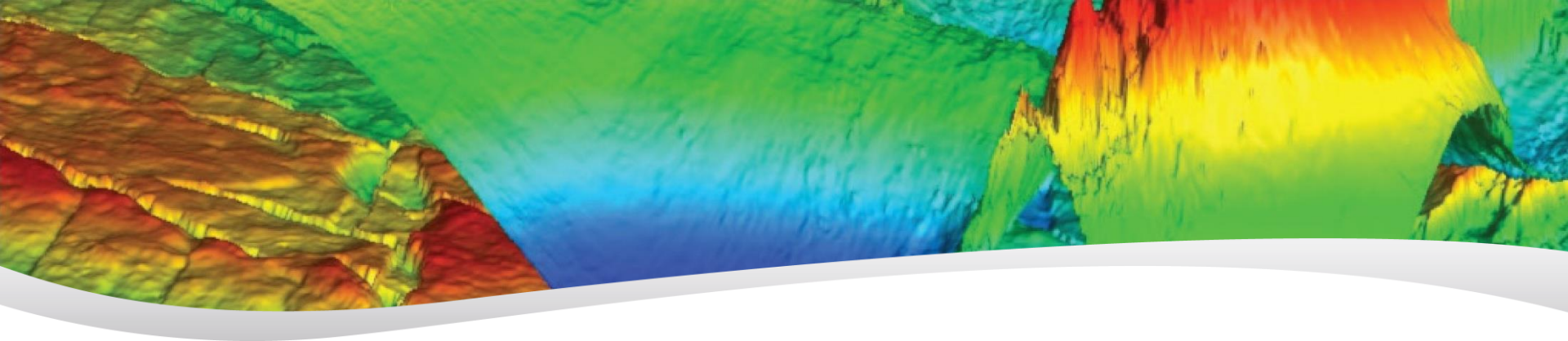




Три уровня использования сейсмических данных с целью повышения точности и достоверности геомеханической модели

Сергей Федотов

Петромодель, 2015

Passion for Geoscience



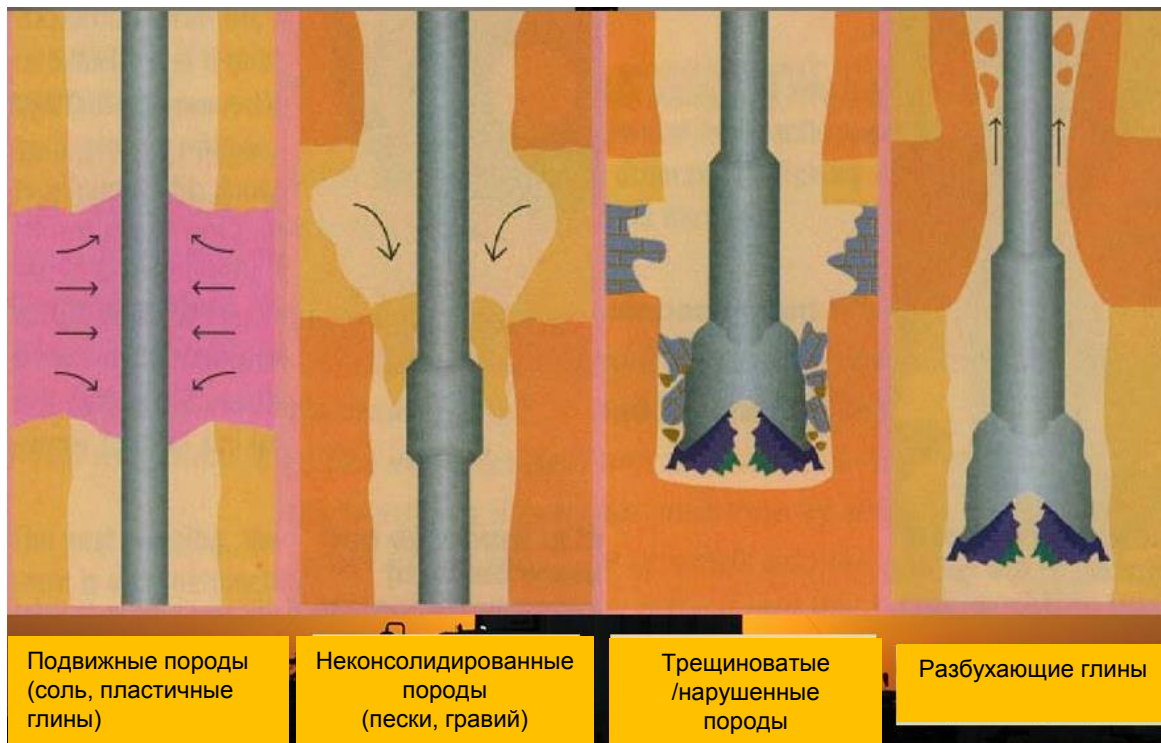
Для чего нам нужна геомеханическая модель?

- При планировании бурения скважин
 - прогноз возможных осложнений
 - устойчивость ствола скважины



Осложнения при проводке скважин

Прихват инструмента



Коллапс обсадной колонны



Механические причины



Ключевые параметры:

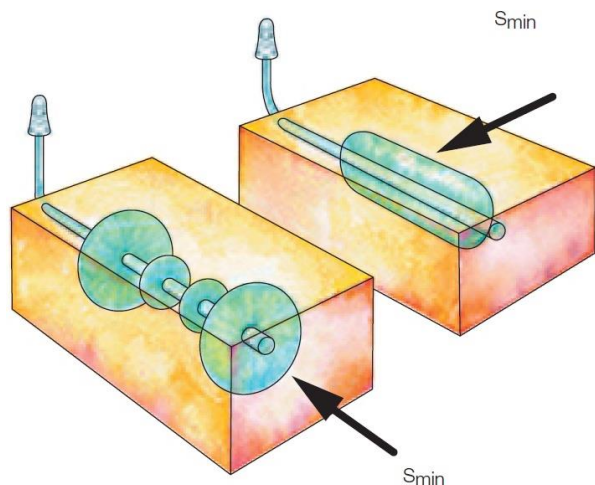
- 1. Напряжения/типы пород
- 2. Прочность породы
- 3. Геометрия ствола скважины (Наклон и азимут)
- 4. Искусственно созданные напряжения

Для чего нам нужна геомеханическая модель?

- При планировании бурения скважин
 - прогноз возможных осложнений
 - устойчивость ствола скважины
- Для максимизации объема добычи
 - эффективное выполнение гидроразрыва
 - правильная проводка ствола скважины как для целей наилучшего дренажа, так и для целей эффективного заводнения

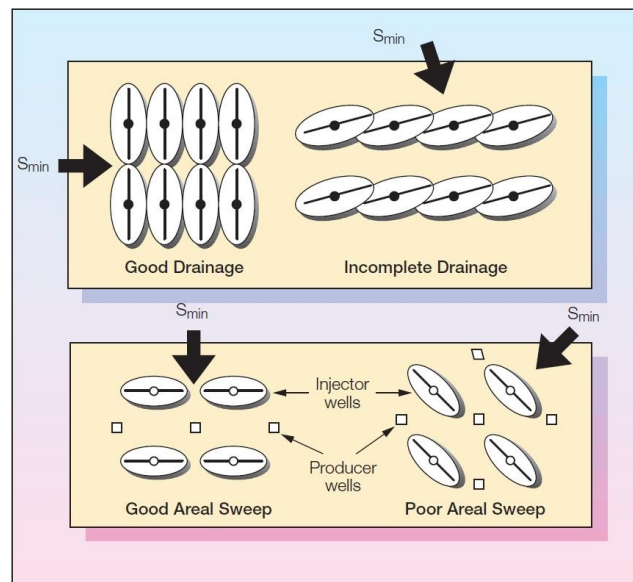


Напряженное состояние среды и трещиноватость



Знание направления и величины стресса помогает выполнить гидроразрыв, обеспечив развитие трещин в нужном направлении

