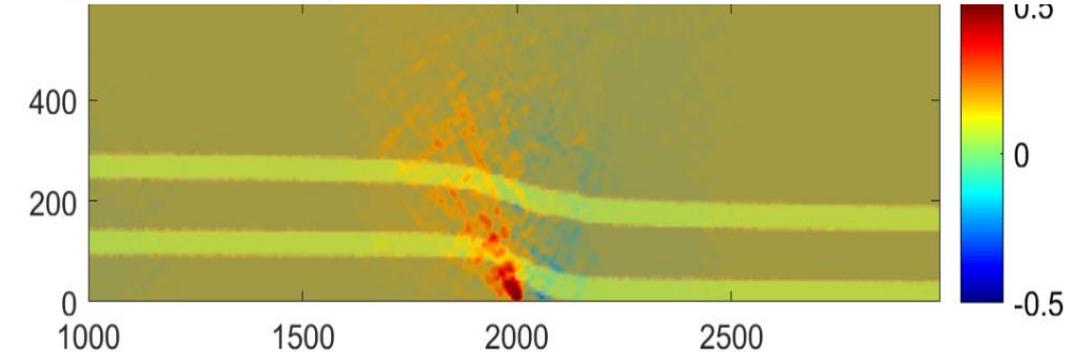
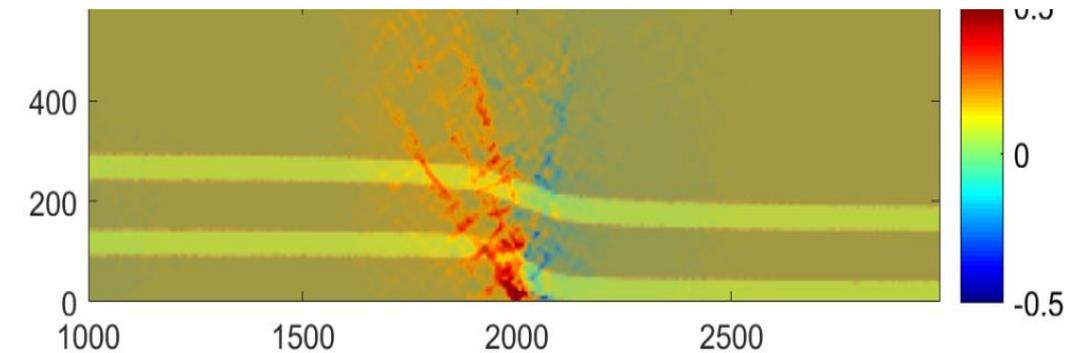
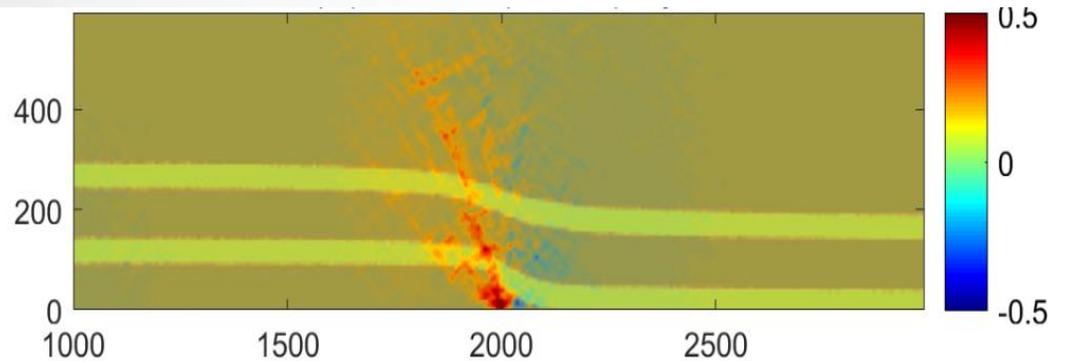
- Вычислительно сложные
- Требуется калибровка

Метод дискретных элементов

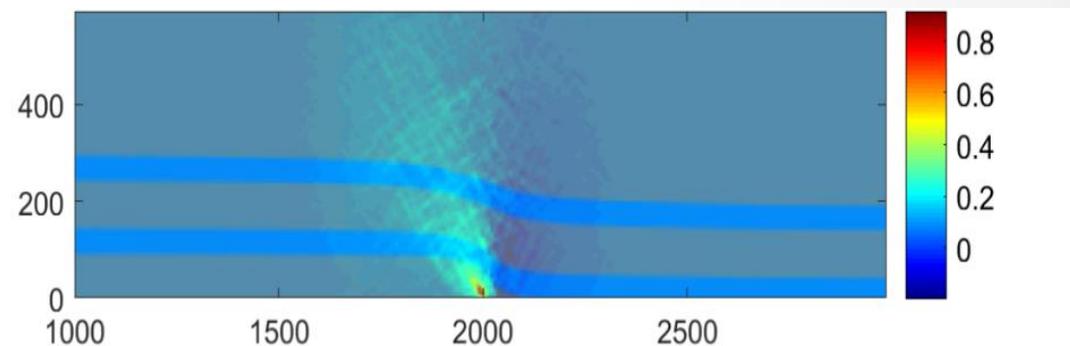


2D пример

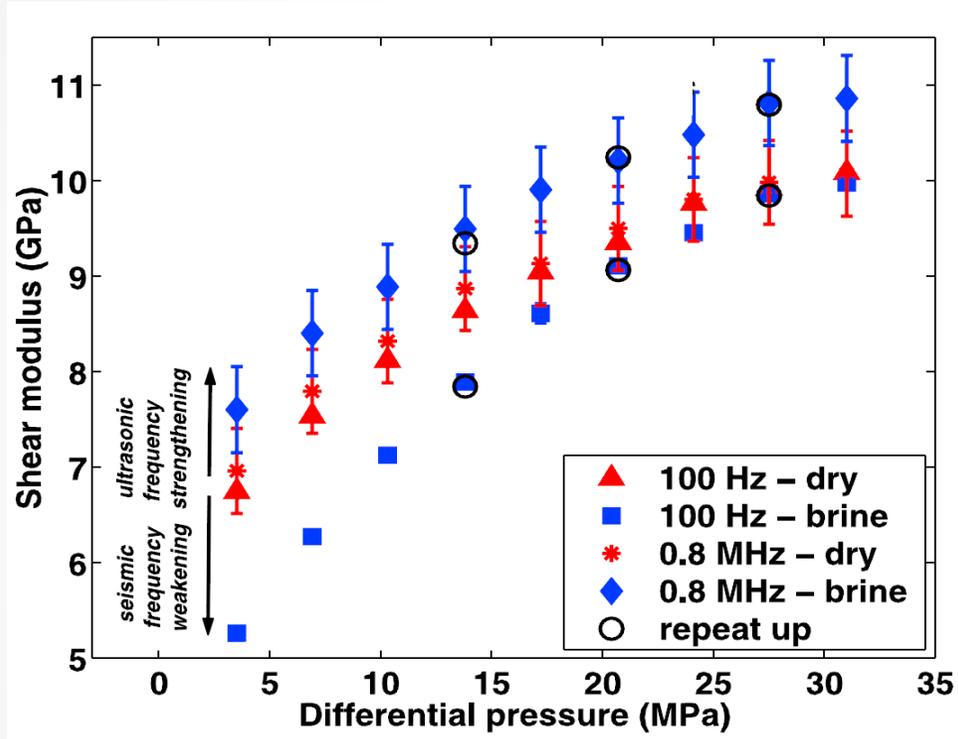
Деформации



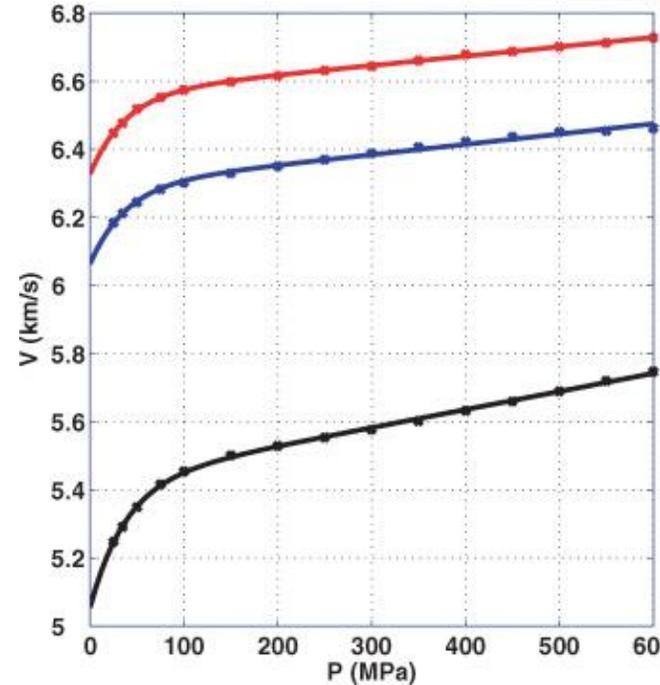
Среднее



Оценка упругих параметров



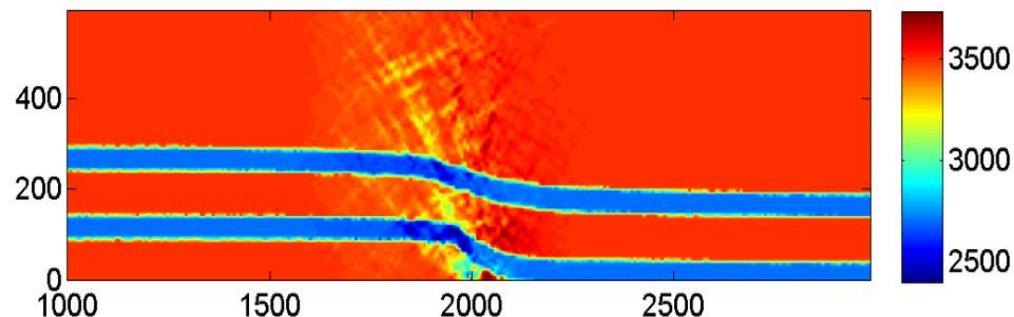
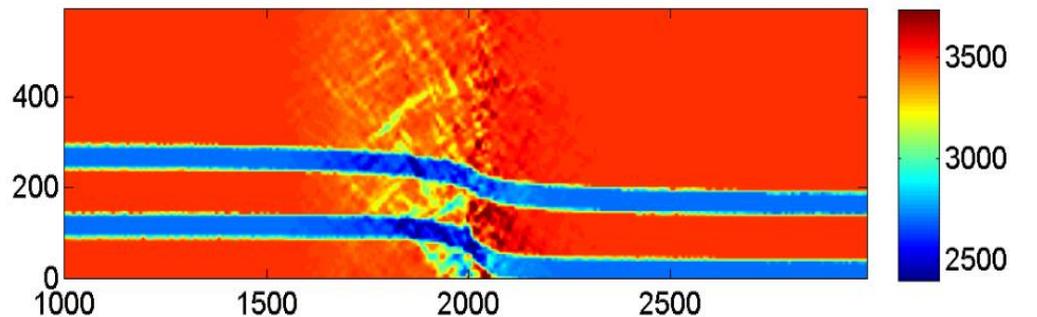
Adam L., et al. Seismic wave attenuation in carbonates // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. - 2009. - V. 114. - N. B6. - pp. n/a-n/a.



