

Проблемы петроупругого моделирования трещиноватых коллекторов

И.О. Баяк, Н.В. Дубиня, С.А. Тихоцкий

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Карбонатный коллектор

- Карбонатный коллектор – сложная среда, содержащая пустоты разного типа (трещины, поры, каверны)
- Порода повышенной хрупкости – вероятное наличие трещин в разных масштабах.
- Наличие закрытой пористости
- Разномасштабность строения
- Анизотропия физических свойств (НТИ, орторомбическая)



Очень часто - неприменимость простых теоретических моделей для определения упругих свойств

Что такое петроупругая модель?



Основные проблемы петроупругого моделирования трещиноватых карбонатных пород

Соответствие масштабов построения петроупругой модели и измеренных упругих свойств породы.

Выбор метода Rock Physics для связи параметров модели с измеренными упругими свойствами.

Построение модельной среды, адекватно отражающей особенности внутреннего строения породы в рассматриваемом масштабе.

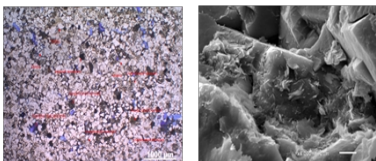
Корректный учет особенностей распределения изометричной пористости различного типа. (Некорректность учета приводит к изменению скоростей упругих волн, что может быть ошибочно приписано влиянию трещиноватости).

Петроупругое моделирование трещиноватости в масштабе сейсмических работ, опирающееся на результаты геомеханического моделирования.

Разномасштабное строение коллекторов

Масштаб

Нано-, микро-, мили, сантиметры



Модели I уровня

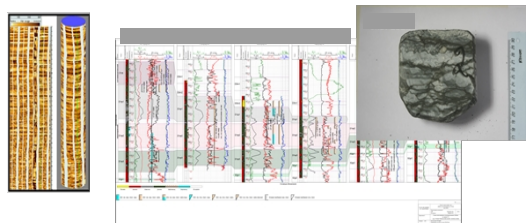
Данные

Лабораторные

исследования:

Фото шлифов, РЭМ, УЗ-просвечивание, пористость, минеральный состав

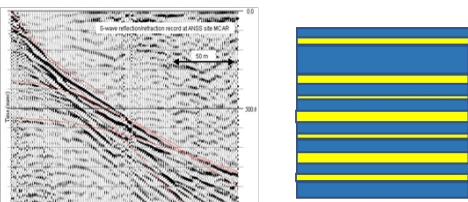
Десятки сантиметров, метры



Модели II уровня

Полноразмерный керн, ГИС

Десятки и сотни метров

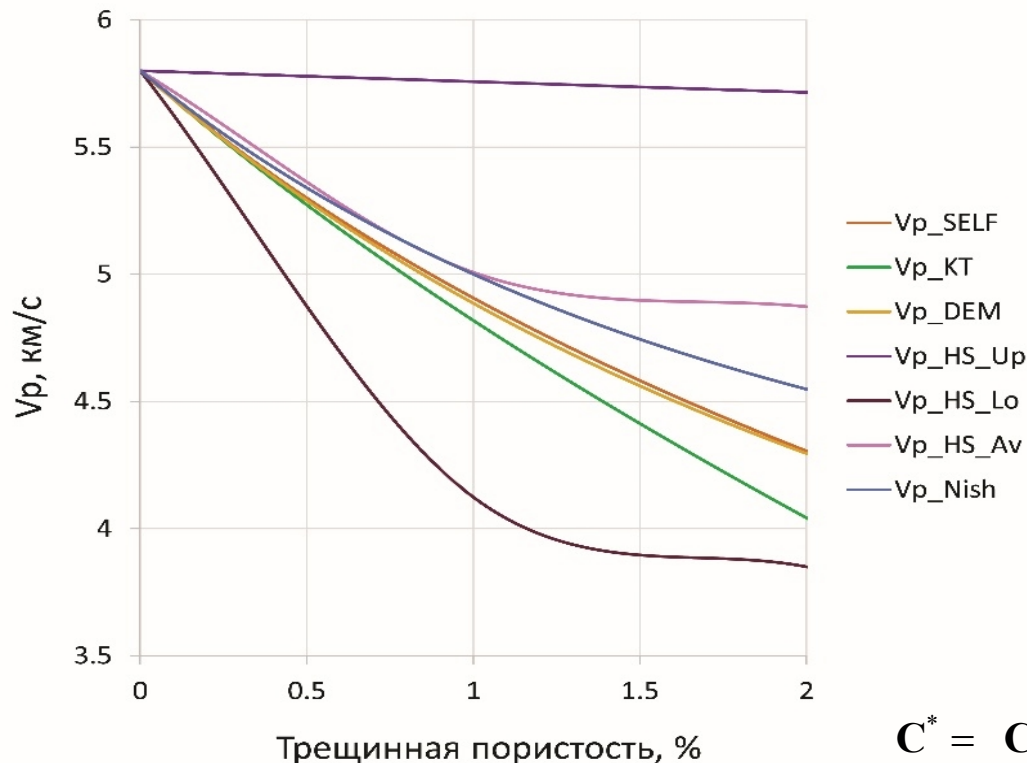


Модели III уровня

Сейсмика

Выбор метода Rock Physics для связи параметров модели с измеренными упругими свойствами (модели I и II уровней)

Модель карбонатного коллектора с хаотическими трещинами (АО = 0.003, флюид – пластовая вода)



Метод ОСП

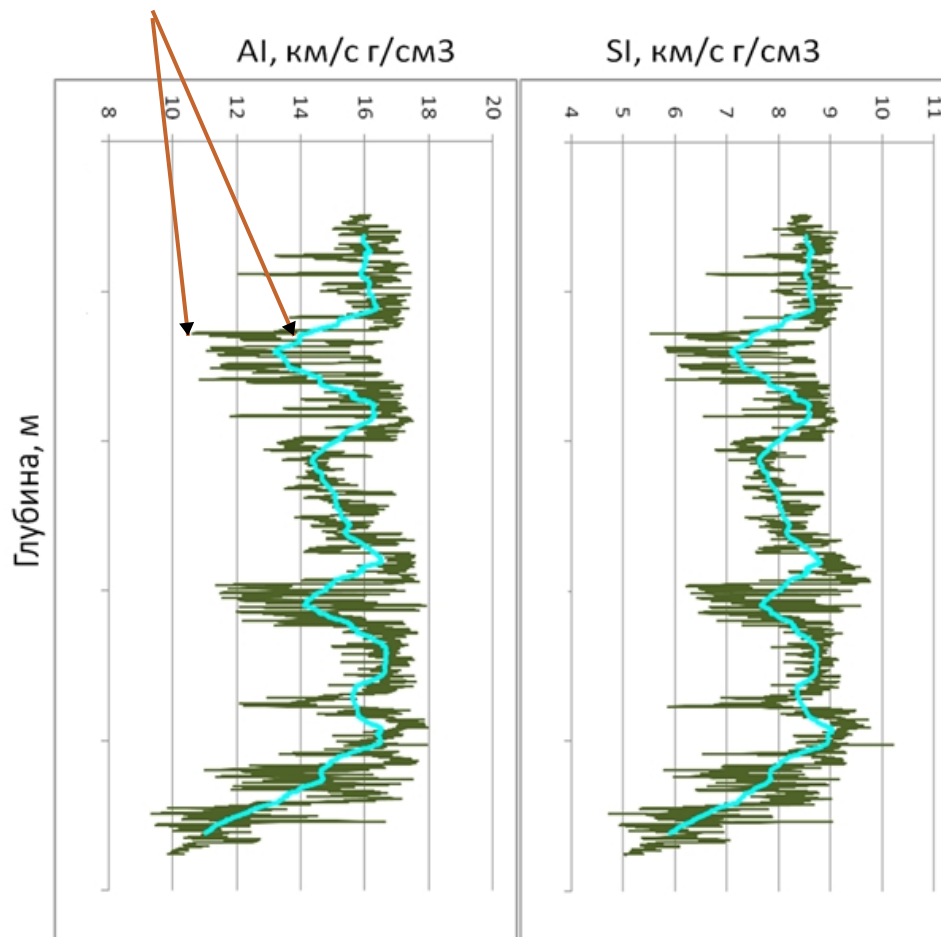
$$C^* = C(r) \left[I - g(C(r) - C^c) \right]^{-1} \left[I - g(C(r) - C^c) \right]^{-1}^{-1}$$

