



ЛУКОЙЛ

*Всегда в движении!*

Задачи интерпретации  
сейсмических данных на  
современном этапе

Конференция «Сейсмические технологии». РФ,  
г.Москва, 22.04.2014

**И.Н.Керусов**



### Геологические задачи

- Структурная интерпретация
- Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород

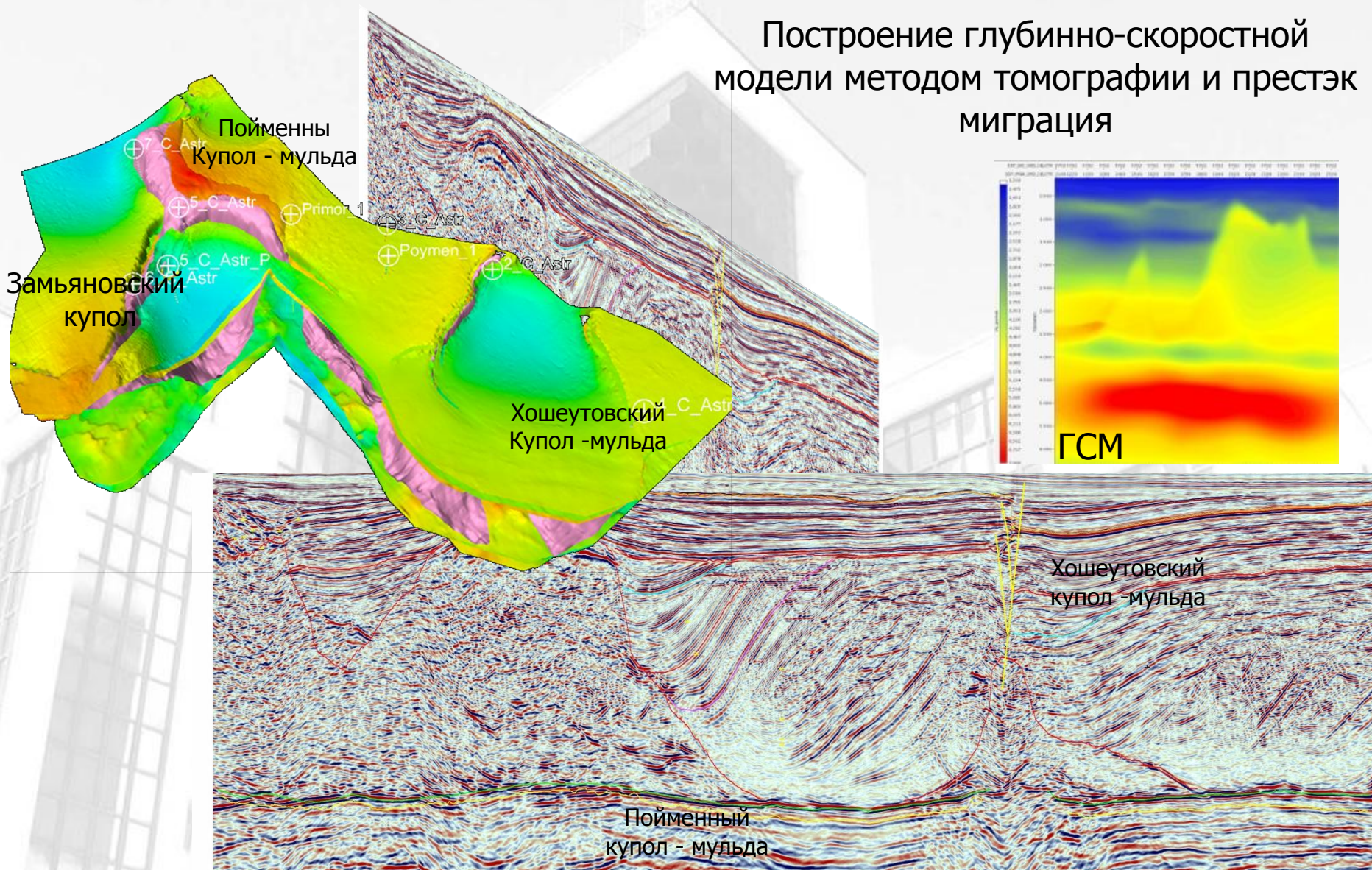
### Технологические задачи

- Широкоазимутальная сейсморазведка
- Мониторинг ГРП
- Геомеханические модели
- Сопровождение бурения горизонтальных скважин
- Информация и задачи для геологов
- 4Д сейсморазведка для мониторинга разработки
- многоволновая сейсморазведка.....

# Структурная интерпретация.



Построение глубинно-скоростной модели методом томографии и преломленной миграции



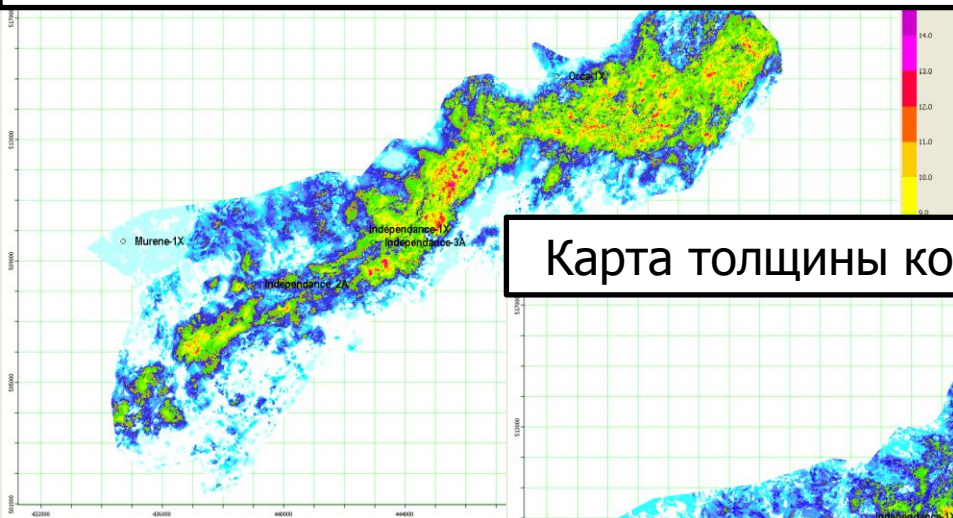


ЛУКОЙЛ

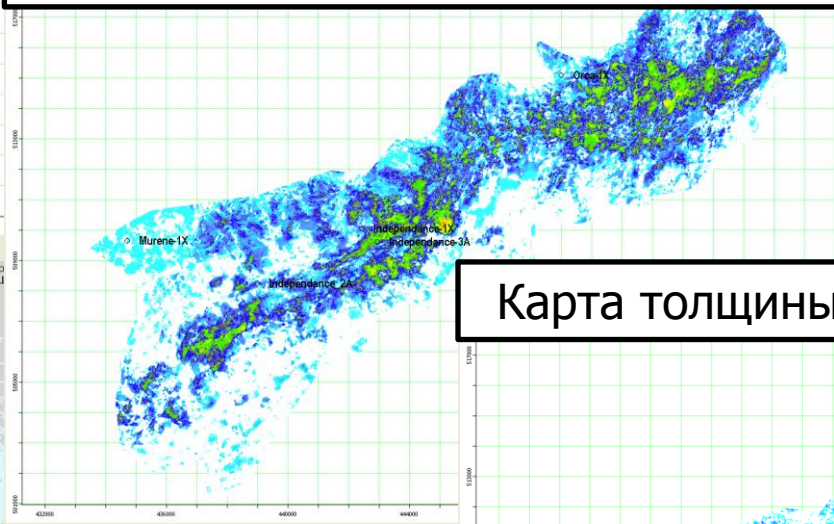
# Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород. AVA инверсия



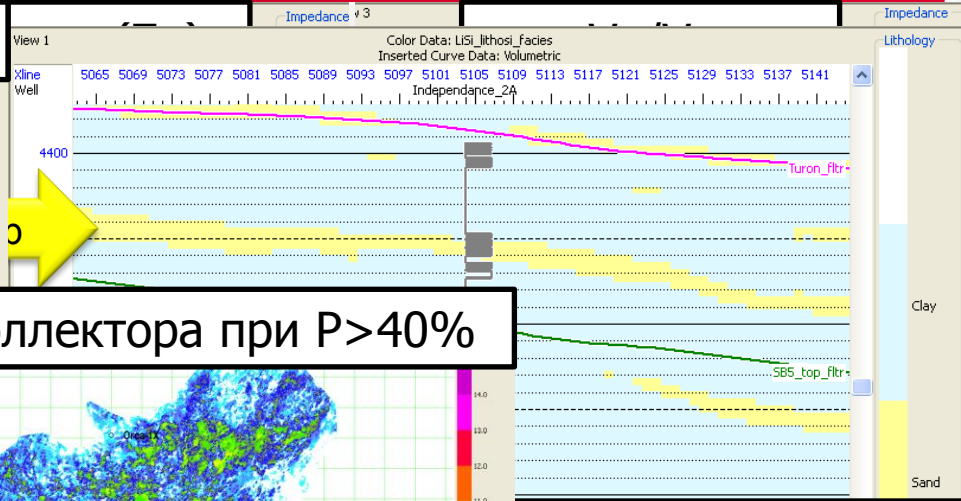
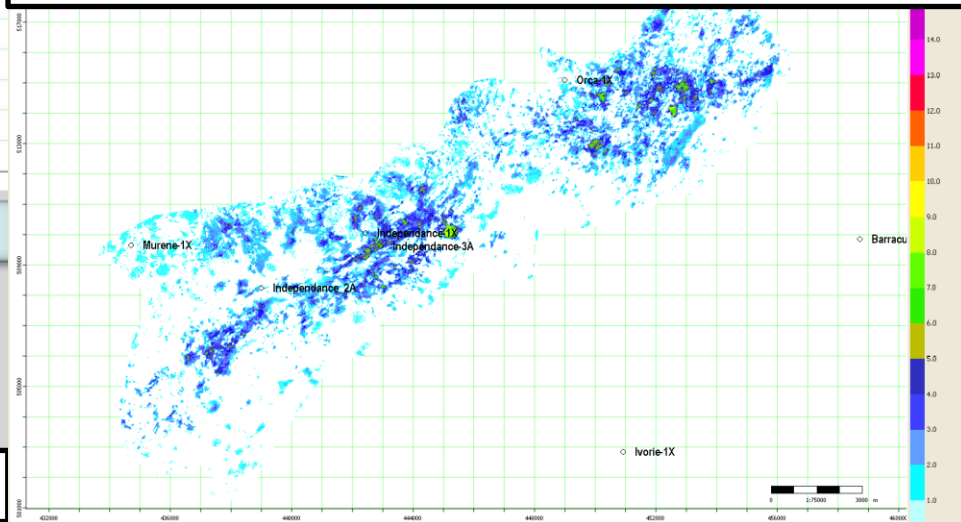
Карта толщины коллектора при  $P > 30\%$



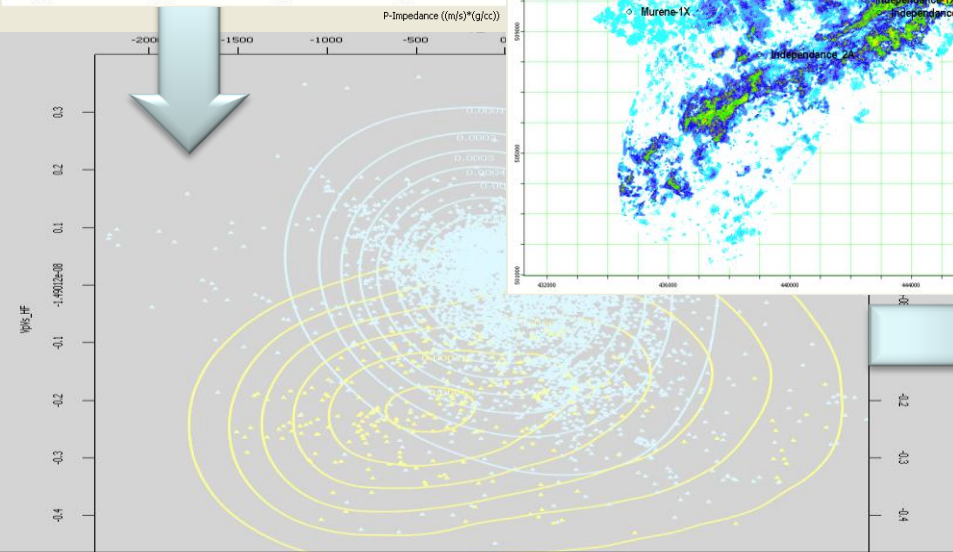
Карта толщины коллектора при  $P > 40\%$



Карта толщины коллектора при  $P > 50\%$



ОБЪЕКТНОЙ ЛИТОЛОГИИ

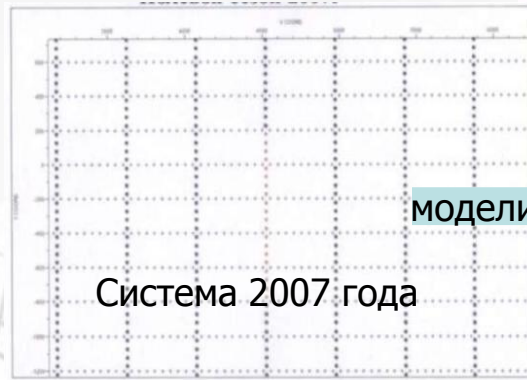


Вероятность коллектора и вмещающих пород

# Широкоазимутальные съемки. Проектирование.



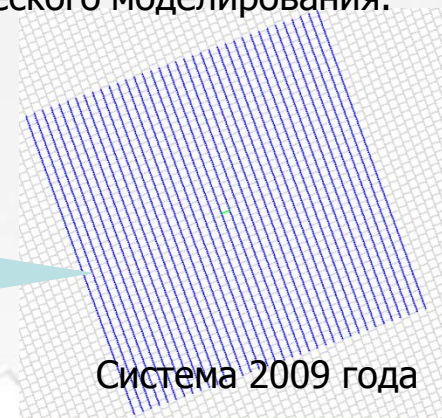
Перепроектирование схемы наблюдений на основе сейсмогеологического моделирования.