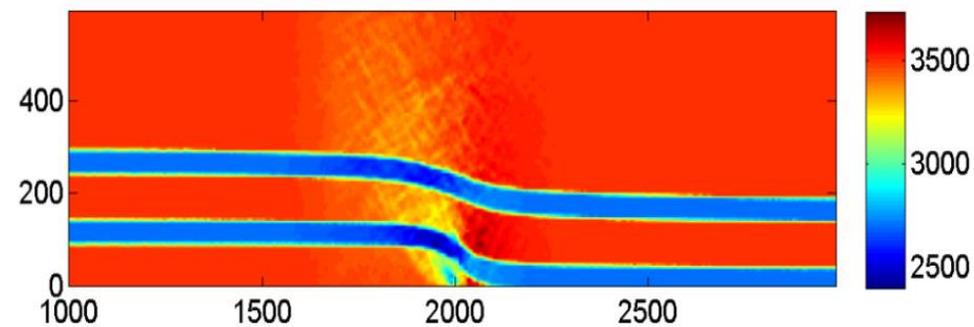
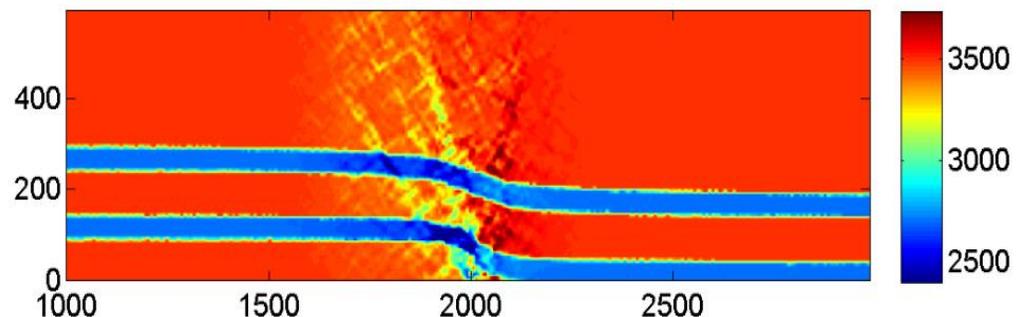
Shapiro S., and Kaselow A. Porosity and elastic anisotropy of rocks under tectonic stress and pore-pressure changes // Geophysics. - 2005. - V. 70. - N. 5. - pp. N27-N38.

Оценка упругих параметров

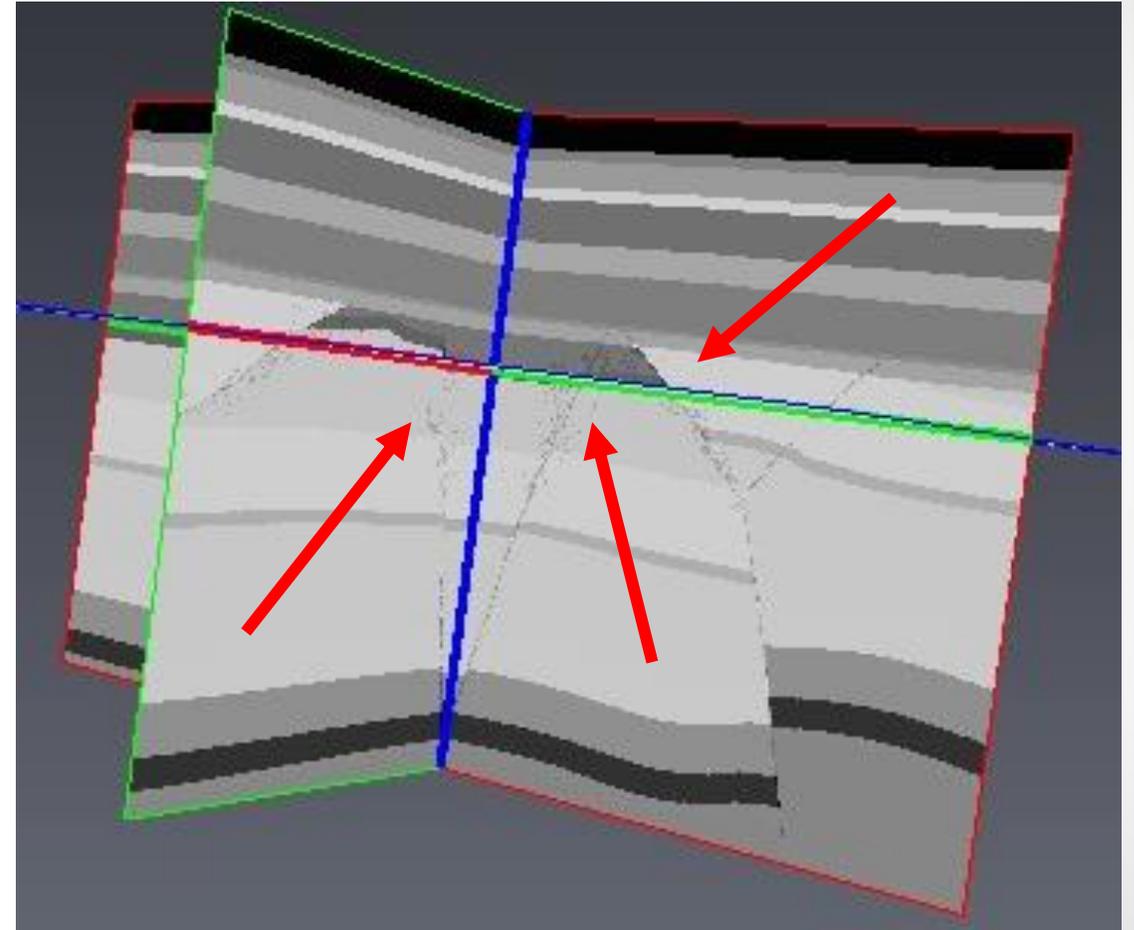
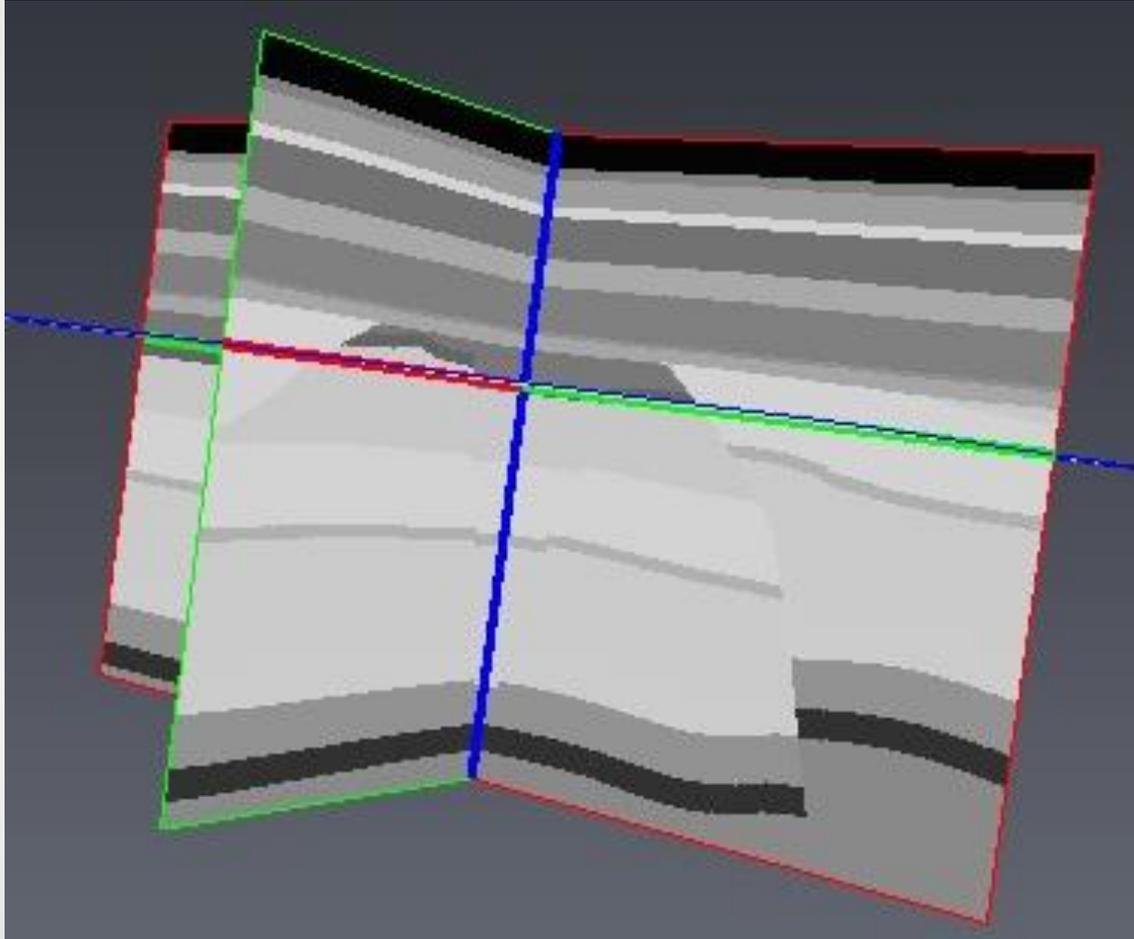
Статистические реализации