Понимание ориентации трещин является критичным для правильной проводки ствола скважины как для целей наилучшего дренажа, так и для целей эффективного заводнения



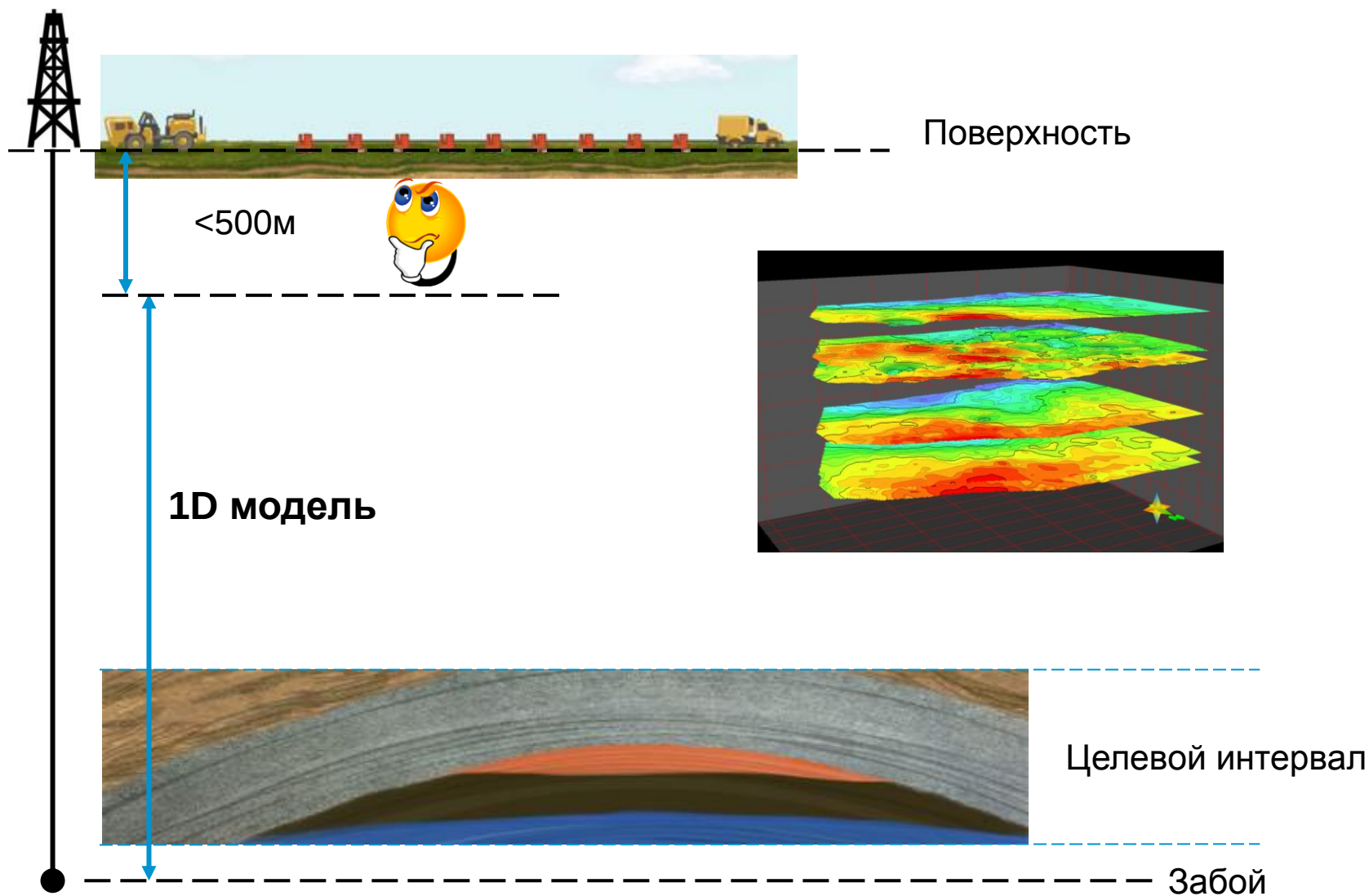
1D геомеханическая модель