Система 2007 года



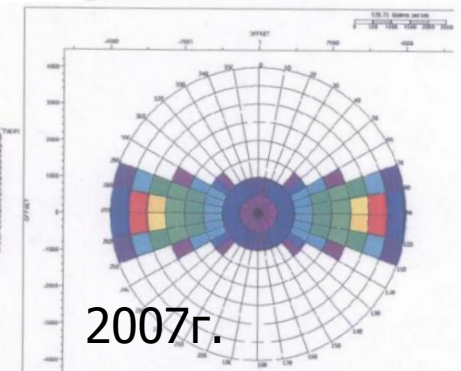
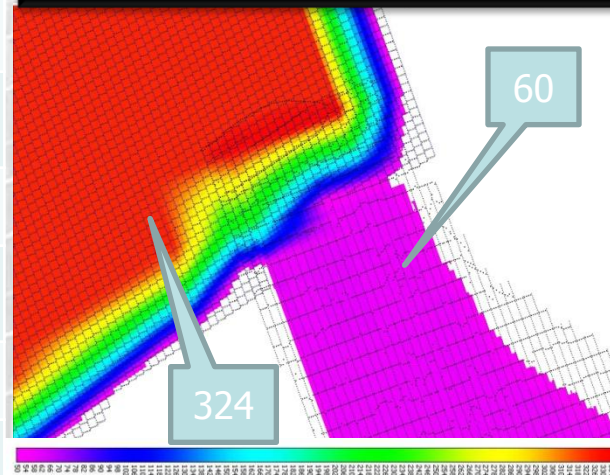
моделирование анизотропии (трещиноватости)



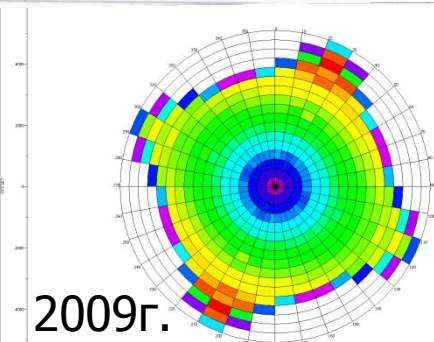
Система 2009 года

Параметр	2007	2009
Расстояние между ЛП - ЛВ	200 – 450	200 – 200
Расстояние между ПВ - ПП	50 – 50	50 – 50
Число активных линий приёма	10	36
Каналов на ЛП	216	144
<b>Кратность номинальная</b>	<b>60</b>	<b>324</b>
Активных каналов	2160	5184
Вынос, min – max	35 – 5580	35 – 5056

Сопоставление кратности при стыковке площадей 2007 и 2009 ГОДОВ



2007г.

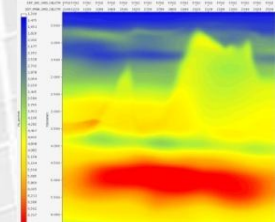
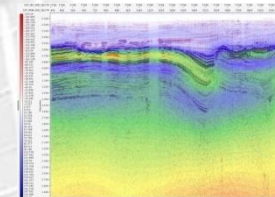
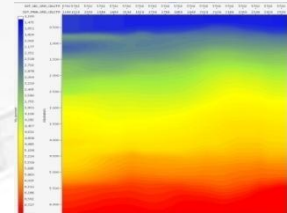


2009г.



## Новый современный граф обработки: глубинная томография и анизотропная миграция до суммирования.

1. Построение исходной глубинно-скоростной модели
2. Построение исходной VTI анизотропной модели
- Глубинная миграция до суммирования с новой ГСМ
4. Построение окончательной VTI анизотропной модели
5. Уточнение глубинно-скоростной модели с помощью SIP-Tomography
6. Полная глубинная миграция до суммирования с окончательной глубинно-скоростной моделью и сохранением информации о азимутах в OVT (Offset-Vector-Tile) подборках.
7. Куб после глубинной миграции до суммирования в OVT по сетке 25x25 с финальной глубинно-скоростной анизотропной моделью.





- Параметры, направленные на повышение качества сейсмического изображения
- Параметры, дополняющие описание геологии и свойств разреза

Слоистость VTI – анизотропия

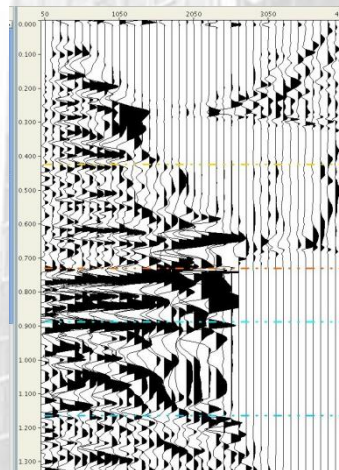
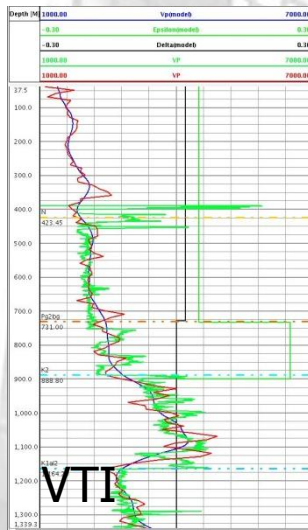
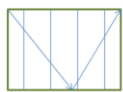


- Изотропно
- Анизотропия +10
- Невязка

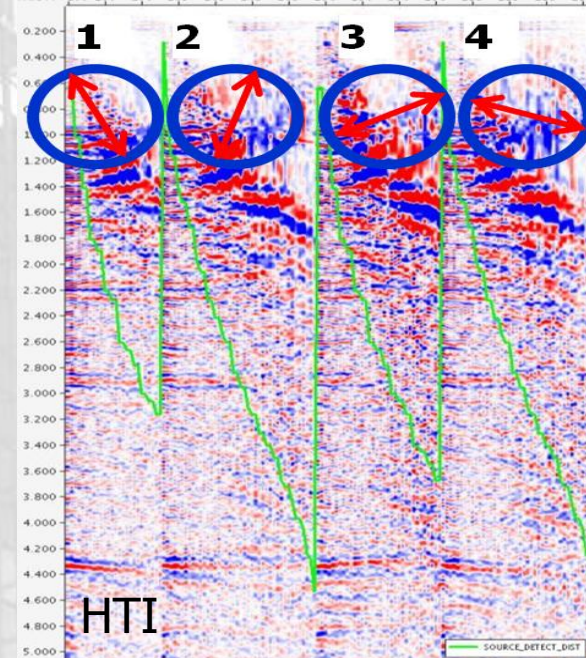
Амплитуды отражения от кровли пласта с анизотропией скорости (выносы)

Трещиноватость HTI – анизотропия

- Изотропно
- Анизотропия -10
- Невязка



Азимутальные группы



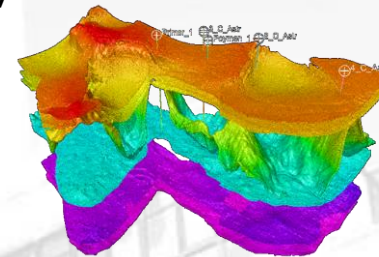
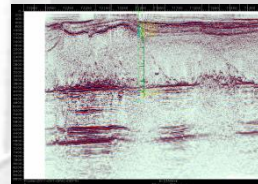
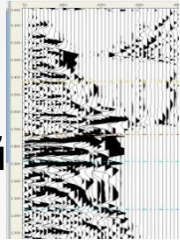
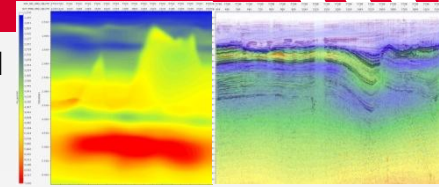


ЛУКОЙЛ

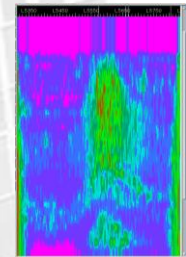
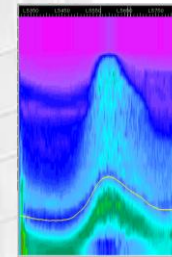
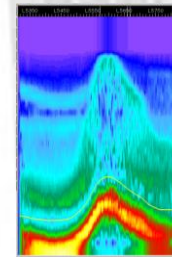
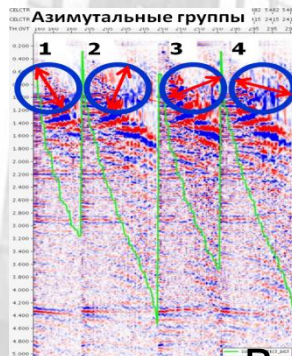
# Широкоазимутальные съемки. Интерпретация.



- Глубинно-скоростная модель, увязанная со скважинами
- **Модель параметров VTI анизотропии**
- Сейсмограммы после глубинной миграции OVT, пересчитанные во временную область с распределением азимутов.
- Глубинно-динамический суммарный куб, увязанный со скважинной информацией.



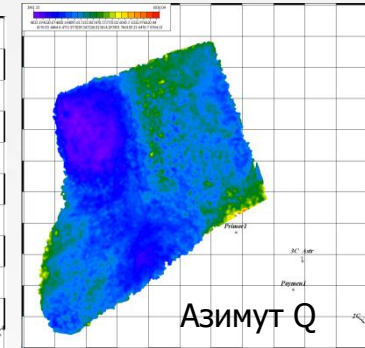
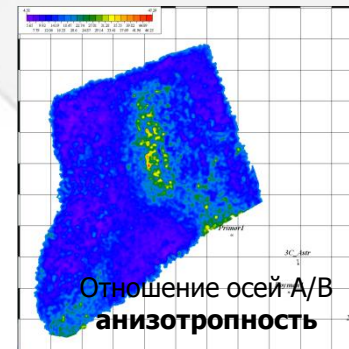
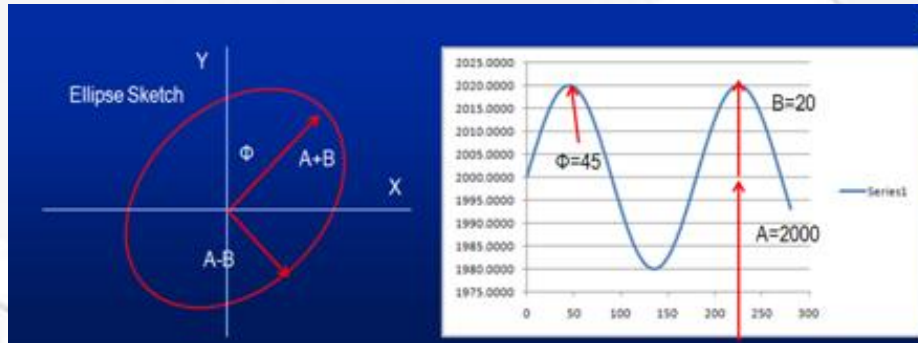
- Параметры NTI анизотропии (кинематика) – минимальные скорости, максимальные скорости, отношение скоростей, азимутальные параметры



В интерпретационной модели – только трещиноватость!?