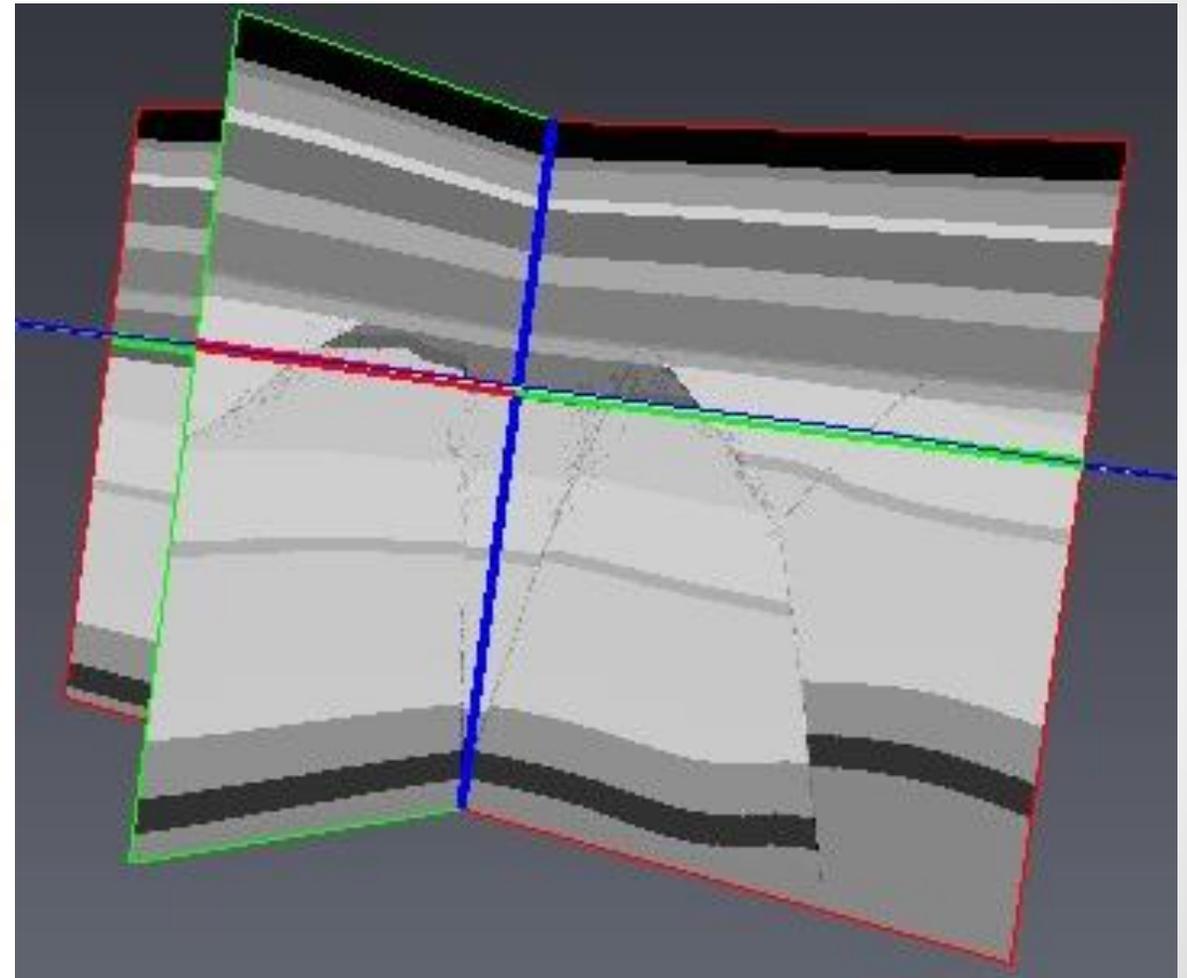
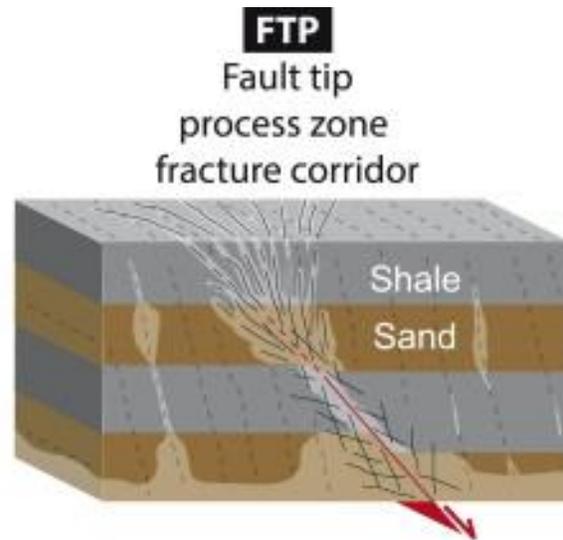
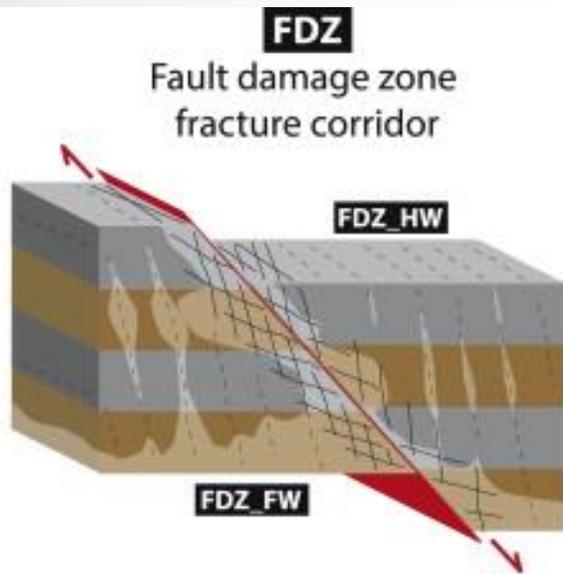
Среднее



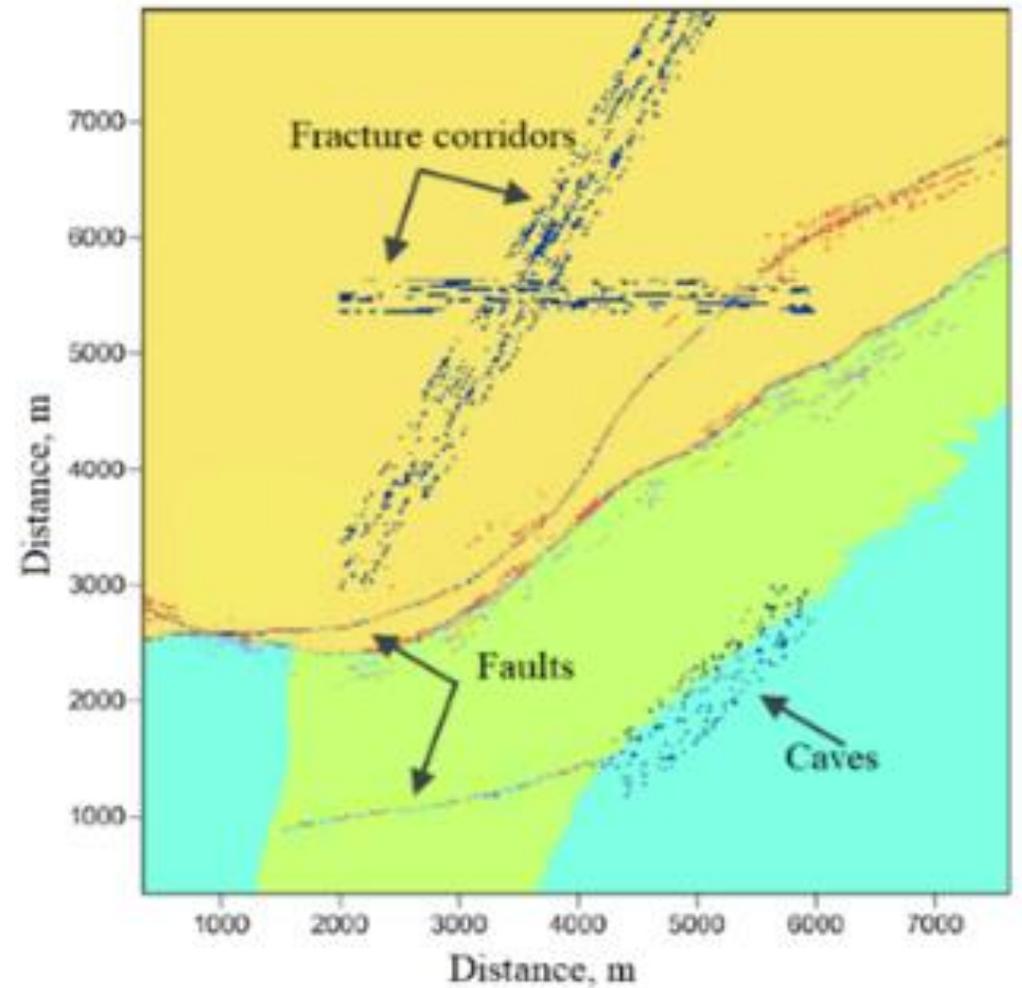
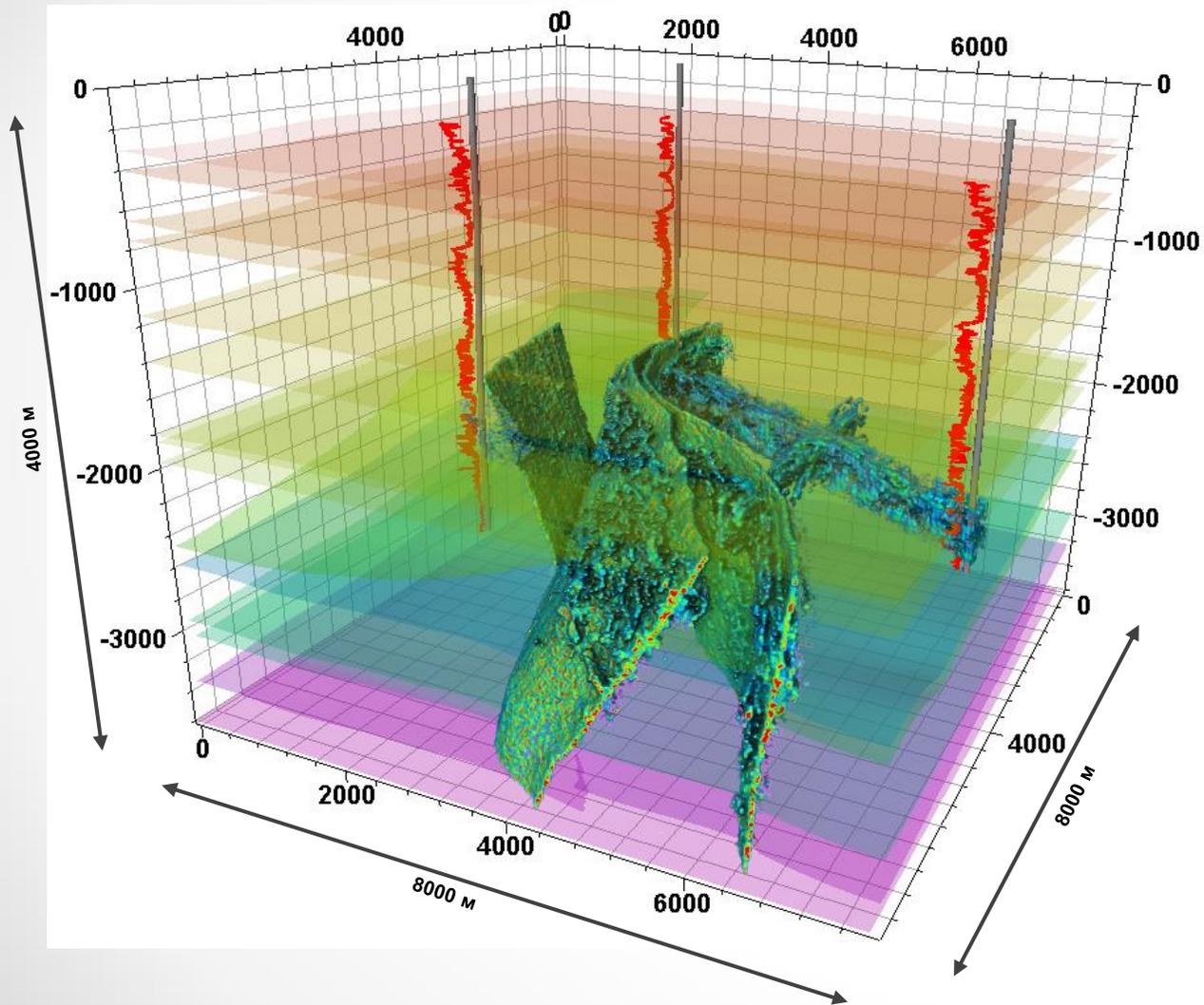
Модели со сложной структурой разломов



