

Обработка данных микросейсмического мониторинга с учетом анизотропии и механизмов событий

*Дучков А.А., Стефанов Ю.П., Яскевич С.В., Бакеев Р.А.
ИНГГ СО РАН, ИФПМ СО РАН*

План

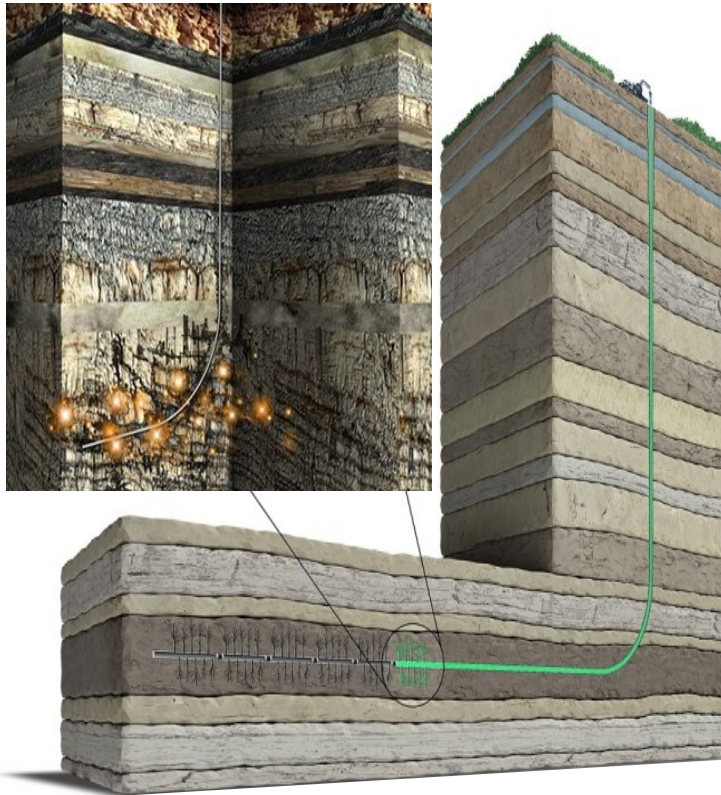
Геомеханическая интерпретация
микросейсмического мониторинга.

Изучить связь геомеханического моделирования
роста трещины ГРП с генерацией упругих волн

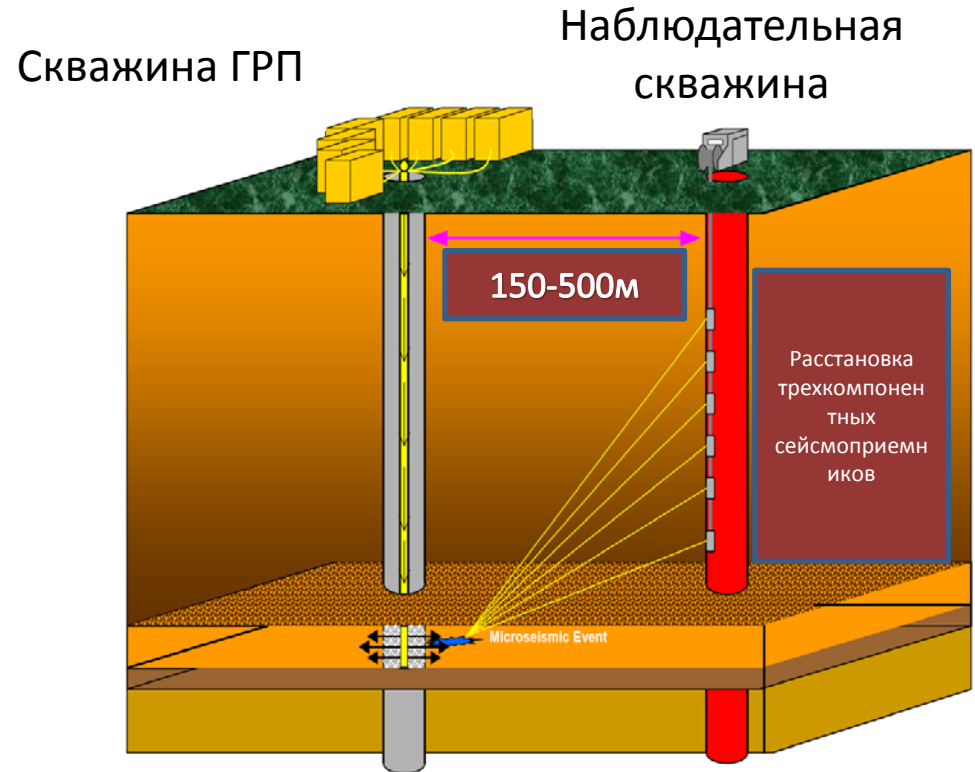
Рассмотреть возможные эффективные точечные
источники

