

РОЛЬ ПЕТРОФИЗИКИ И РОК-ФИЗИКИ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

(На примере пласта Дкт Оренбургского региона)

Некрасова Т.В.

Tatyana.Nekrasova@CGG.com

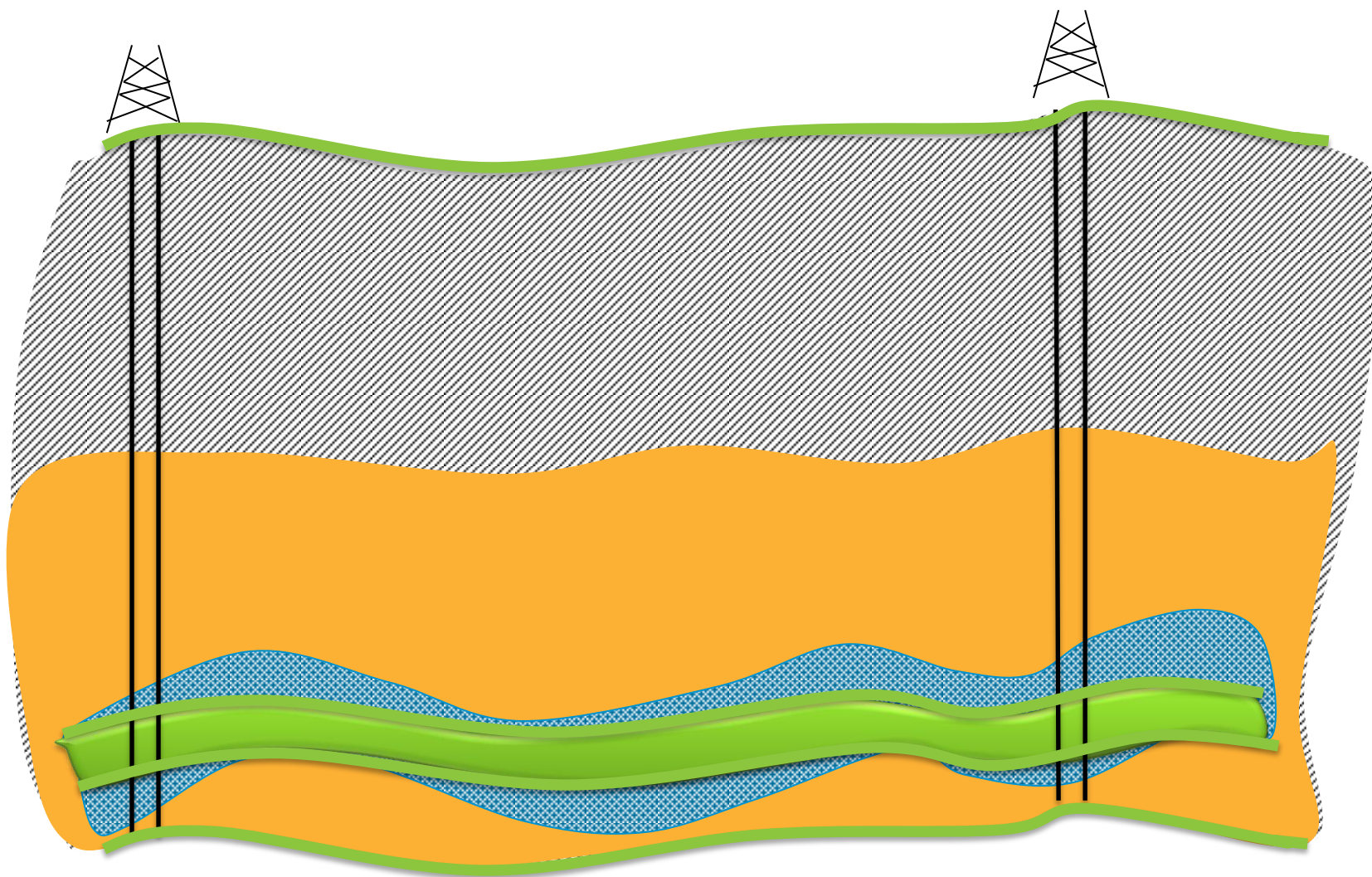


Passion for Geoscience

IV БАЛТИЙСКАЯ ШКОЛА СЕМИНАР
ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСАДОЧНЫХ
ПОРОД







Нэф, Кп, Кпр, Кв AI , Vp/Vs , ρ , литология Pv , Pp , σ_h , σ_H , Est, v



Петрофизическая интерпретация как комплексный подход в оценке геомеханических параметров



Объект исследования и исходная информация



Комплекс ГИС

Комплекс ГИС по исследуемым скважинам

Well	CALI	GK	NK	RHOB	PE	SP	PZ	LLD	ILD	MINV	MNOR	MLLD	GZ1-GZ5	DTP	DTS
Скважины	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+		+	+
	+	+	+	+		+	+	+		+	+	+	+	+	+
	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

CALI - каверномер

GK- гамма-каротаж

NK – нейтронный каротаж

RHOB – плотностной метод

PE – фотоэлектрический фактор

SP – метод потенциалов собственной поляризации

PZ – потенциал зонд

LLD – боковой каротаж

ILD – индукционный метод

MINV – микроградиент зонд

MNOR – микропотенциал зонд

MLLD – микробоковой метод

GZ1-GZ5 – боковое электрическое зондирование

DTP – акустический каротаж по продольным волнам

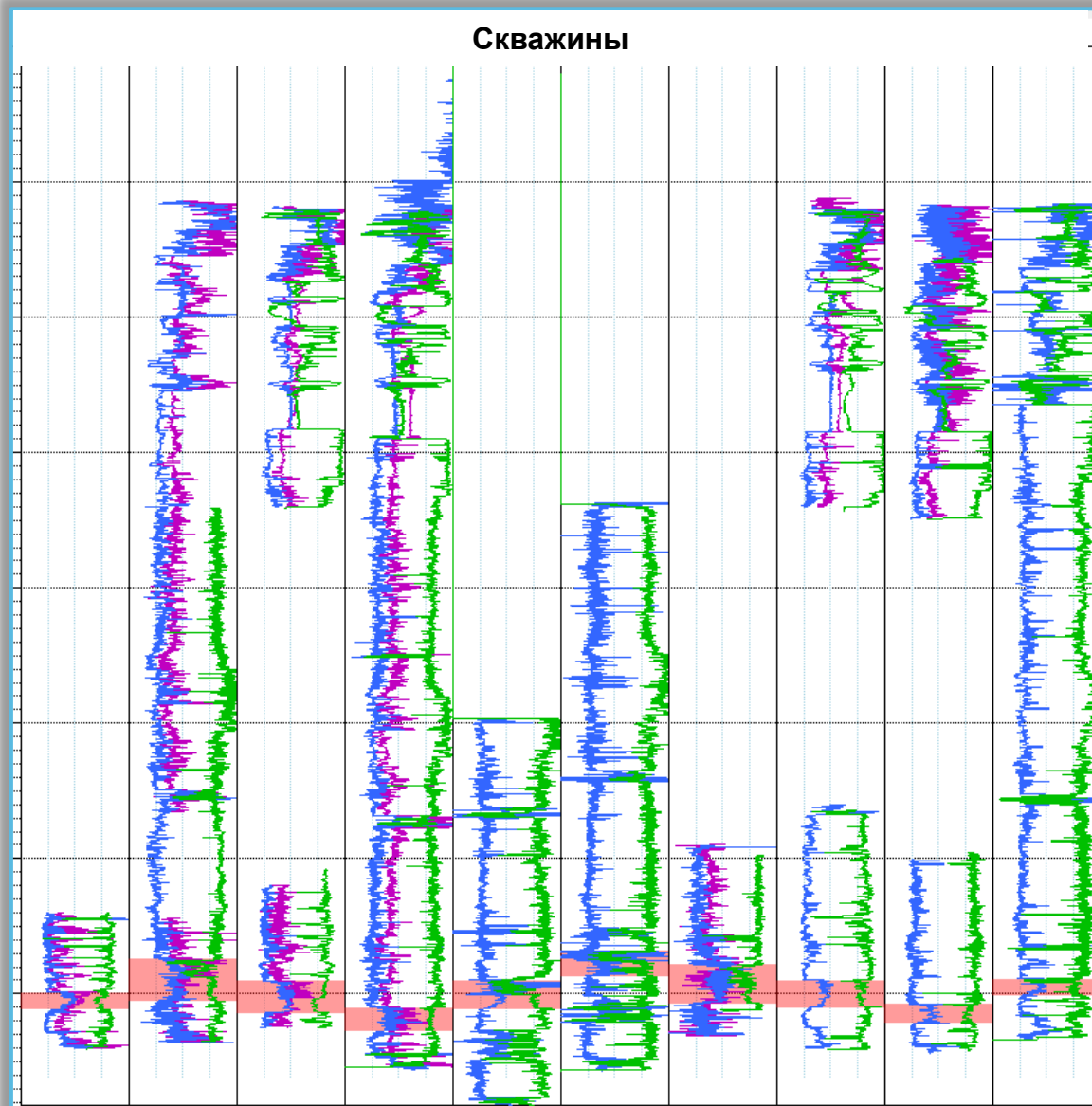
DTS – акустический каротаж по поперечным волнам

Расширенные исследования ГИС:

- ядерно-магнитный каротаж
- импульсный нейтрон-нейтронный каротаж
- кросс-дипольный акустический каротаж