$$C^c = (1 - f)C^M + fC^I$$

Проблема выбора масштаба построения модели

Разница 20%

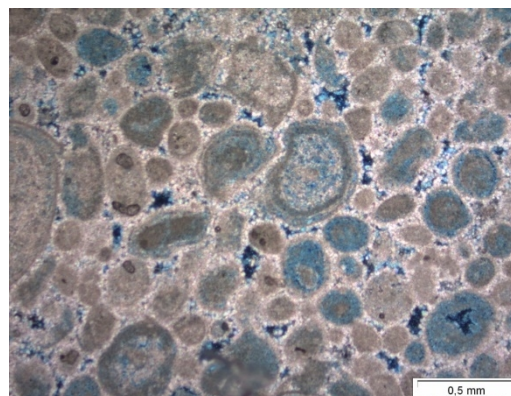
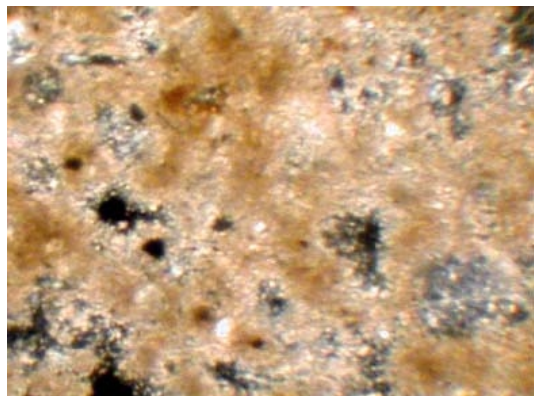
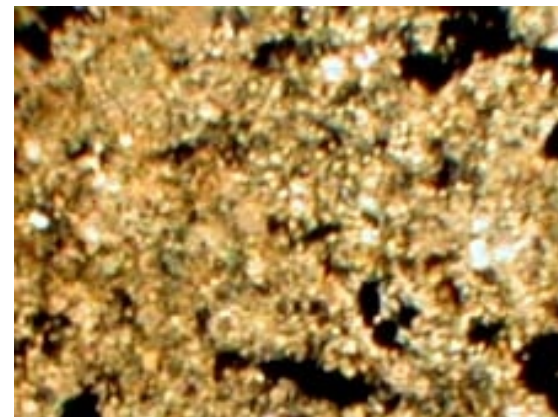
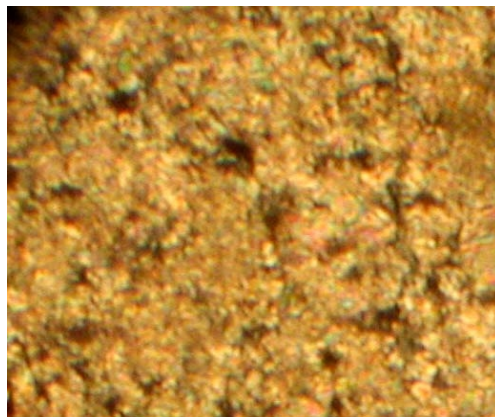
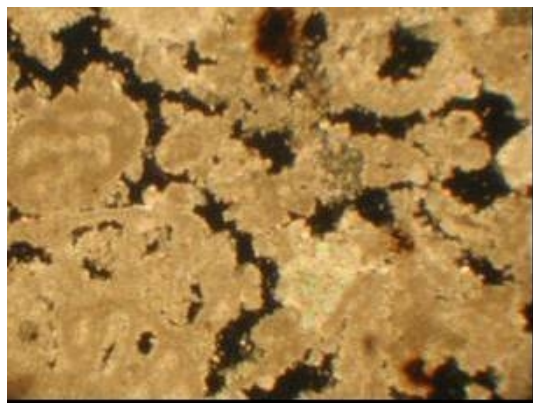
Акустический (AI) и сдвиговый (SI) импедансы моделей карбонатного коллектора в масштабах ГИС и сейсмики.





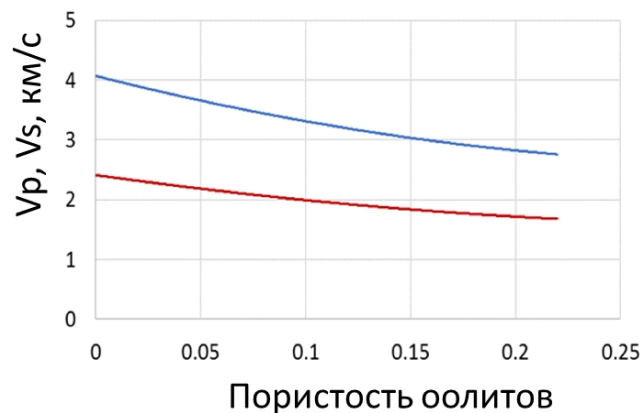
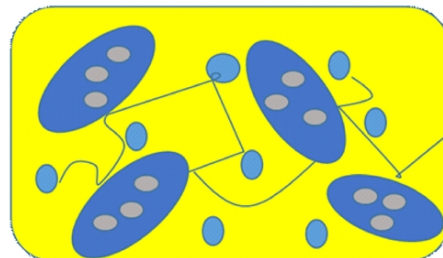
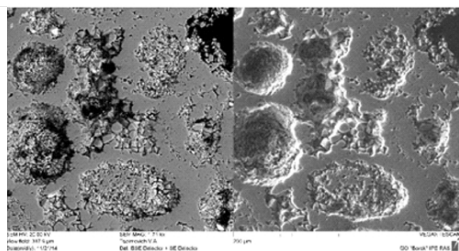
Проблема корректного учета внутреннего строения породы в каждом масштабе