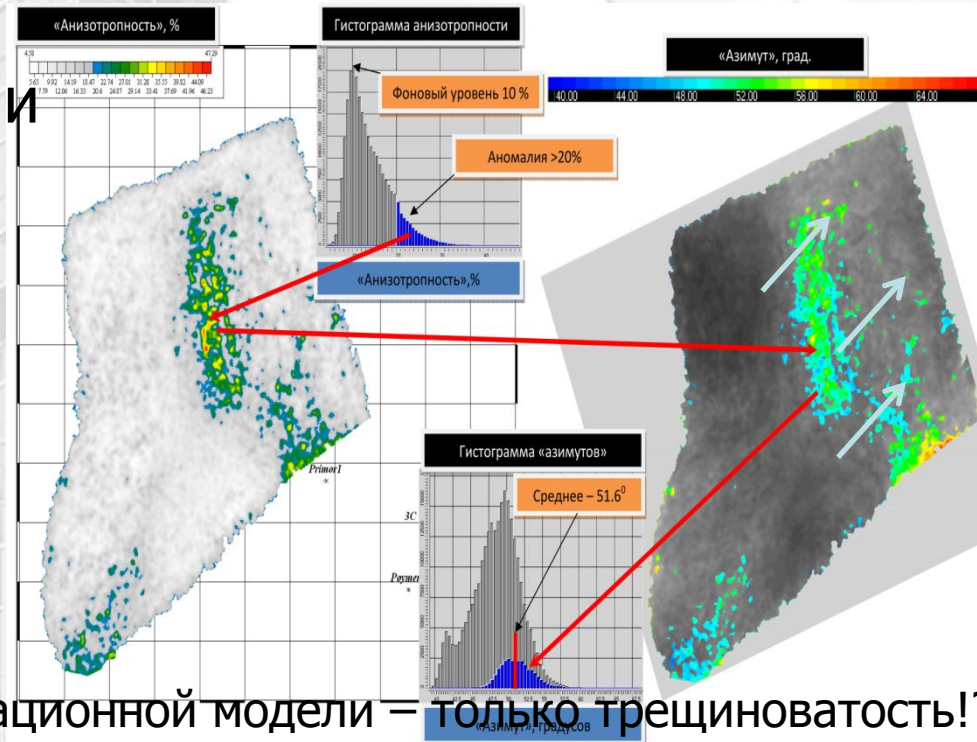


# Широкоазимутальные съемки. Интерпретация. Азимутальный кинематический и AVOaz-анализы.



## Параметры NTI анизотропии

- кинематические
- динамические (ABOаз)
- поглощение (Q-фактор)



В интерпретационной модели = только трещиноватость!?

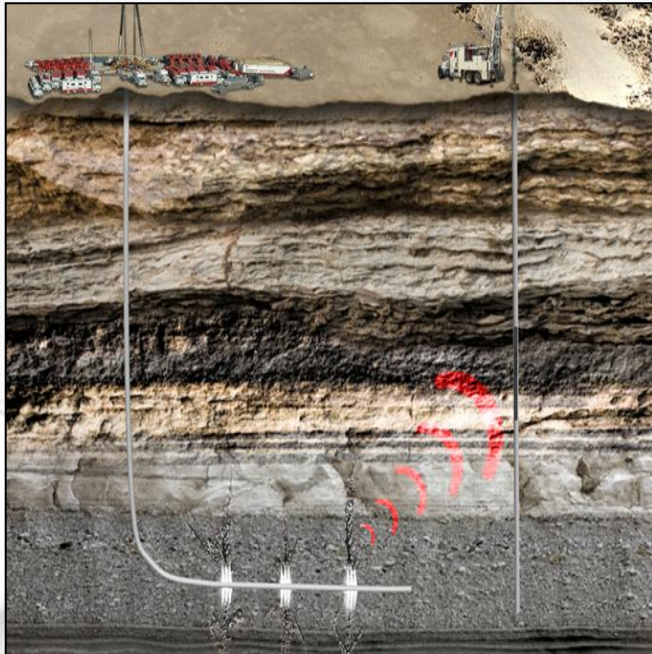


### Геологические задачи

- Структурная интерпретация
- Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород

### Технологические задачи

- Широкоазимутальная сейсморазведка
- **Мониторинг ГРП**
- Геомеханические модели
- Сопровождение бурения горизонтальных скважин
- Информация и задачи для геологов
- 4Д сейсморазведка для мониторинга разработки
- многоволновая сейсморазведка.....

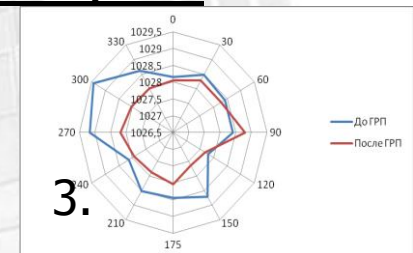
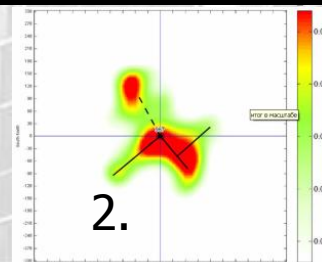
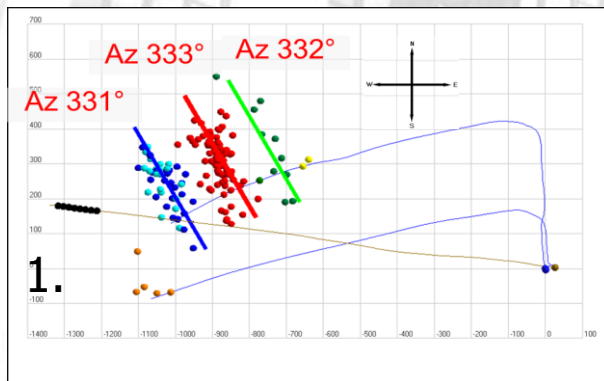


## Принципиально разные методические и физические основы мониторинга ГРП

1. Микросейсмический мониторинг ГРП на месторождениях ЛУКОЙЛ - Западная Сибирь (исполнитель - компания «Weatherford» по договору с ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь» - **локация источников микросейсм** ГРП в реальном времени по наблюдениям в скважине.

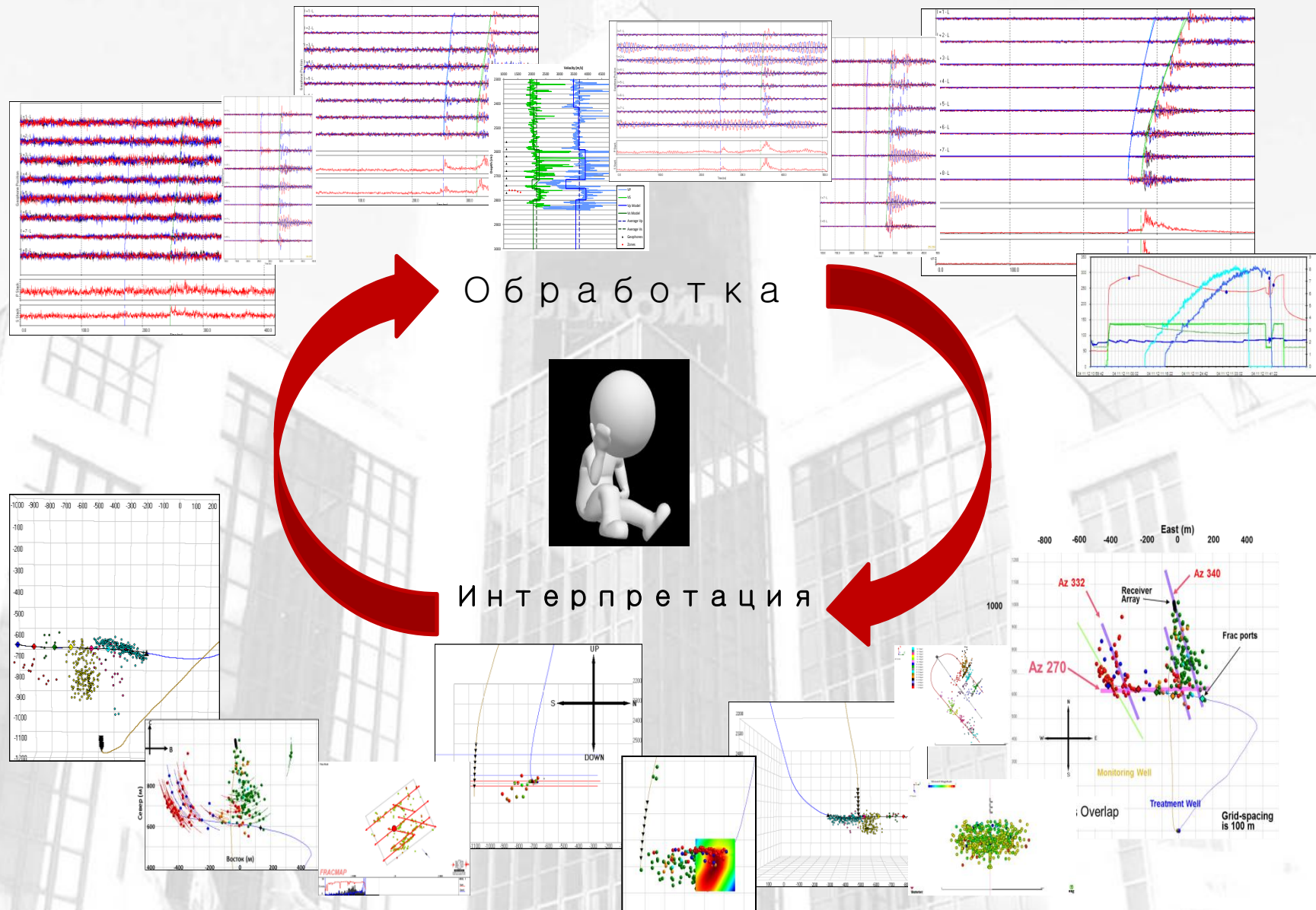
2. Технология микросейсмического мониторинга ГРП и низкочастотного сейсмического зондирования компании «ЗАО «Градиент» - мониторинг ГРП в полях **динамических характеристик микросейсм** сейсмического волнового поля на поверхности.

3. «Геофизические исследования по **активному мониторингу (АМ) ГРП** в скважине №1042/227 Икилорской площади (исполнитель - компания «ПетроГеоСкан» по договору с ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь») – изучение последствий ГРП **кинематическими параметрами среды**.





# Непрерывный многопроходной цикл обработка-интерпретация: построение модели трещиноватой среды.



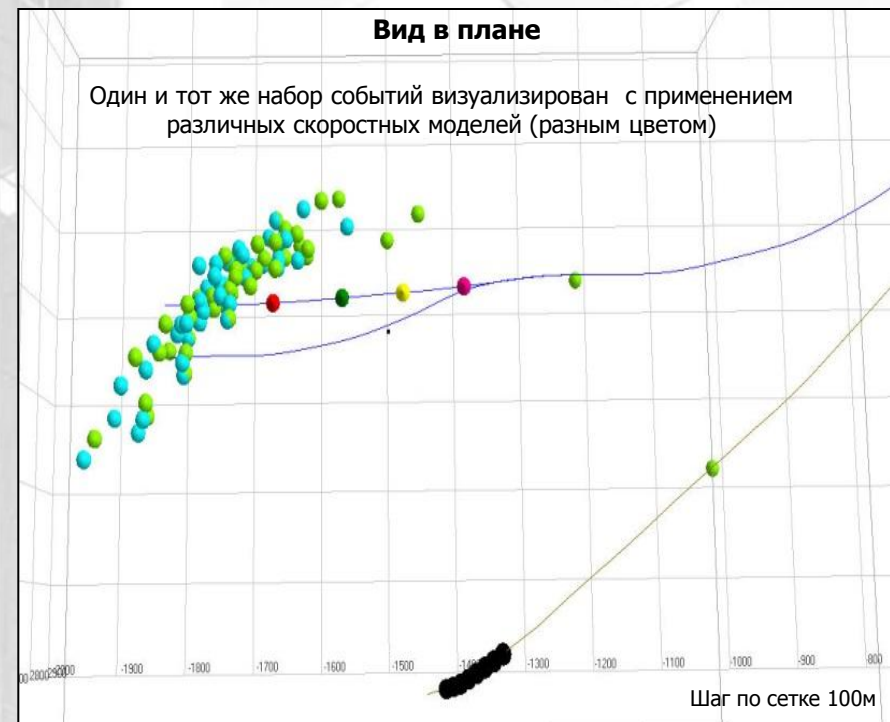
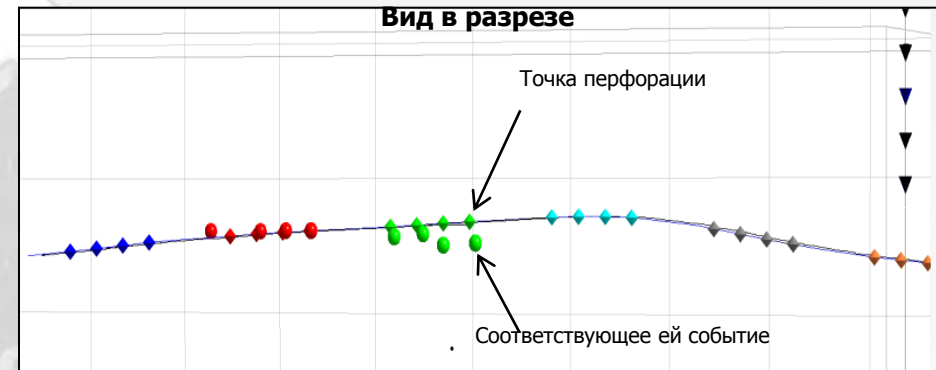
# Уточнение скоростной модели



Калибровка скоростной модели происходит с использованием событий, время и место образование которых заранее известно:

- Перфорации
- Удары шаров о седла ☺
- Ранние события (около скважины)

*События будут двигаться в сторону к и от скважины при изменении скоростной модели*