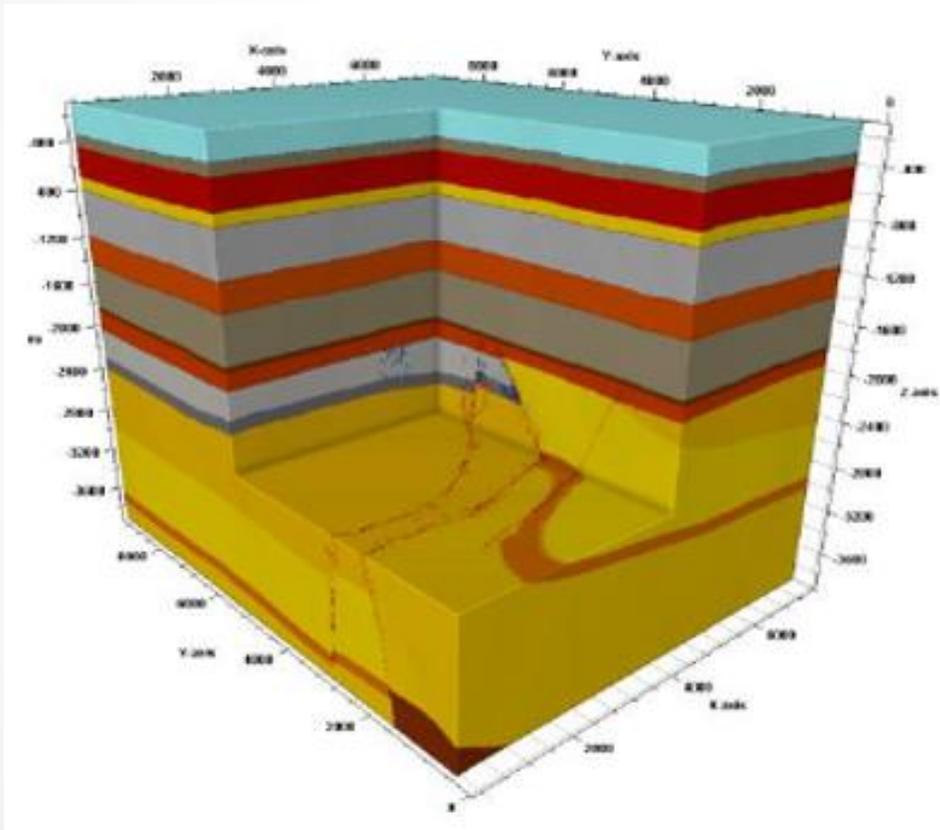
Модели со сложной структурой разломов



Коридоры трещиноватости и зоны кавернозности



Сейсмическое моделирование



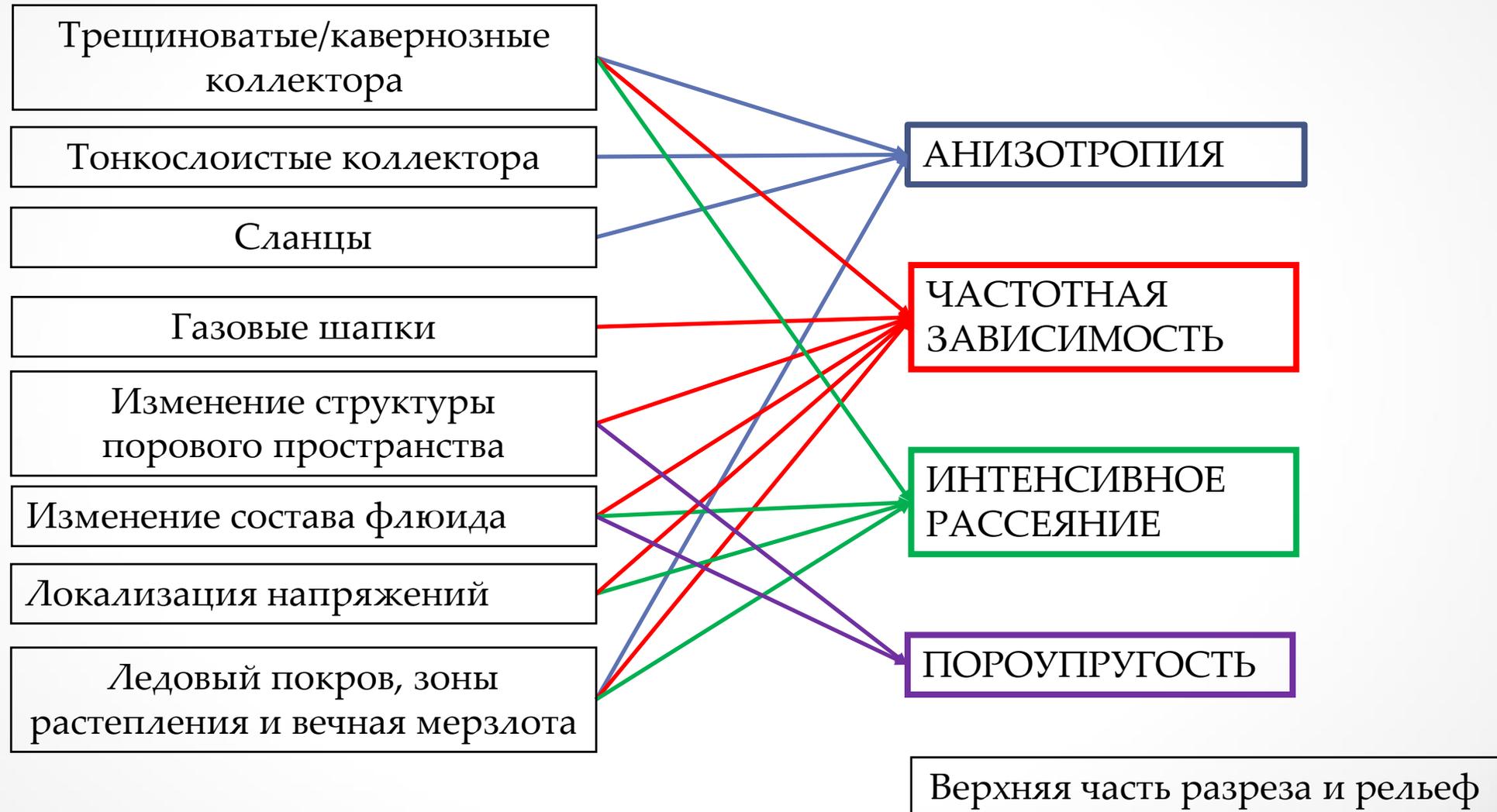
$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \nabla \cdot \sigma$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = (\nabla u + \nabla u^T)$$

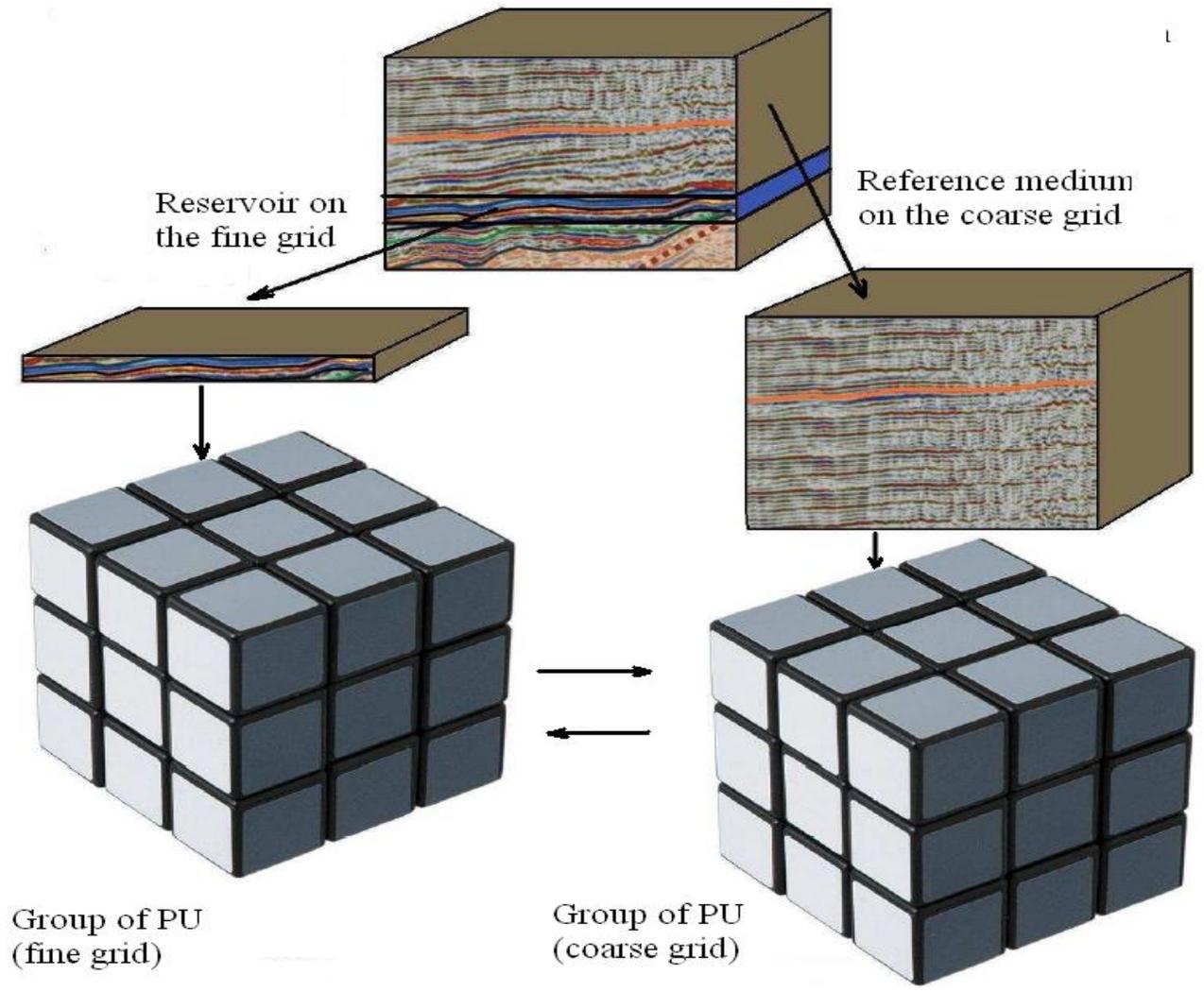
$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = C_1 \varepsilon + \sum_{l=1}^L r^l$$