Моделирование и мониторинг ГРП

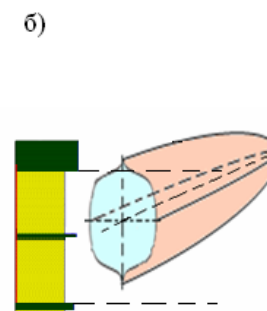
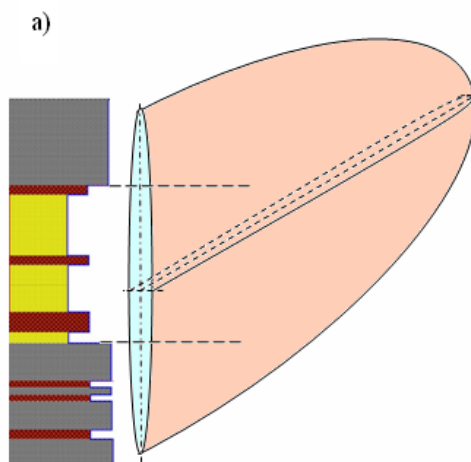
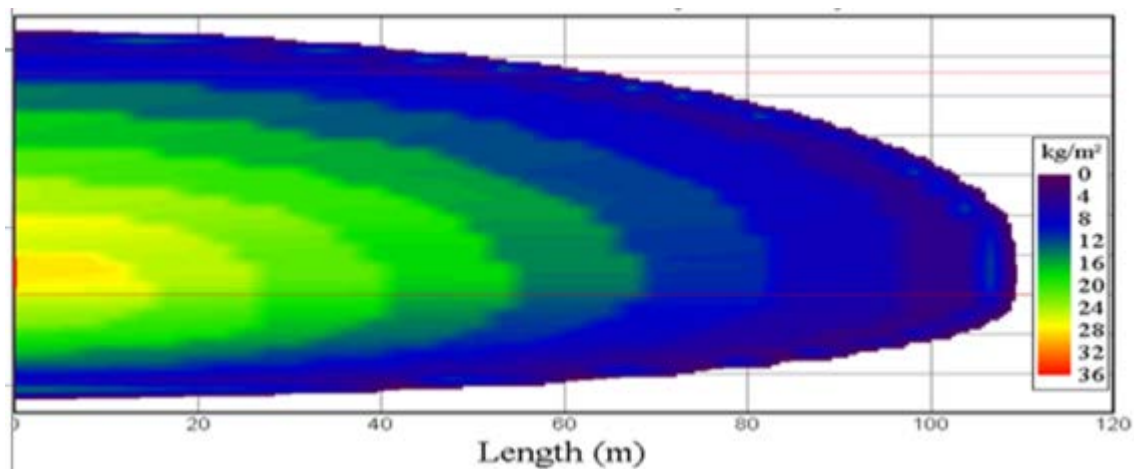
Мониторинг гидроразрыва



Закачка флюида в пласты под высоким давлением вызывает сейсмическую активность.