Петрофизическая интерпретация

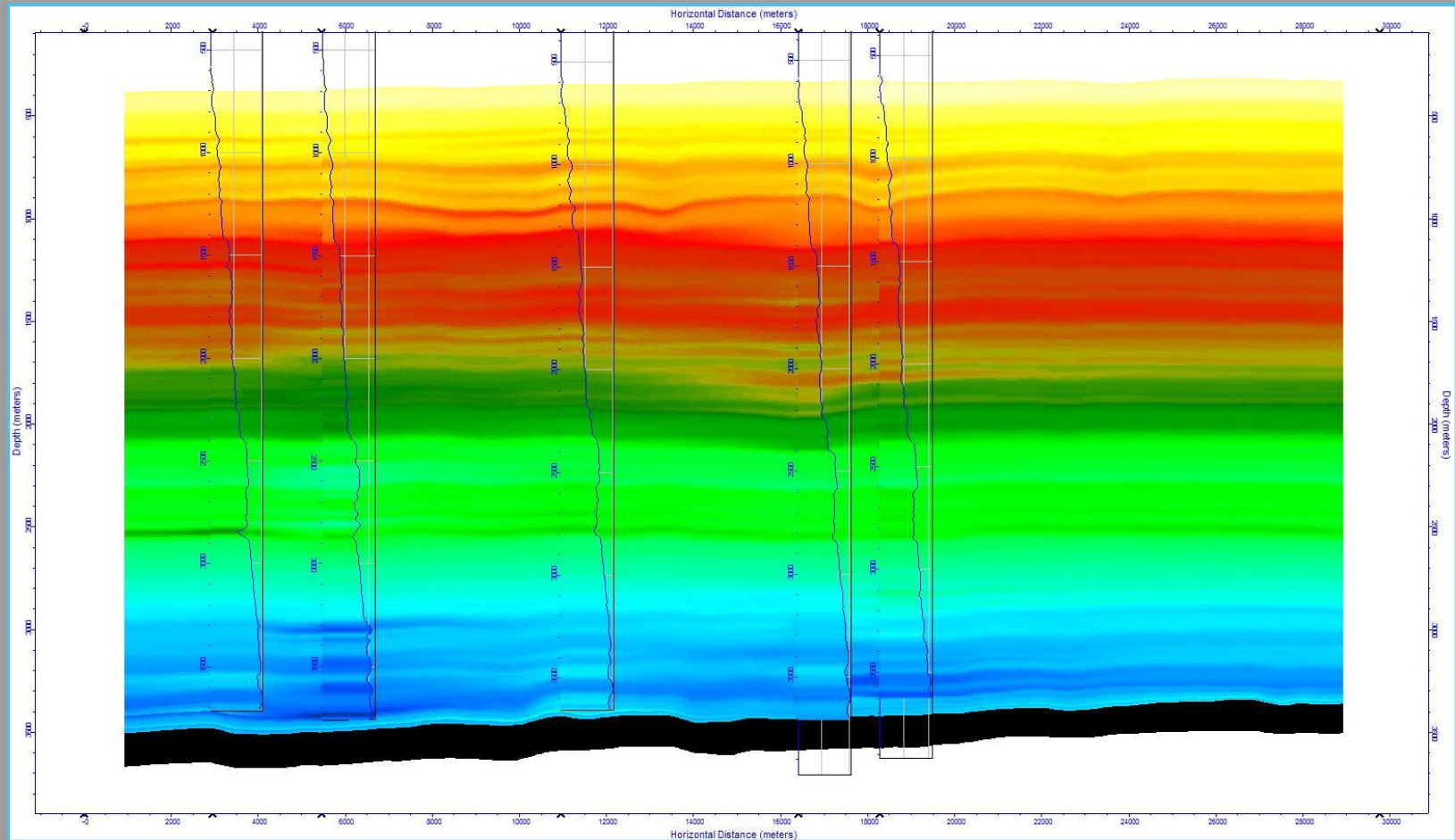


Интервал построения геомеханической модели



1D модель

Напряжение на сдвиг

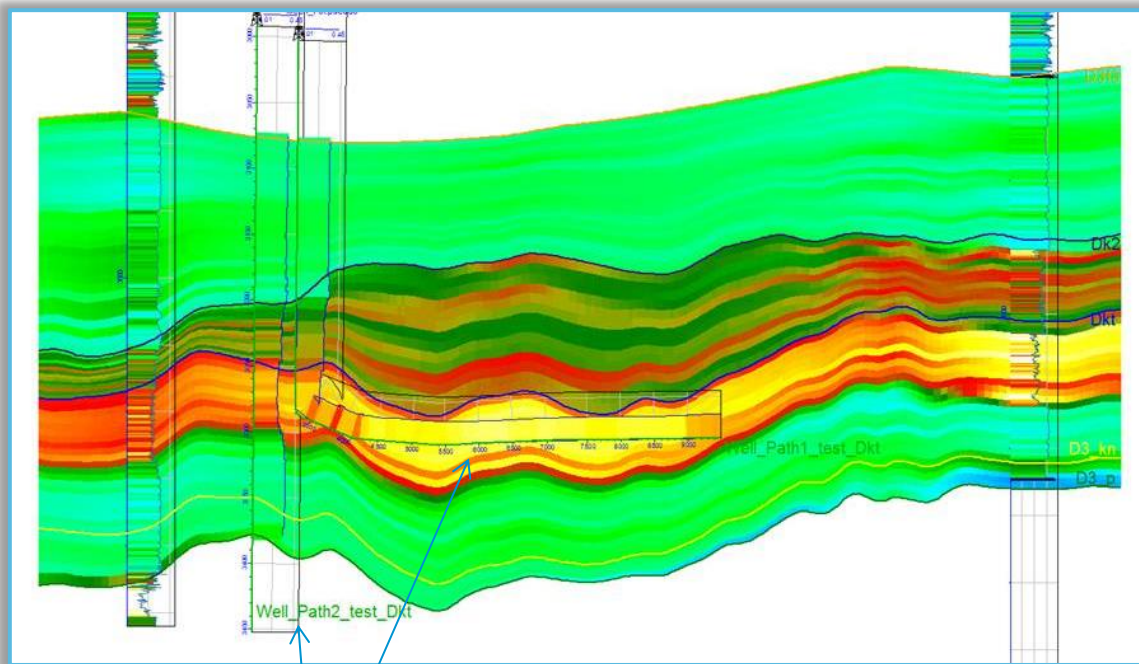
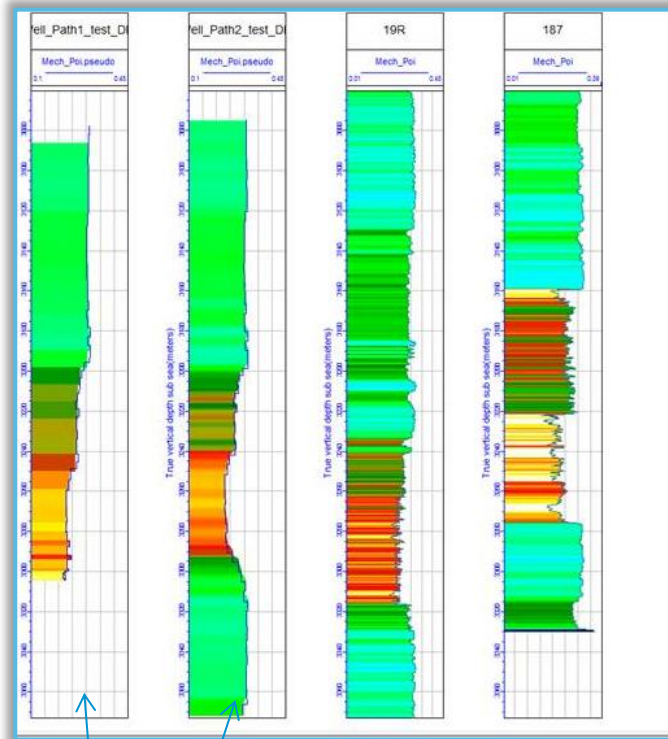