Исходные данные акустического и плотностного методов



Плотностной каротаж

Акустический каротаж
по продольным
волнам

Акустический каротаж
по поперечным
волнам

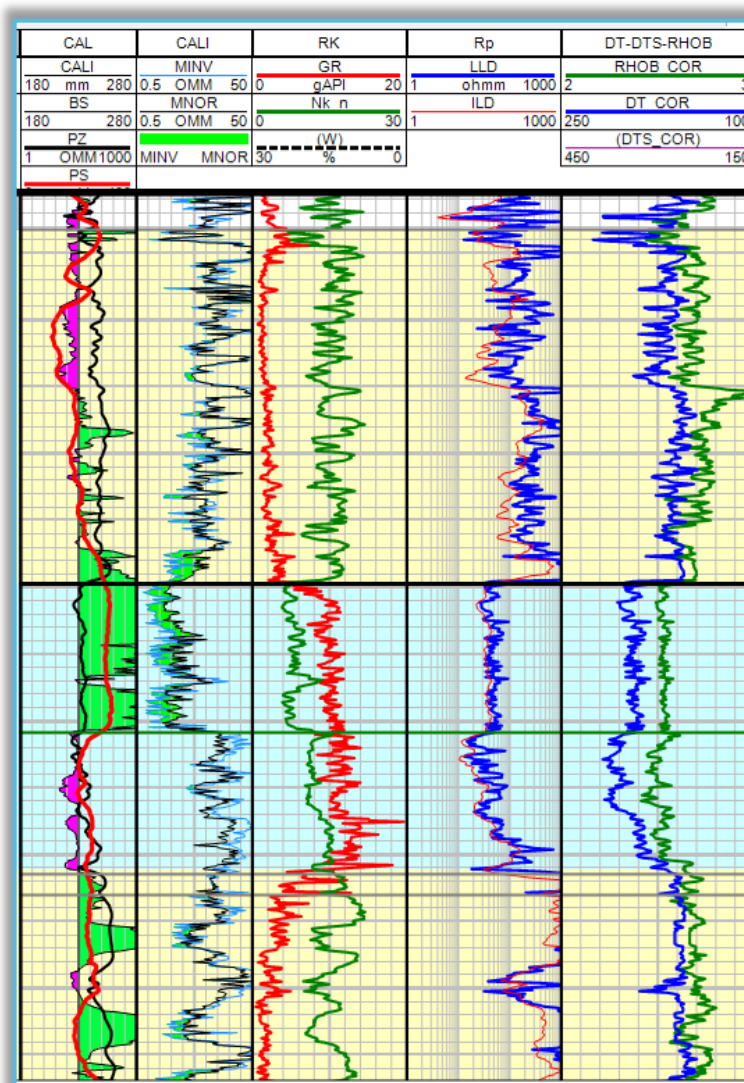
Интервал Дкт



Интерпретация данных ГИС



Интервал интерпретации



Интервал
пласта Дкт

Интервал интерпретации



Интерпретация данных ГИС

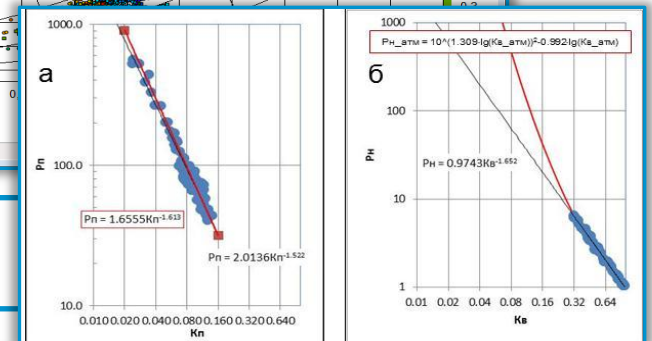
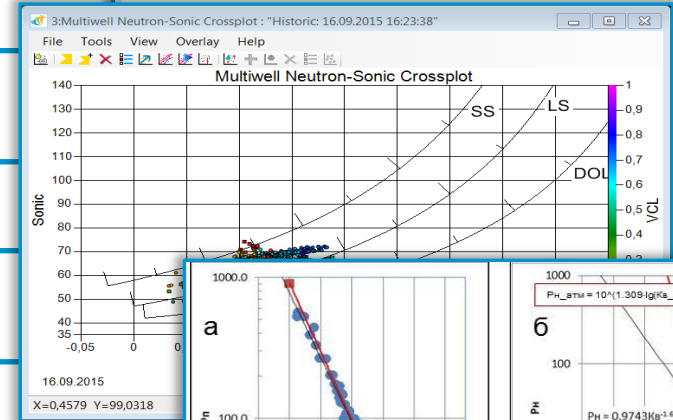
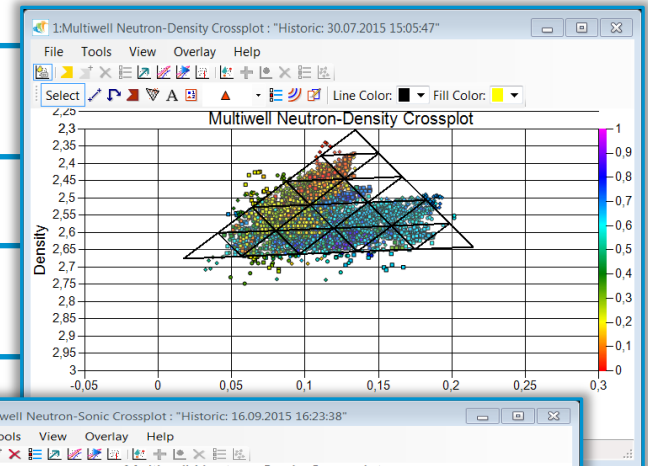
Расчет интерпретационных параметров: W, ДГК

Оценка глинистости: ГК, W+ГГКп, СП

Оценка минеральных компонент породы: АК+W

Оценка пористости: АК+W

Оценка насыщения:
Уравнения Дахнова-Арчи



Результат интерпретации – объемная петрофизическая модель (в поточечном варианте)



Интерпретация данных ГИС

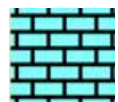
Результат интерпретации



Объемная
глинистость



Объемное
содержание
кварца + ПШ



Объемное
содержание
кальцита



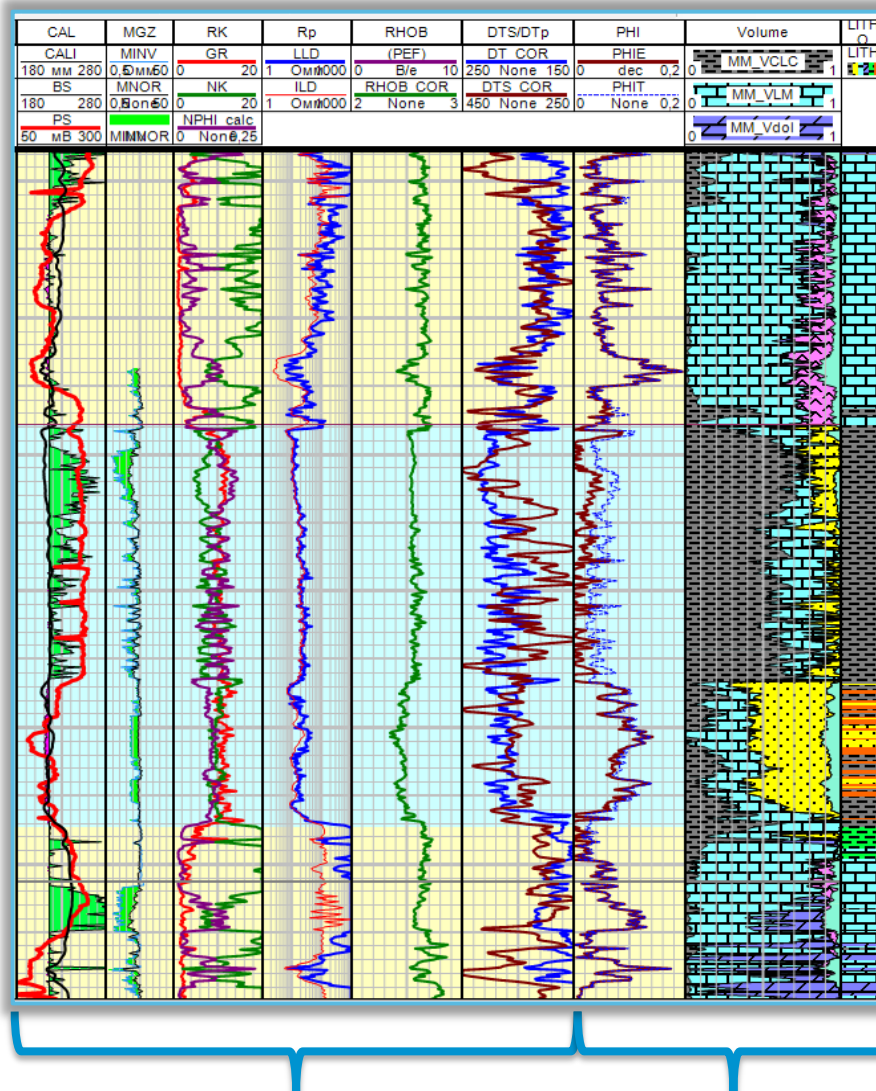
Объемное
содержание
доломита



Объемное
содержание
ангидрита



Пористость
породы



Комплекс ГИС

Результат интерпретации



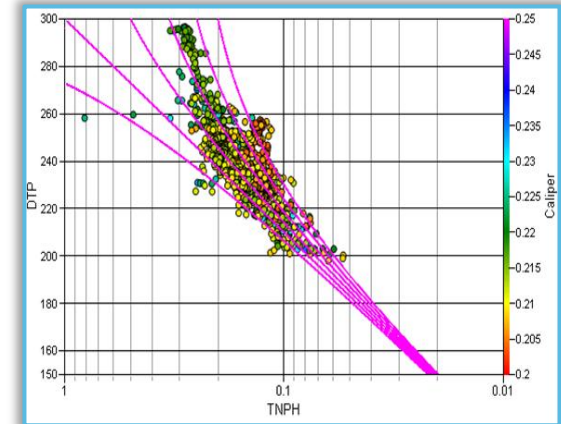
Моделирование упругих свойств



2 этапа моделирования

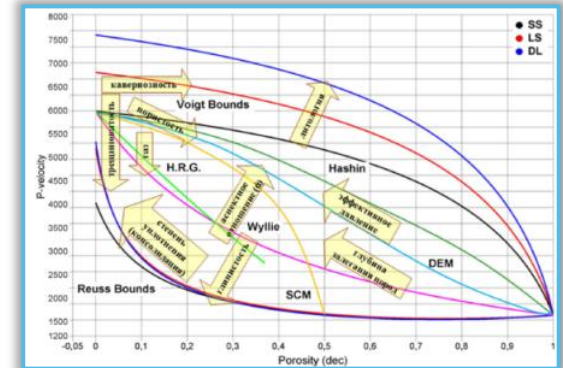
■ Эмпирическое моделирование :