Разнообразие внутреннего строения карбонатных коллекторов



Моделирование связности компонент

Оолитовый известняк



Суммарная пористость фиксирована!!!

Перераспределение пористости между матрицей и оолитами приводит к значительному изменению скоростей.

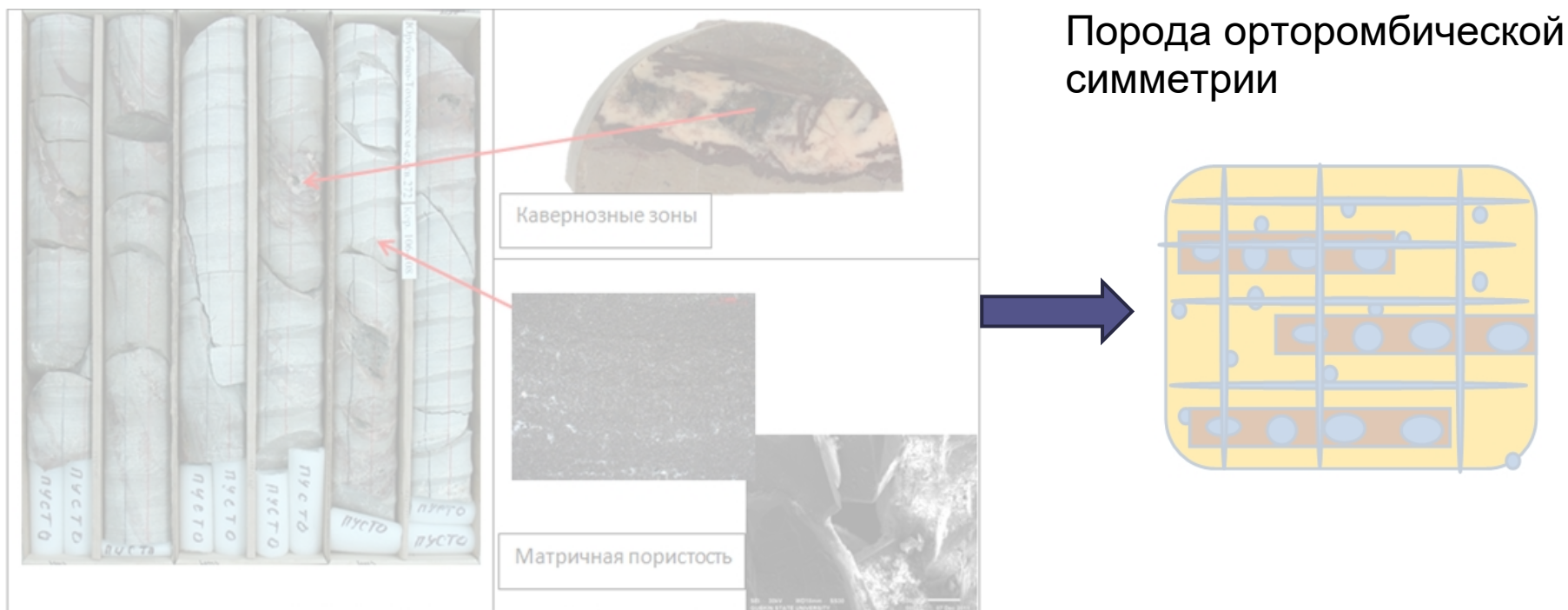
Параметры модели

- объемная доля пор внутри оолитовых зерен;
- параметр связности пор внутри оолитовых зерен;
- эффективное аспектное отношение пор внутри оолитовых зерен;
- эффективное аспектное отношение межзерновых пор;
- параметр связности межзерновых пор и оолитовых зерен в матриксе.

Возможна «ложная индикация» трещиноватой зоны!