1D модель. Целевой интервал

Коэффициент Пуассона

Опорные скважины

Опорные скважины



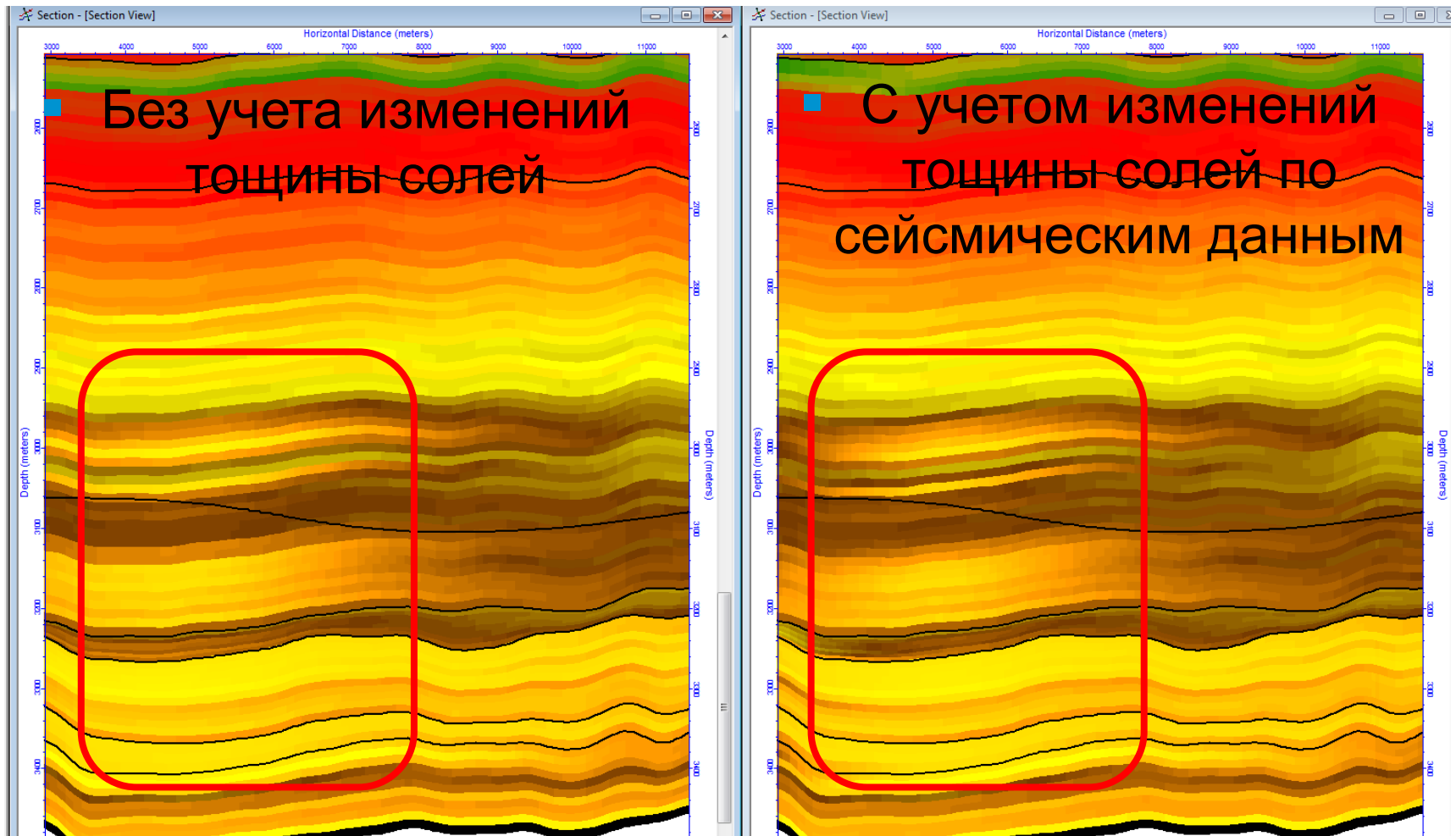
Планируемые скважины

Планируемые скважины



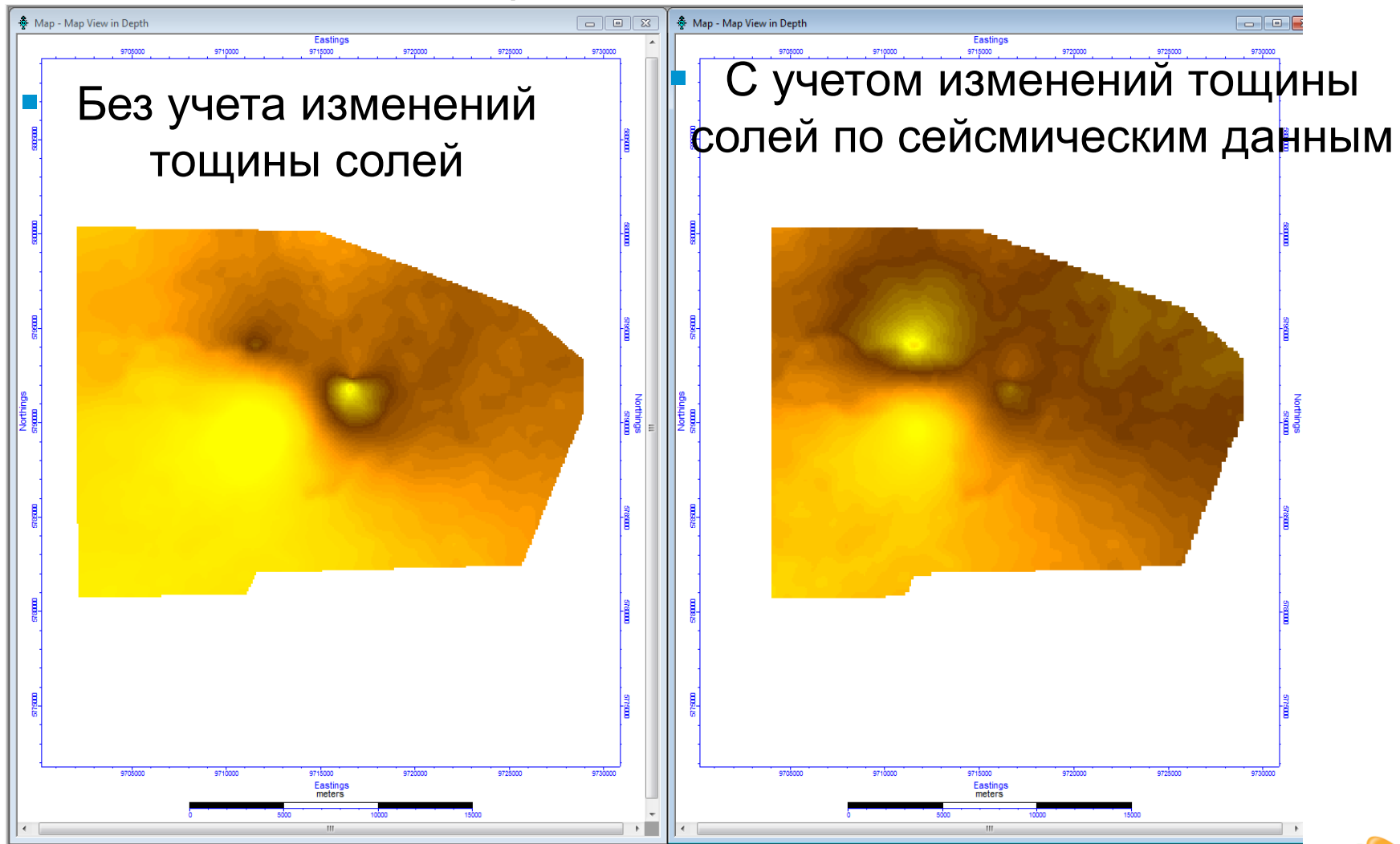
Влияние структурного каркаса

- Напряжение на сдвиг



Влияние структурного каркаса

- Напряжение на сдвиг



3D геомеханическая модель



Геомеханические параметры

- **Модуль Юнга**

$$E [\text{ГПа}] =$$

$$\frac{\rho V_S^2 (3V_P^2 - 4V_S^2)}{V_P^2 - V_S^2}$$

- **Статический модуль Юнга**

- **Коэффициент Пуассона**

$$\nu =$$

$$\frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2)}$$

- **Горное давление**

$$P_v = \rho g H$$

- **Поровое давление**

$$P_p = \rho_f g H$$

- **Коэффициент хрупкости**

$$\text{Britt} = (100 \cdot (E_s - E_{s\min}) / (E_{s\max} - E_{s\min}) + 100 \cdot (\nu - \nu_{\max}) / (\nu_{\min} - \nu_{\max})) / 2$$