- **Задачи:** коррекция в интервалах размыва ствола скважины и синтезирование кривых плотности и скорости продольных и поперечных волн в интервалах отсутствия записи
- **Цель:** оценка сейсмического импульса, надежная привязка сейсмических и каротажных данных, оценка геомеханических параметров по всему стволу скважины.

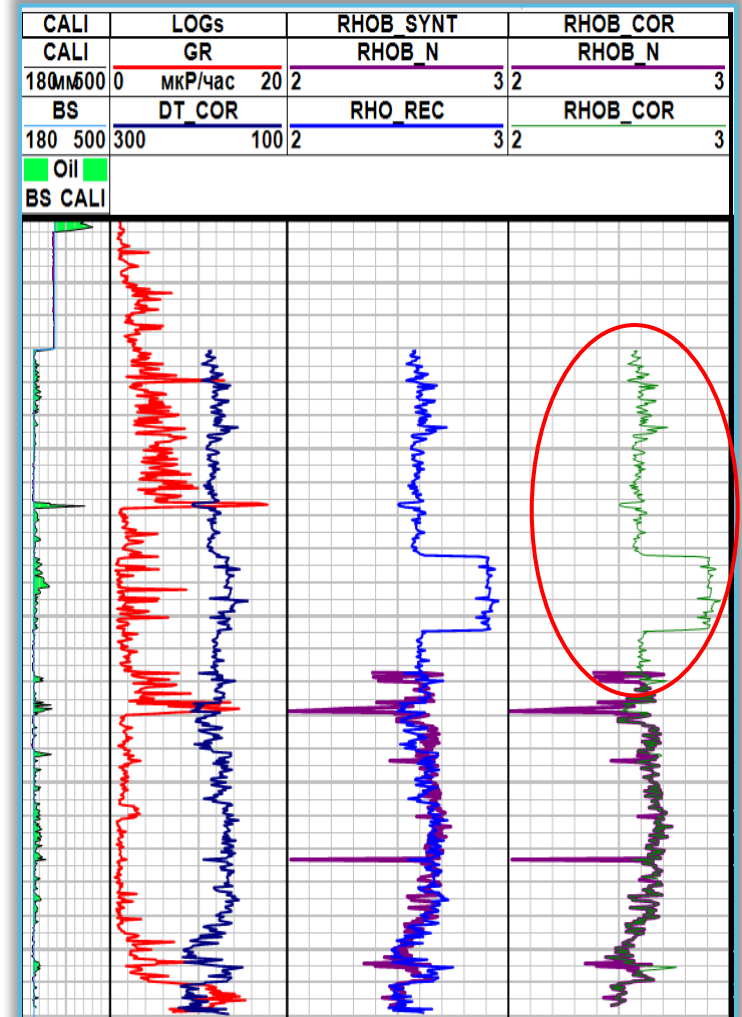
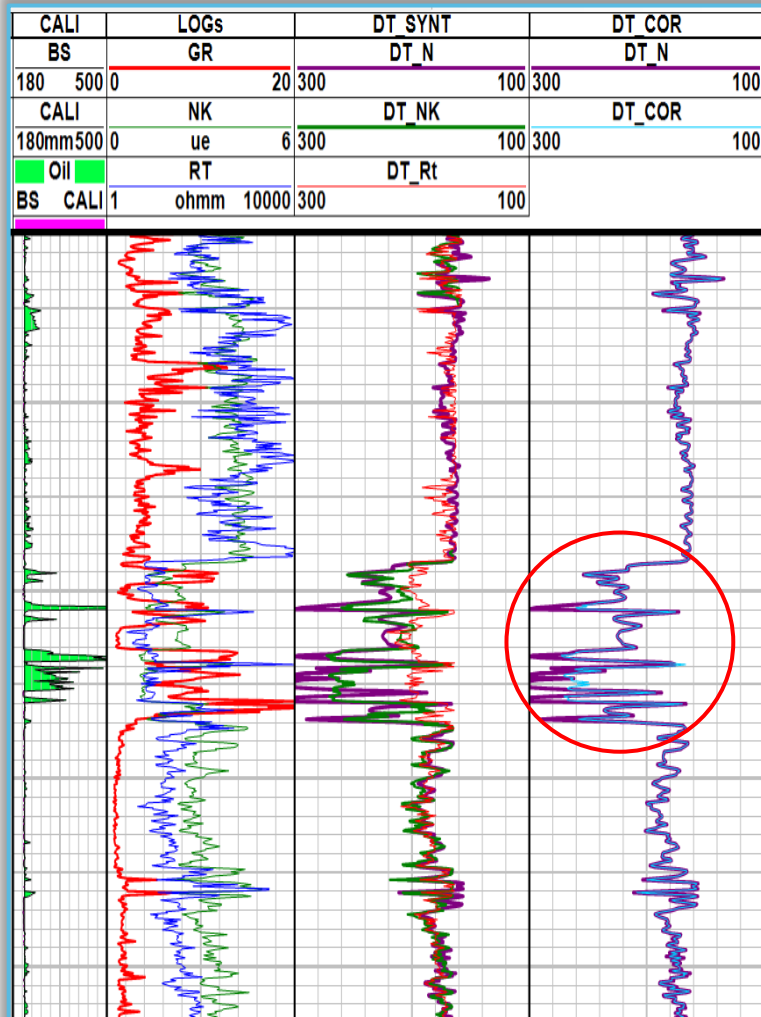


■ Теоретическое моделирование :

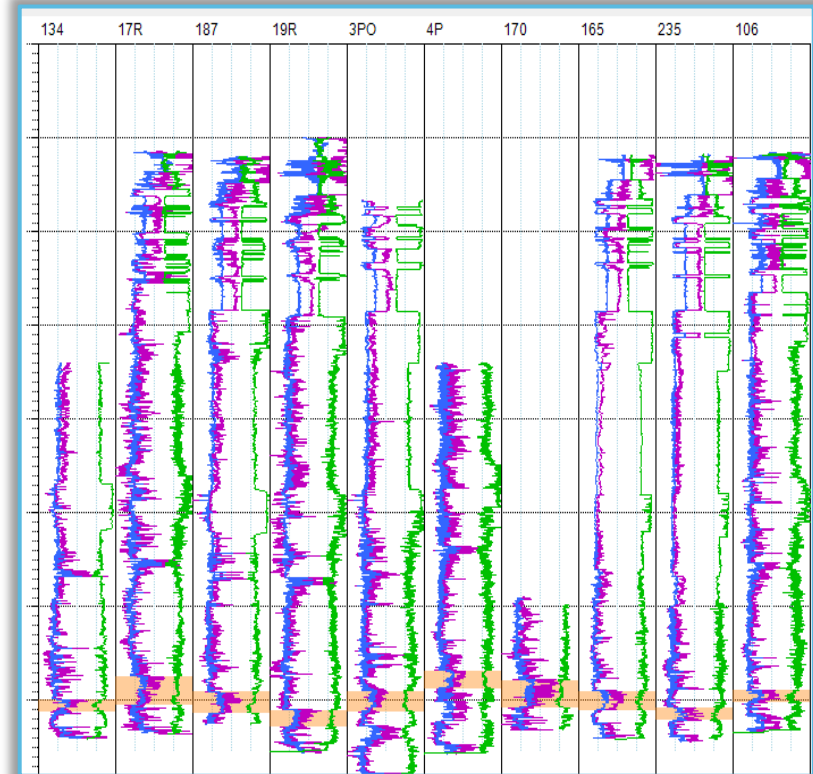
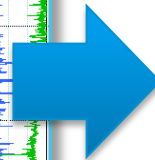
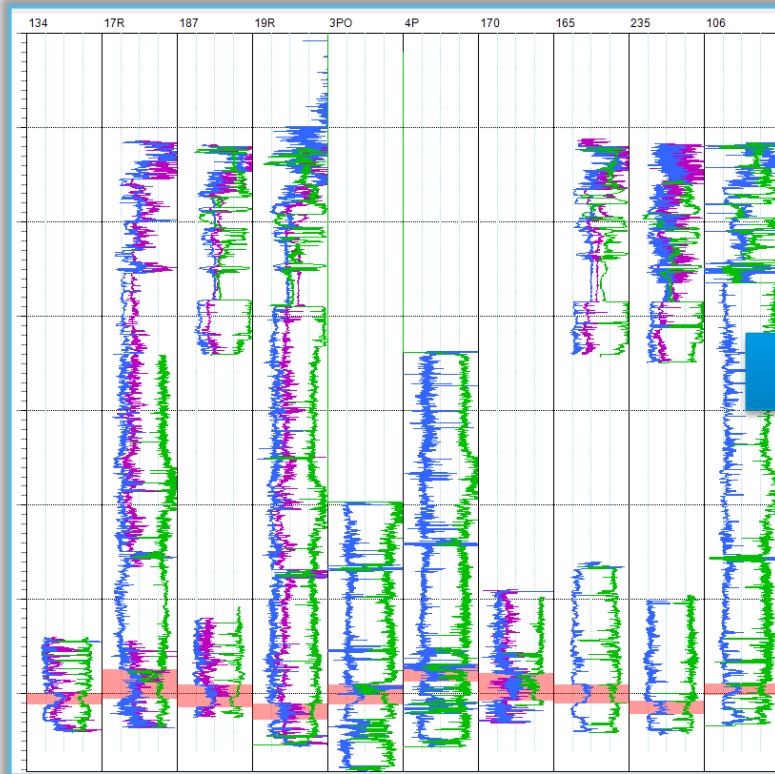
- **Задачи:** детальное моделирование упругих свойств горных пород, основанное на строгих теоретических подходах рок-физики.
- **Цель:** необходимая информация при интерпретации сейсмической инверсии, детальная оценка геомеханических свойств (для выполнения дизайна ГРП)