Разномасштабная петроупругая модель карбонатного коллектора ЮТЗ

Особенность строения – разномасштабные неоднородности



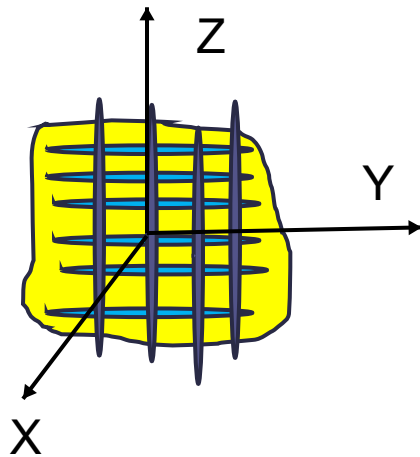
Фотографии О.В. Постниковой

**Возможно несоответствие
зависимостей «керна – ГИС»!**

Результаты решения прямой задачи

Орторомбическая симметрия

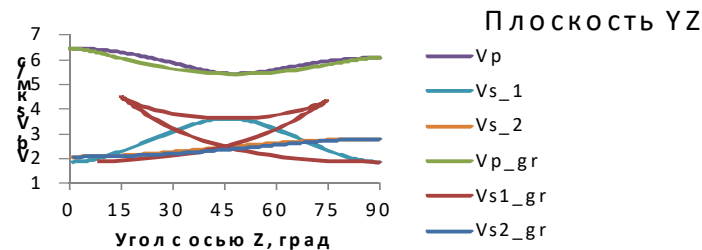
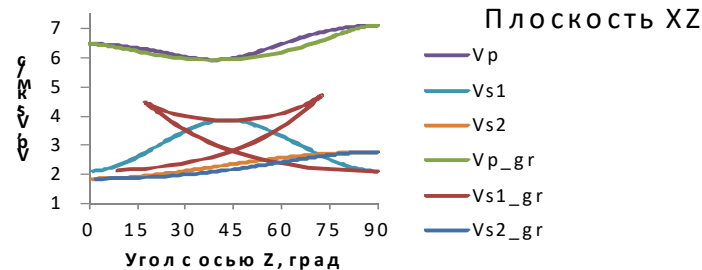
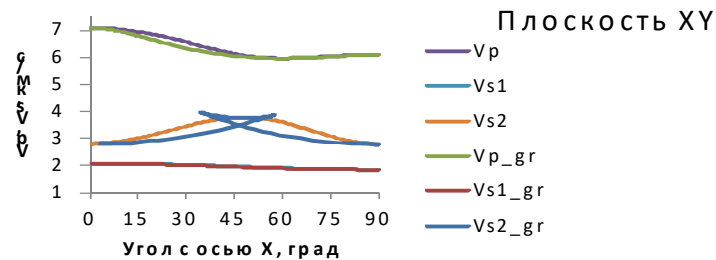
Матрица доломит:
 $V_p = 7.4$ км/с, $V_s = 4.0$ км/с, плотность 2.86 г/см³.
Флюид – пластовая вода.
Ось вертикальных трещин направлена вдоль оси Y.



горизонтальные трещины: емкость 0.5%,
вертикальные трещины: емкость 1%

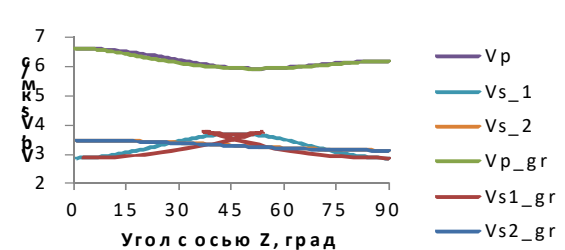
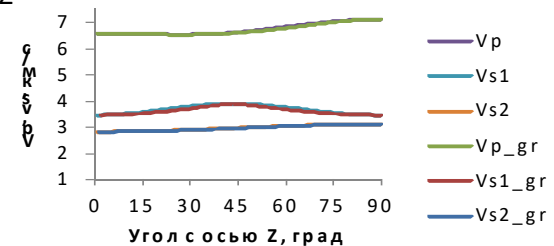
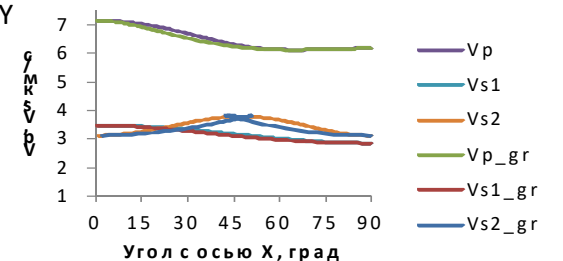
I