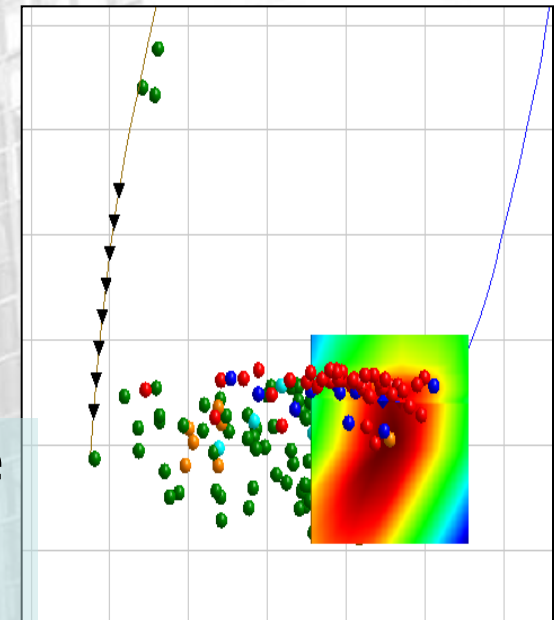


## Точность локации событий в пространстве - метры



- Ошибка определение азимута события зависит от точности ориентировки компонент и рассчитывается во время калибровочных взрывов
- Ошибка расчёта расстояния до события определяется как средневзвешенная ошибка отклонения лоцированного события от калибровочных точек с известными координатами (перфорации, пакера, порты ГРП)
- Также ошибка расчёта расстояния может быть определена на основе отклонения пикированного географа события от теоритического

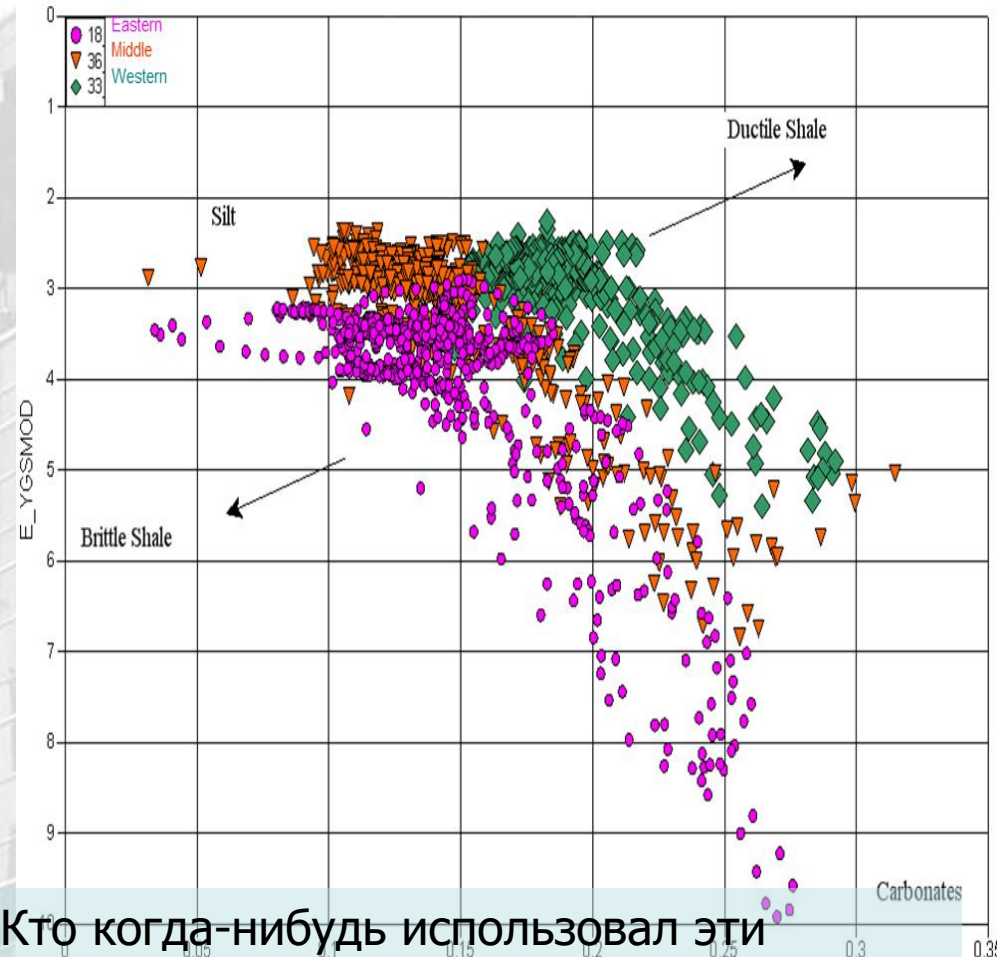
Кто когда-нибудь использовал эти калибровочные данные о скоростях вблизи ствола скважины для изучения резервуара?





Факторы (параметры?), влияющие на наличие хорошего сигнала при МСМ:

- **хрупкость**
- возраст породы
- глубина залегания
- содержание известковых пород
- глинистость
- **напряжение в пласте**
- тип заканчивания скважины при ГРП
- скорость закачки жидкости в пласт
  
- Параметры модели:
  - ГСМ
  - Анизотропная модель



Кто когда-нибудь использовал эти калибровочные данные о скоростях вблизи ствола скважины для изучения резервуара?



### Геологические задачи

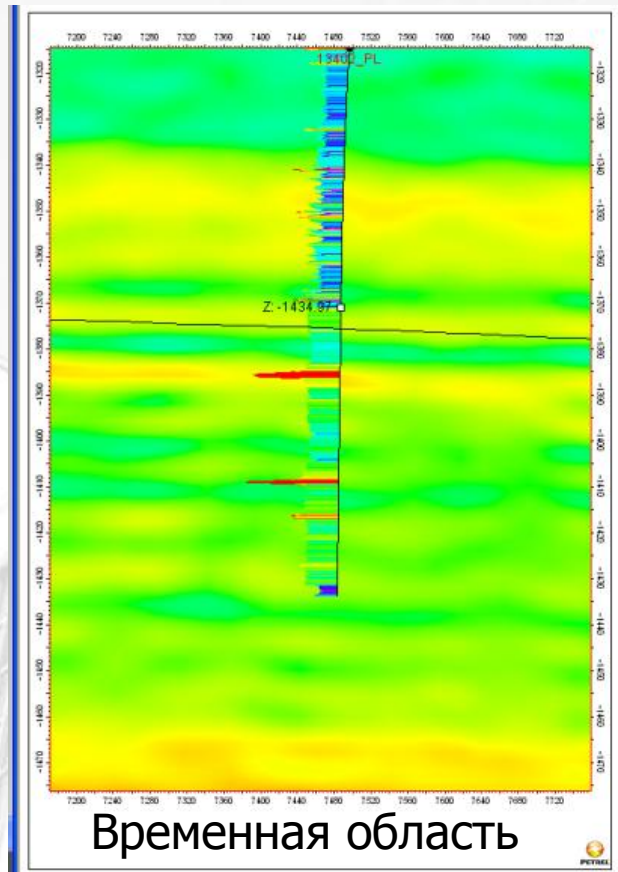
- Структурная интерпретация
- Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород

### Технологические задачи

- Широкоазимутальная сейсморазведка
- Мониторинг ГРП
- Геомеханические модели
- Сопровождение бурения горизонтальных скважин
- Информация и задачи для геологов
- 4Д сейсморазведка для мониторинга разработки
- многоволновая сейсморазведка.....



# Геомеханическая модель. Вклад сейсмических данных.



Распространение механических свойств с использованием куба акустического импеданса в качестве тренда.

Подход заключается в применении вариаций значений акустического импеданса рассчитанных в каждой ячейке относительно данных в прискважинных зонах.

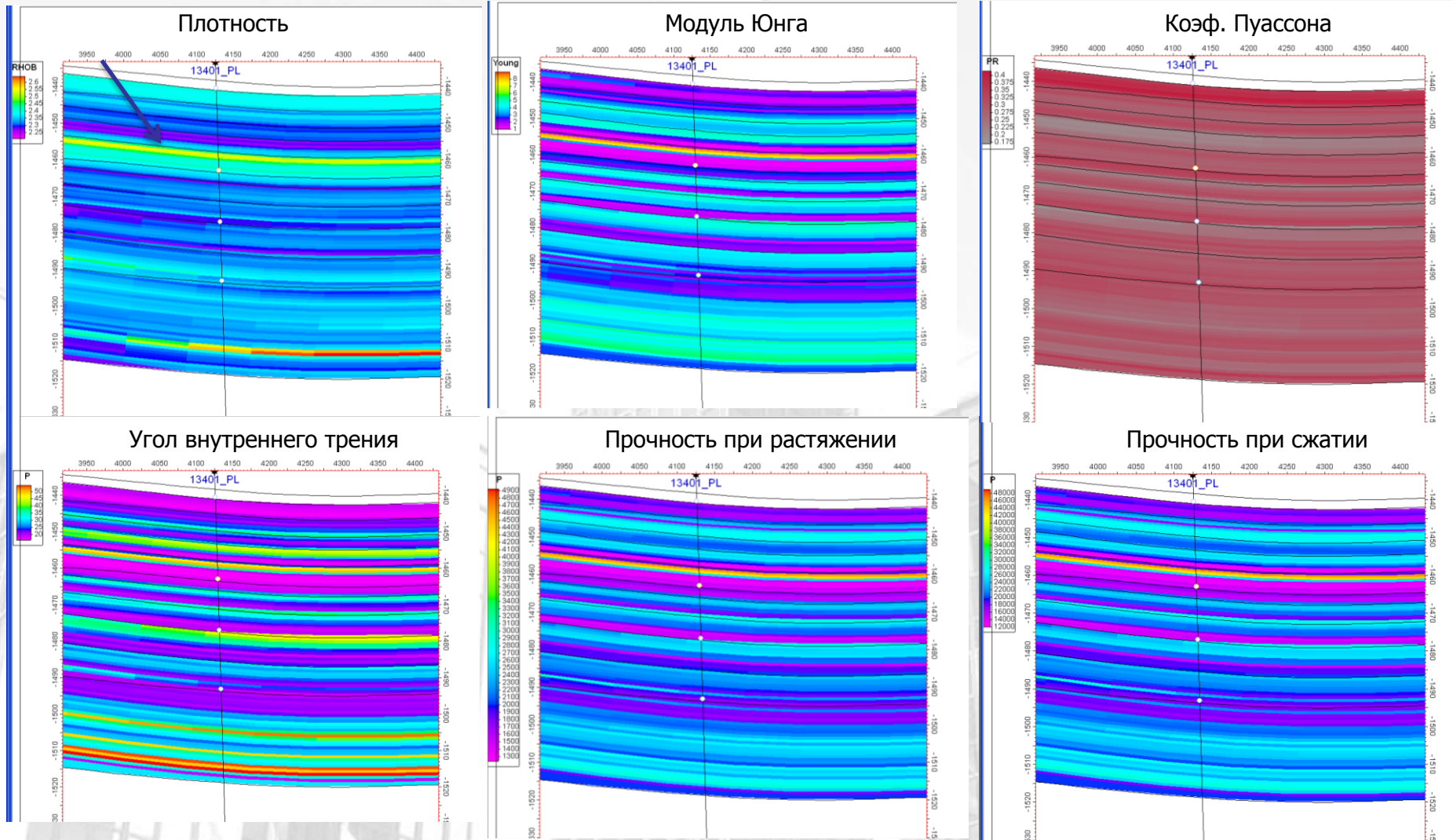
Были рассчитаны модели:

- *Статического модуля Юнга*
- *Коэффициента Пуассона*
- *Прочности при одноосном сжатии*
- *Угла внутреннего трения*
- *Плотности*
- *Прочности при растяжении*

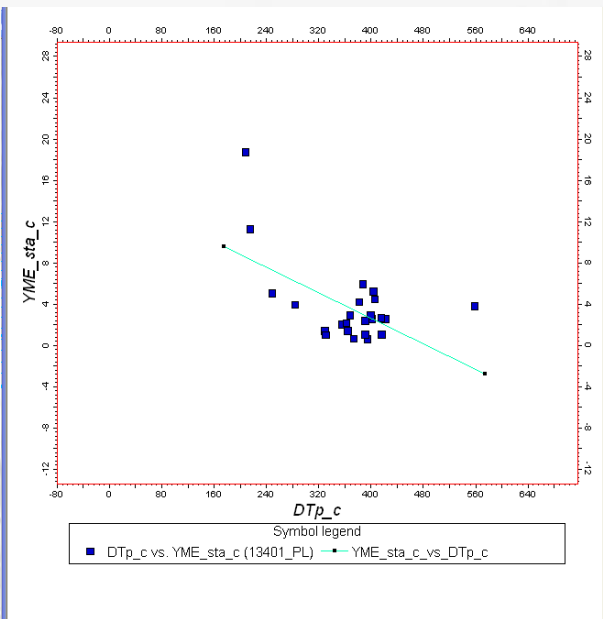
Эти кубы были в дальнейшем поданы на вход расчета напряженного состояния