Геомеханическое моделирование ГРП



Проведение ГРП

Сейчас:

Планирование ГРП



Проведение ГРП



Анализ технолог.
информации

Нужно:

Планирование ГРП



Проведение ГРП



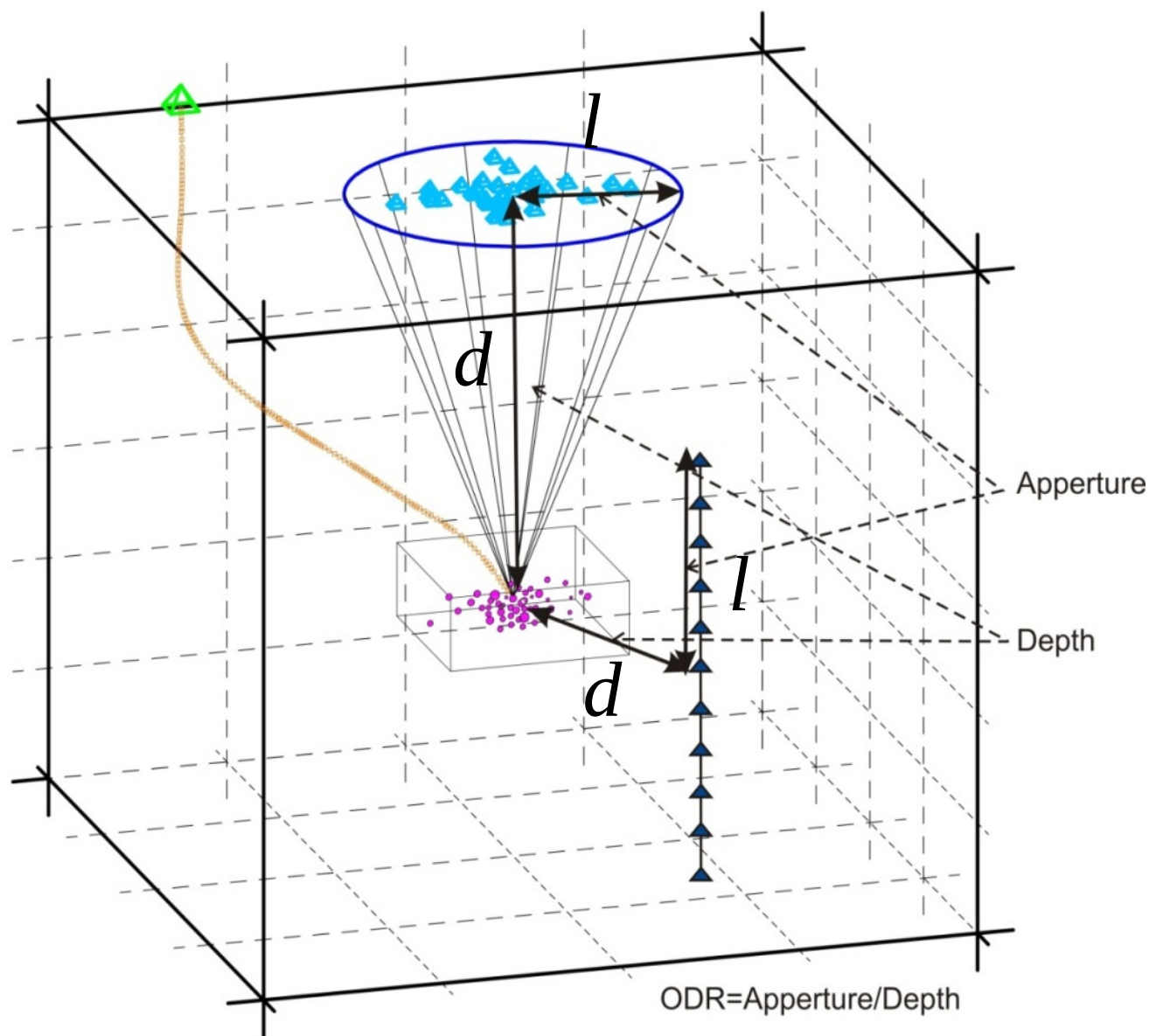
Определение реальной
геометрии трещины -
мониторинг ГРП
(геофизический и пр.)