$$\tau_{\sigma,l} \frac{\partial r^l}{\partial t} = -C_2 \varepsilon - r^l$$

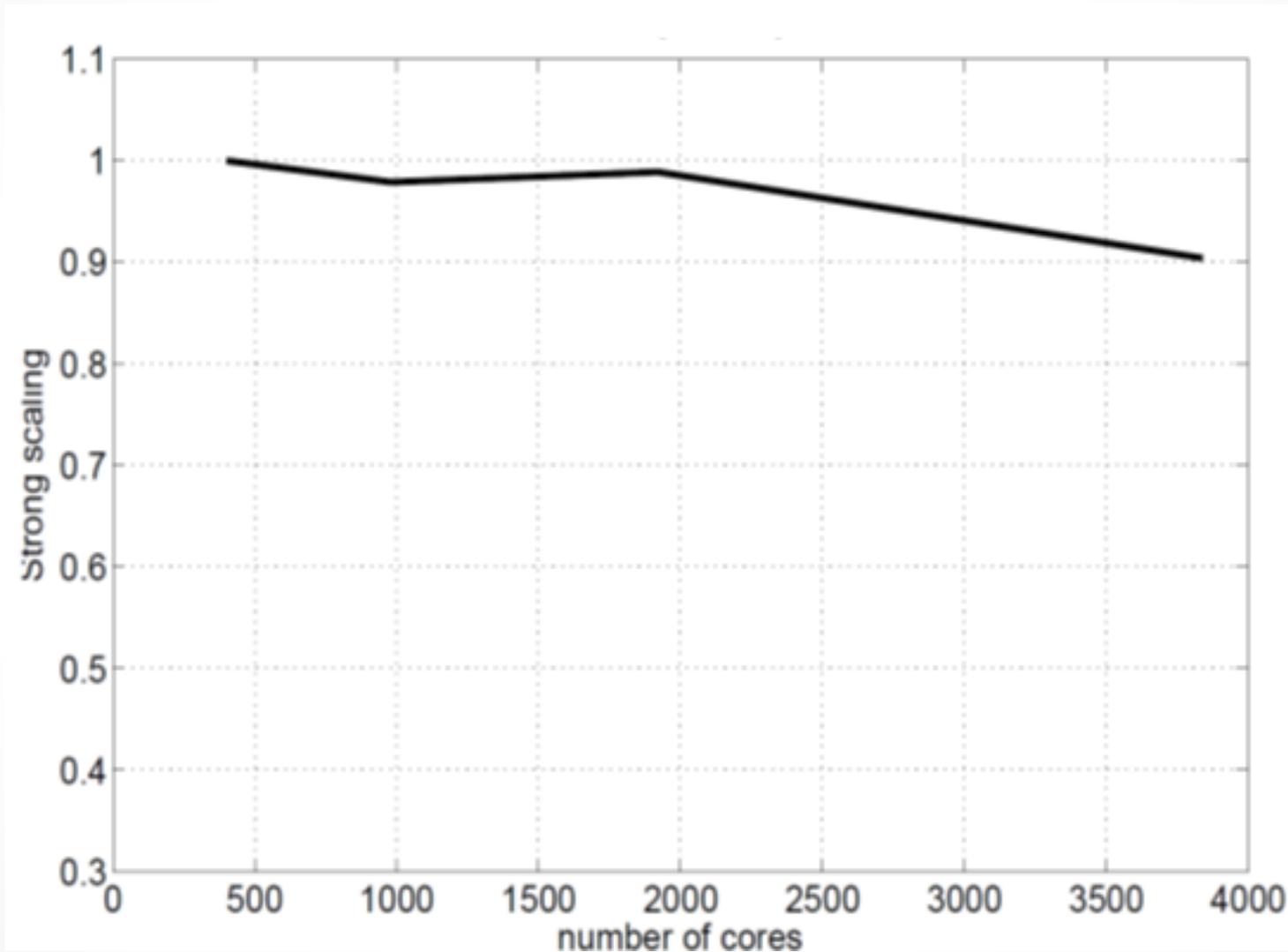
Физика и геология



Блочная структура алгоритмов и параллельная реализация

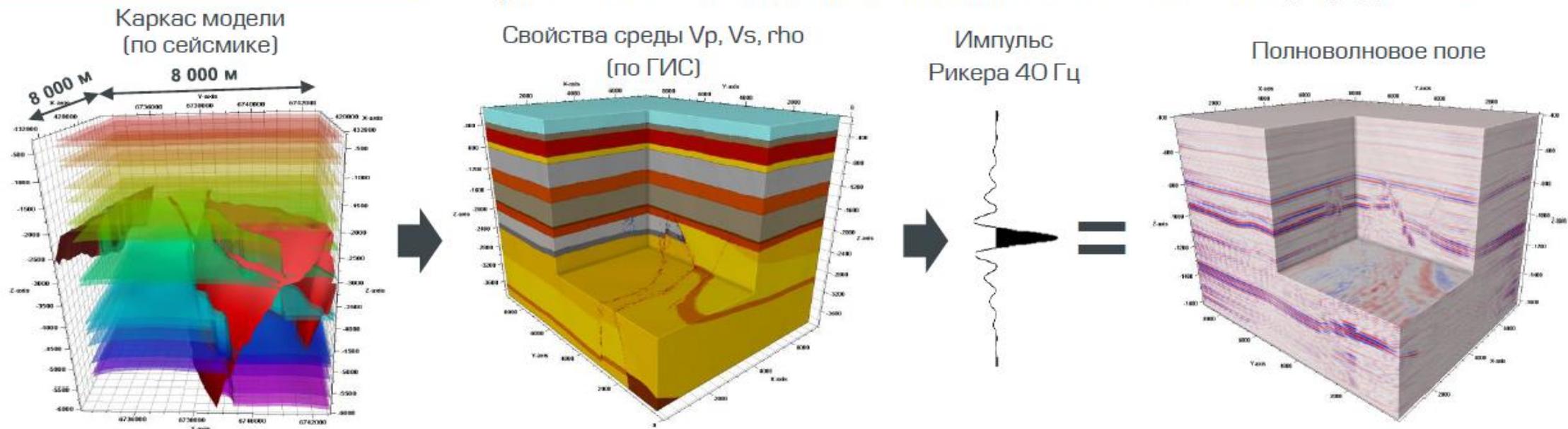


Сильная масштабируемость



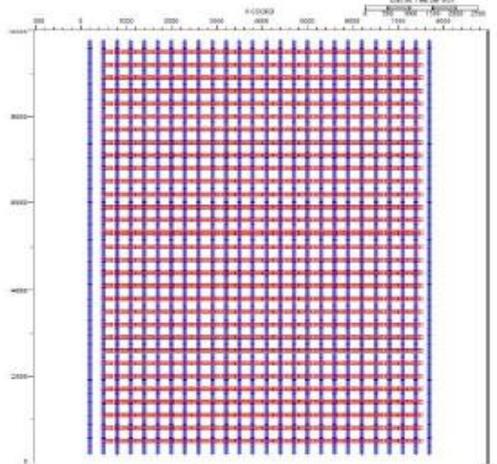
Технологическая цепочка

Выполнялось полноволновое численное моделирование методом конечных разностей с локальным измельчением сетки в местах неоднородностей.

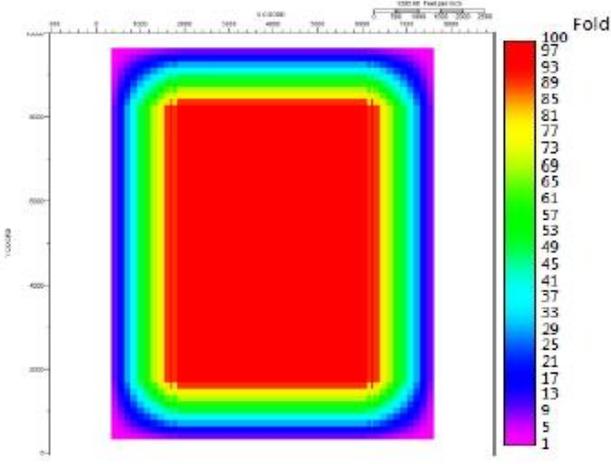


Параметры системы наблюдений

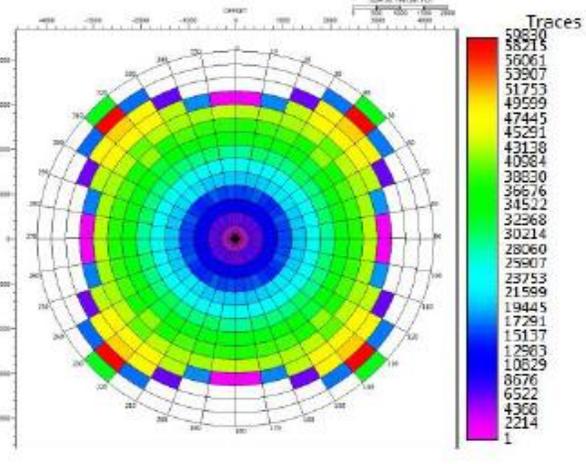
Расположение линий ПВ и ПП



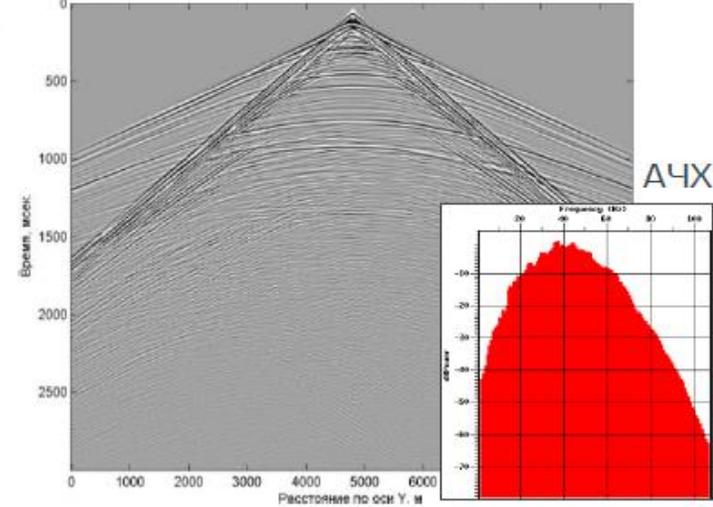
Кратность ОГТ



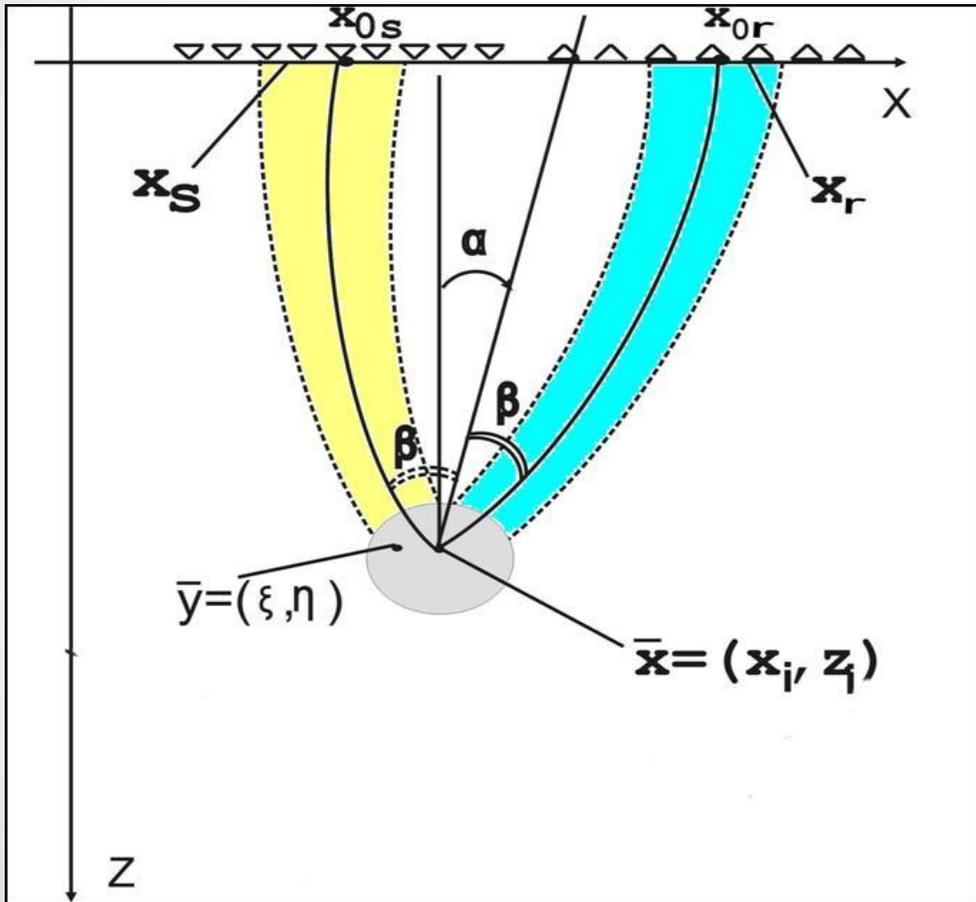
Роза-диаграмма удалений



Сейсмограмма ОПВ



Идеальные сейсмические изображения



Геометрическая схема
асимметричного суммирования
с использованием следов пары
Гауссовых пучков на системе
наблюдения

Идеальные сейсмические изображения

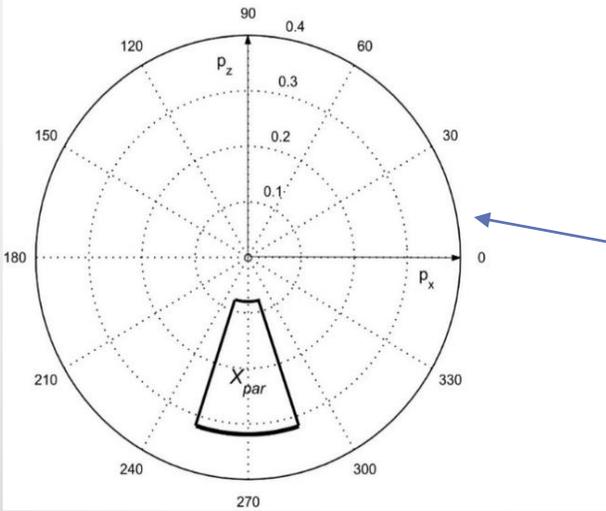
$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} d\omega \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} 4 \cos^2 \beta d\alpha \int_{X_s} T_{gb}^s(x_s; \omega; \alpha, \beta) dx_s \int_{X_r} \vec{T}_{gb}^r(x_s; \omega; \alpha, \beta) \vec{\varphi}(x_r, x_s, \omega) dx_r =$$
$$= \iint_{X_{par}(\bar{y})} dp_x dp_z \iint_X \exp\{-i\vec{p} \cdot (\bar{y} - \bar{x})\} f(\bar{x}, \beta) dx dz$$

$$f(\bar{x}, \beta) = 0.5 \left(\lambda_1(\bar{x}) + 2\mu_1(\bar{x}) \cdot \cos^2(2\beta) + (V_P^0)^2 \rho_1(\bar{x}) \right)$$

Почти импеданс. При $\beta=0$ в точности РР-импеданс.