# Геомеханическая модель. Модели напряженного состояния

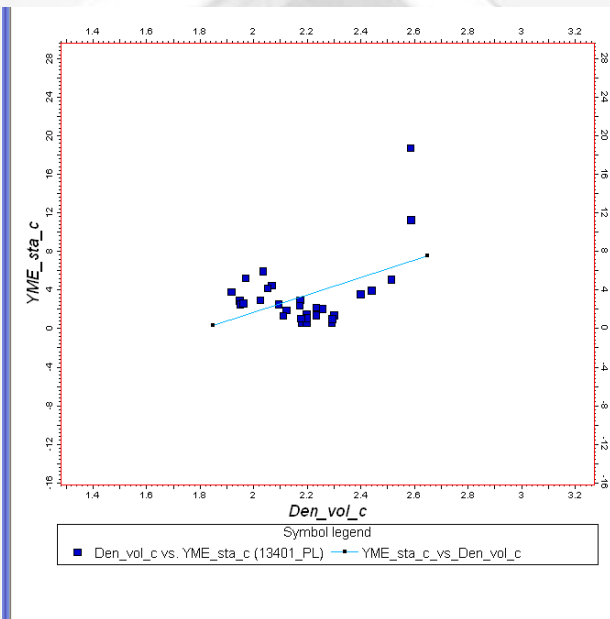
## Входные данные



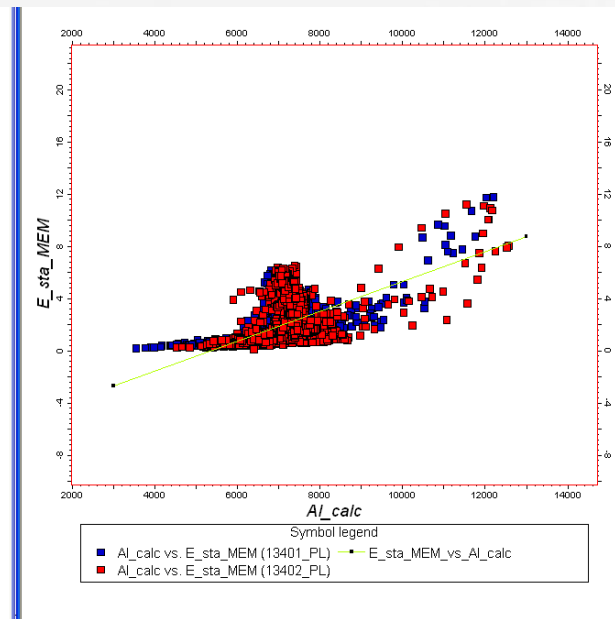
# Геомеханическая модель. Статический Модуль Юнга vs медленность, плотность акустический импеданс



по керну, скв. 13401п



по керну, скв. 13401п



по каротажу, скв. 13401п,13402п

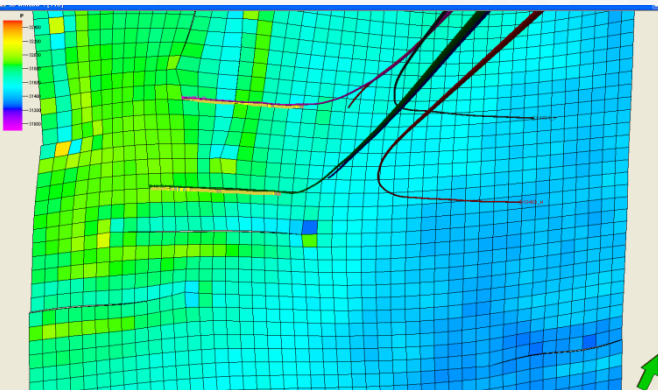
Связей E с плотностью и дТ по керну практически нет, по каротажу с AI – то же, что указывает на необходимость использования реальных значений

Проблема связи статических и динамических модулей упругости

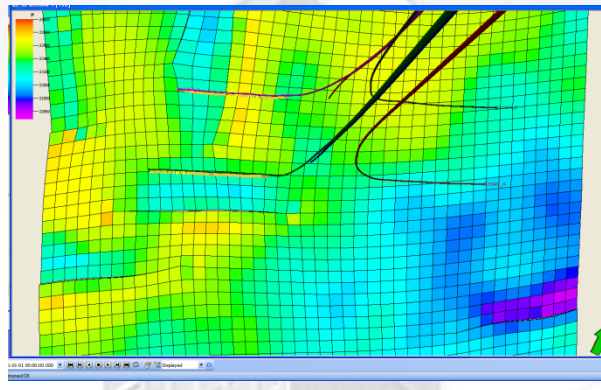
# Геомеханическая модель. Модели напряженного состояния



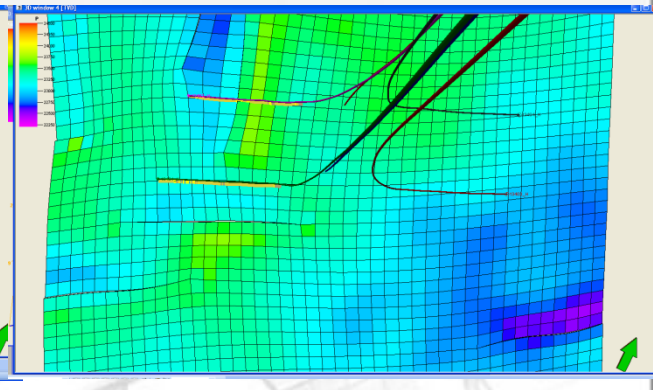
Магнитуда компонент полного тензора напряжения вблизи кровли ВК1



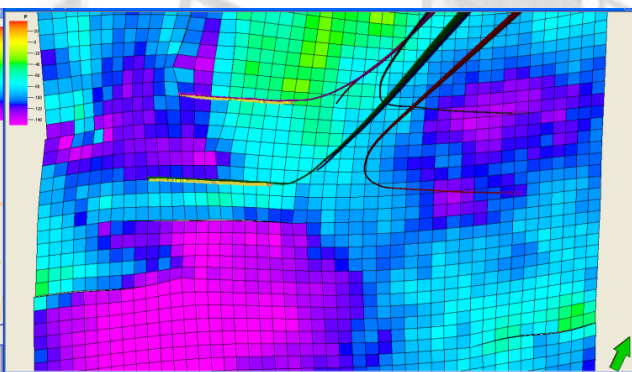
$Zz$



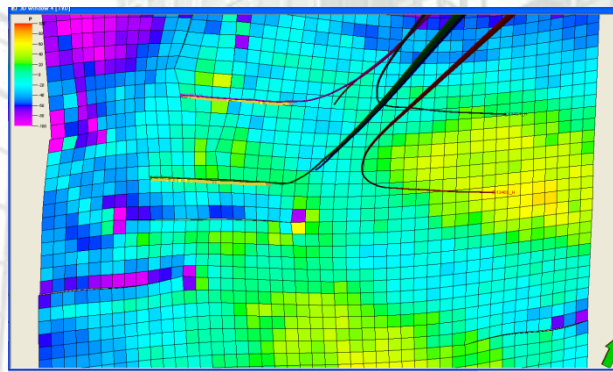
$Yy$



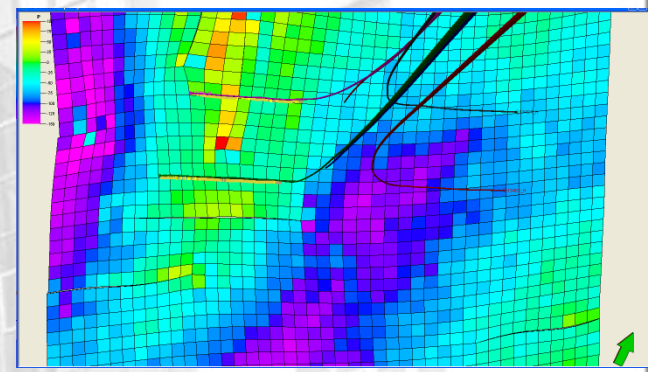
$Xx$



$xy$

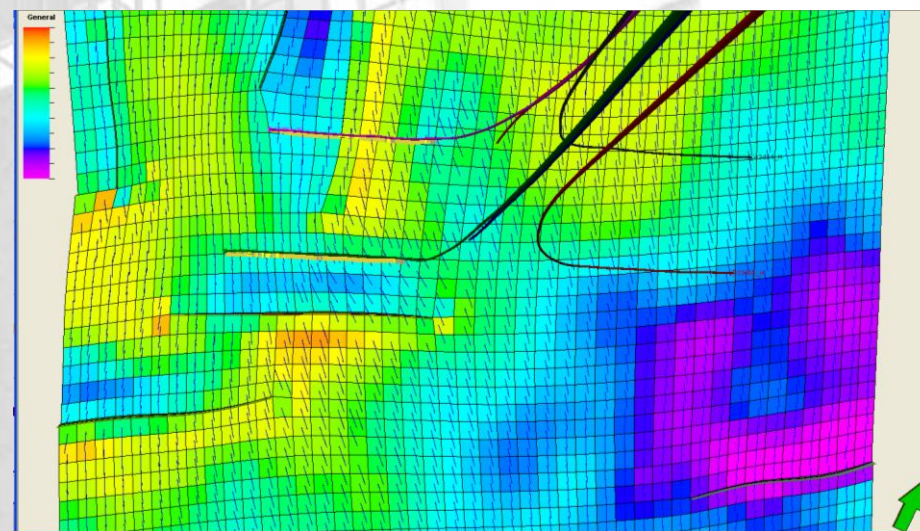
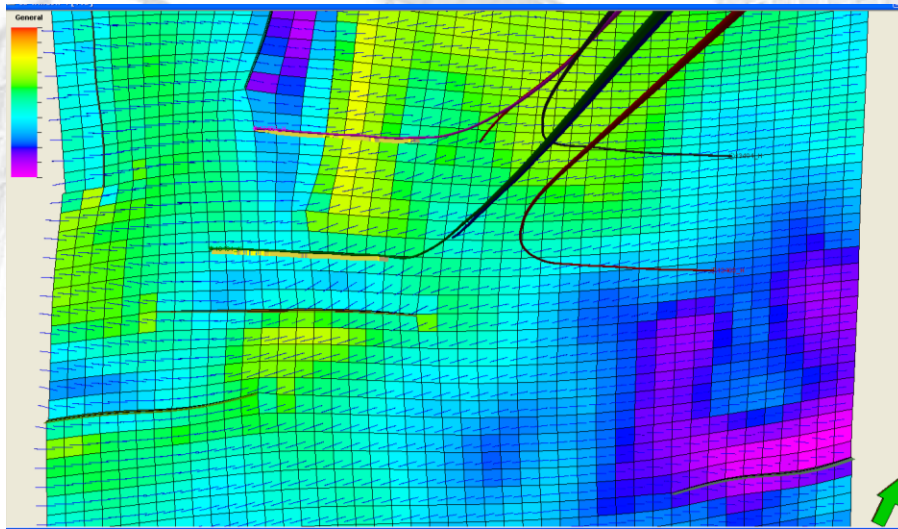
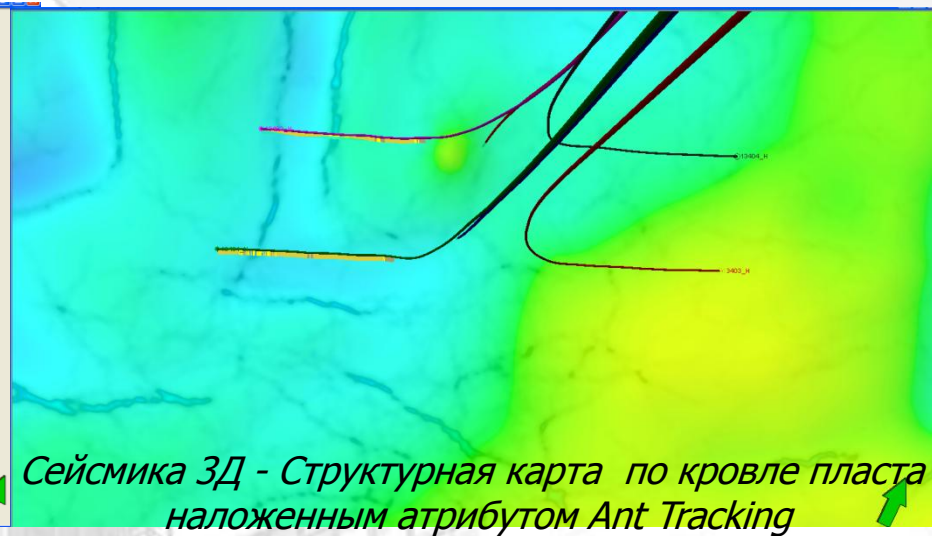
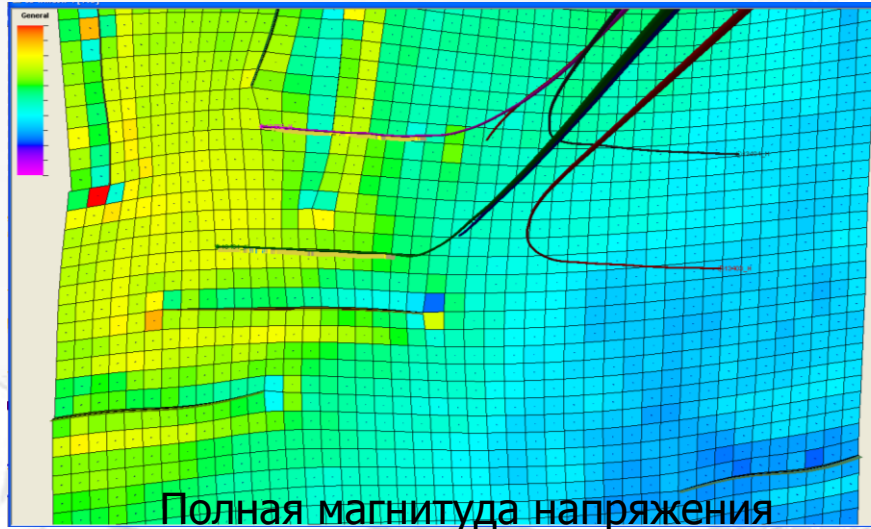


