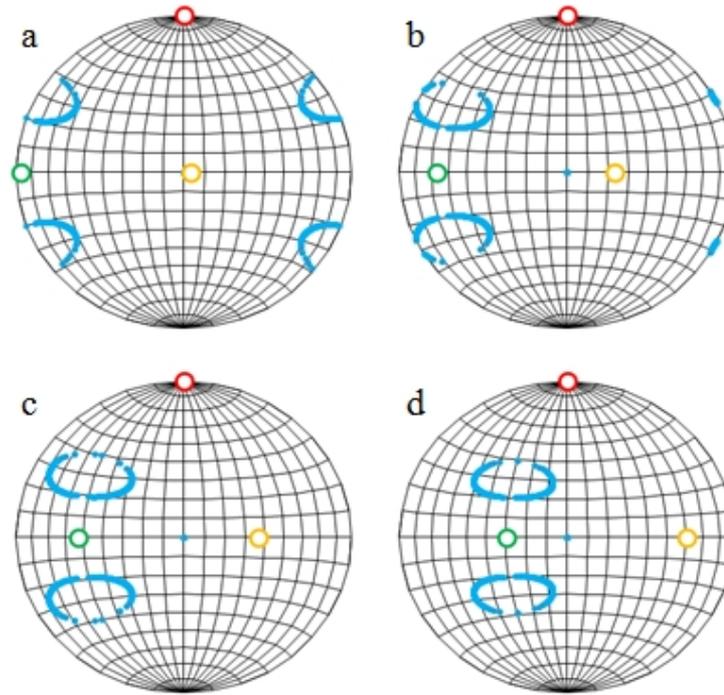


# Закономерности в пространственной ориентации и положении флюидопроводящих естественных трещин в окрестностях крупных разломов



Институт физики Земли РАН  
Дубиня Никита Владиславович  
2019.04.23

# Введение

---

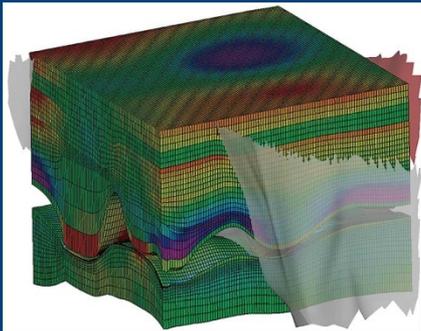
Работа посвящена проблеме оптимизации разработки месторождений углеводородов, характеризующихся развитой трещиноватостью.

## Проблемы:

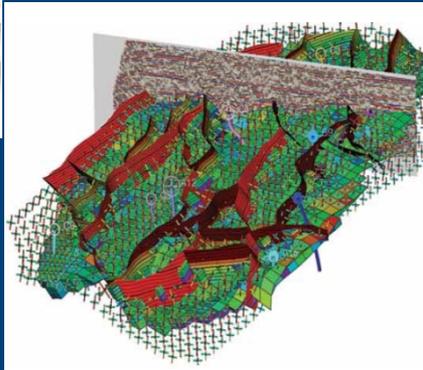
- Развитая трещиноватость – результат накопления пластической деформации в породах-коллекторах за всю историю эволюции напряженного состояния;
- Знание ориентации трещин необходимо для выбора направления бурения и режима работы скважин;
- Естественные трещины могут проводить или не проводить флюид в зависимости от актуального напряженного состояния на месторождении.

# Решение – геомеханическая модель

## Схематическое представление



Куб эффективных вертикальных напряжений



Вектора главных напряжений в пласте с разломами

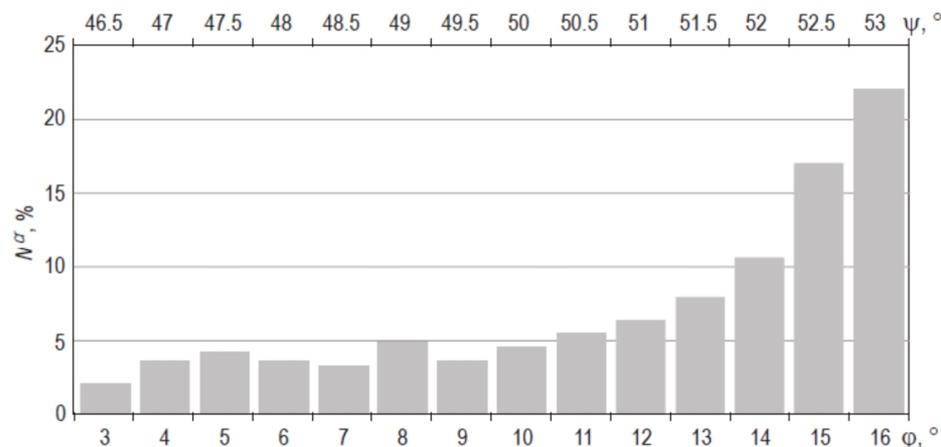
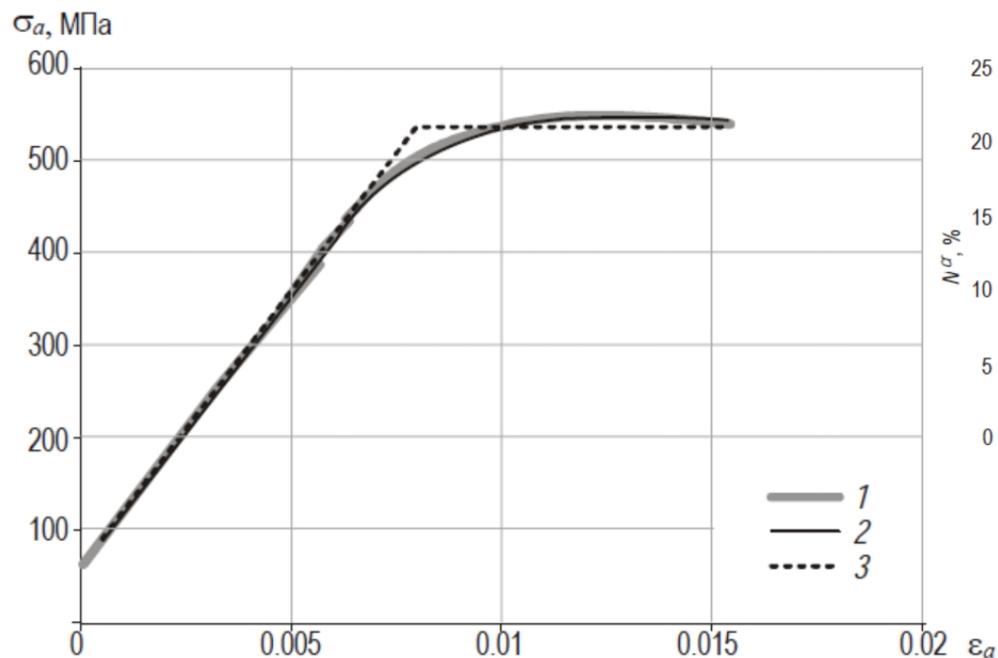
## Ключевые составляющие