- **Коэффициент прочности на сжатие**

$$\text{USC} = ((7682 / (DT / 3.2808))^{1.82}) / 145$$



Геомеханические параметры

- **Минимальное горизонтальное напряжение**

$$Sh = (Poi/(1-Poi))*(Pv - \alpha * Pp) + \alpha * Pp + TEC$$

TEC = тектонический фактор,
 α - коэффициент Био

- **Максимальное горизонтальное напряжение**

$$SH_{max} = Sh + 0.2 * (Pv - Sh)$$

- **Среднее эффективное напряжение**

$$P' = (Pv + 2 * Sh) / 3$$

- **Напряжение на сдвиг**

$$q = (Pv - 0.8 * Sh)$$

- **Давление гидроразрыва**

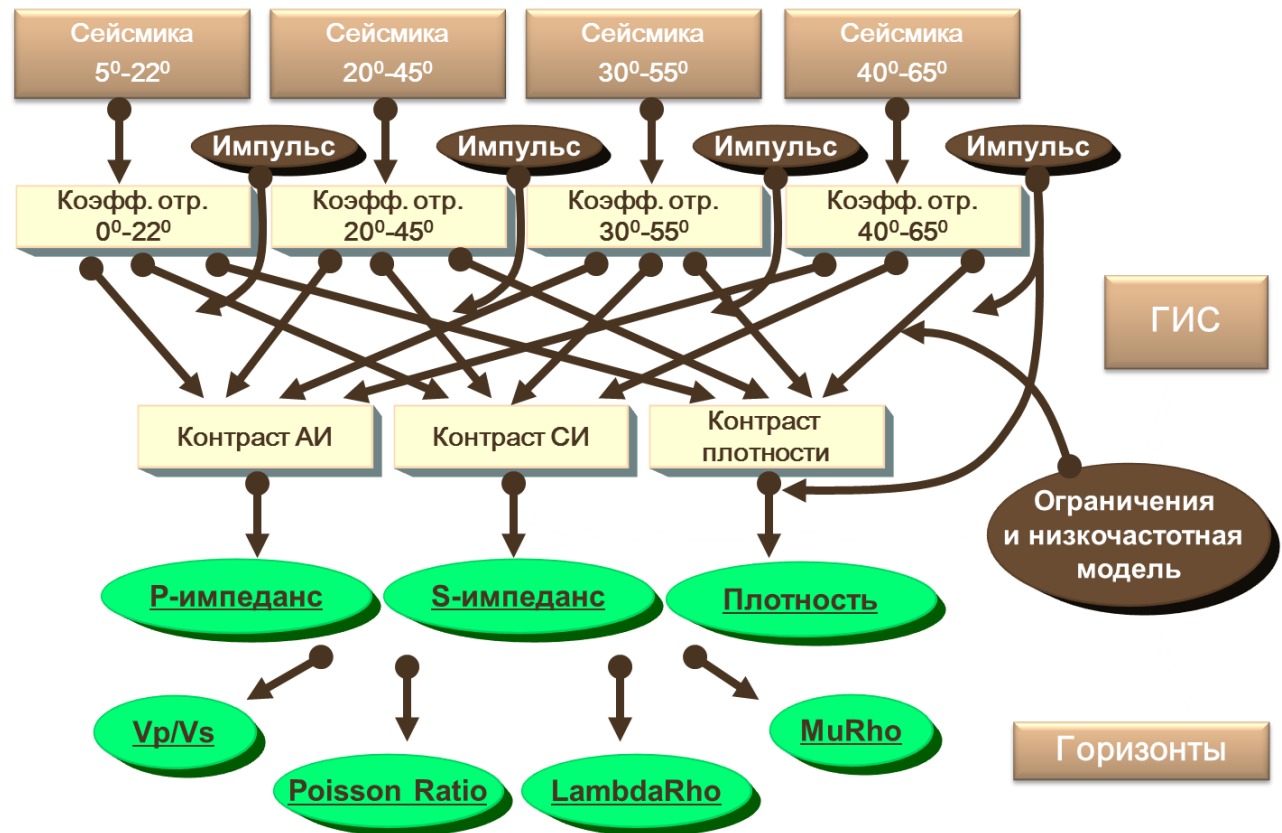


Что может дать сейсморазведка для геомеханической модели

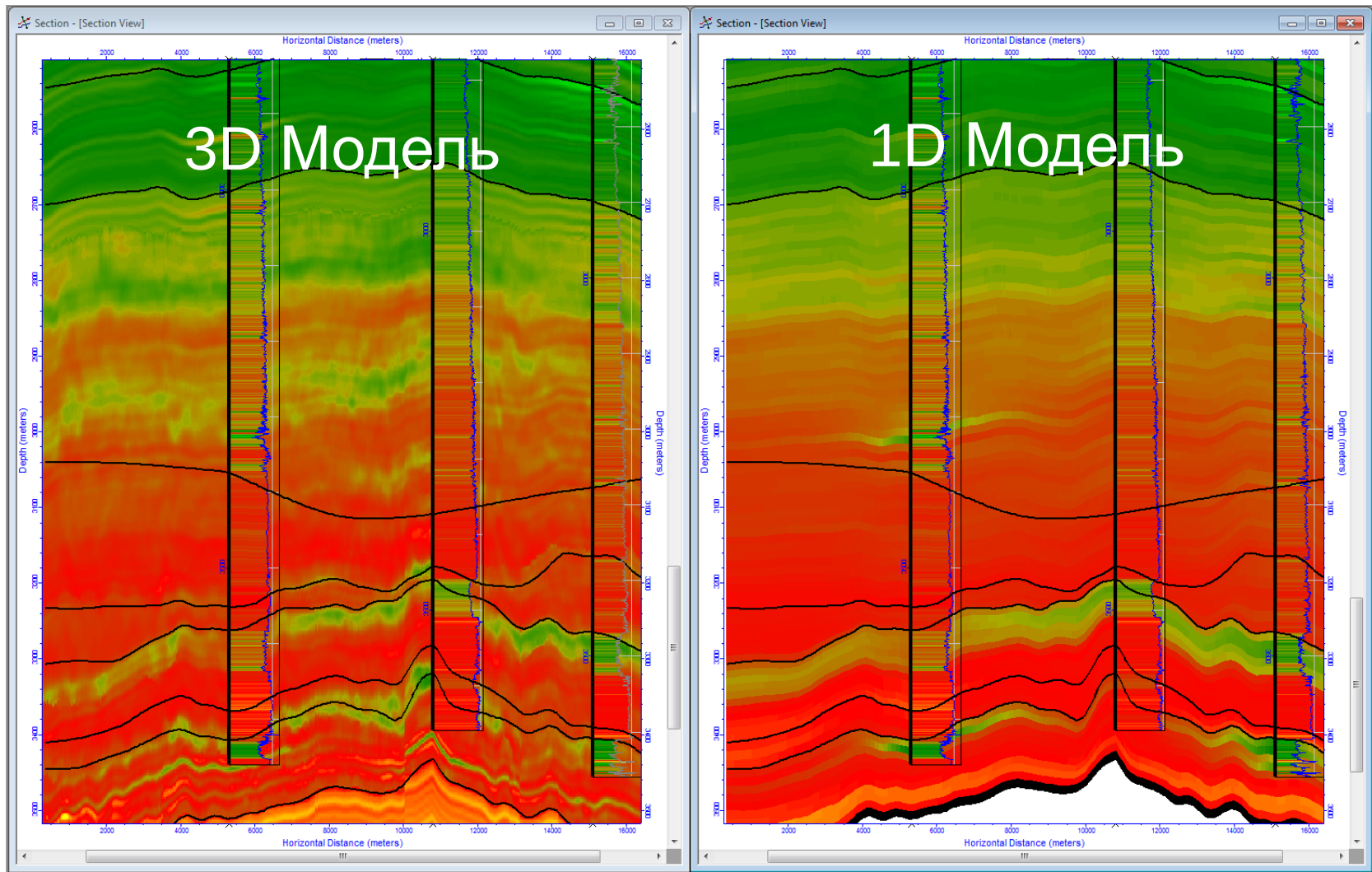
В основе всех оценок:

- V_p
- V_s
- Плотность

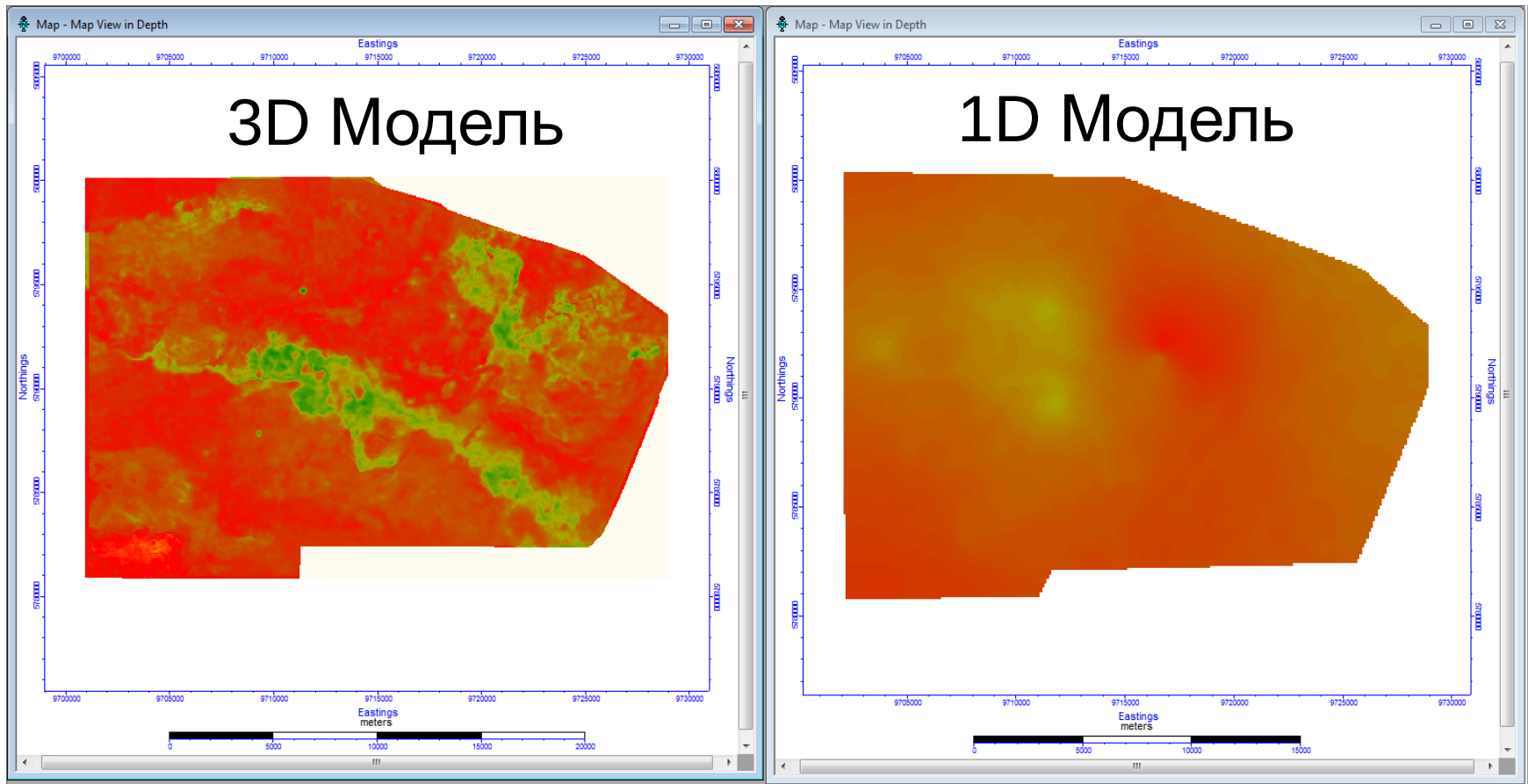
Синхронная инверсия



Сопоставление 1D и 3D моделей



Сопоставление 1D и 3D моделей



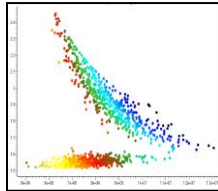
Алгоритм геостатистической инверсии

Гипотезы

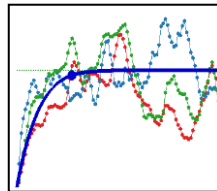
Геология



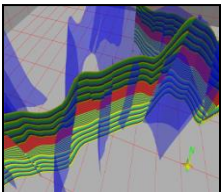
Рок-физика



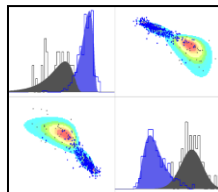
Геостатистика



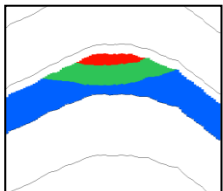
Страт. сетка



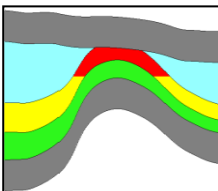
Многомерные PDF



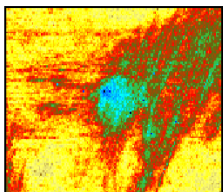
**Данные о контактах
флюидов**



Пропорции фаций

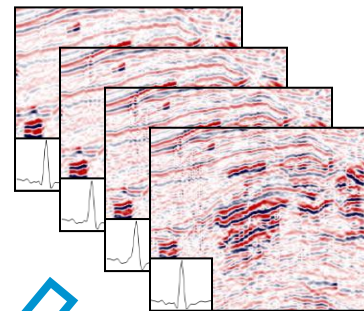


Соотношение сигнал/шум

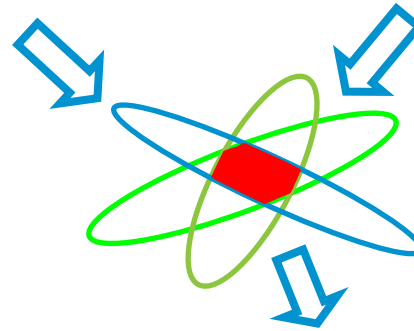
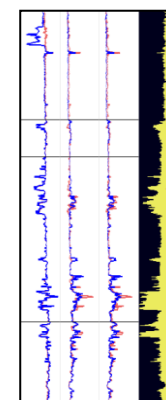


Наблюдения

Сейсмика и импульсы



Скважины



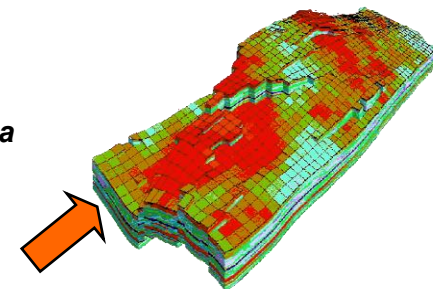
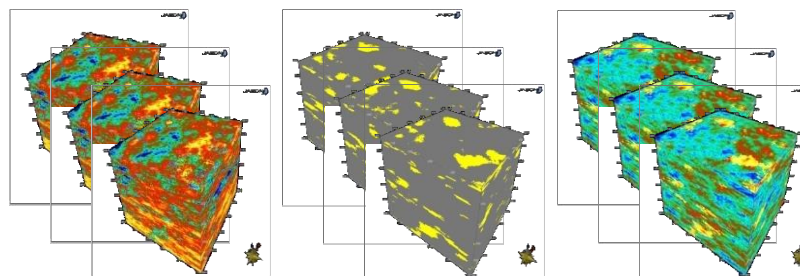
**Геологическая и
геомеханическая модель**