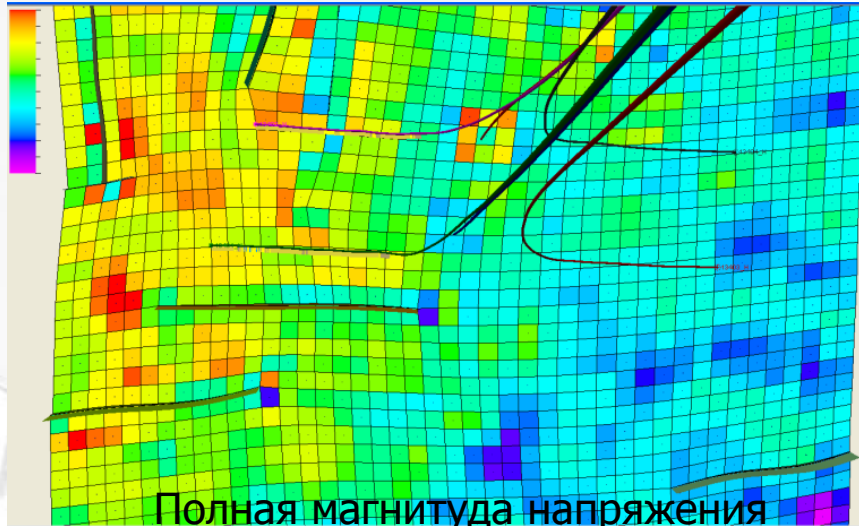
$yz$



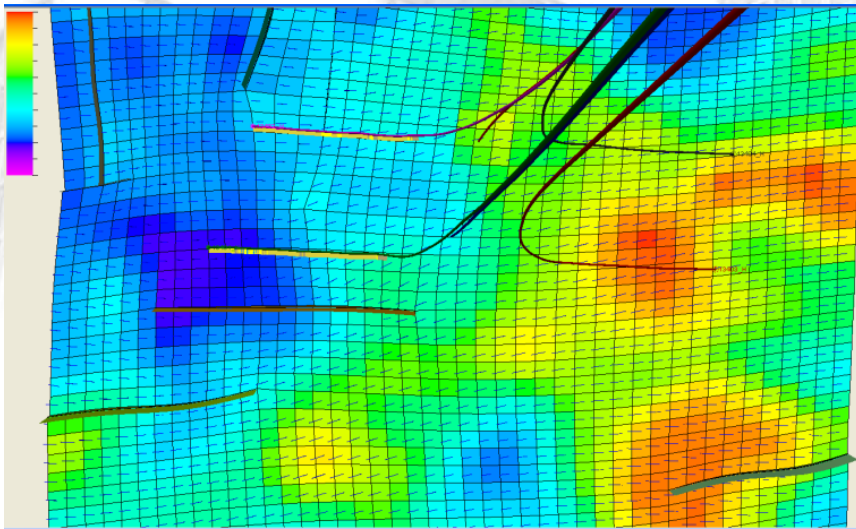
$zx$

# Геомеханическая модель. Модели напряженного состояния

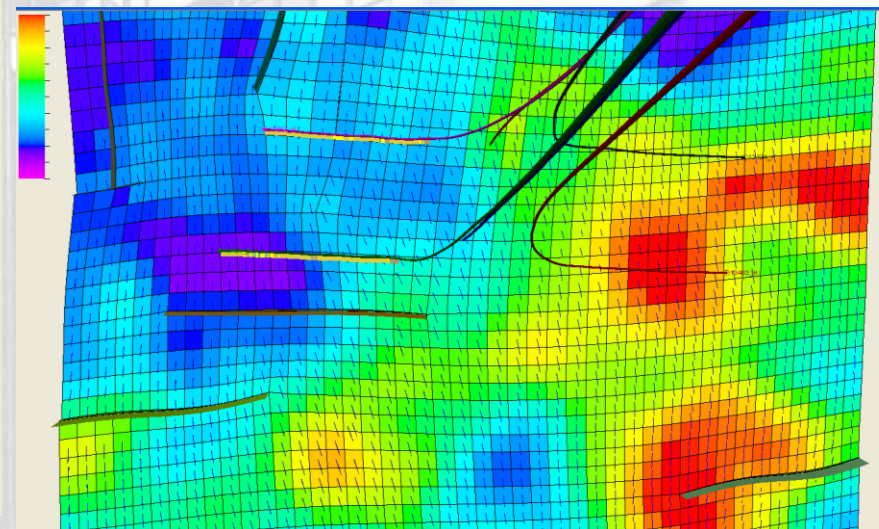




Сейсмика 3Д - Структурная карта по подошве пласта наложенным атрибутом Ant Tracking



Минимального напряжения



Максимального напряжения



- Сейсмическая структурно-тектоническая модель среды для расчета напряжений
- Параметры  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $\rho$  от 0 гц и выше: масштаб сеймики, ГИС и керна
  - Связь сейсмического волнового поля с **напряженностью** среды (-вне анализа в практике интерпретации)
  - Связь динамических и статических модулей
- Модель механических свойств по траектории бурения



### Геологические задачи

- Структурная интерпретация
- Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород

### Технологические задачи

- Широкоазимутальная сейсморазведка
- Мониторинг ГРП
- Геомеханические модели
- Сопровождение бурения горизонтальных скважин
- **Информация и задачи для геологов**
- 4Д сейсморазведка для мониторинга разработки
- многоволновая сейсморазведка.....



# Геомеханика для проводки скважин – геодинамическая структурная интерпретация сейсмических данных



flanks, with a transition in between.

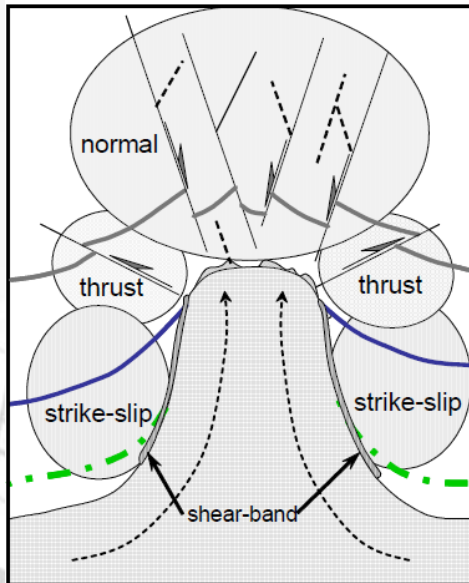


Figure 8: Generalized Stress Regimes around a Dome

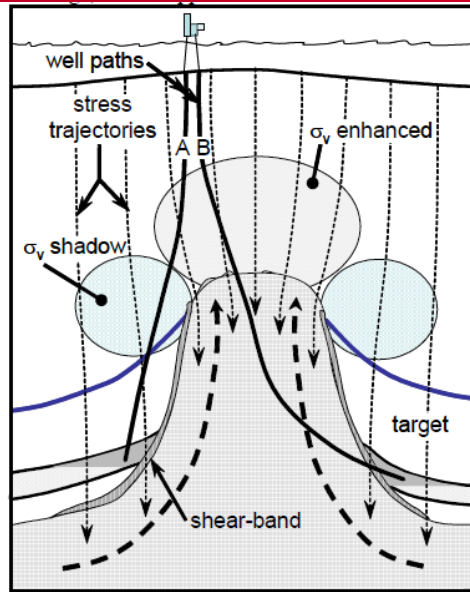


Figure 9: Principal Stress Trajectories around a Dome

In th

Генерализованный режим (а) и принципиальные траектории (б) напряжений в окрестностях соляного купола

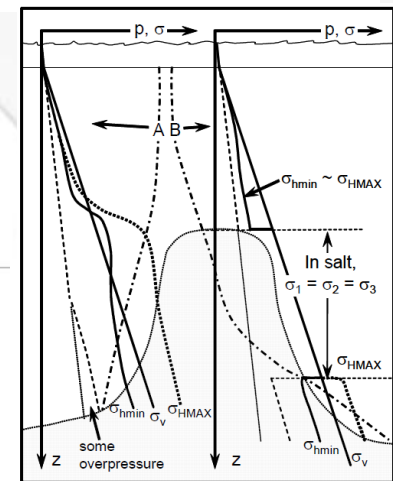
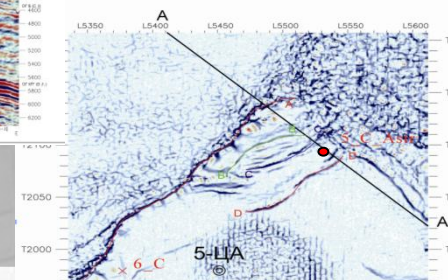
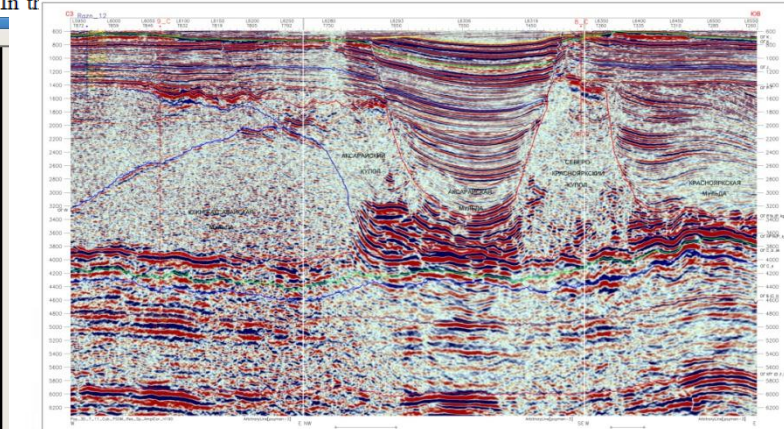
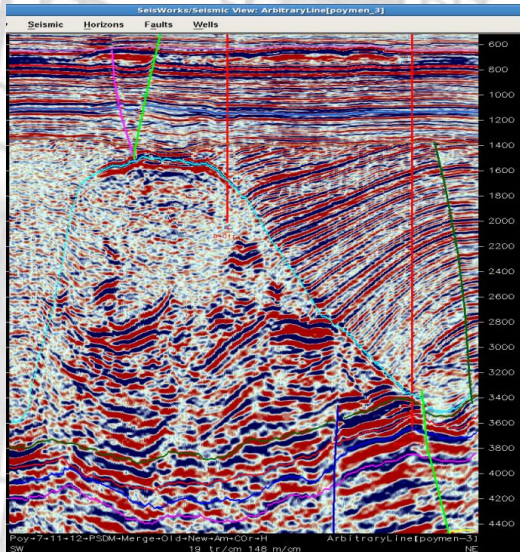


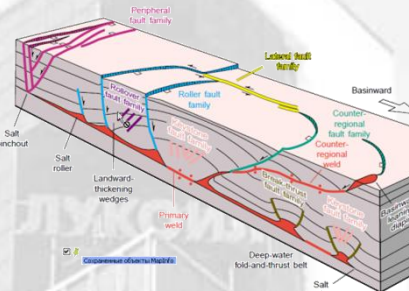
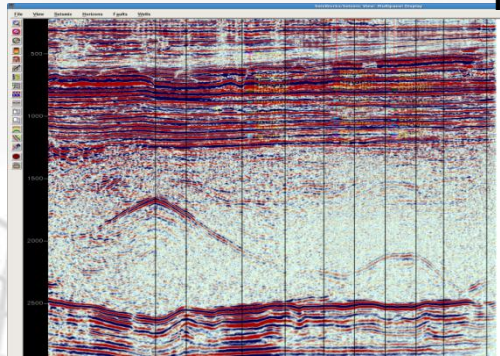
Figure 10: Stress Plots for Different Well Trajectories

атрибута Максимальная кривизна (Maximum Curvature), глубина среза 900

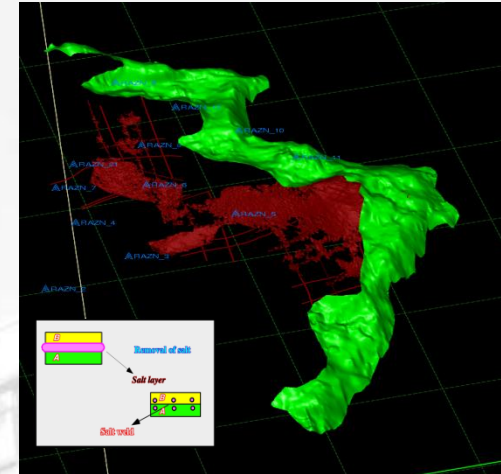




Соляные швы (велды – weld): распознавание в волновом поле, картирование включение в геологические и параметрические модели, новые поисковые объекты.