Микросейсмический мониторинг ГРП

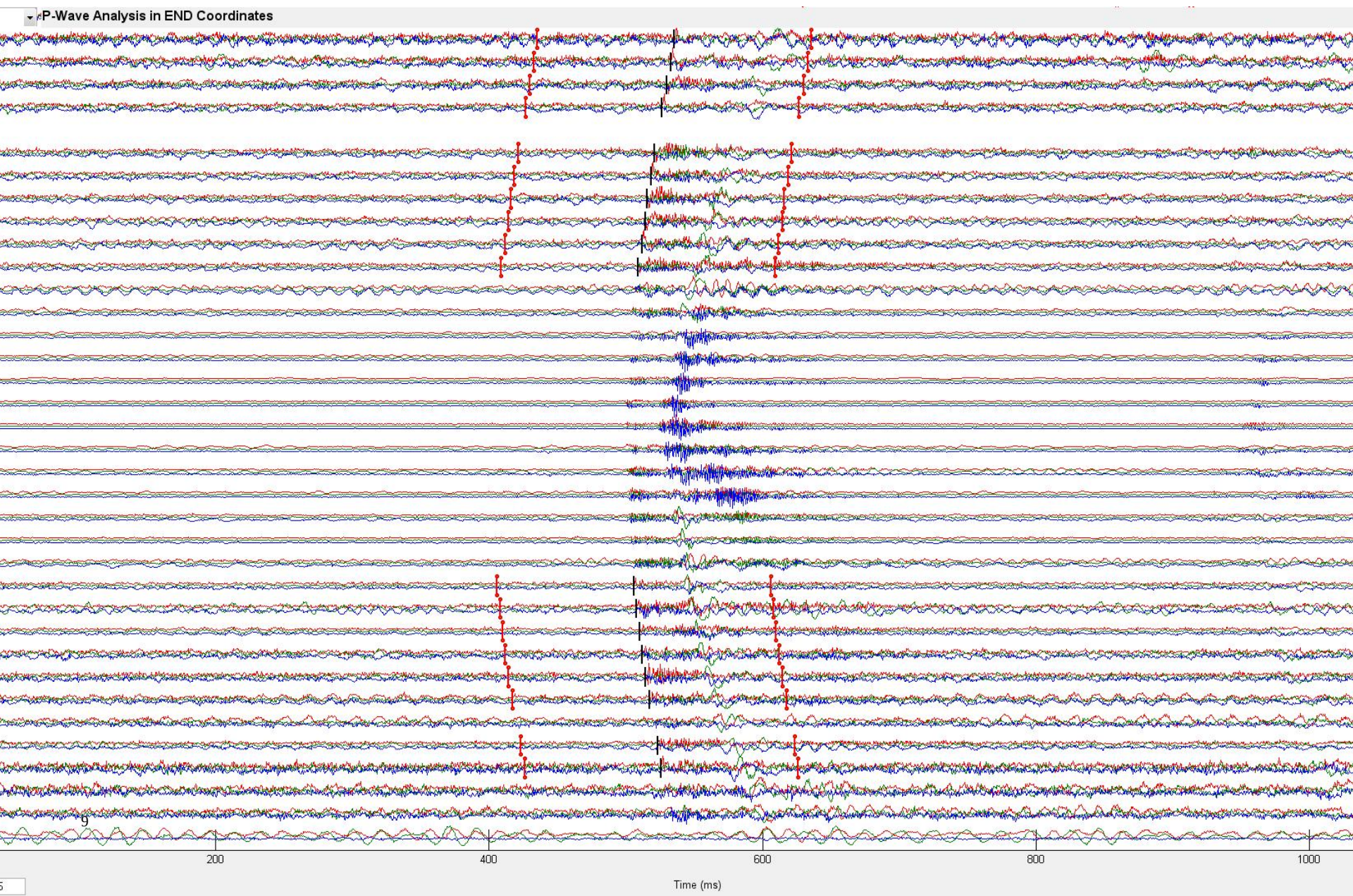
Системы наблюдений