- Куб статических и динамических упругих модулей, прочностных свойств, плотности;
- Начальные условия: поле порового давления, геостатические напряжения;
- Граничные условия: оценки компонент тензора напряжений по данным скважинных исследований;
- Результат: распределения всех компонент тензора актуальных эффективных напряжений, деформаций, накопленные пластические деформации

Возможно проведение 4D геомеханического моделирования: связанное геомеханическое и гидродинамическое моделирование, связь осуществляется через экспериментальные зависимости фильтрационно-емкостных свойств и напряженно-деформированного состояния

# Накопление пластических деформаций

Трещиноватые горные породы – материалы со сложной реологией, описываются неассоциированным законом пластического течения, в процессе нагружения изменяется угол внутреннего трения, необратимая деформация реализуется через образование микротрещин



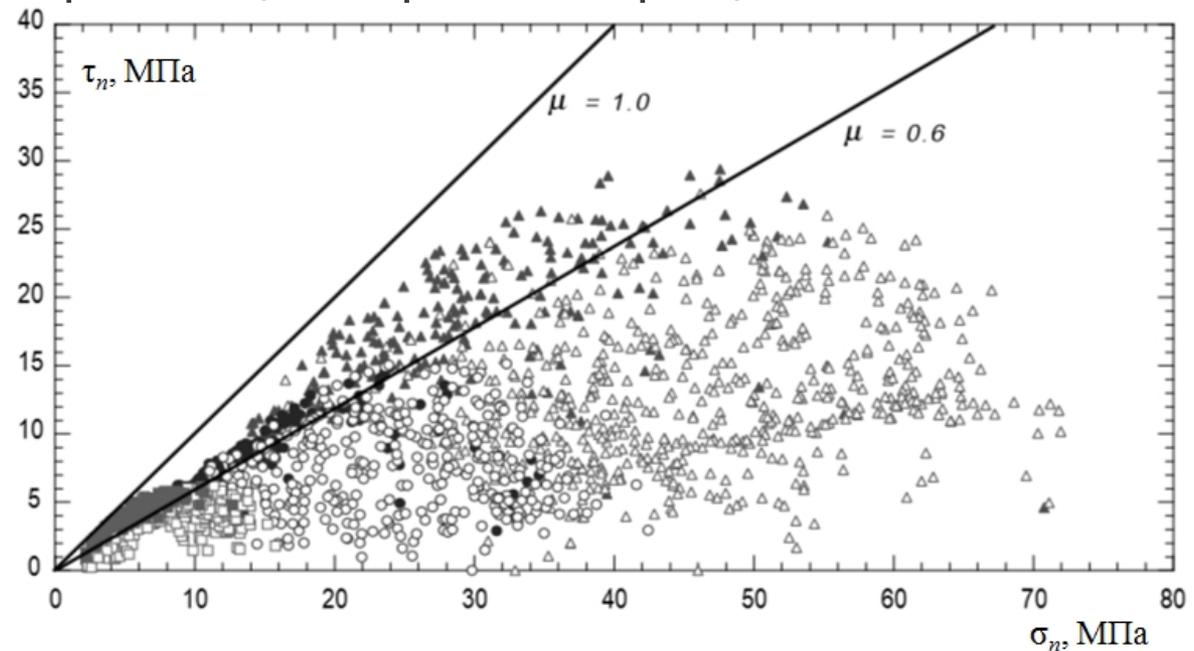
Гарагаш И.А., Дубиня Н.В., Русина О.А., Тихоцкий С.А., Фокин И.В. Определение прочностных свойств горных пород по данным трехосных испытаний // Геофизические исследования, 2018, т. 19, №3, с. 57-72