Горизонтальные трещины:
 $AR = 0.001$
Вертикальные трещины:
 $AR = 0.005$



II

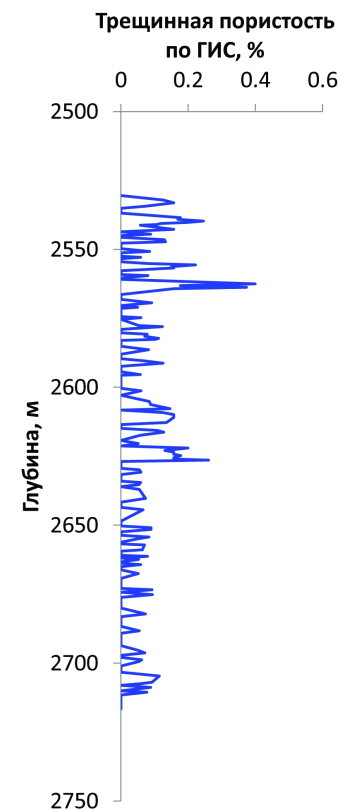
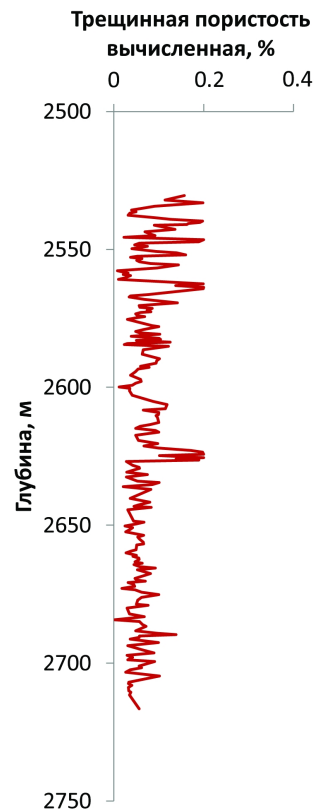
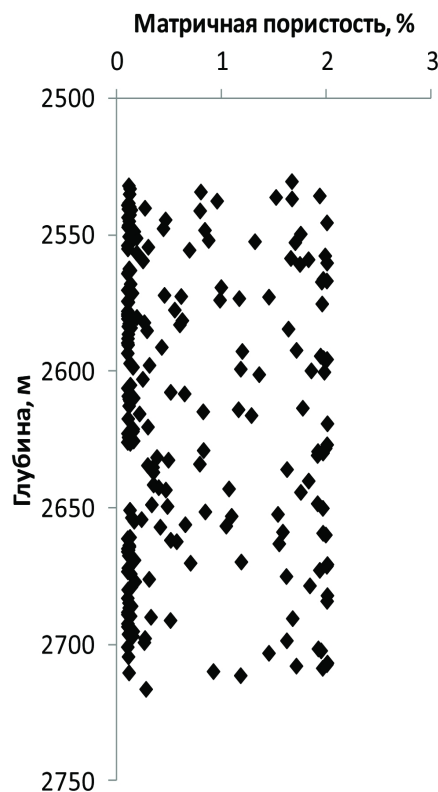
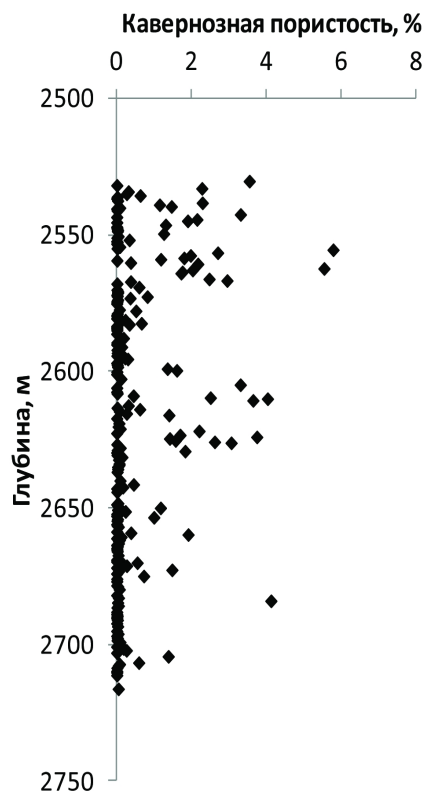
AR меняется в интервале от 0.001 до 0.01 и описывается функцией распределения (Бэта-распределением с параметрами $\alpha = 1$, $\beta = 5$)



Результаты решения обратной задачи

Пористость = матричная + кавернозная + трещинная

ЮТЗ



Проблема моделирования трещиноватости в масштабе сейсмики

Схема моделирования трещиноватости в масштабе сейсмических работ

3D MMC

Геомеханические свойства породы (статические модули упругости, прочностные параметры – UCS, IFA)