$$ODR = l/d$$

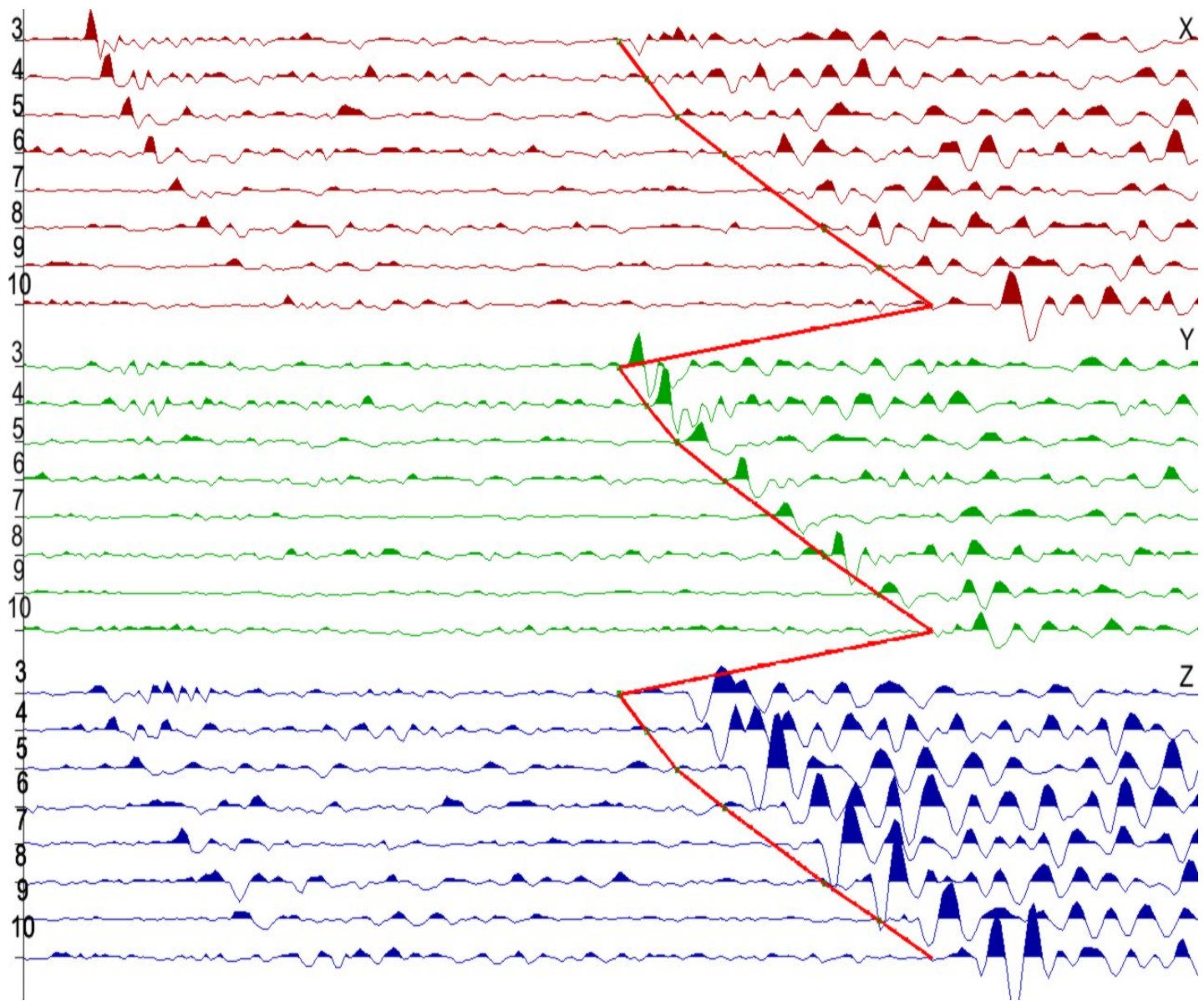
отношение
апертуры к