Эмпирическое моделирование упругих свойств



Эмпирическое моделирование упругих свойств



Плотностной каротаж

Акустический каротаж
по продольным
волнам

Акустический каротаж
по поперечным
волнам

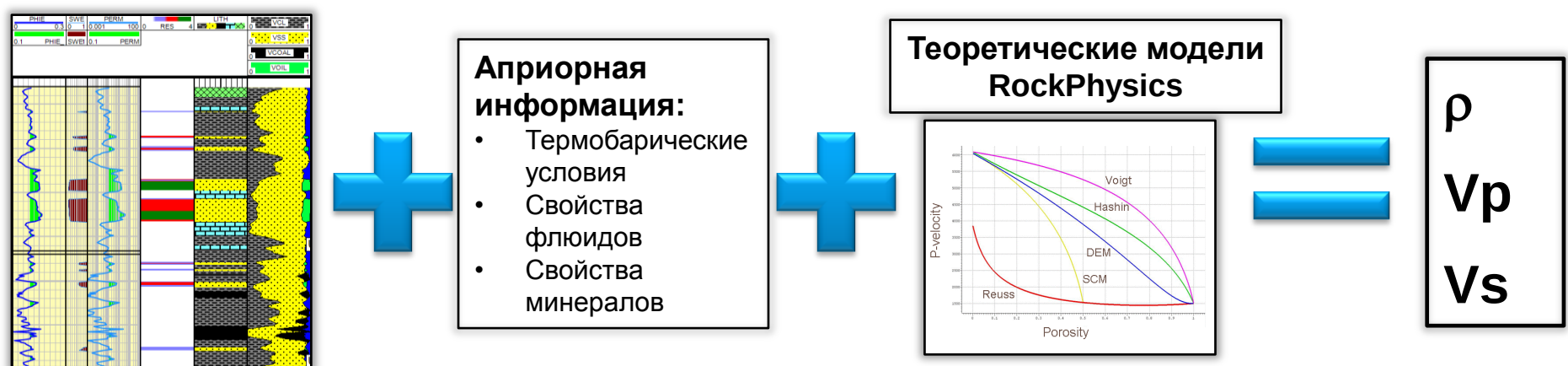


Интервал Dkt

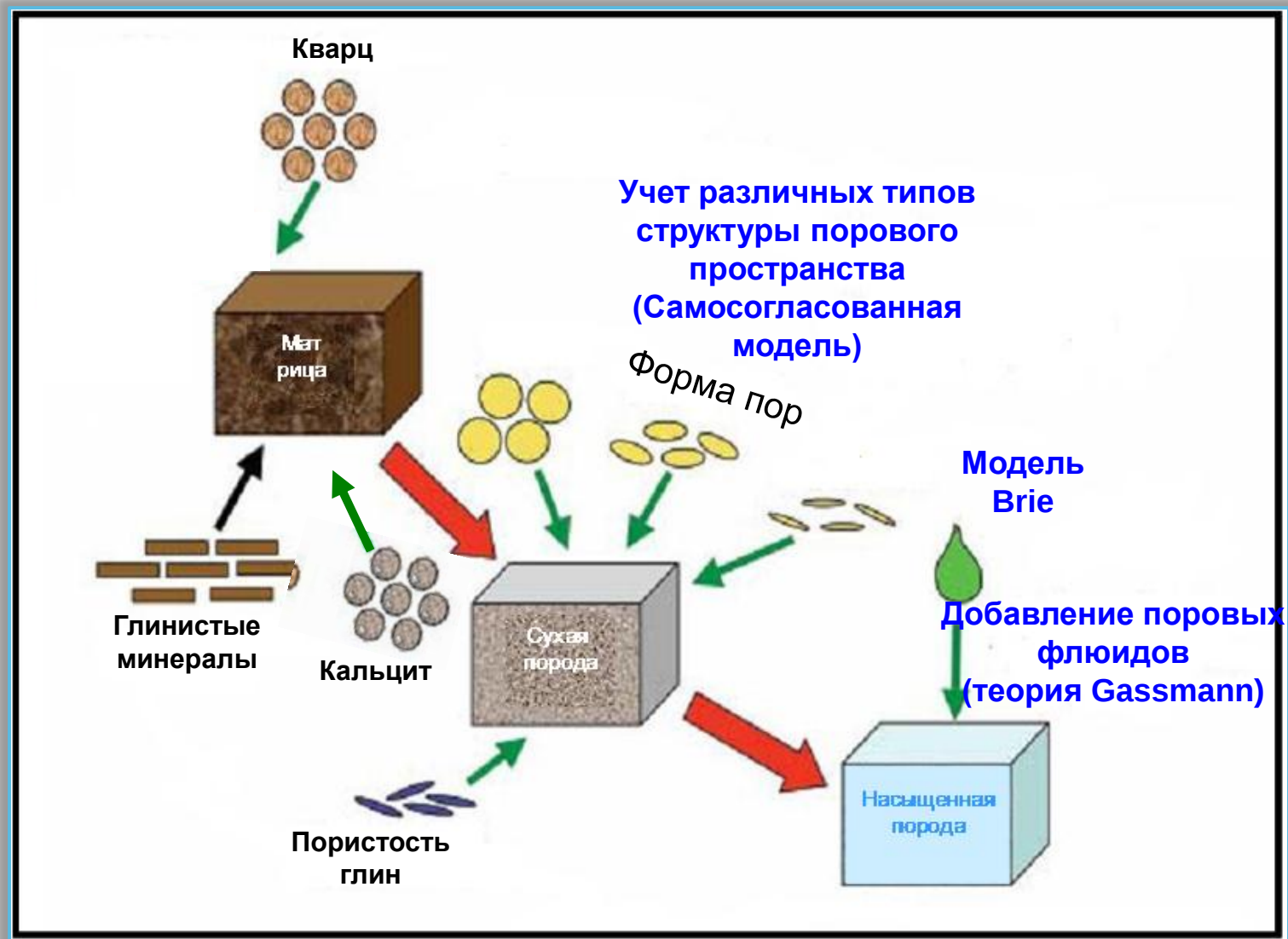


Теоретическое моделирование упругих свойств

- Используя объемную петрофизическую модель, полученную при интерпретации данных ГИС, априорную информацию о месторождении и теоретические подходы RockPhysics получить качественные кривые плотности, скорости продольных и поперечных волн.