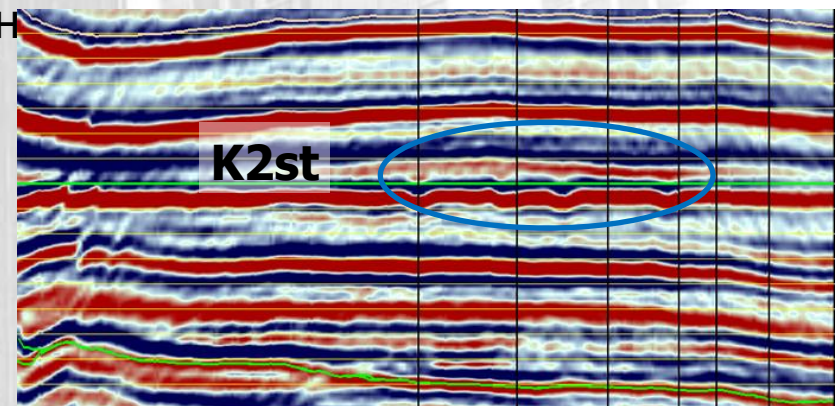
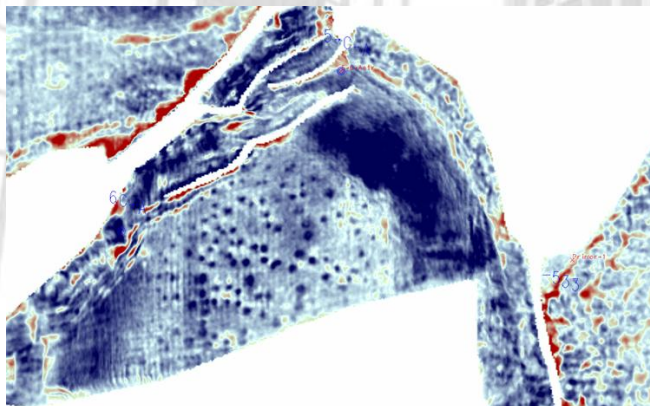


«salt weld»



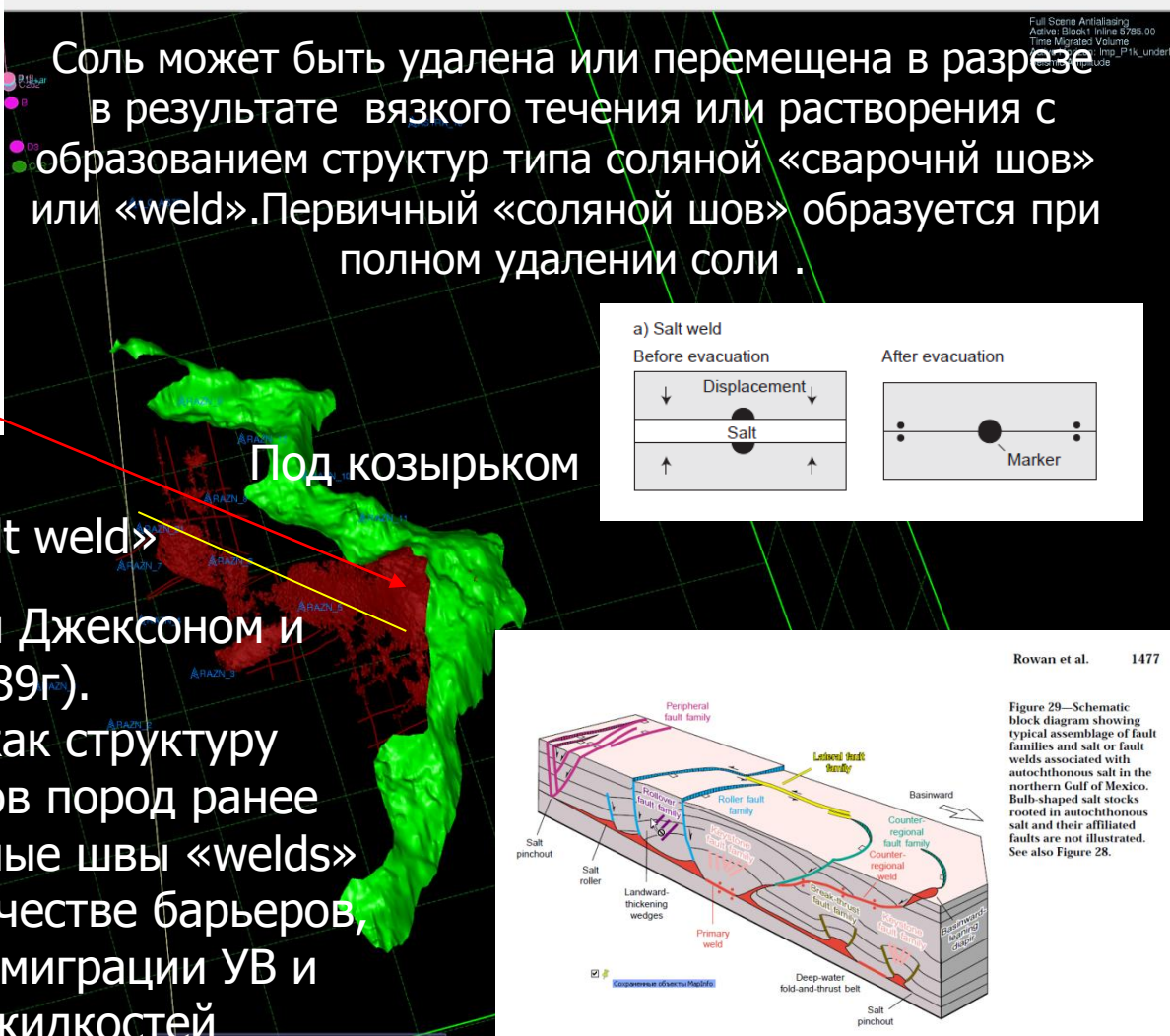
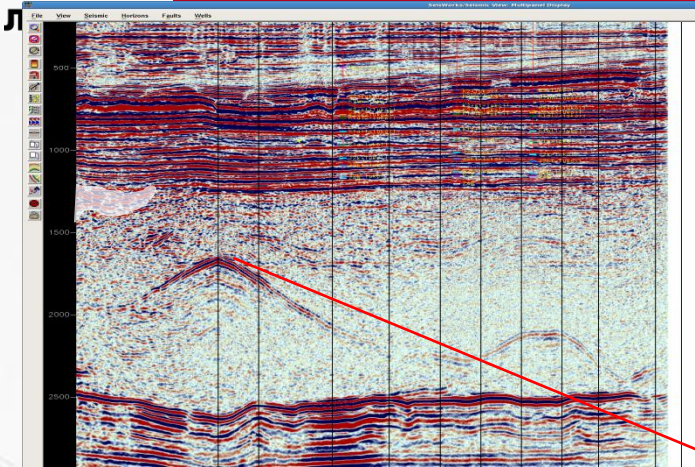
*ВЕЛД (weld)* – контакт между двумя стратиграфическими комплексами ранее разделенными солью (Джексон и Крамез, 1989г)

«Палеопокмарки» - индикаторы времени нефтегазогенерации и миграции УВ (интервал сантонских отложений), важный поисковый признак

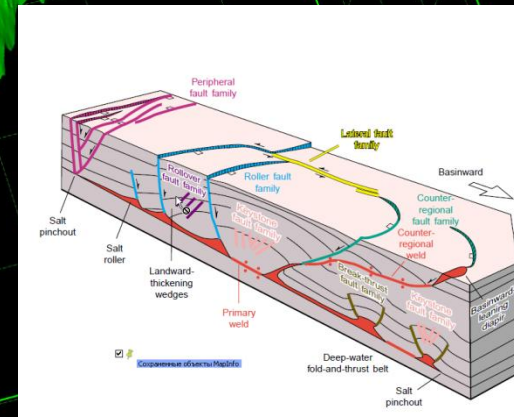
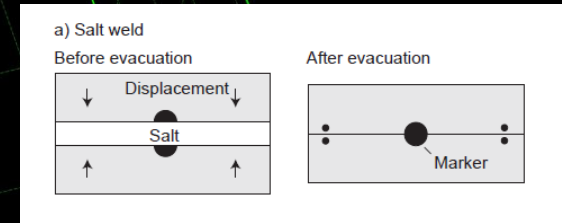




# Геологические задачи - новые интерпретационные модели ВЕЛЬДы



Соль может быть удалена или перемещена в разрезе в результате вязкого течения или растворения с образованием структур типа соляной «сварочный шов» или «weld». Первичный «соляной шов» образуется при полном удалении соли.

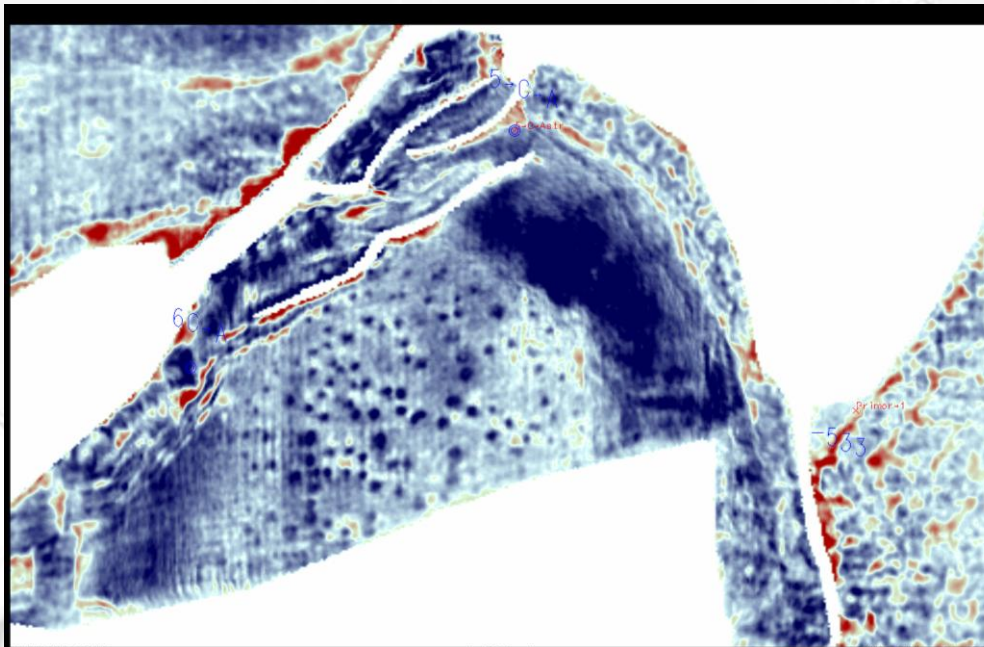


Rowan et al. 1477  
 Figure 29—Schematic block diagram showing typical assemblage of fault families and salt or fault welds associated with autochthonous salt in the northern Gulf of Mexico. Bull-shaped salt stocks rooted in autochthonous salt and their affiliated faults are not illustrated. See also Figure 28.

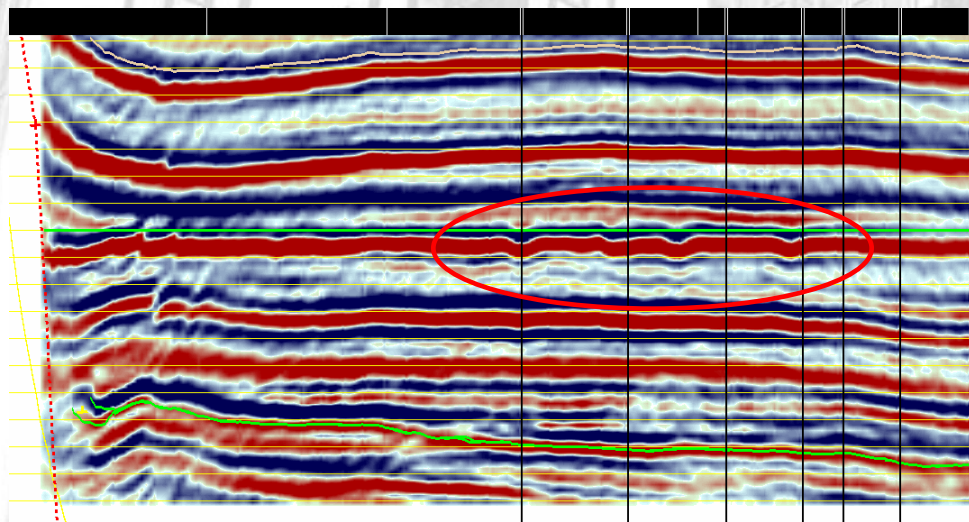
Термин *weld* был введён Джексоном и Крамезом (1989г). Они определили *weld* как структуру соединения двух объёмов пород ранее разделённых солью. Соляные швы «welds» могут выступать либо в качестве барьеров, либо в качестве путей миграции УВ и минерализованных жидкостей

Соляные швы (велды – weld): распознавание в волновом поле, картирование включение в геологические и параметрические модели, новые поисковые объекты.

# Геологические задачи - новые интерпретационные модели ПОКМАРКИ, индикаторы времени нефтегазогенерации и миграции УВ



- Покмаркоподобные структуры хорошо выделяются в мезозойском интервале разреза на временных разрезах, горизонтальных срезах, на картах геометрического атрибута *кривизна (Curvature)*
- Покмарки-структуры связанные с фокусированным движением флюидов (УВ, соляных растворов, поровой воды).
- Палеопокмарки являются, по-видимому, результатом суперпозиции двух независимых процессов – интенсивной генерации УВ в нижележащих отложениях и тектонической растресканностью всего разреза в обстановке объёмного растяжения вызванного ростом соляных штоков.