Достоверная модель резервуара

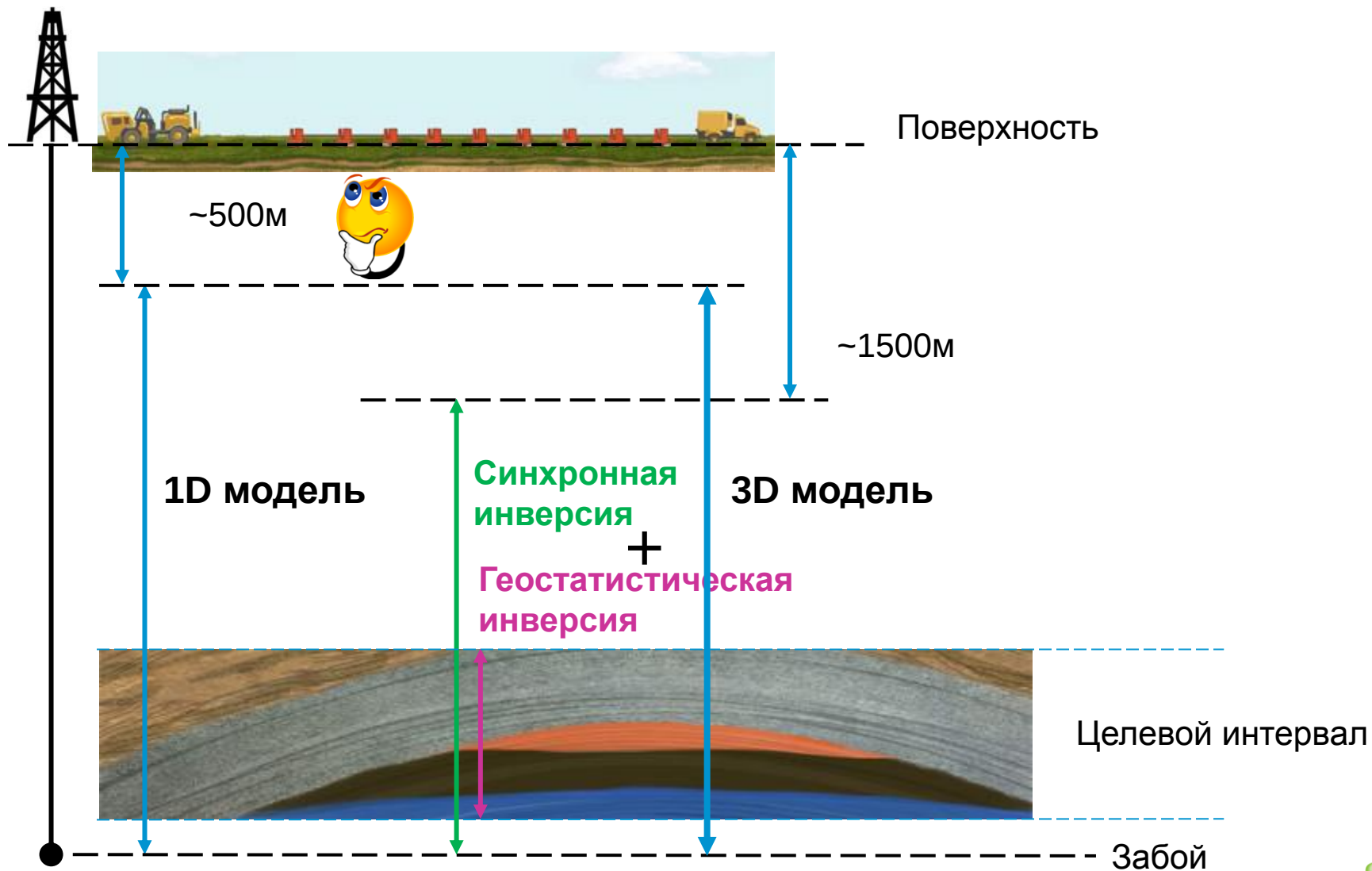
Упругие свойства

Фации

Инженерные свойства



Интервал построения геомеханической модели



Полная 3D геомеханическая модель



Предпосылки к изучению анизотропии по сейсмическим данным

- Ориентированность напряженного состояния среды вызывает анизотропию *упругих* характеристик среды
- Чем *больше плотность трещин*, тем *сильнее анизотропия*
- Возможности прогноза зон повышенной трещиноватости зависят от того, насколько сильно влияет анизотропия на кинематику и динамику волнового поля



Анизотропная инверсия:

Теоретические основы метода

Уравнение Рюгера

$$R_p(\theta) = R_0 + R_2 \sin^2 \theta + R_4 \sin^2 \theta \tan^2 \theta$$

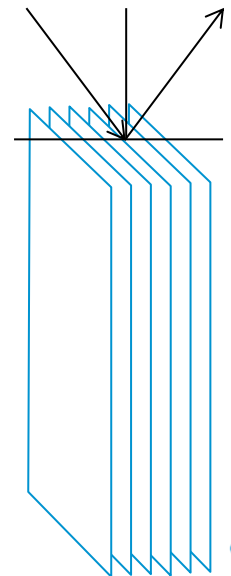
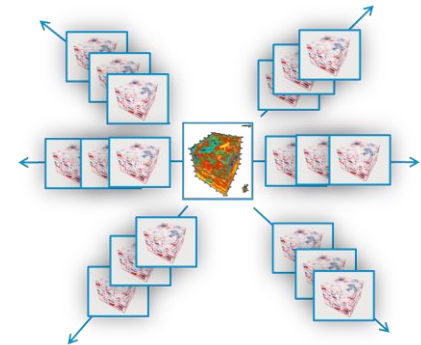
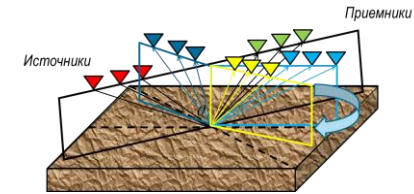
Коэффициенты уравнения Рюгера

$$R_0 = \frac{1}{2} \frac{\Delta Z_p}{\bar{Z}_p}$$

$$R_2 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{\bar{V}_p} - \left(\frac{2\bar{V}_s}{\bar{V}_p} \right)^2 \frac{\Delta G}{\bar{G}} + \left\{ \Delta\delta + 8 \left(\frac{\bar{V}_s}{\bar{V}_p} \right)^2 \Delta\gamma \right\} \cos^2(\omega - \phi) \right]$$

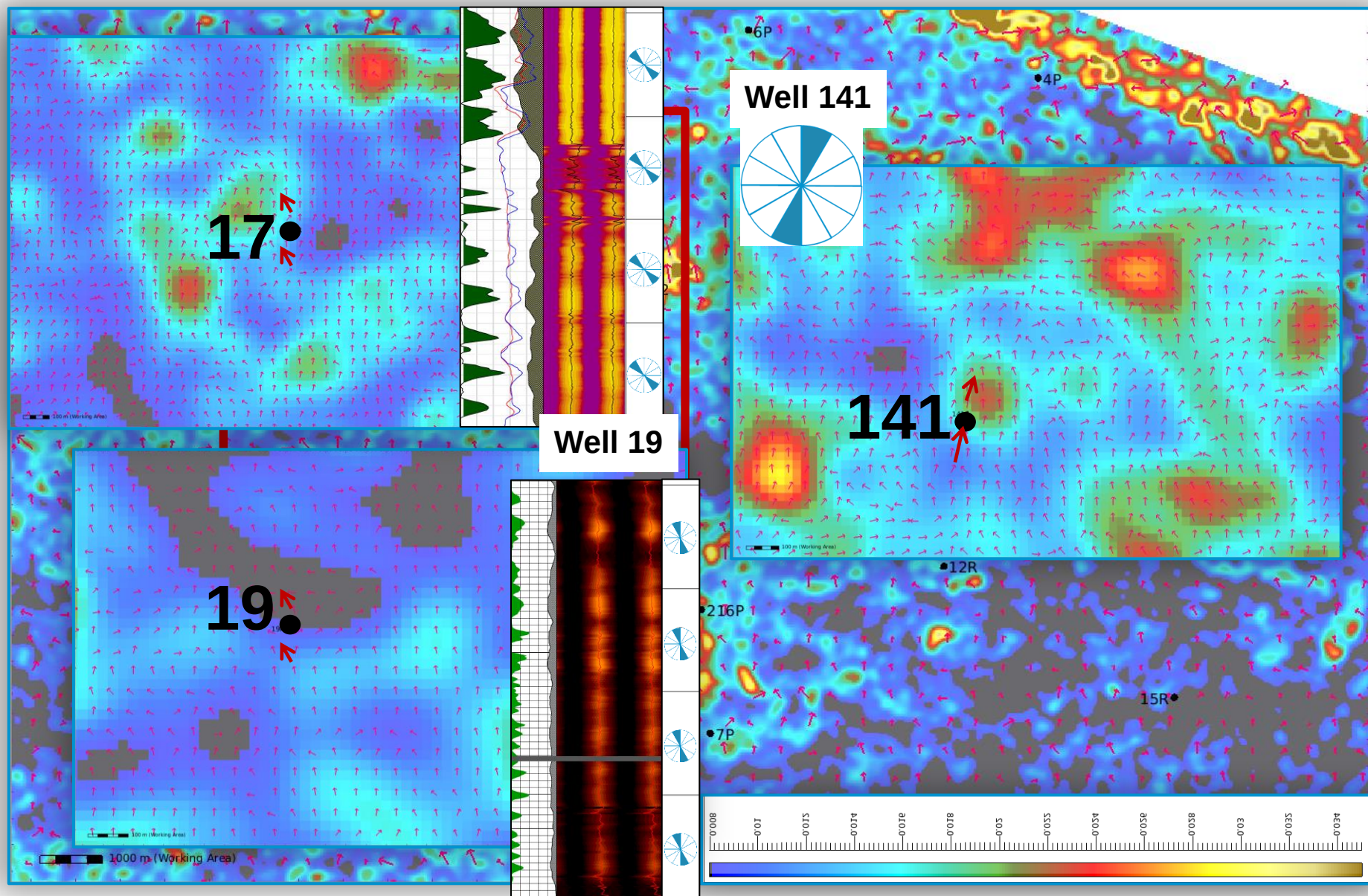
$$R_4 = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta V_p}{\bar{V}_p} + \Delta\epsilon \cos^4(\omega - \phi) + \Delta\delta \sin^2(\omega - \phi) \cos^2(\omega - \phi) \right]$$

Патент компании CGG на параметризацию и решение уравнения Рюгера через связь изотропных и анизотропных упругих параметров