# Флюидопроводимость трещин

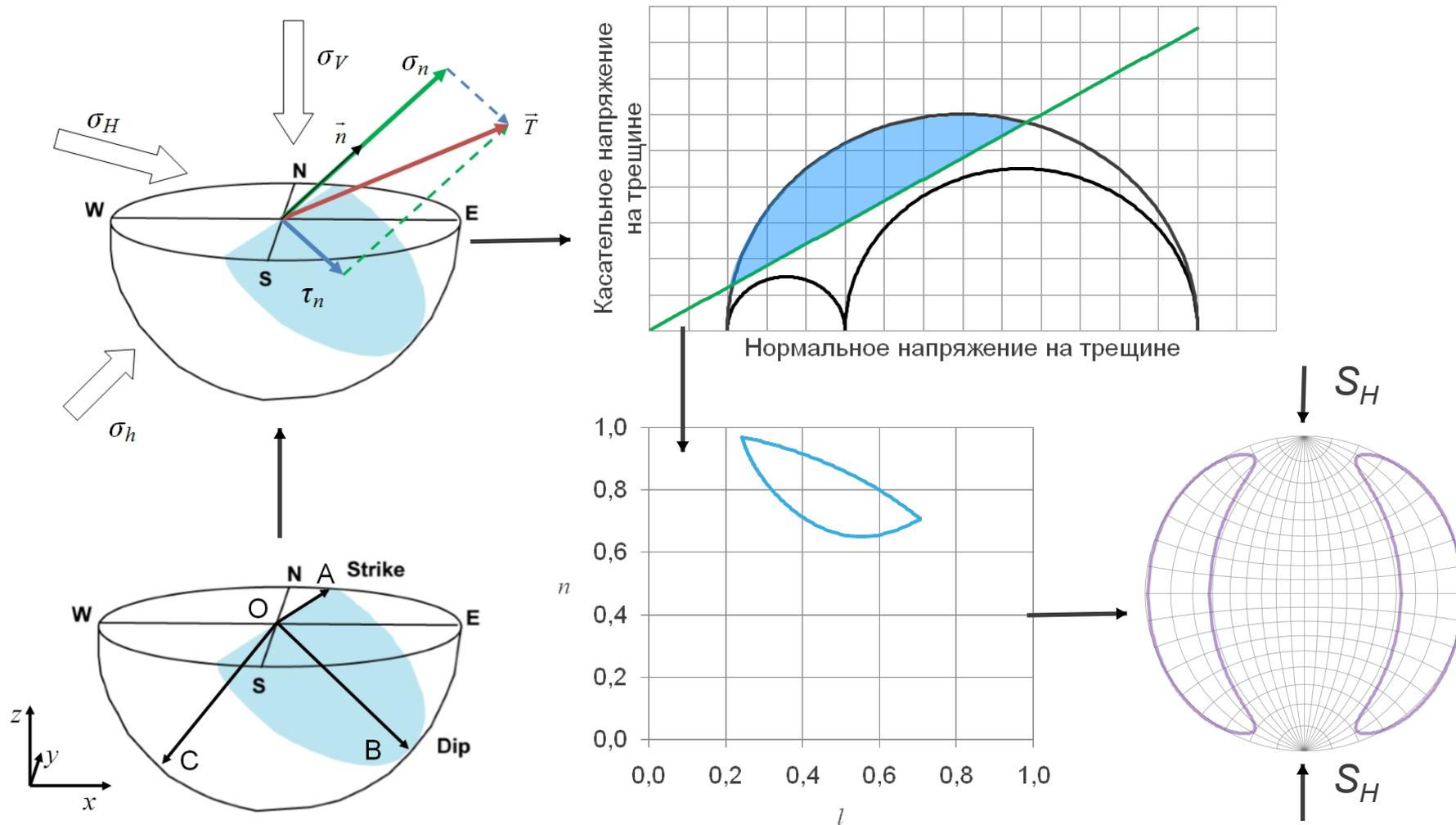
Не каждая трещина сдвига способна проводить флюид. Критерий проводимости:  $\tau_n \geq \mu \cdot \sigma_n$  (Barton et al., 1995)

Проверить критерий можно, если известны:

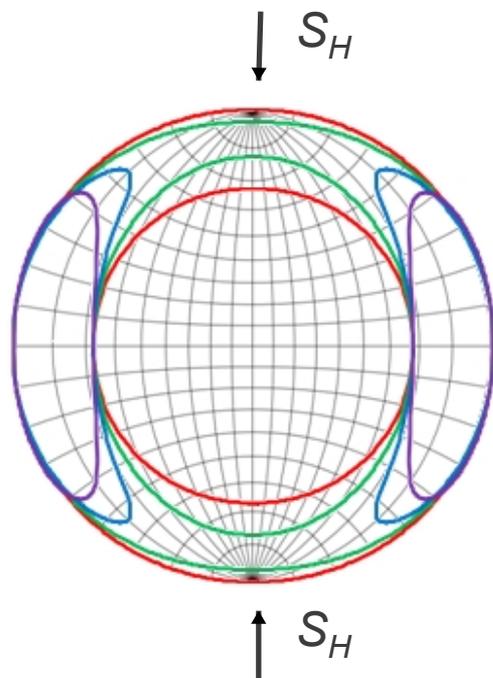
- Компоненты тензора напряжений;
- Пространственная ориентация нормали к трещине относительно главных осей.