K2

K1

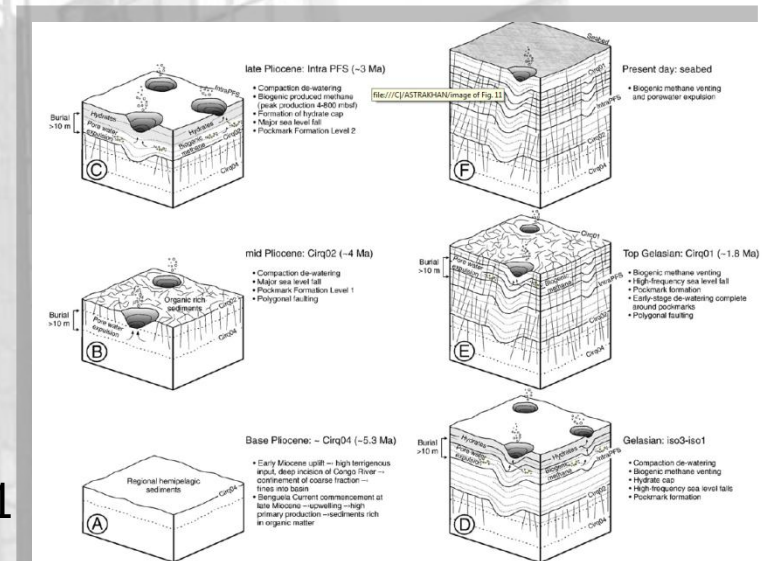
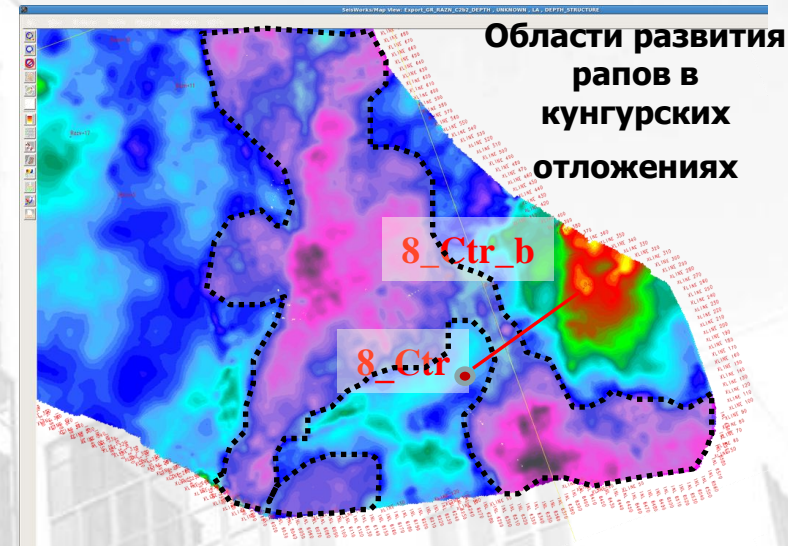
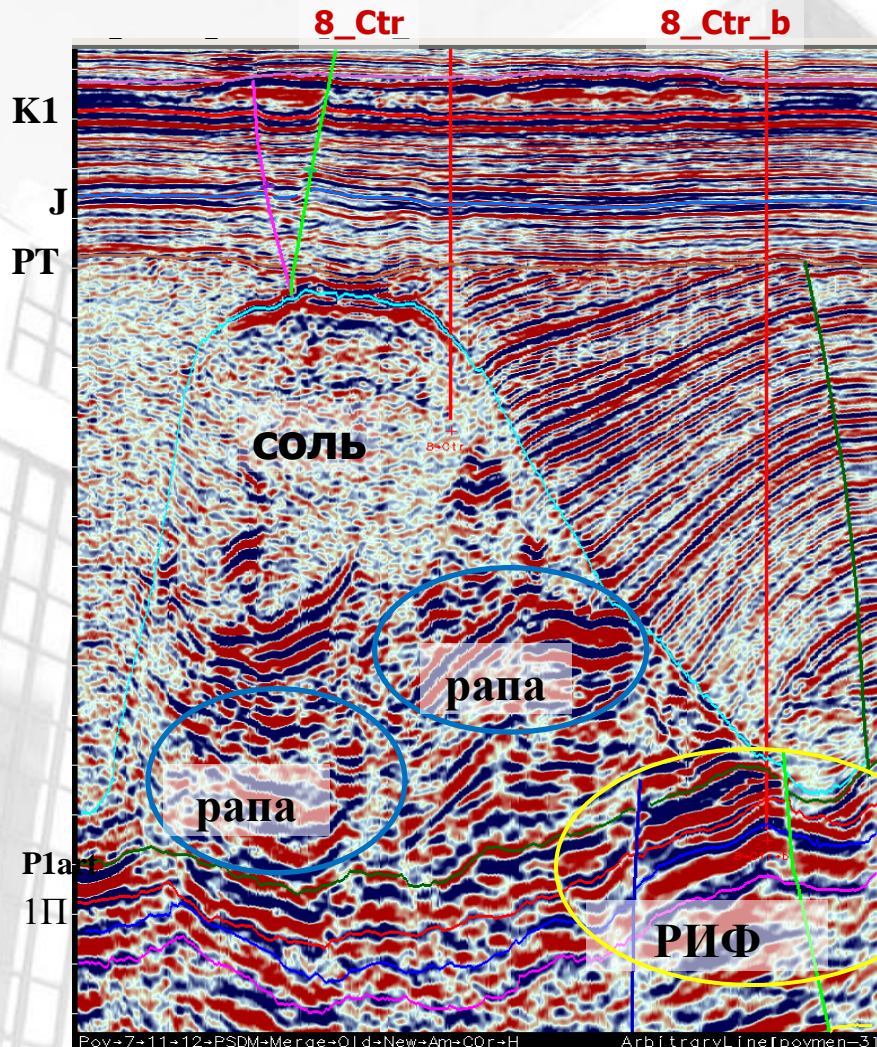


Fig. 11. Schematic development of a stacked paleopockmark and the post-pockmark formation of the polygonal faults. For clarity, the size and scale of the pockmarks have been exaggerated compared to the vertical (depth) scale.

# Предупреждение рисков бурения: предполагаемые интервалы развития рапоносных отложений



В соленосной толще Южно-Аксарайского купола, ожидается присутствие рапоносных линз. Признаками волнового поля, характеризующим рапоносные линзы, являются: понижение интервальных скоростей соленосных толщ (Винт=2500-3000м/сек.), возрастание амплитуд и понижение частоты отражений внутри соляных отложений. Интервалы развития рапоносных линз являются причинами осложнений при бурении в виде межколонных перетоков, смятии колонн.



## Геологические задачи

- Структурная интерпретация
- Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород

## Технологические задачи

- Широкоазимутальная сейсморазведка
- Мониторинг ГРП
- Геомеханические модели
- Сопровождение бурения горизонтальных скважин
- 4Д сейсморазведка для мониторинга разработки
- многоволновая сейсморазведка.....

# Комплексирование информации в 4Д сейсморазведке – интегрированная модель среды



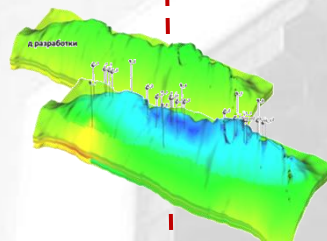
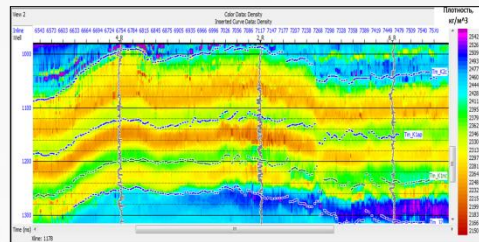
## 0-ой год

### Моделирование эффектов разработки

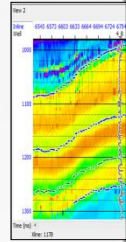
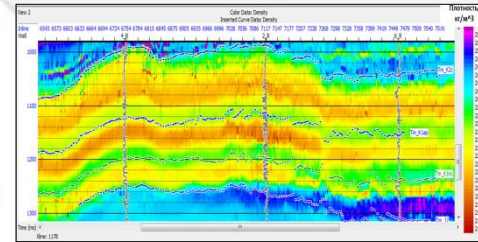
## N-ый год

## N+M-ый год

Модель упругих свойств коллектора



Модель упругих свойств коллектора

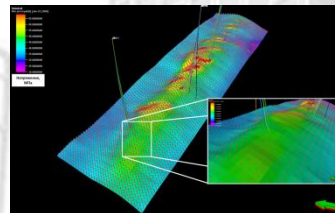


Гидродинамическое моделирование

Геомеханическое моделирование

Сейсмическое моделирование

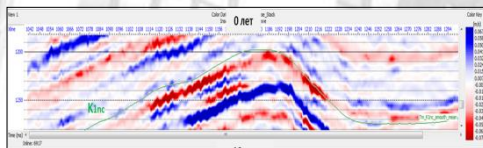
Сейсмическое моделирование



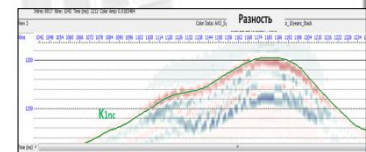
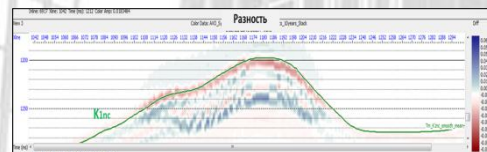
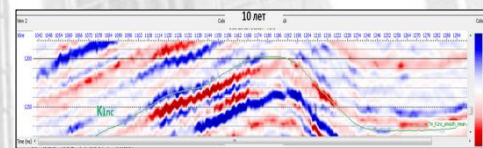
Компакция резервуара (5-6см) и дна (3-4 см)

Разностный сейсмический эффект

Синтетический сейсмический куб



Синтетический сейсмический куб



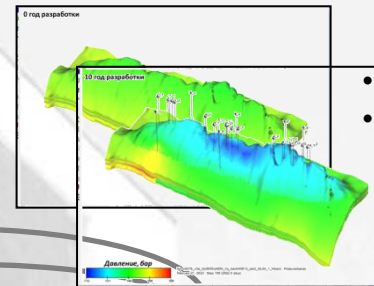
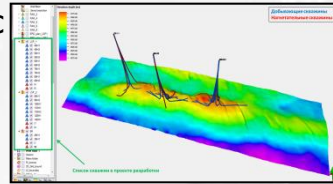
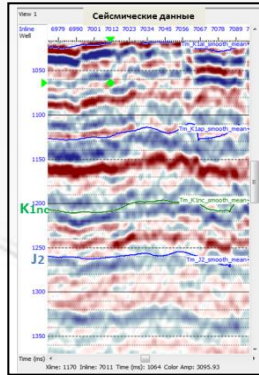


ЛУКОЙЛ

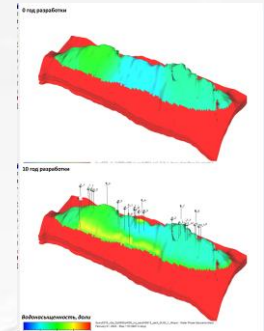
# Интегрированная модель среды – современная задача интерпретации



- Структурно-тектонический каркас
- Сейсмическая инверсия
- Кубы упругих свойств
- анизотропия



- Модели изменения давления
- Модели изменения насыщенности



Сейсморазведка

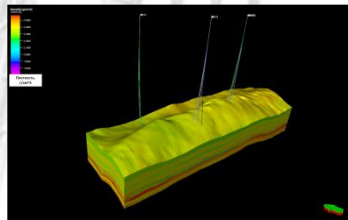
Гидродинамическое моделирование

Интегрированная модель среды

Геомеханическое моделирование

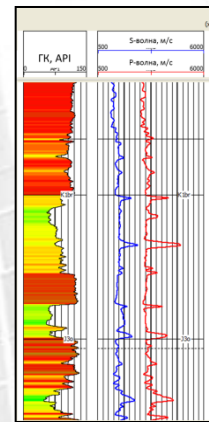
Микросейсмика при ГРП

Скважинные исследования

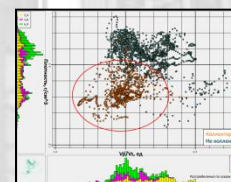
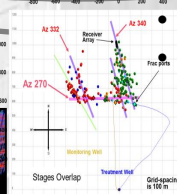
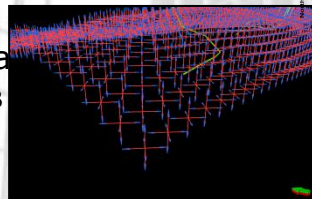


- Компакция:
- резервуара,
  - покрышки,
  - поверхности

- хрупкость
- напряженности



- Модели статических упругих параметров
- Модели прочностных параметров
- Дизайн траектории скважин



- Данные ГИС
- Механические тестирования керна
- Петроупругая модель коллектора
- Свойства флюидов
- Замеры давления, напряжения



ЛУКОЙЛ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



ЛУКОЙЛ