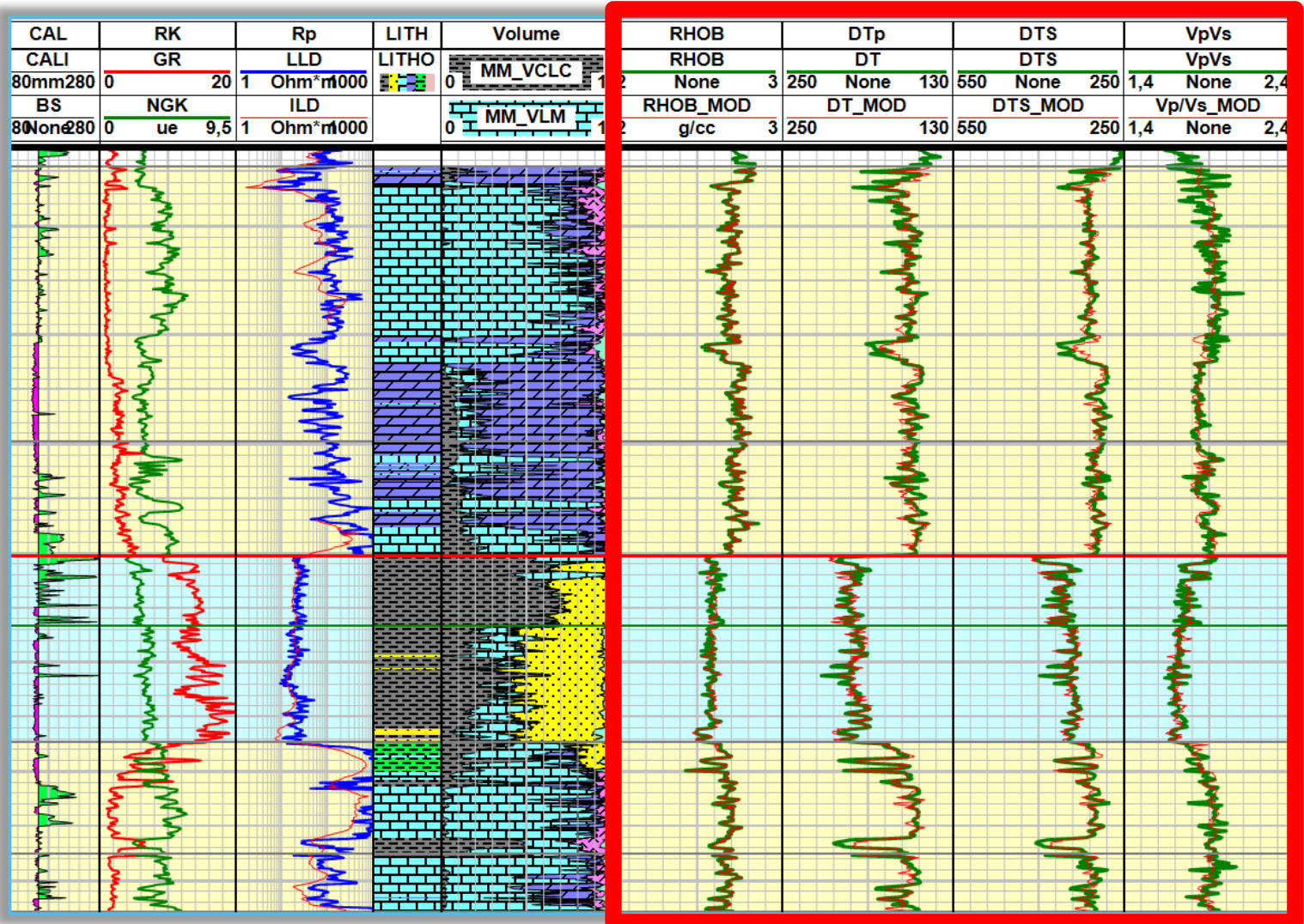


Этапы теоретического моделирования упругих свойств



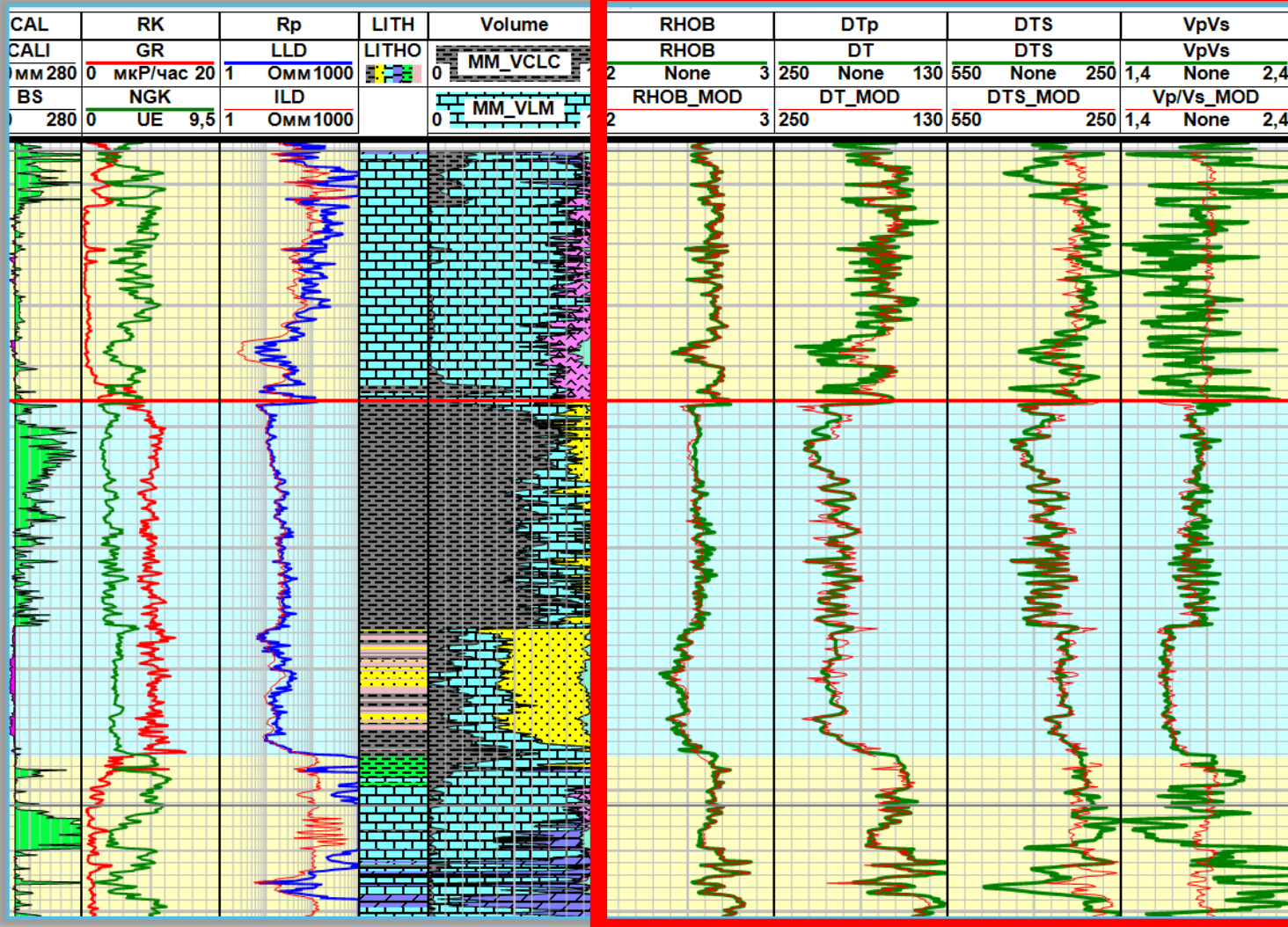
Моделирование упругих свойств

Результаты моделирования. Скважина 1



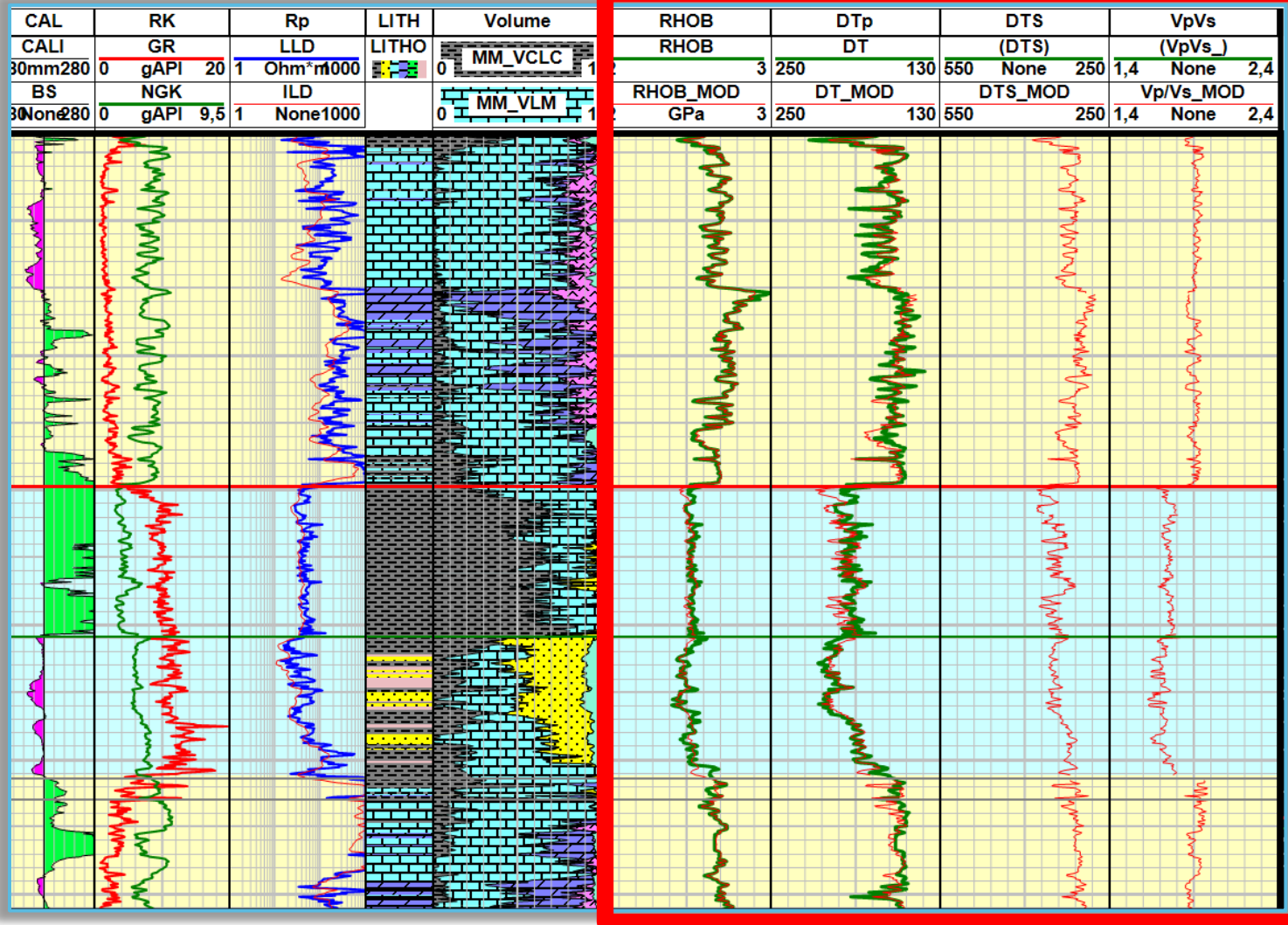
Моделирование упругих свойств

Результаты моделирования. Скважина 2



Моделирование упругих свойств

Результаты моделирования. Скважина 3

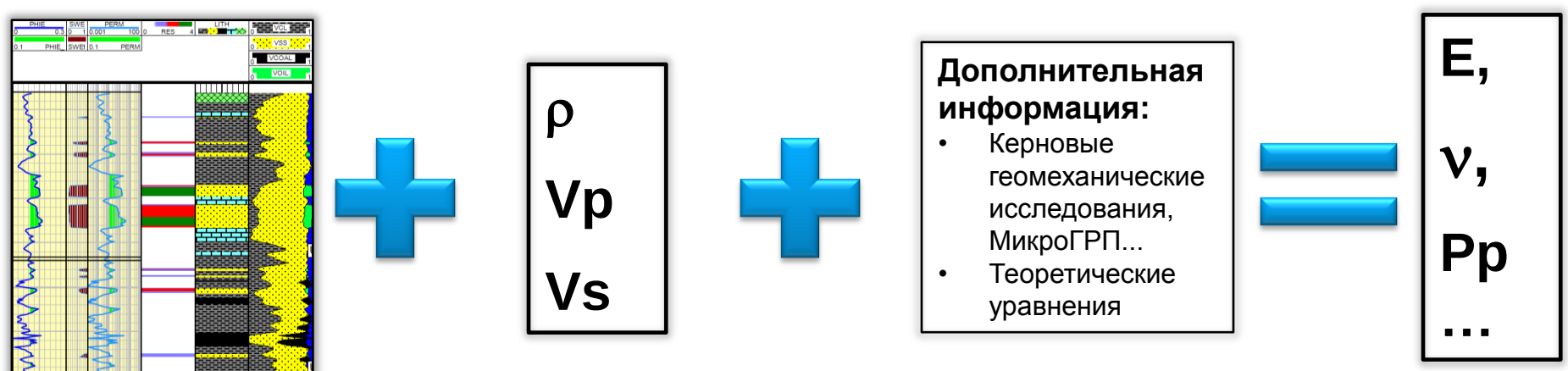


Оценка геомеханических параметров



Цель

- Используя результаты интерпретации и результаты моделирования упругих свойств мы можем получить в каждой скважине набор геомеханических параметров, необходимых при дизайне ГРП, таких как модуль Юнга, коэффициент Пуассона и т.д.

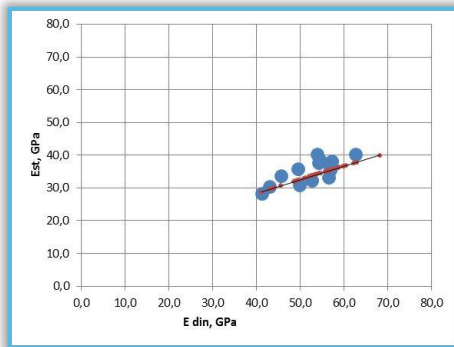


Геомеханические параметры

■ Модуль Юнга

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{V_p^2 - V_s^2}$$

■ Статический модуль Юнга



Сопоставление динамического и статического модуля Юнга для пласта Дкт по керновым данным

$$E_s = 10^6 * (0.018 * (E/10^6)^2 + 0.422 * E/10^6)$$

Для всего интервала (уравнение Lacy)

$$E_s = 10^{2.137 + 0.6612 * \log(E)}$$

Для интервала Дкт+вышележащие глины (уравнение Morales)