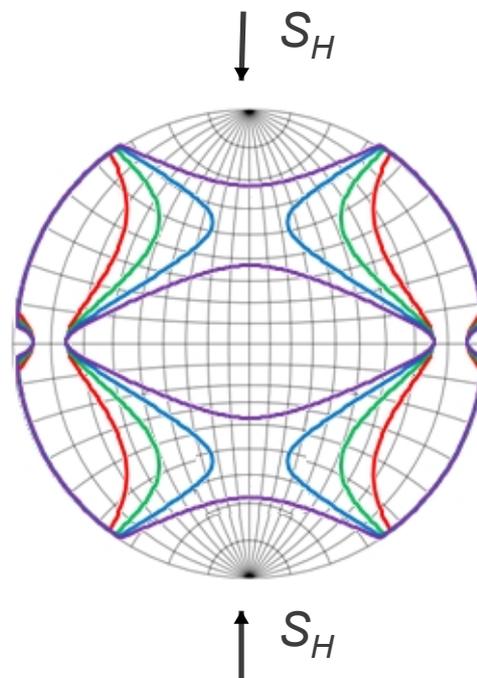
# Флюидопроводимость трещин



# Флюидопроводимость трещин



$S_V = 50$  МПа,  $S_h = 10$  МПа  
 $S_H = 10, 15, 20, 30$  МПа

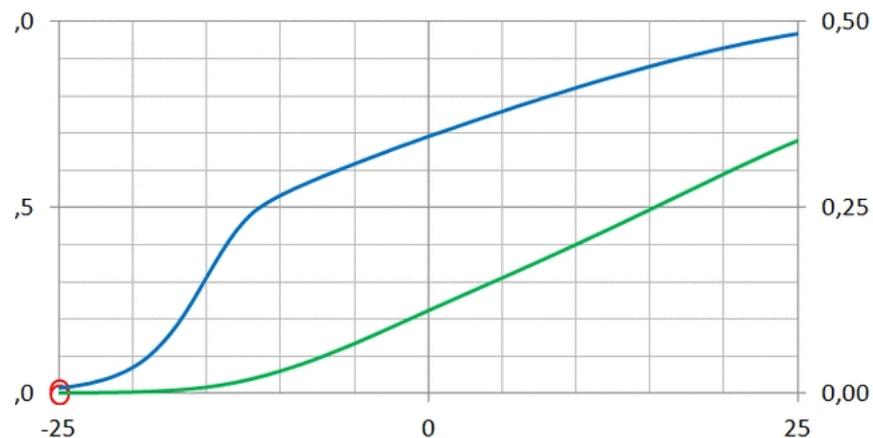
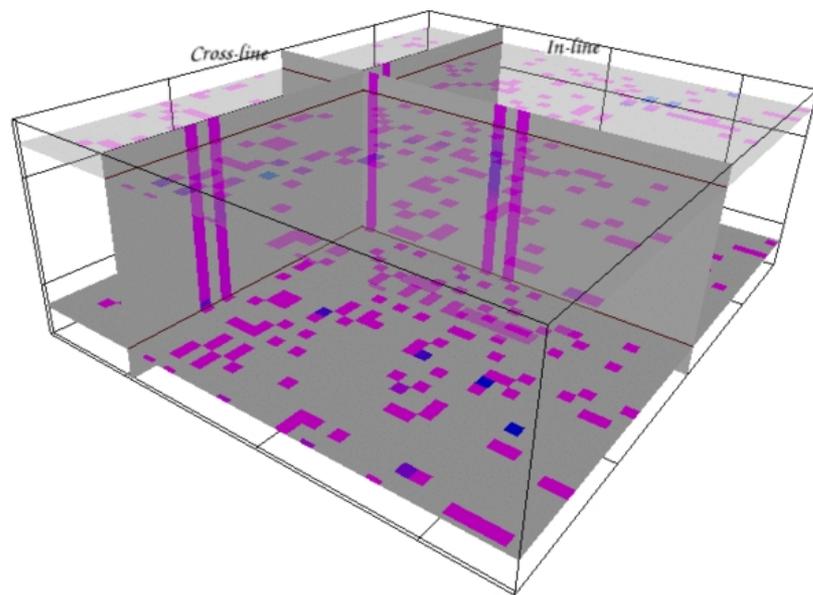


$S_V = 50$  МПа,  $S_h = 15$  МПа  
 $S_H = 100, 125, 150, 175$  МПа

Область нормалей к флюидопроводящим трещинам зависит от значений главных напряжений и их пространственной ориентации.

В геомеханике месторождений часто используется приближение субвертикальности одной из главных осей тензора напряжений

# Эволюция поля проводящих трещин



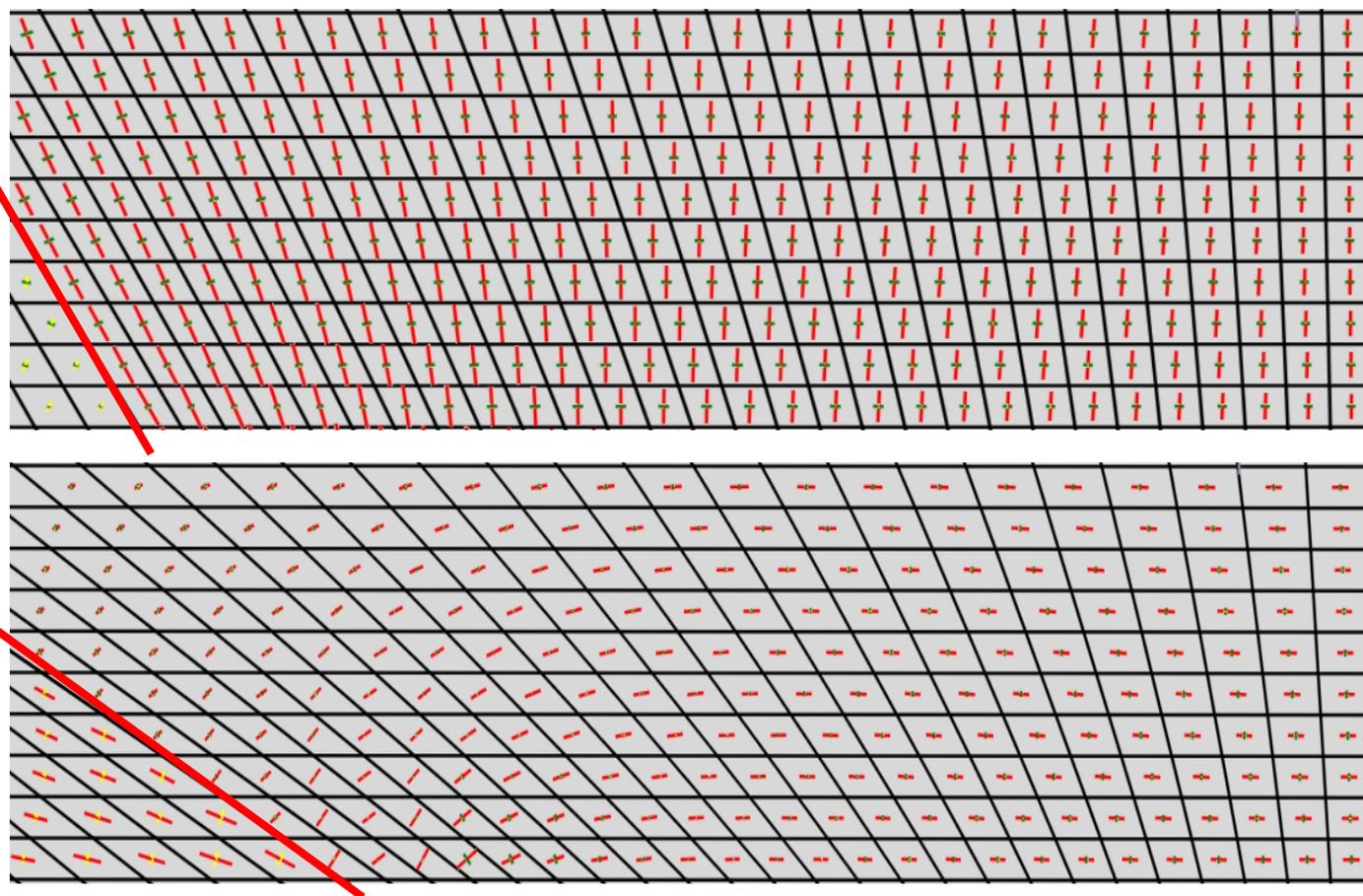
- Текущее состояние
- Объем области с проводящими трещинами
- Доля проводящих трещин

Доля флюидопроводящих трещин – произведение относительной накопленной пластической деформации на отношение площади круга Мора над критерием флюидопроводимости к общей площади круга Мора

# Вертикальность главной оси

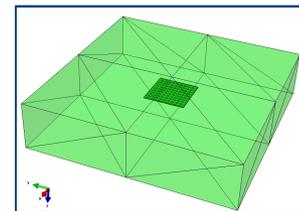
Упомянутое приближение субвертикальности одной из главных осей тензора напряжений существенно нарушается рядом с крупными нарушениями сплошности - разломами

Разломы разных геодинамических типов



# Закономерности расположения трещин

При работе с реальными месторождениями невозможно исследовать тенденции в положении, количестве и пространственной ориентации флюидопроводящих трещин, поскольку незначительно количество крупных разломов, сильно влияющих на поле напряжений.