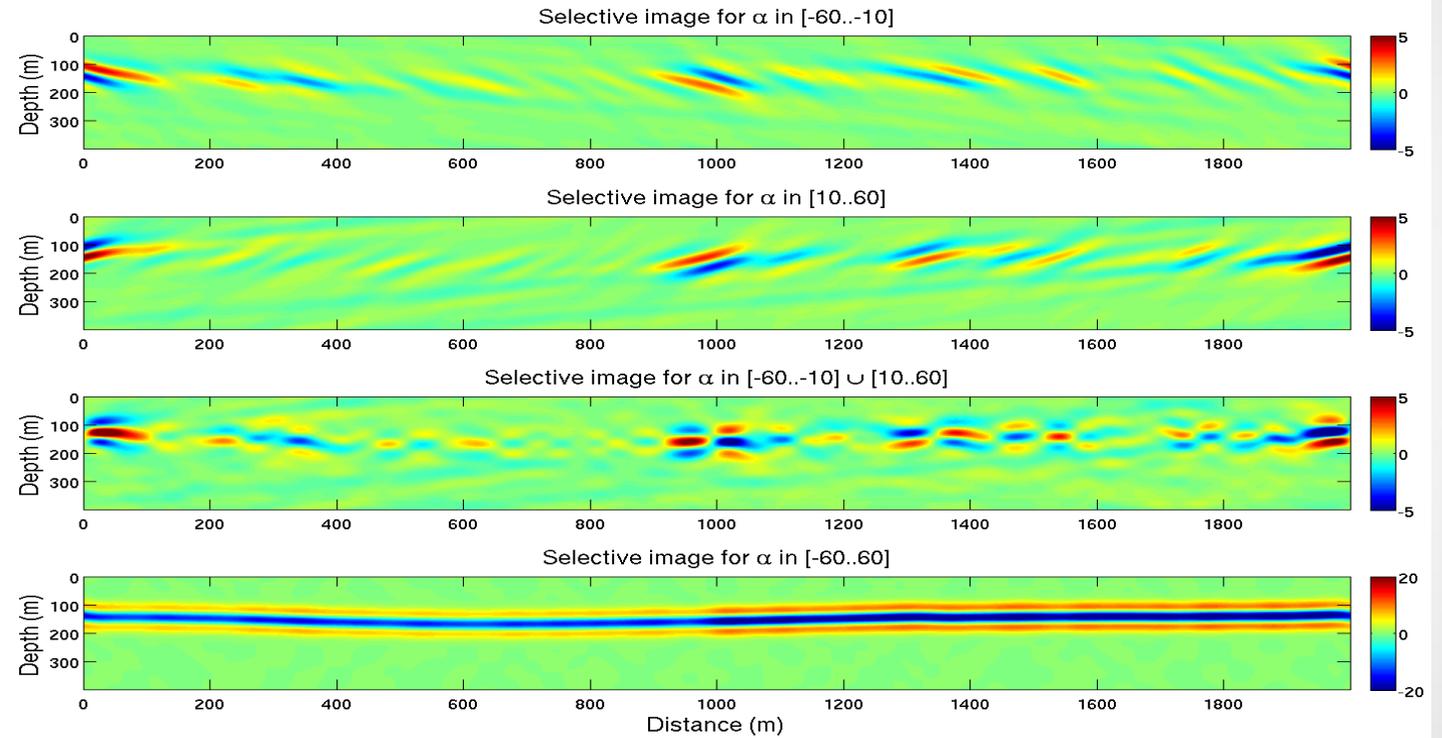
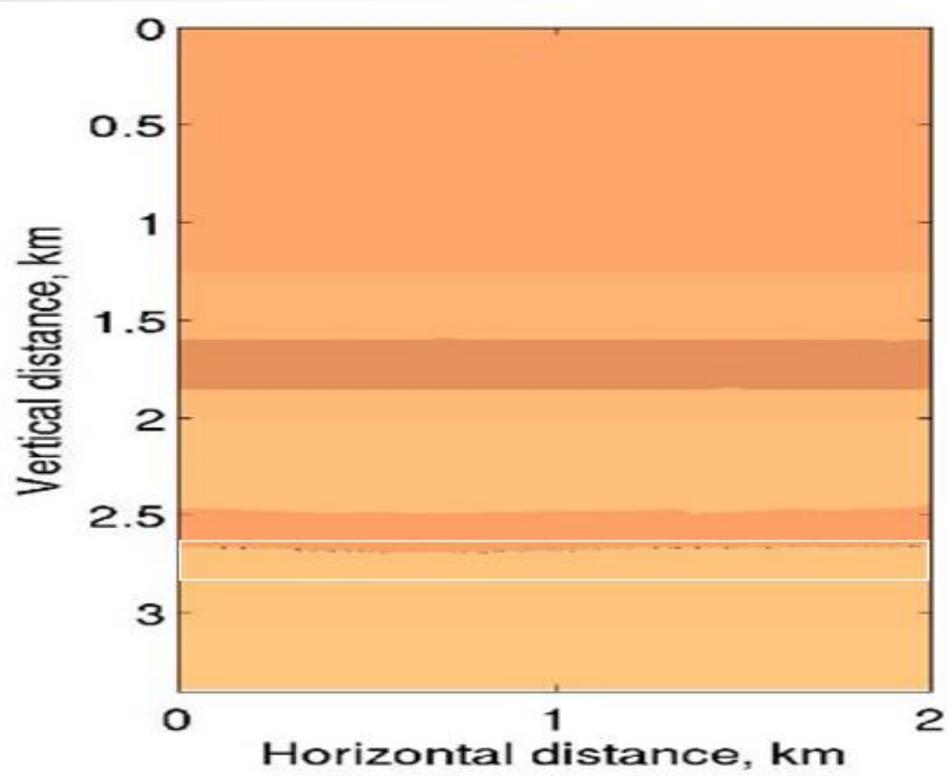
Идеальные сейсмические изображения

$$X_{par}(\bar{y}) = \left\{ (p_x, p_z) : \omega_1 \leq \frac{v_0(\bar{y})\sqrt{p_x^2 + p_z^2}}{2 \cos \beta} \leq \omega_2; \alpha_1 \leq -\operatorname{arctg} \frac{p_x}{p_z} \leq \alpha_2 \right\}$$



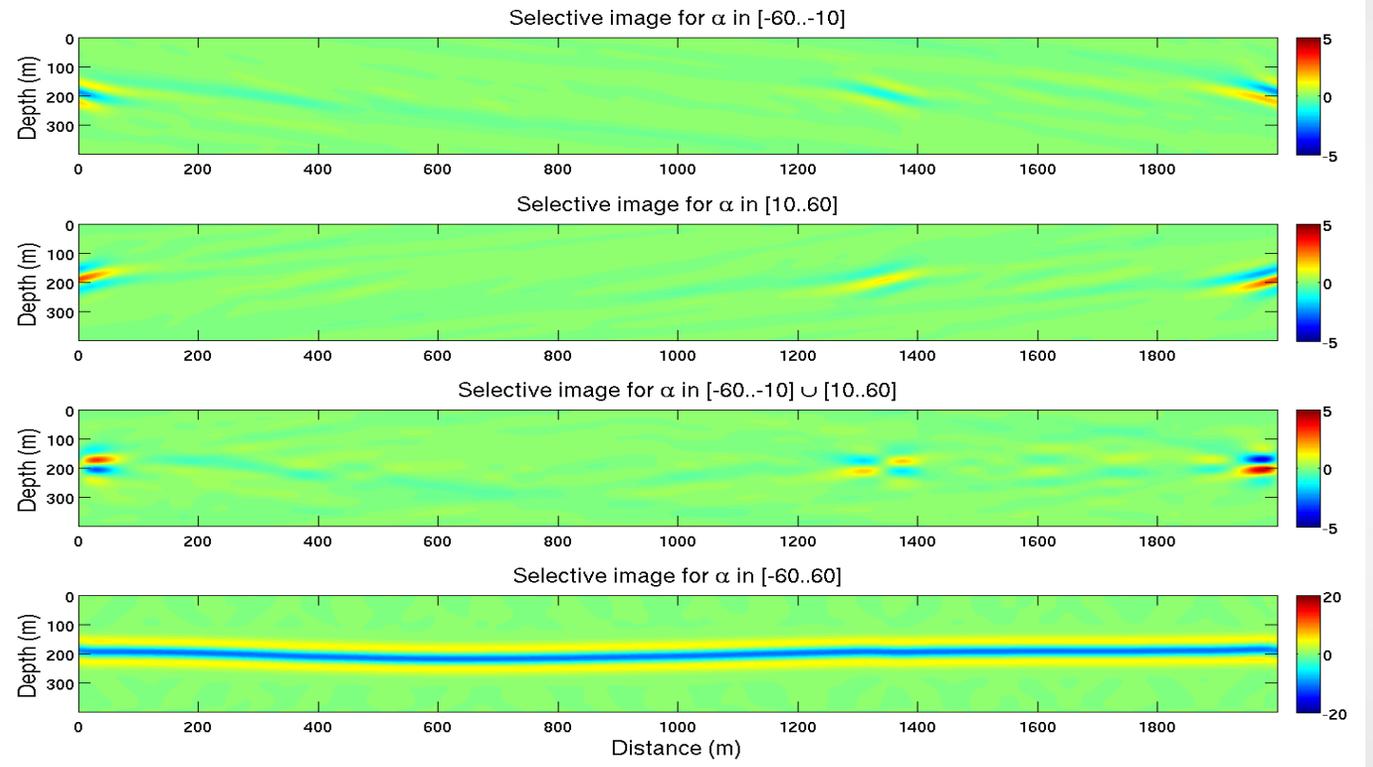
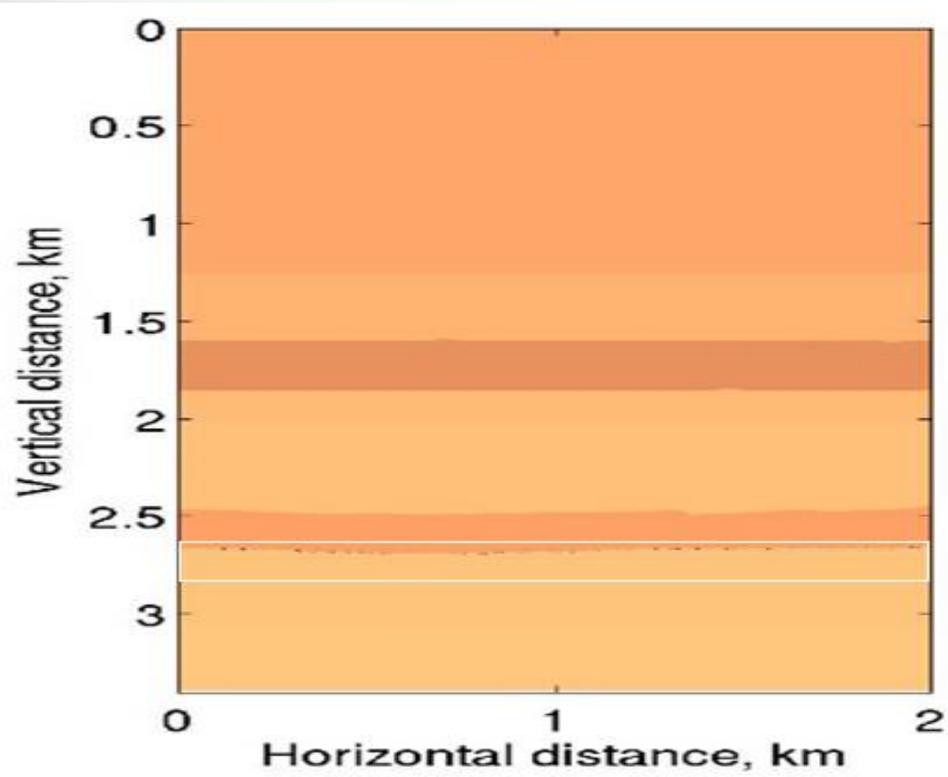
Множество частичного восстановления