■ 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

$$P_p = \rho_{fl} g H$$

■ Коэффициент хрупкости

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



Геомеханические параметры

- **Минимальное горизонтальное напряжение**

$$Sh = (v/(1-v)) * (P_v - \alpha * P_p) + \alpha * P_p + TEC$$

TEC = тектонический фактор,
 α - коэффициент Био

- **Среднее эффективное напряжение**

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

- **Напряжение на сдвиг**

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

- **Давление гидроразрыва**

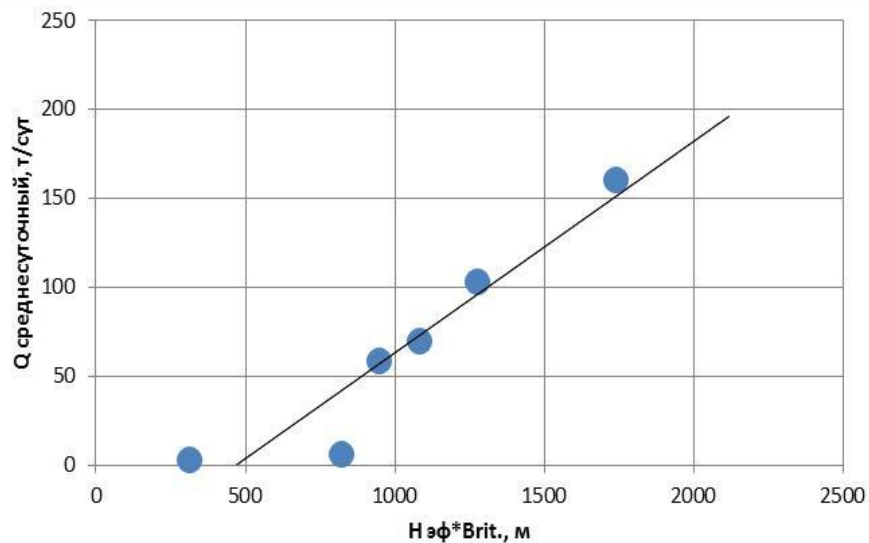
$$P_{fr} = 0.6 * P_p + 0.4 * P_v$$

уравнение Hubbert & Willis

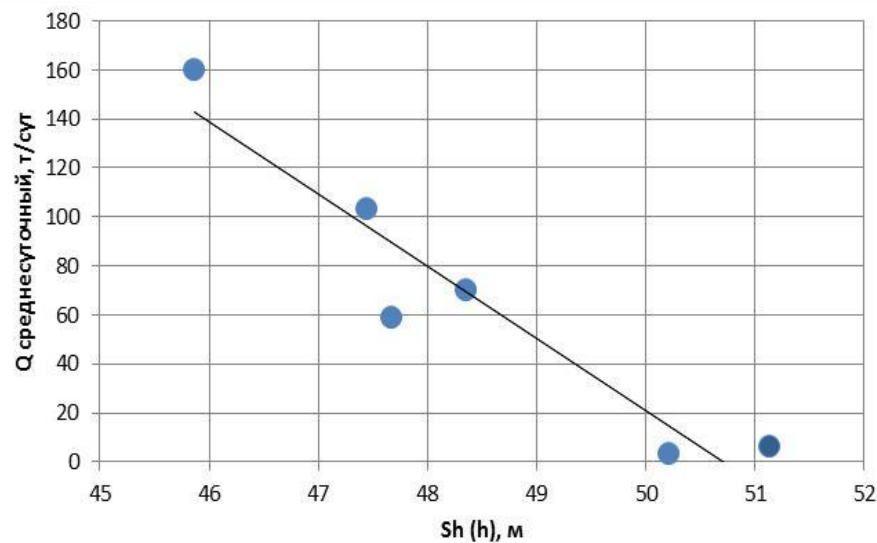


Анализ геомеханических параметров

Сопоставление геомеханических параметров со среднесуточными дебитами



Сопоставление среднесуточного дебита с хрупкостью коллектора



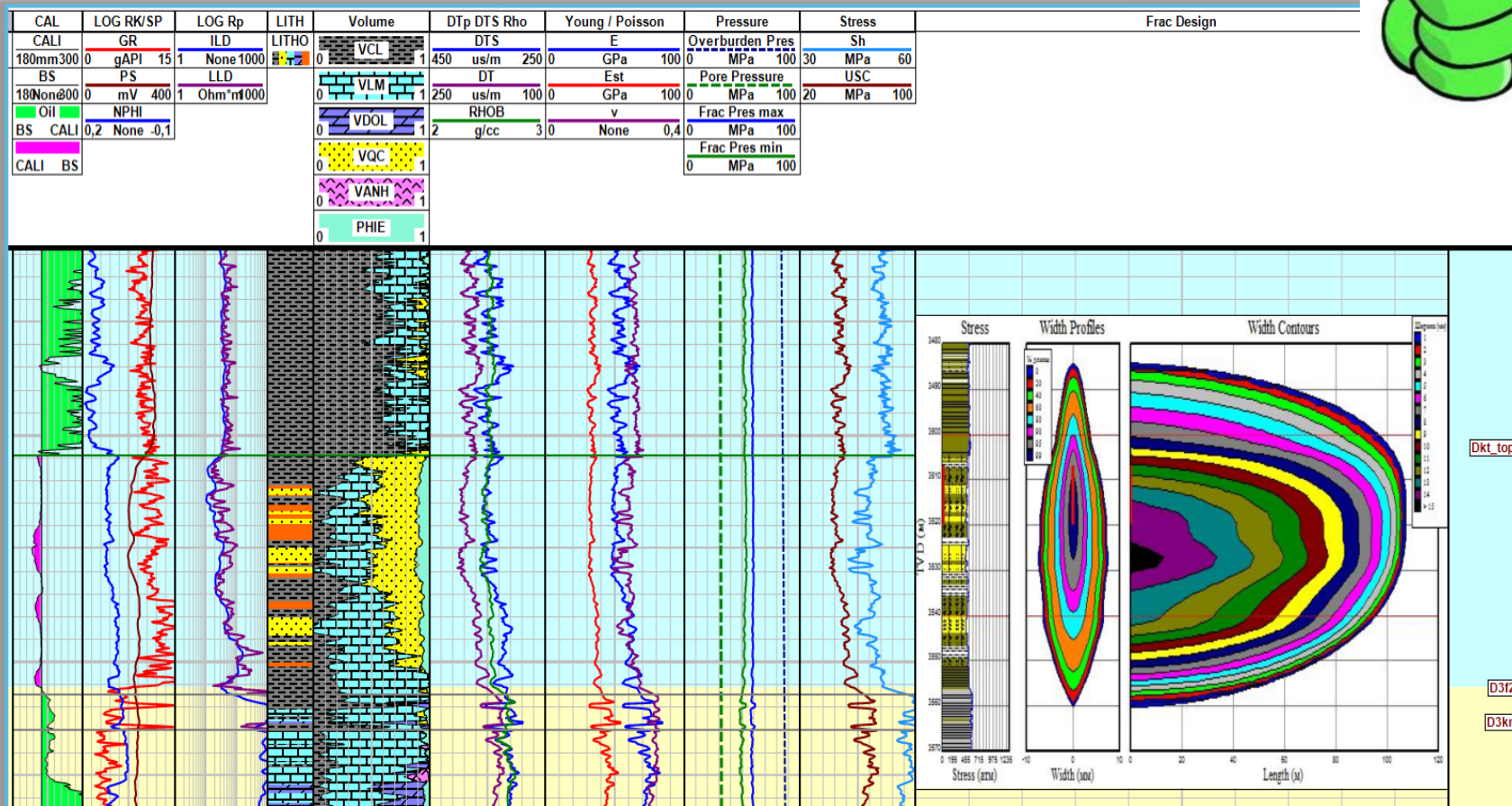
Сопоставление среднесуточного дебита с боковым стрессом пласта $D_{кт}$



Результаты

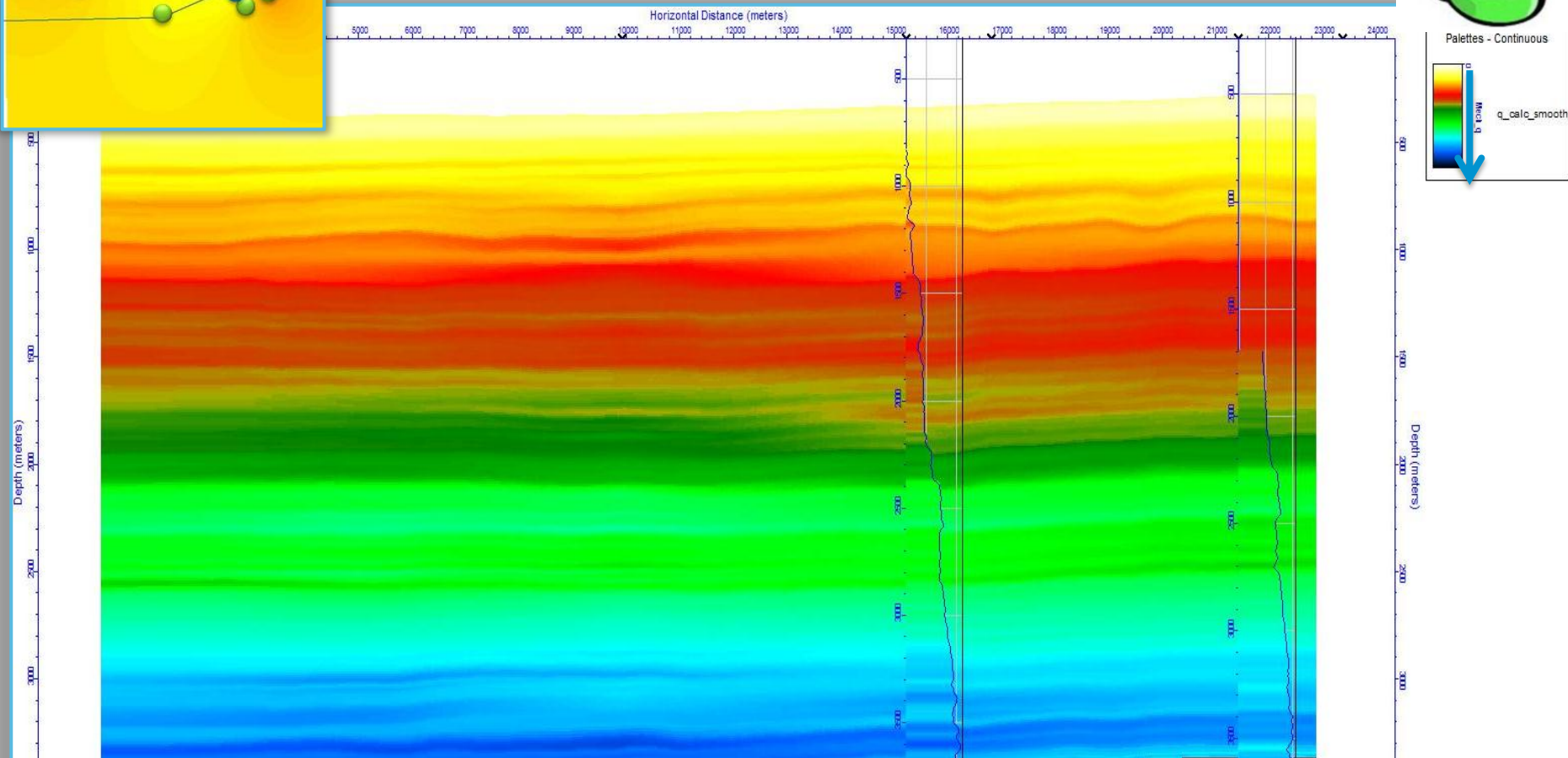
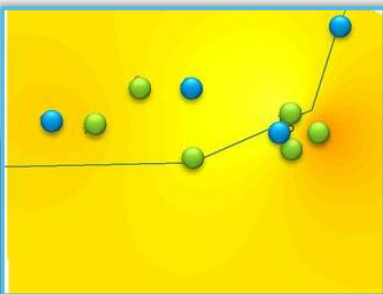