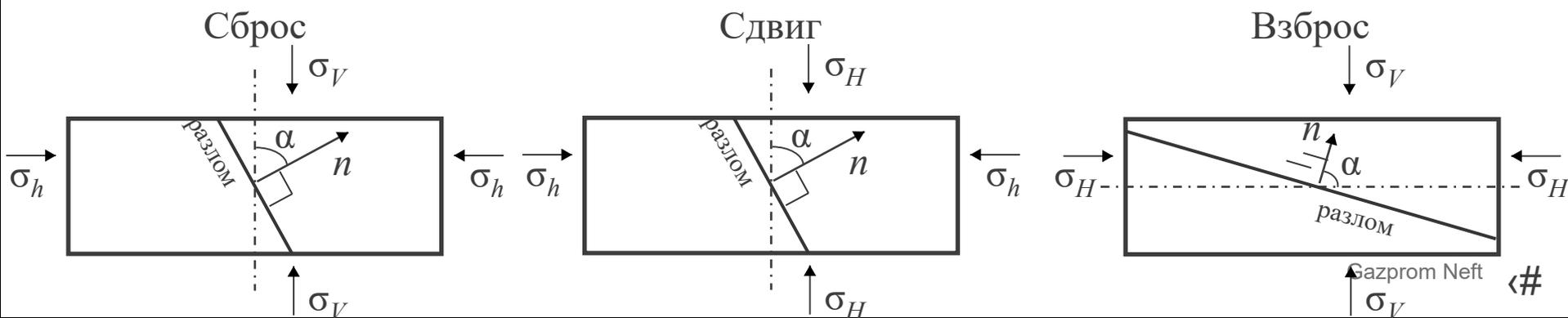
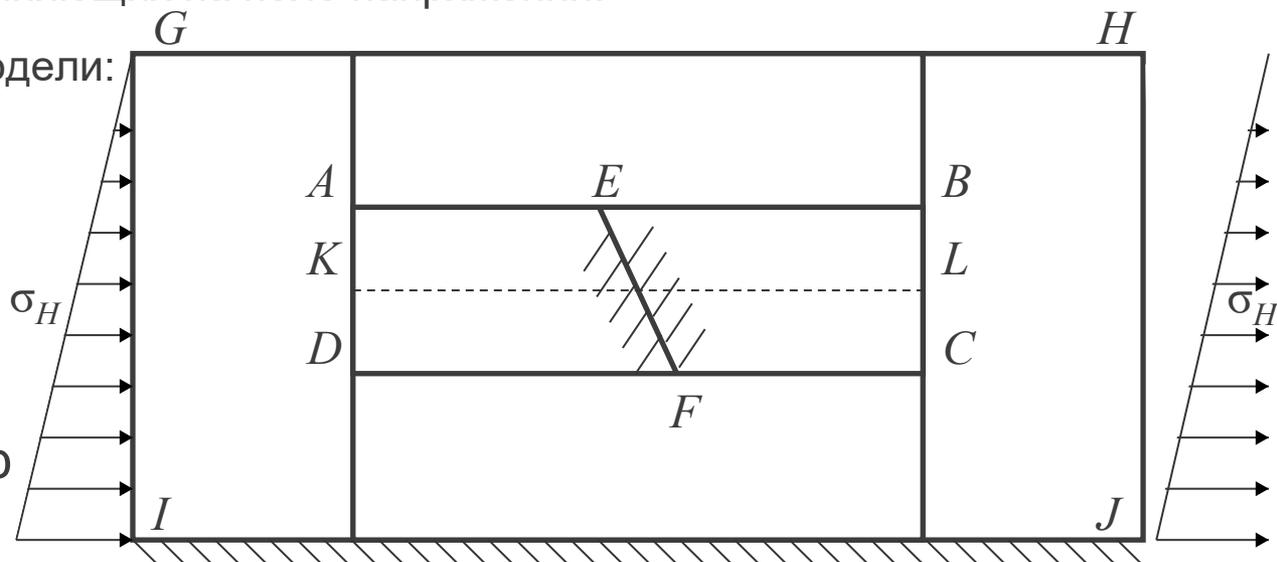
Решение – синтетические модели:

Сброс:  $\sigma_V \geq \sigma_H \geq \sigma_h$

Сдвиг:  $\sigma_H \geq \sigma_V \geq \sigma_h$

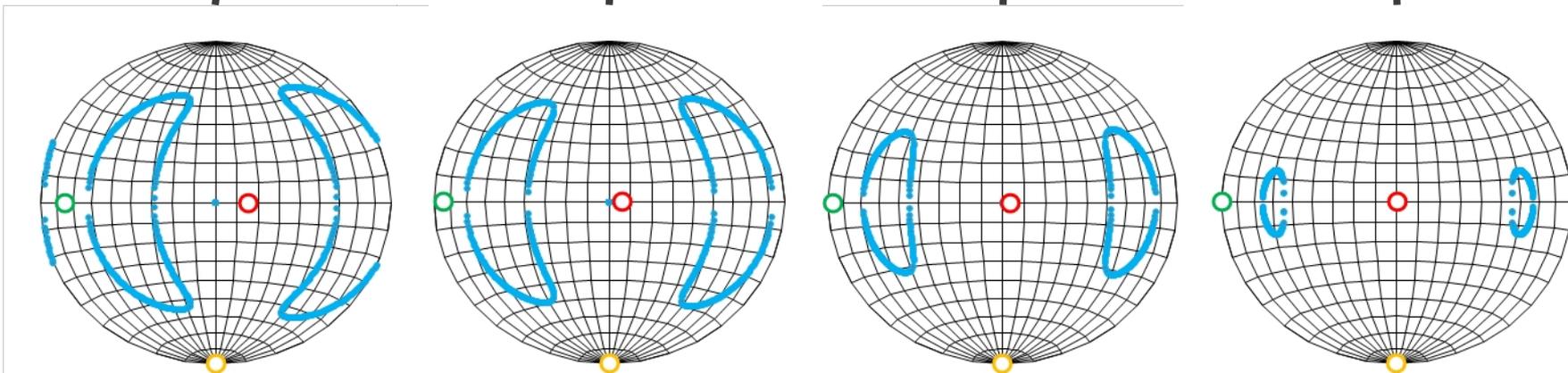
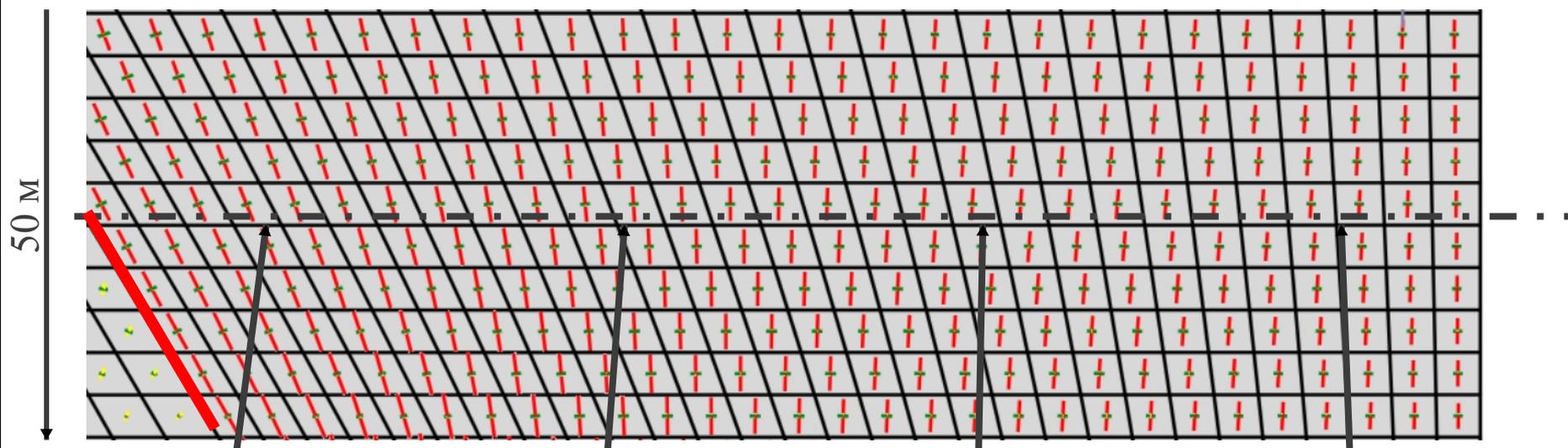
Взброс:  $\sigma_H \geq \sigma_h \geq \sigma_V$