Региональное поле напряжений, результаты линеamentного анализа

Поле напряжений

σ

Возможная ориентация критически напряженных трещин

$$\tau_n \geq \mu \cdot \sigma_n$$

Геомеханическое моделирование (упруго-пластическая модель)

Накопленная необратимая деформация (за счет образования трещин) – ϵ_p

Данные сейсмики

Петроупругое моделирование

$\epsilon_p \sim$ интенсивность сдвиговых деформаций ~ Интенсивность трещинной пористости

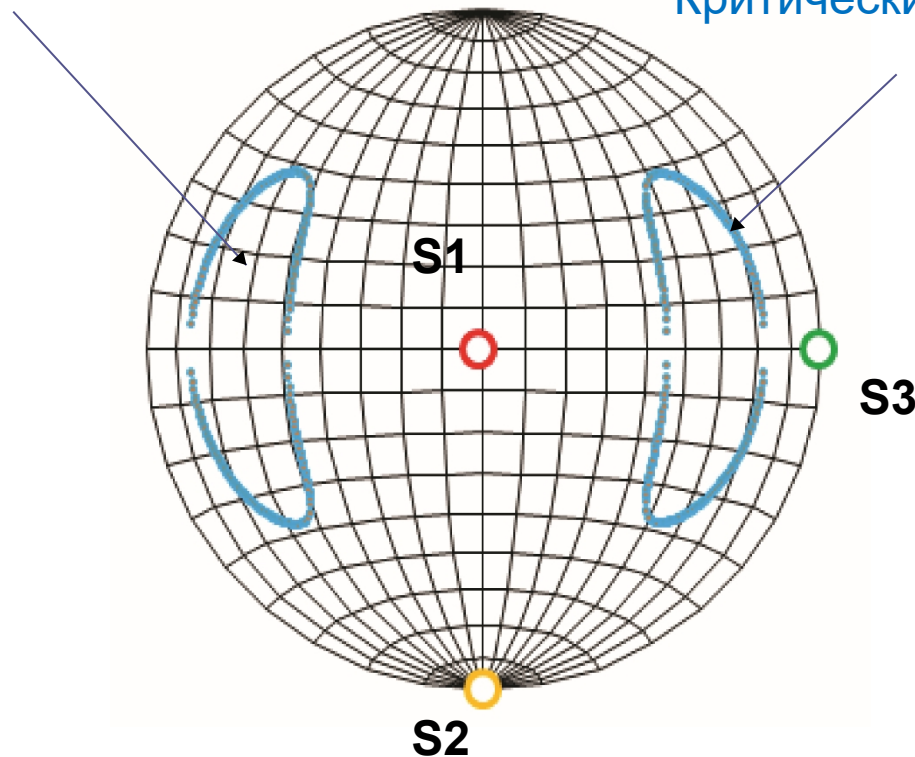
Упругие свойства «матрицы» породы (динамические модули упругости – VTI, орторомб. и т.п.)