Дизайн ГРП



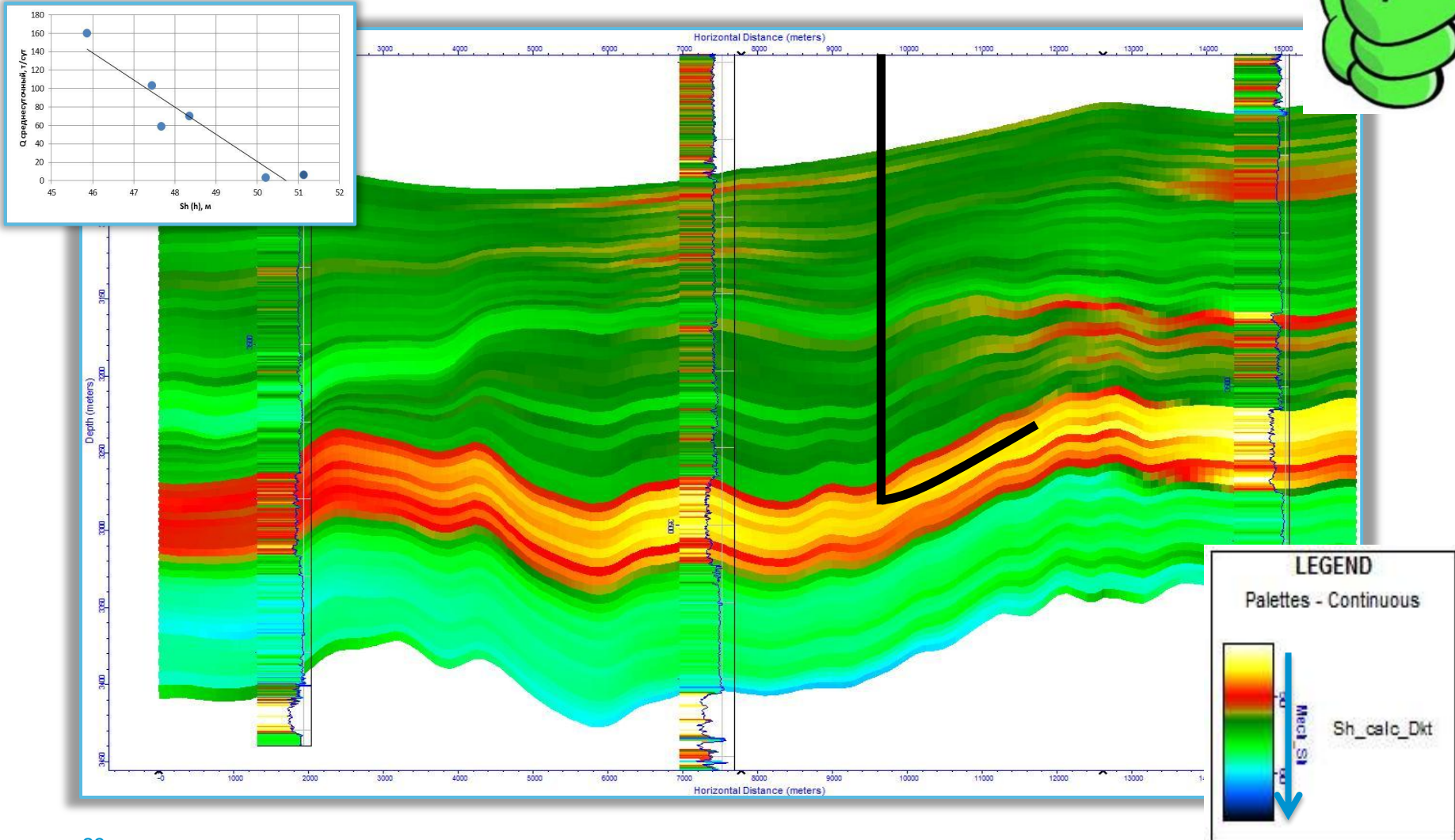
Построение 1D геомеханической модели

Напряжение на сдвиг



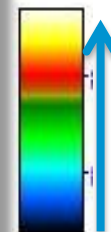
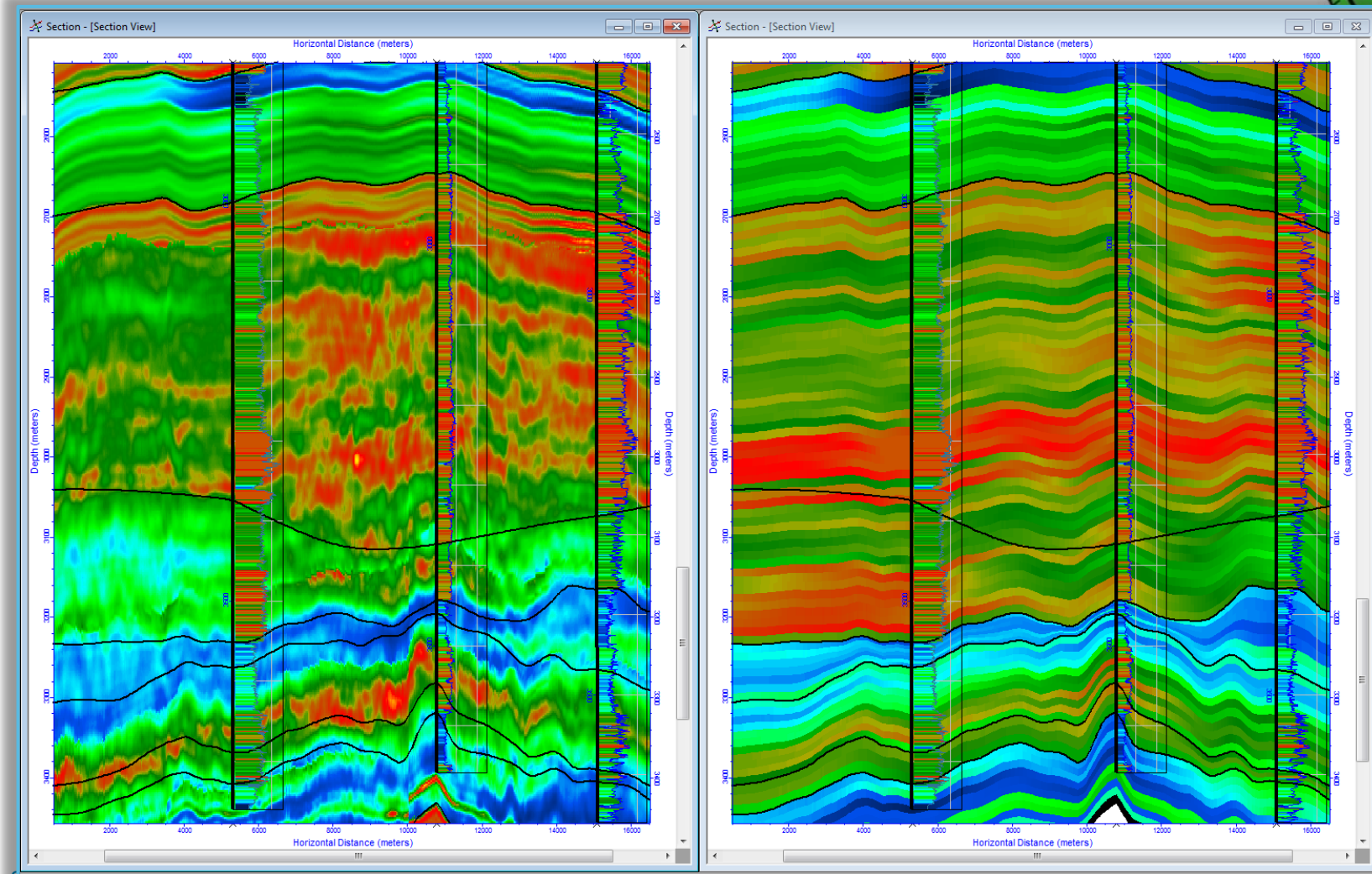
Планирование скважин

Минимальное горизонтальное напряжение



Построение 3D геомеханической модели

Модуль Юнга



Выводы



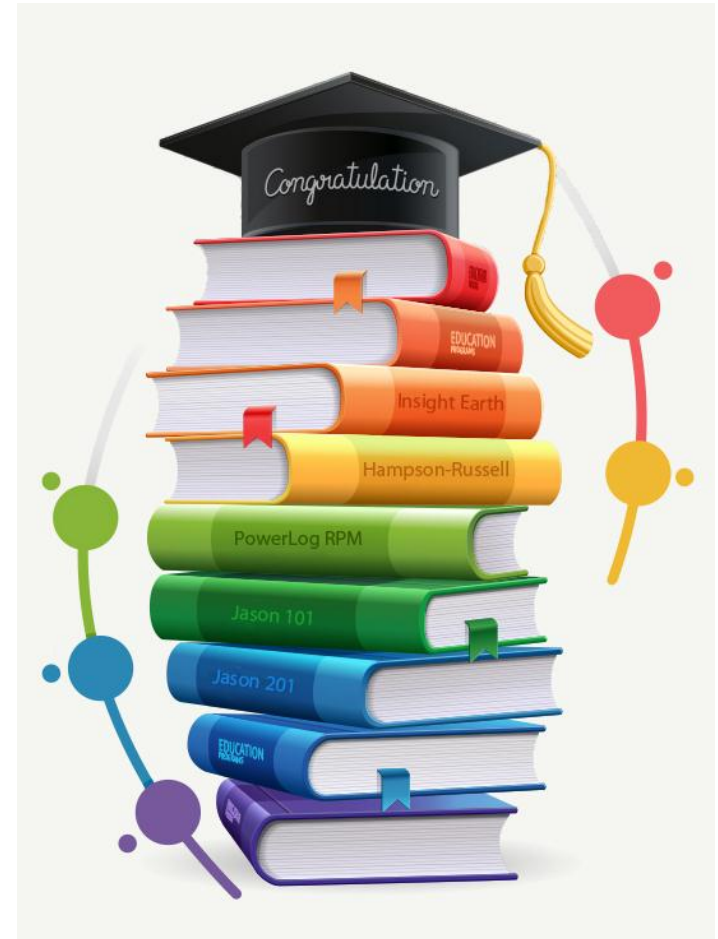
Выводы

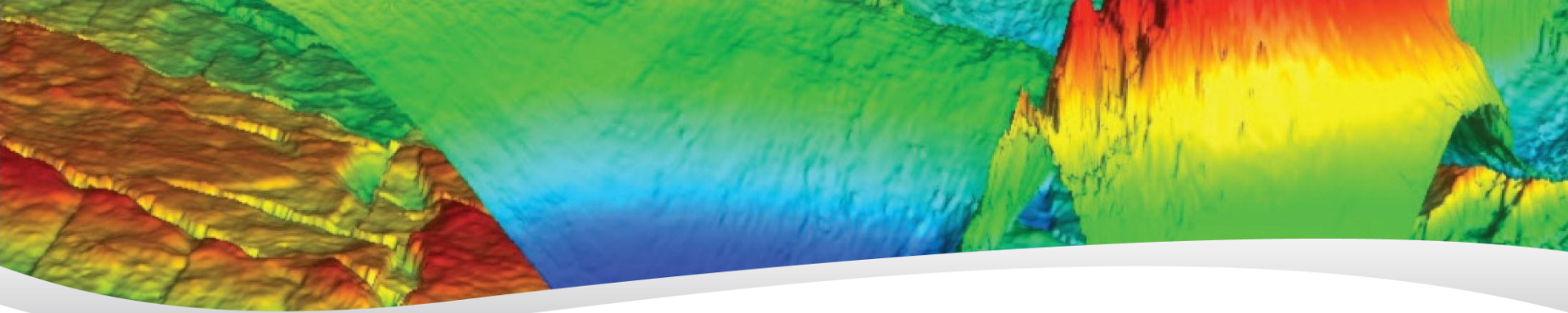
- ✓ Концепция использования трех этапов интерпретации скважинных данных дает надежную и согласованную петрофизическую основу для построения геомеханической модели.
- ✓ Отсутствие замеров поперечной волны акустического каротажа не является критичным. Применение рок-физики дает возможность качественно восстановить эти данные, и в последствии использовать полученные результаты при дизайне ГРП.
- ✓ Дальнейшее применение сейсмических инверсий с целью прогноза параметров в межскважинном пространстве дает более точные прогнозы упругих свойств в межскважинном пространстве, чем использование 1D модели, и возможность разработчикам рассчитывать оптимальные траектории скважин и выполнять дизайн ГРП в потенциальных скважинах.
- ✓ Наличие надежных связей продуктивности с геомеханическими параметрами говорит о целесообразности такого подхода.



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!