Угол между плоскостью разлома и  $\sigma_1 \sim 30^\circ$



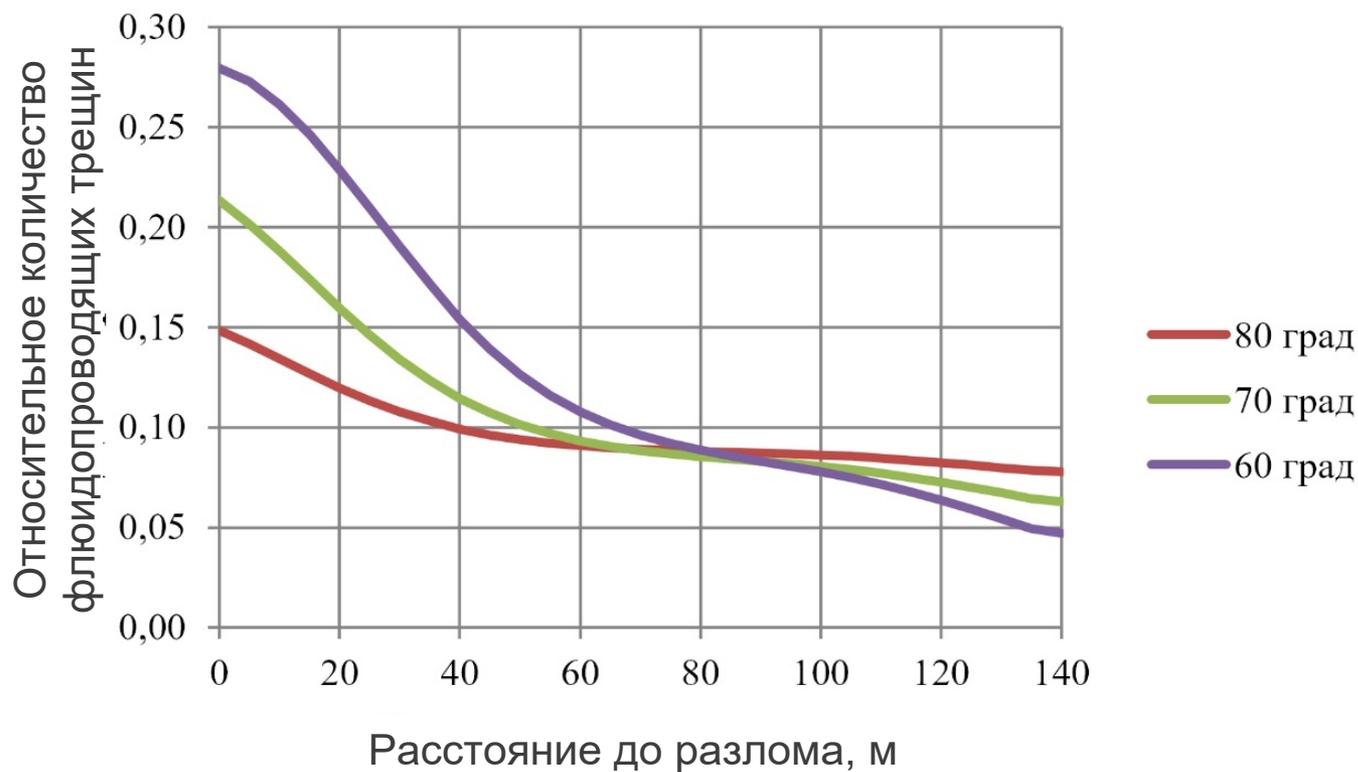
# Закономерности в распределении трещин

Сбросовый тектонический режим – вертикальное напряжение максимально



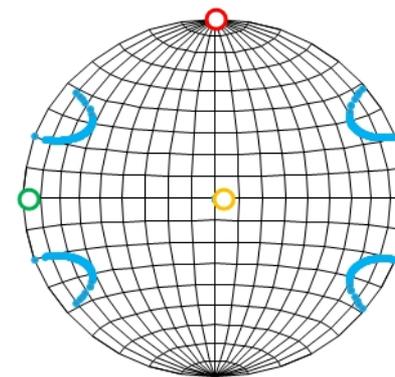
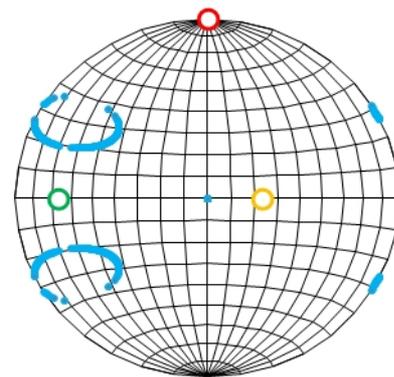
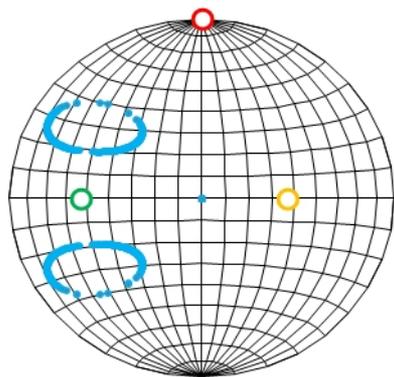
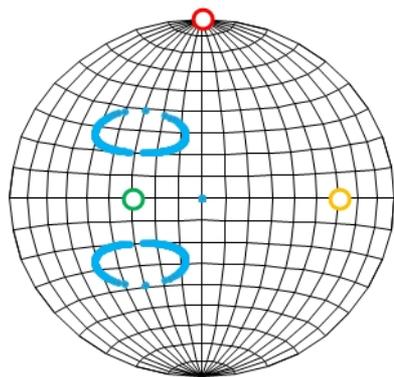
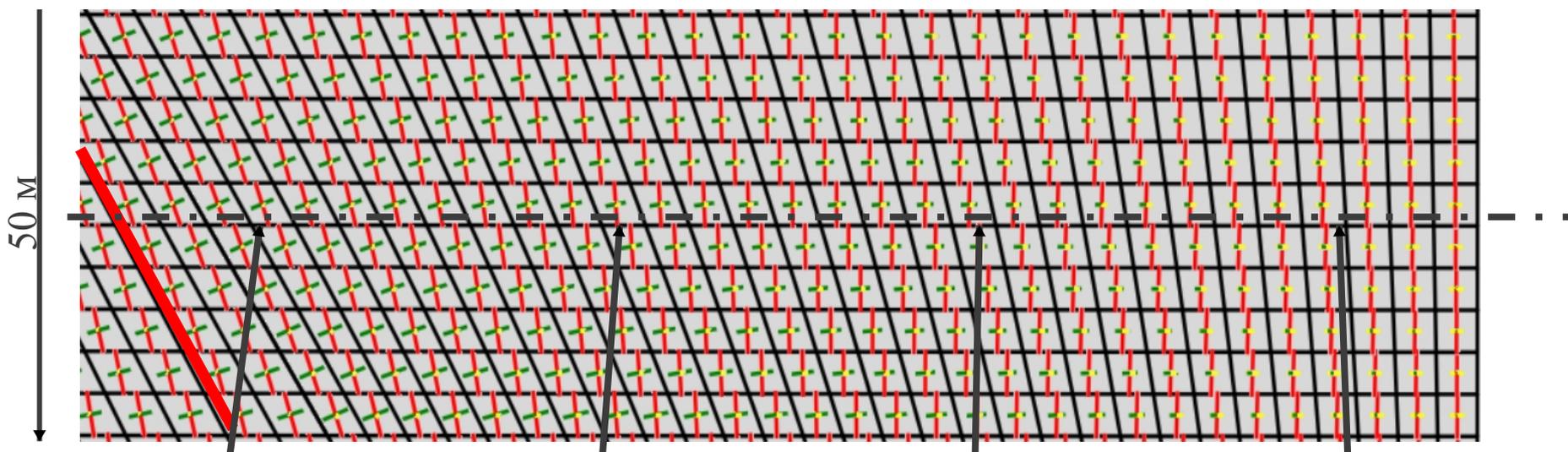
# Закономерности в распределении трещин

Общее количество трещин как функция от наклона разлома и расстояния до него (длина разлома – 50 м)