Идеальные сейсмические изображения



Пример: есть микронеоднородности

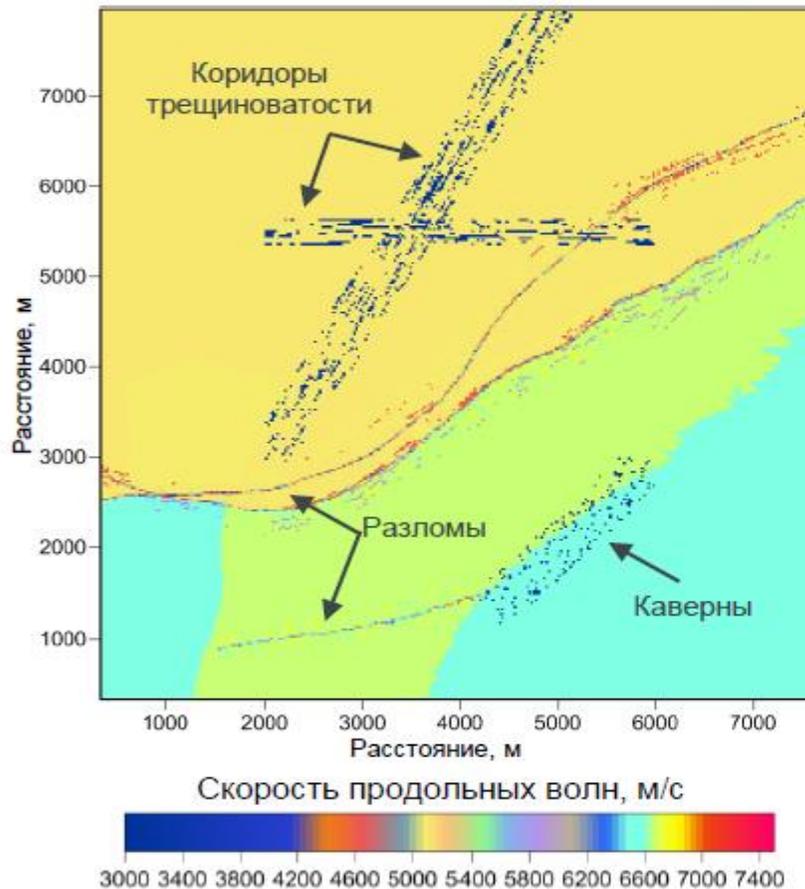
Идеальные сейсмические изображения



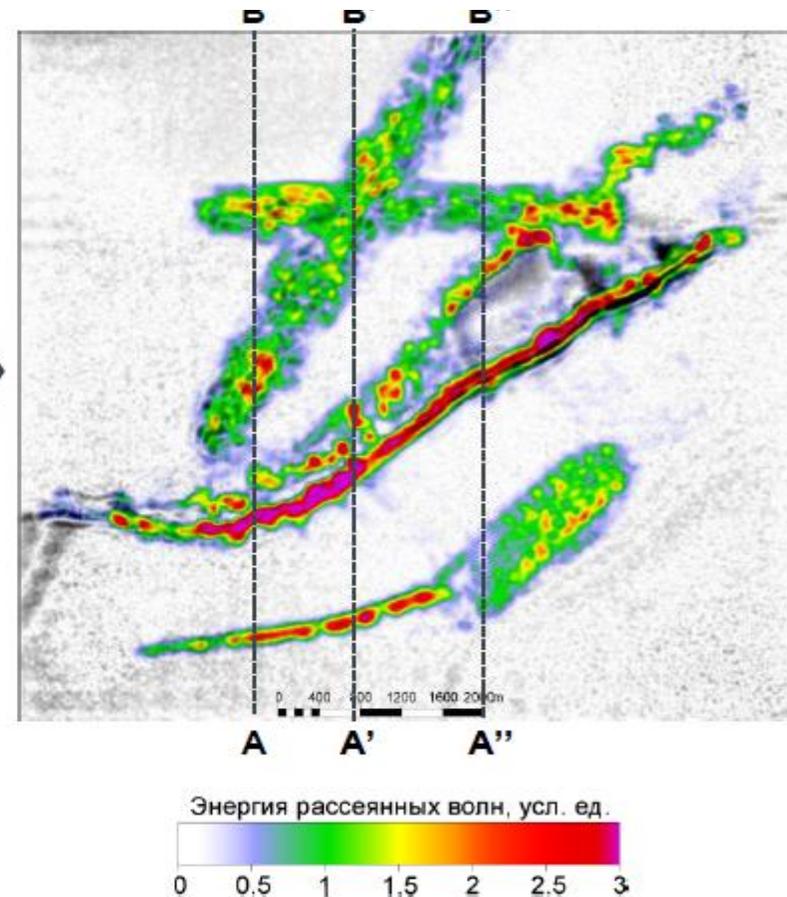
Пример: нет микронеоднородностей

Идеальные сейсмические изображения: 3D модель, рассеянные волны

Горизонтальный срез полной модели

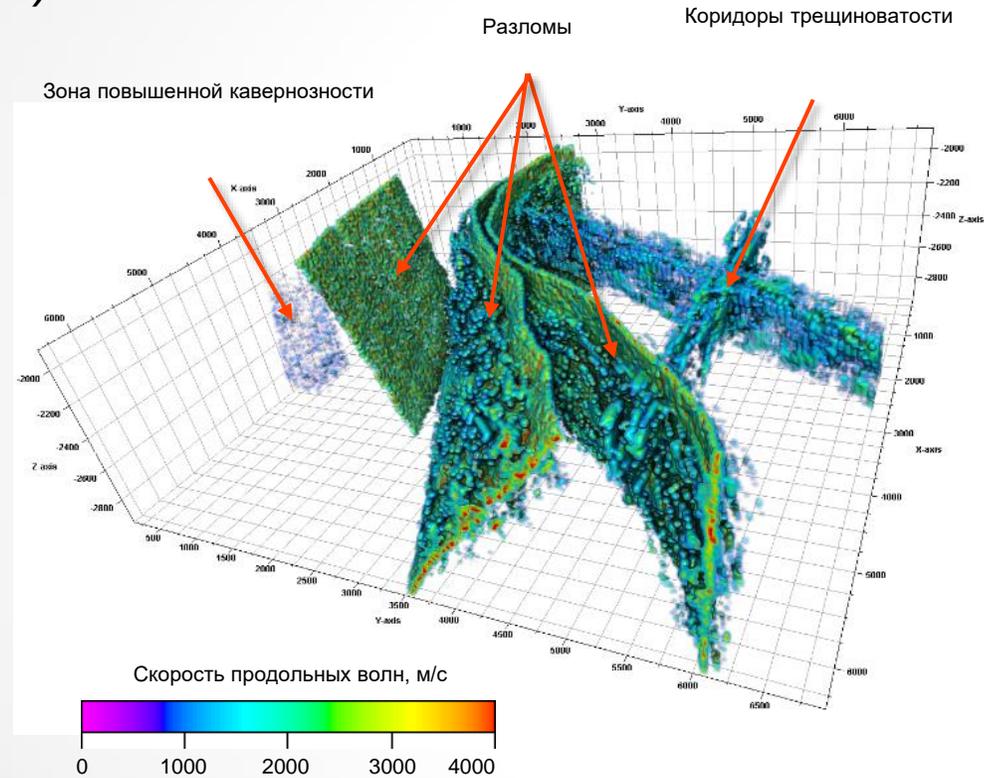


Горизонтальный срез изображения в рассеянных волнах

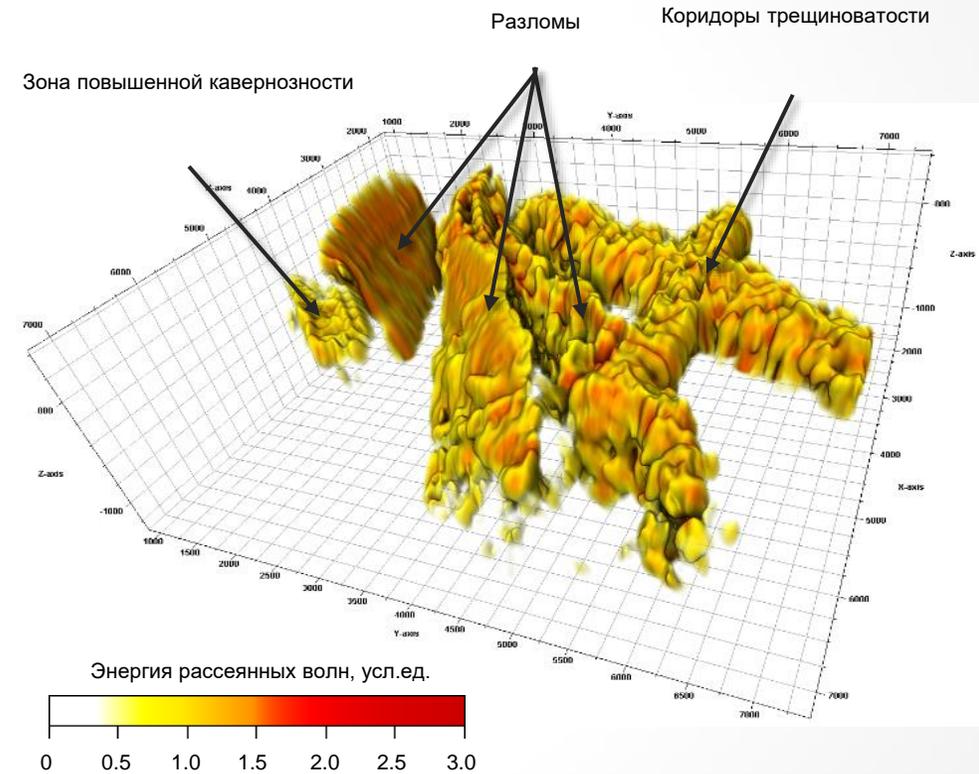


Селективные изображения

а)



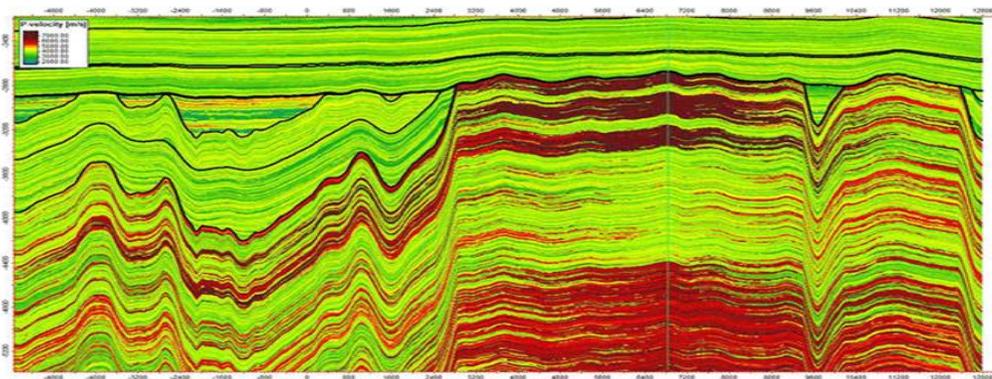
б)