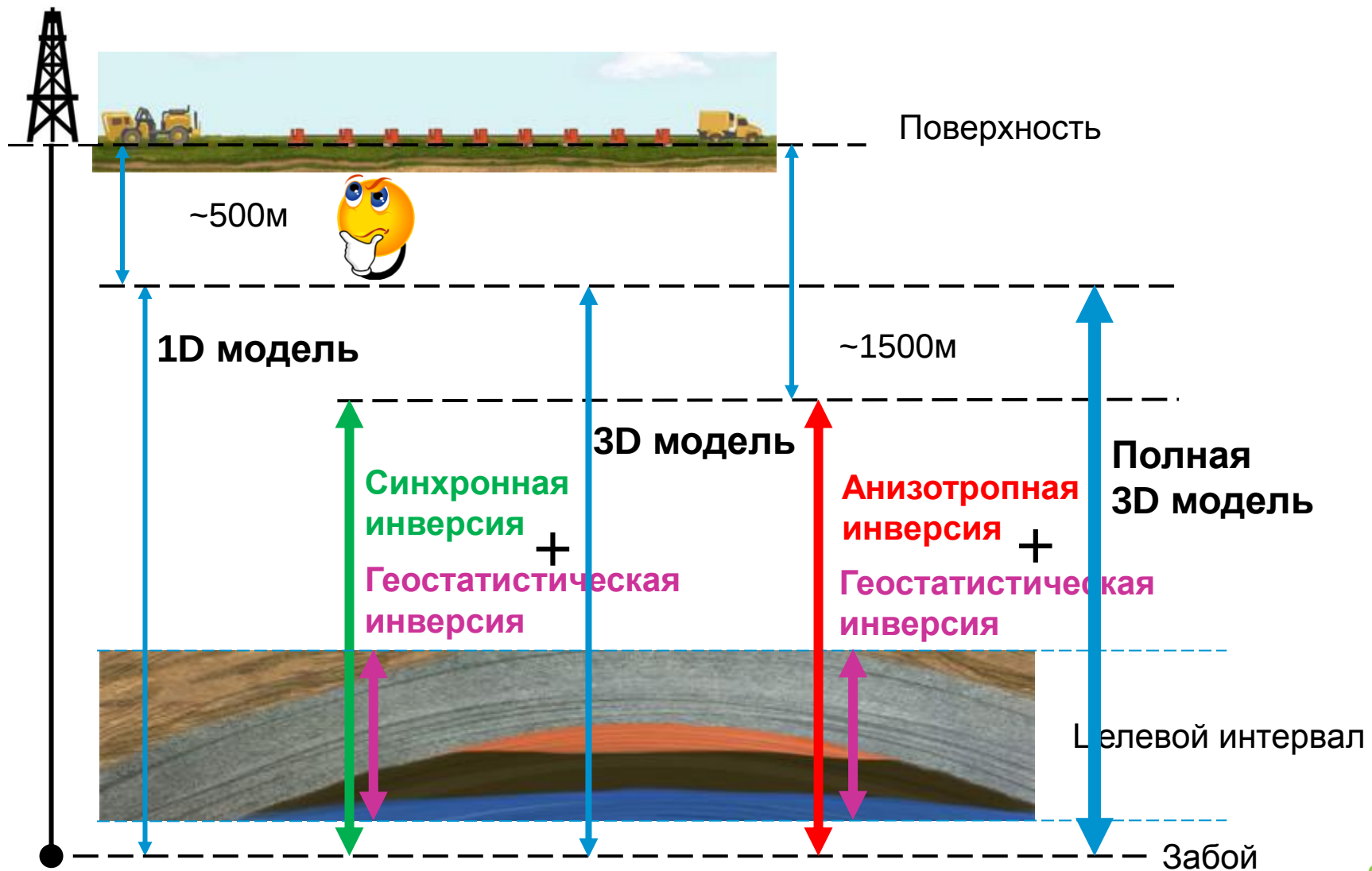


Результаты азимутальной синхронной инверсии

Well 17

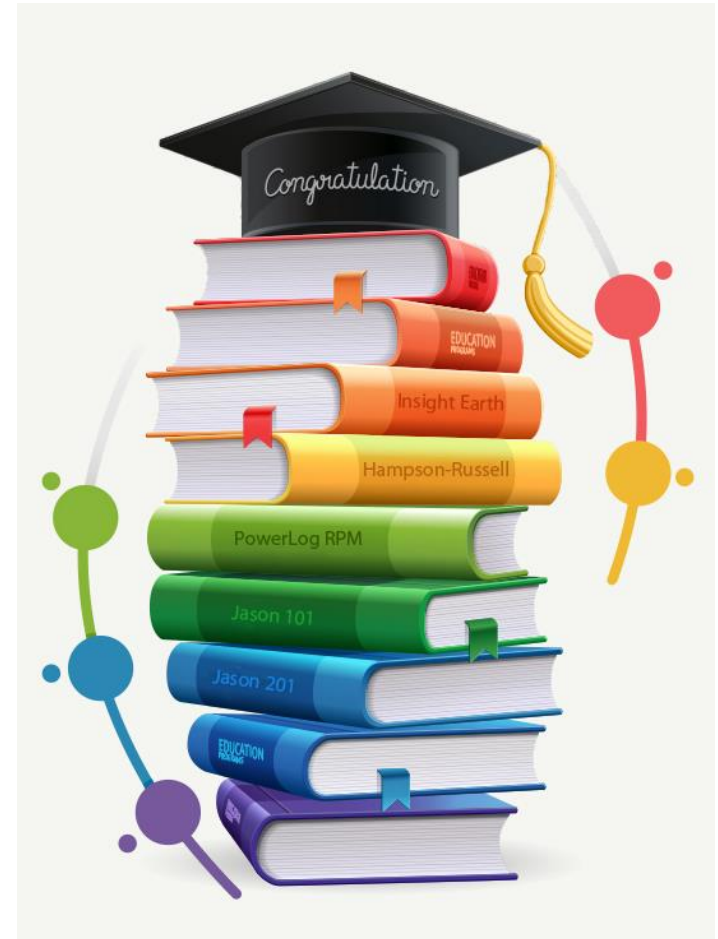


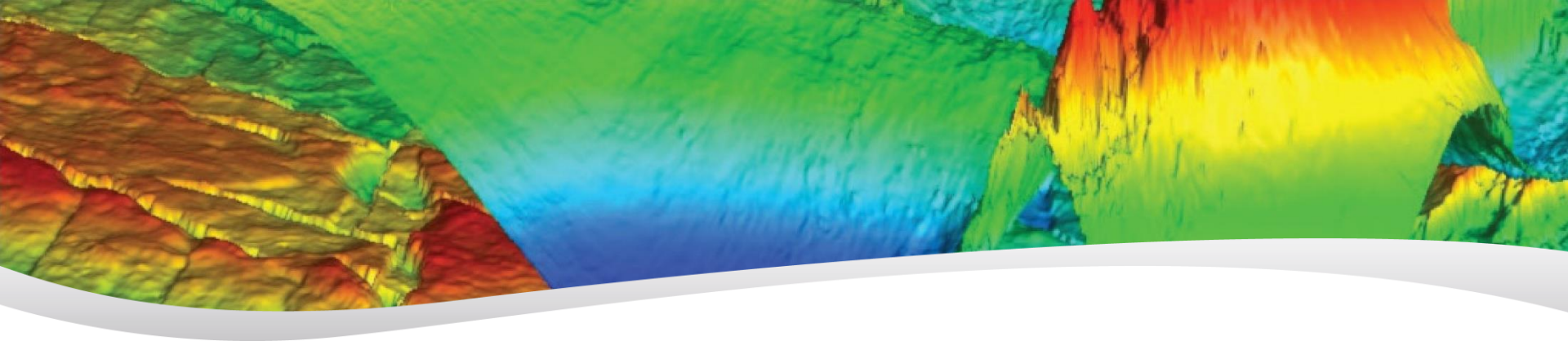
Интервал построения геомеханической модели



Приглашаем Вас на курсы компании CGG

- ✓ Практический семинар по технологии создания петрофизической основы для прогноза свойств резервуара с использованием сейсмической инверсии
- ✓ 19-23 октября 2015
- ✓ Москва, Шаболовка 31Б





Спасибо за внимание!