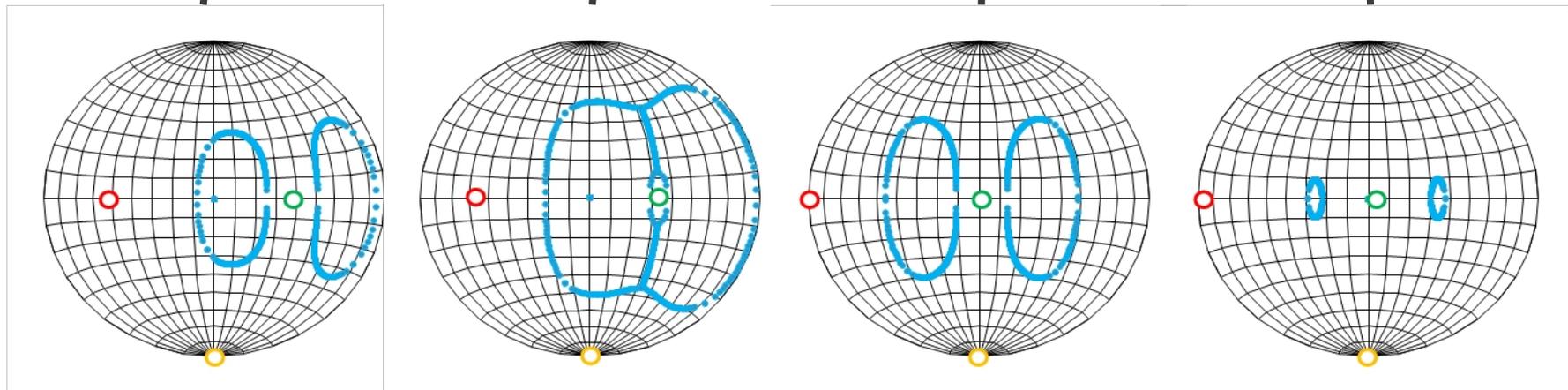
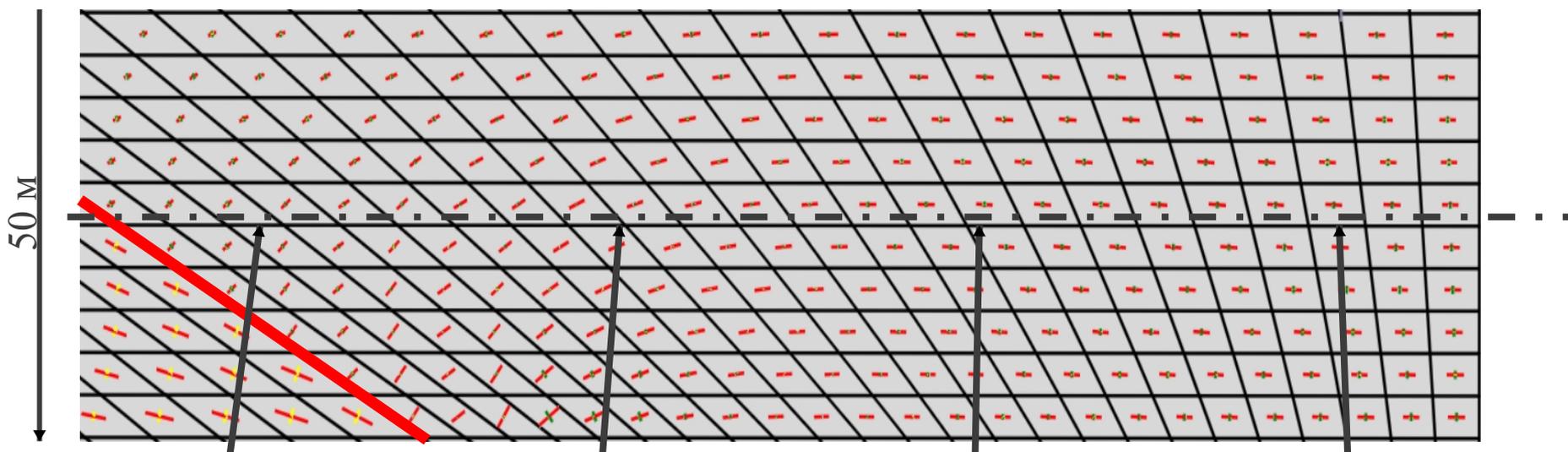
# Закономерности в распределении трещин

Сдвиговый тектонический режим – вертикальное напряжение промежуточное



# Закономерности в распределении трещин

Взбросовый тектонический режим – вертикальное напряжение минимально



# Обсуждение

---

На синтетических моделях были рассмотрены тектонические обстановки с одинаковыми значениями главных напряжений на достаточном удалении от разлома и разными соответствиями между главными напряжениями и их направлениями действия.

Общие тенденции:

- По мере приближения к разлому растет общее количество трещин и доля флюидопроводящих трещин;
- Преимущественное направление флюидопроводящих трещин: нормаль к плоскости флюидопроводящих трещин лежит в плоскости  $\sigma_1 - \sigma_3$  и составляет с направлением на  $\sigma_1$  порядка  $60^\circ$ , что полностью соответствует линейному критерию разрушения;
- Гипотеза о субвертикальности одной из главных осей нарушается, направления главных напряжений приближаются к плоскости разлома.

# Обсуждение

---

В зависимости от вида разлома и соотношениями между главными напряжениями наблюдаются следующие тенденции:

- Сброс:  $\sigma_V \geq \sigma_H \geq \sigma_h$ : ориентация трещин меняется незначительно, количество трещин меняется значительно, максимум трещин у разлома;
- Сдвиг:  $\sigma_H \geq \sigma_V \geq \sigma_h$ : ориентация трещин меняется значительно, количество трещин меняется незначительно, максимум трещин у разлома;
- Взброс:  $\sigma_H \geq \sigma_h \geq \sigma_V$ : ориентация трещин меняется значительно, количество трещин меняется значительно, максимум трещин на удалении от разлома.

# Выводы

---

- Наличие разлома сильно влияет на локальное поле напряжений и, как следствие, на преимущественную ориентацию и количество флюидопроводящих трещин;
- Расчеты на синтетических моделях показывают наличие общих тенденций в зонах развитой трещиноватости в окрестности разлома и связь наблюдаемых тенденций с геодинамическим типом и видом разлома;
- Расчеты на реальных месторождениях подтверждают результаты, полученные на синтетических моделях;
- При разработке месторождений углеводородов, характеризующихся значительным вкладом трещин в фильтрационно-емкостные свойства рекомендуется проводить геомеханическое моделирование зон трещиноватости;
- Возможности конечно-элементных пакетов для расчета напряженного состояния достаточны для выработки рекомендаций по оптимизации разработки месторождений углеводородов.

Спасибо за внимание  
Рад ответить на вопросы сейчас или позже

---

Дубиня Никита Владиславович

[Dubinya.NV@gmail.com](mailto:Dubinya.NV@gmail.com)