Изучение доюрского комплекса

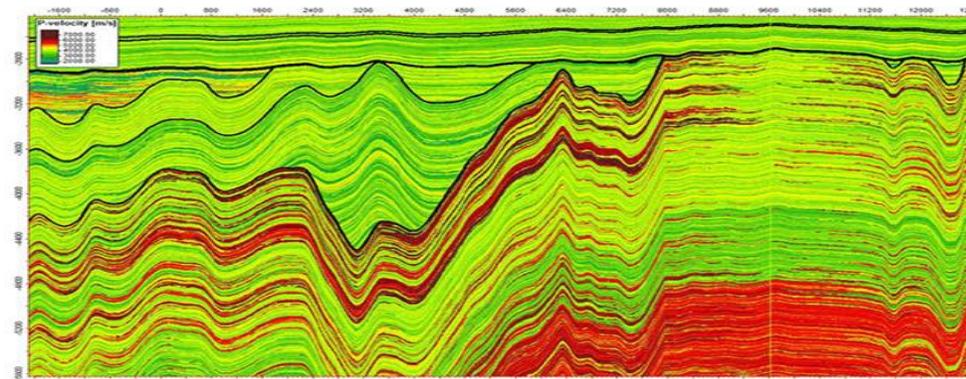
а

Распределение V_p по модели №1



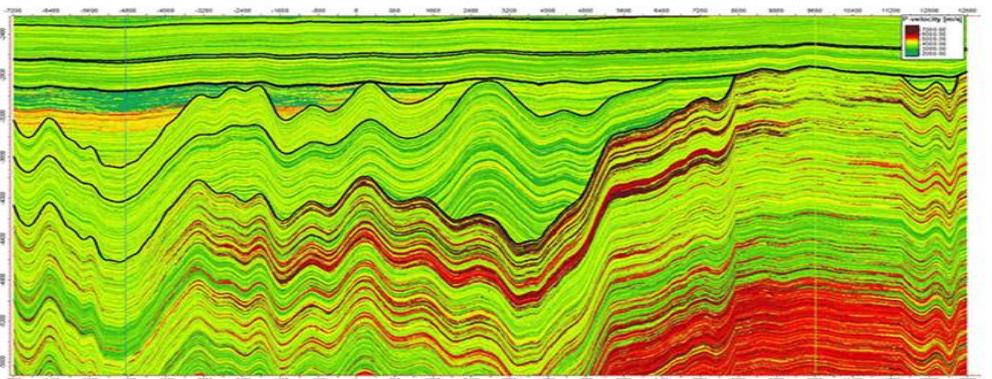
б

Распределение V_p по модели №2



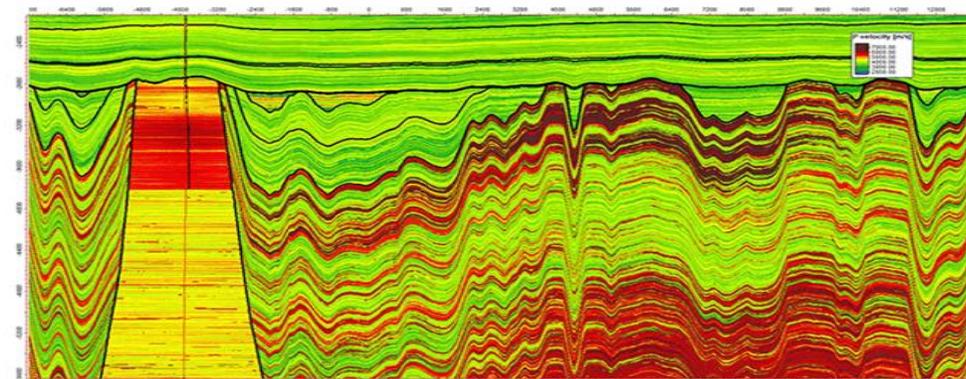
в

Распределение V_p по модели №3

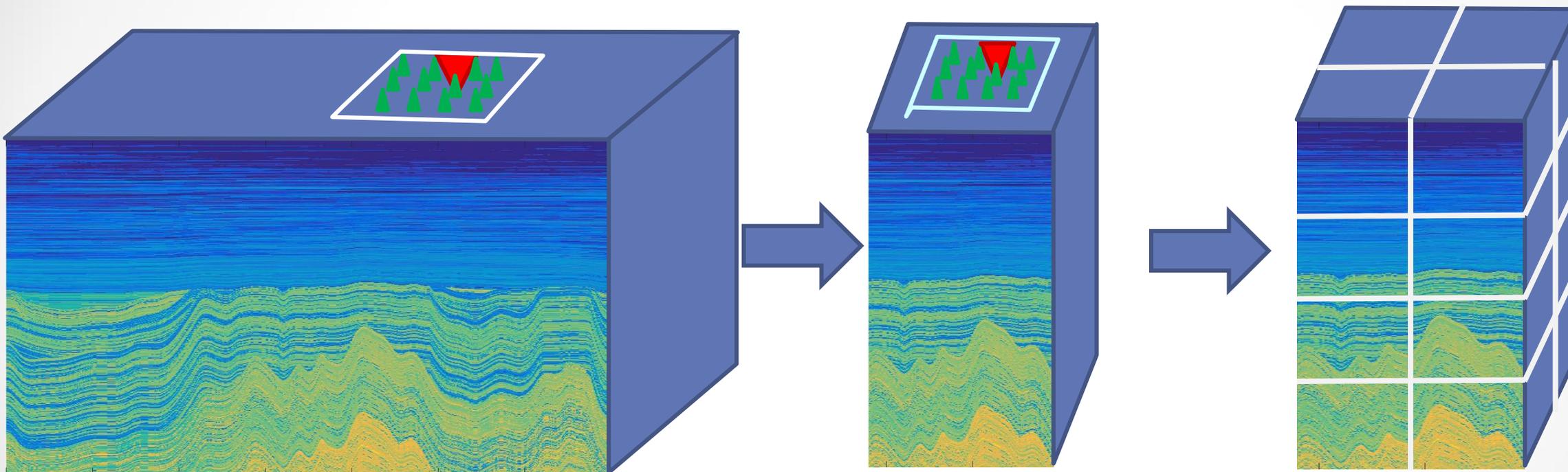


г

Распределение V_p по модели №4



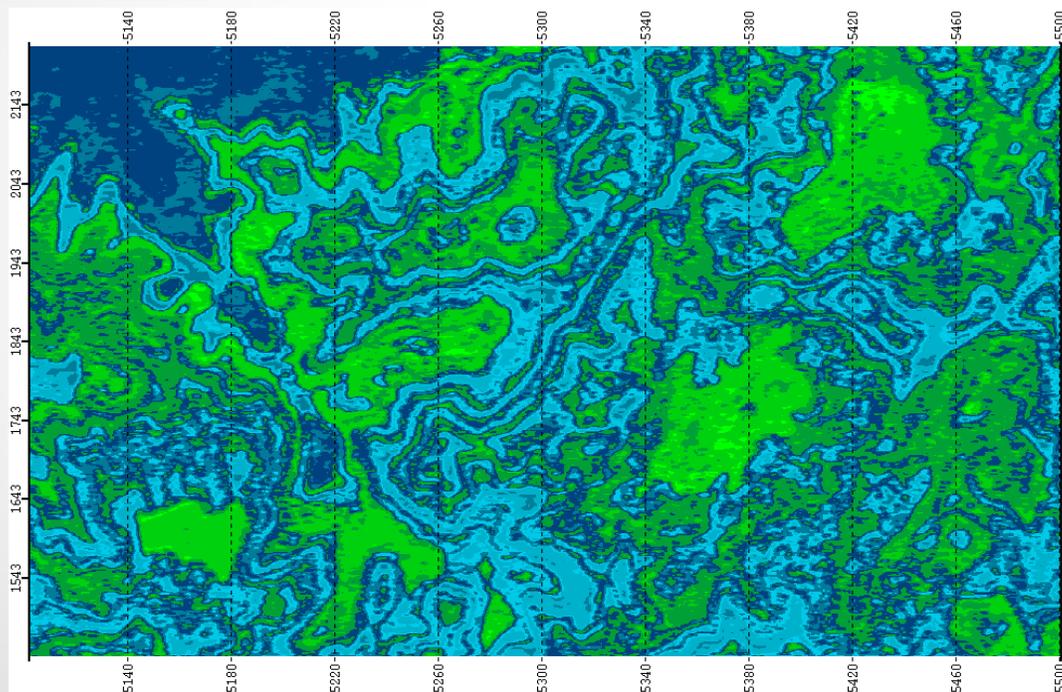
Методика расчета



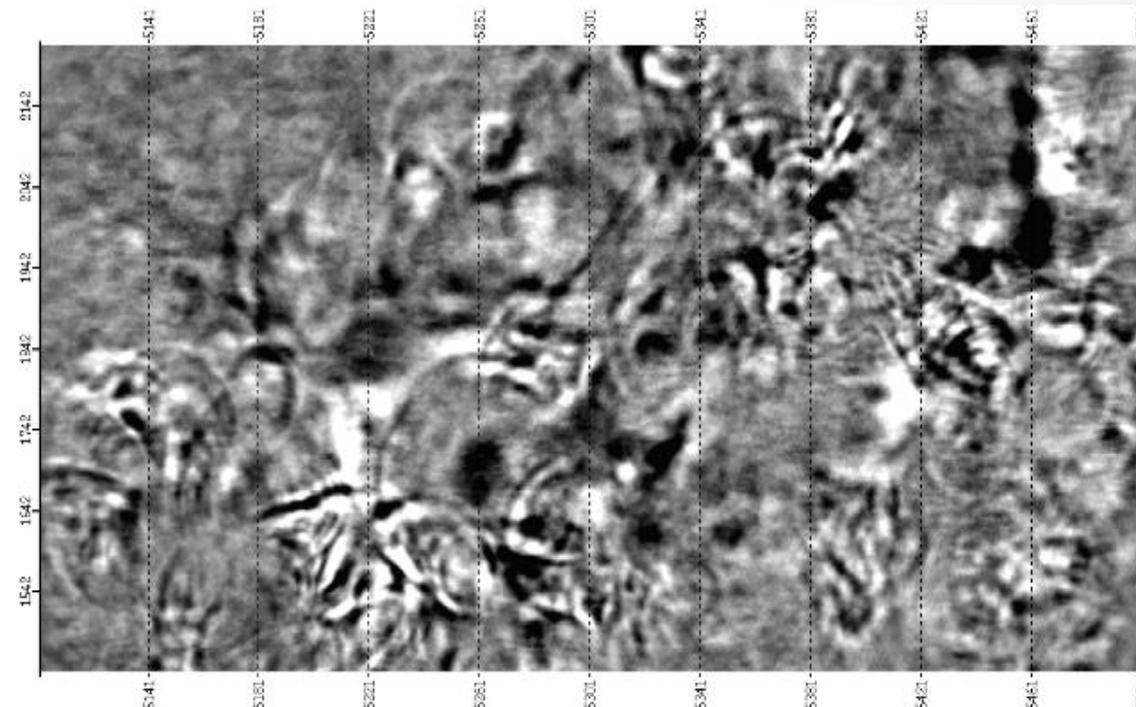
Моделирование проводится не во всей области, а только в подобласти, активной расстановки!

Контроль качества

Горизонтальные сечения на уровне 2300 мс (доюрский комплекс) скоростной модели



Горизонтальные сечения на уровне 2300 мс (доюрский комплекс) суммарного разреза



МАМ, НЕ РУГАЙ



Я НЕФТЬ НАШЁЛ