Параметры трещиноватости сейсмического масштаба

Возможные направления критически напряженных трещин

Критически напряженные трещины

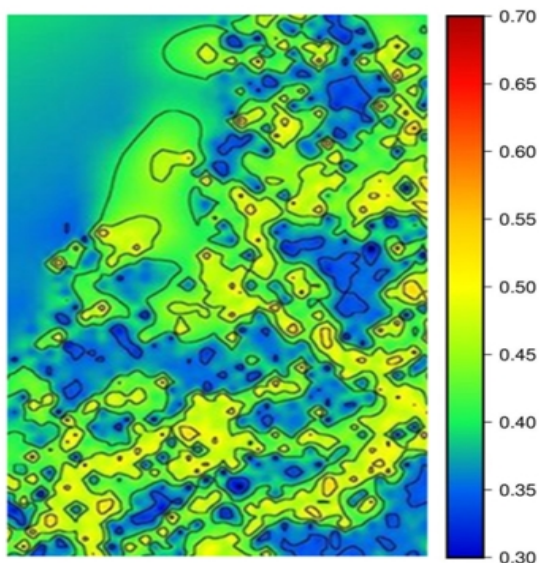
Критически напряженные трещины



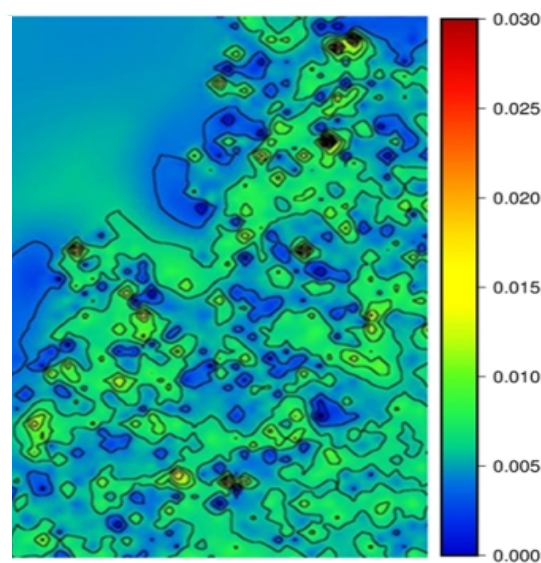
Максимальное главное напряжение 80 МПа,
промежуточное – 30 МПа, минимальное – 20 МПа,
одна из главных осей субвертикальна.

Параметры трещиноватости в масштабе сейсмики

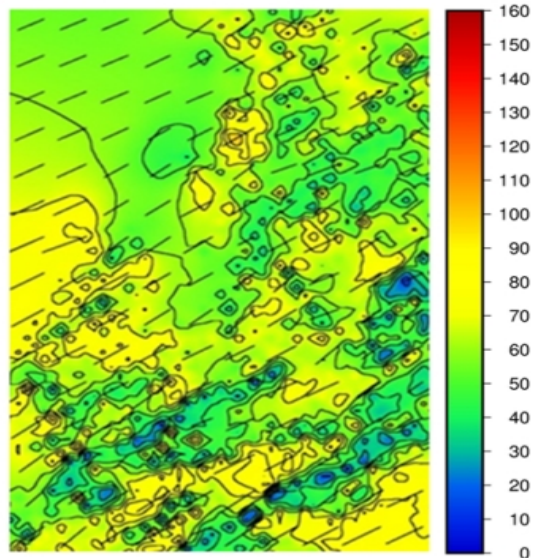
Связность трещин



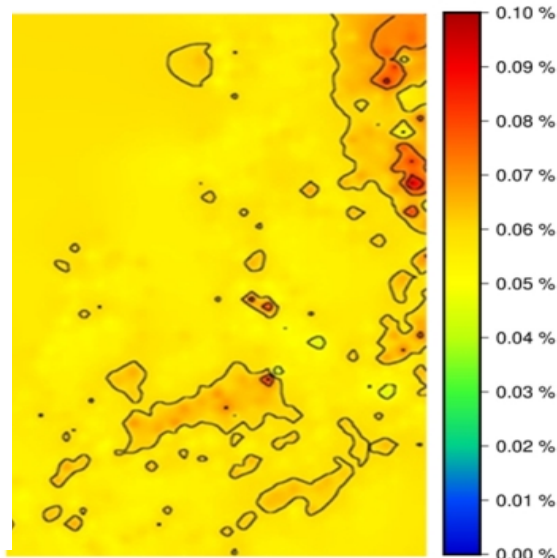
Относительное раскрытие трещин



Ориентация субвертикальных трещин



Трещинная пористость



Выводы

Петроупругая модель должна отражать особенности строения породы в том масштабе, для которого моделирование проводится (керна, ГИС, сейсмика). Внутреннее строение породы на предыдущем масштабе, проявляется в особенностях поведения упругих свойств в следующем масштабе.

Выбор метода Rock Physics для связи параметров модели с измеренными физическими свойствами (скоростями упругих волн) в каждом масштабе должен определяться наличием или отсутствием анизотропии этих свойств, а также особенностями взаимного расположения компонент.

Экспериментальные данные, используемые для инверсии параметров модели породы, должны соответствовать масштабу построения модели.

Выводы

При интерпретации данных ГИС следует учитывать, что понижение скоростей при одной и той же литологии и пористости может быть вызвано не только повышенной трещиноватостью, но и перераспределением изометричных пор между кавернами и матричной пористостью, а также между оолитами и вмещающей их матрицей.

Петрофизические зависимости, полученные на керне, могут не соответствовать таковым, полученным по данным ГИС, из-за различного строения породы в данных масштабах.

Геомеханическое моделирование позволяет определить наличие флюидопроводящих трещин в породе, их возможную ориентацию и распределение интенсивности в объеме породы. Дополнительное привлечение сейсмических данных и использование петроупругого моделирования позволяет оценить количественные характеристики таких трещин – преимущественную ориентацию, объемную концентрацию, относительное раскрытие и степень связности.

Спасибо за внимание!