глубине



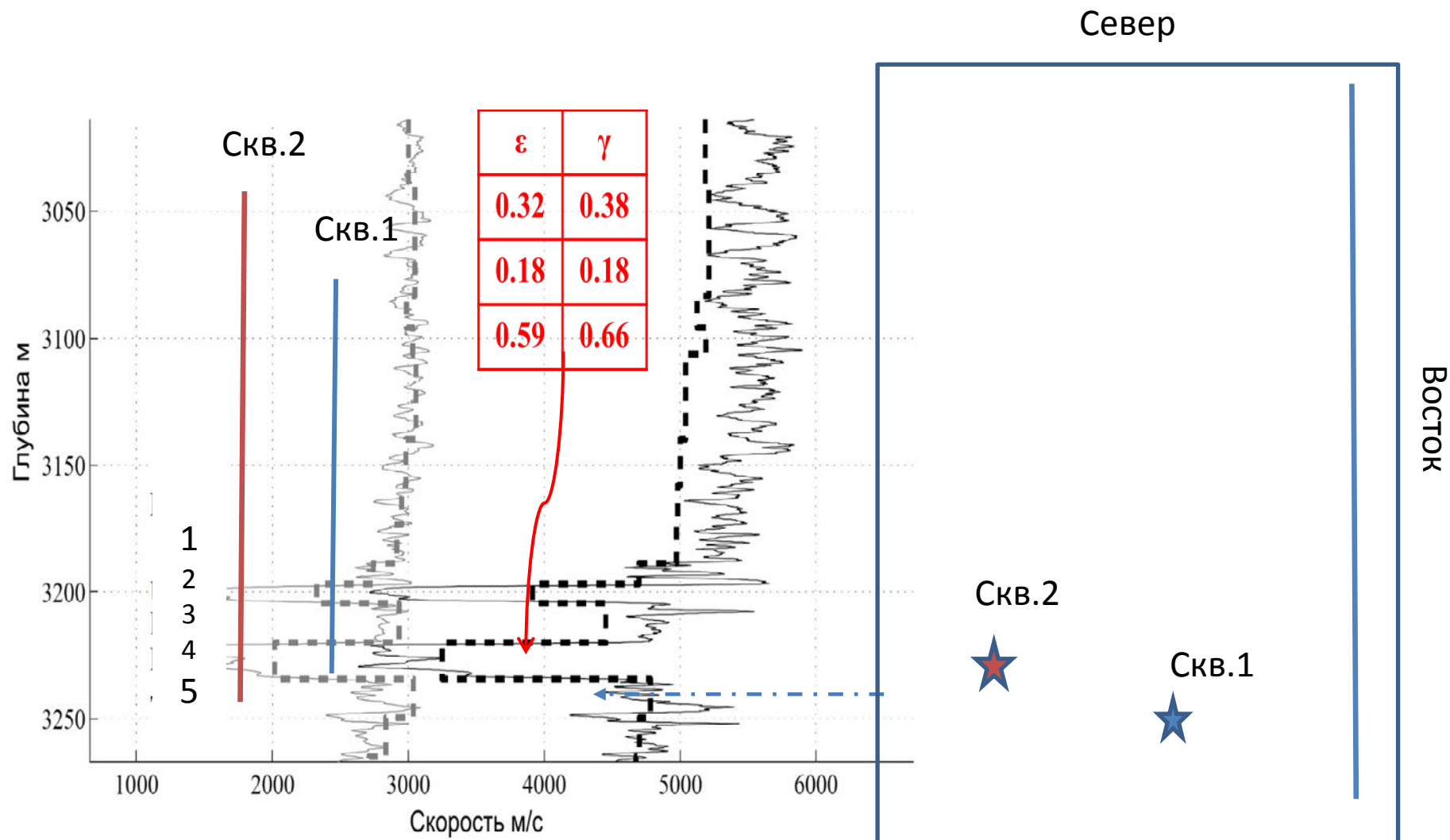
Времена пробега продольных волн



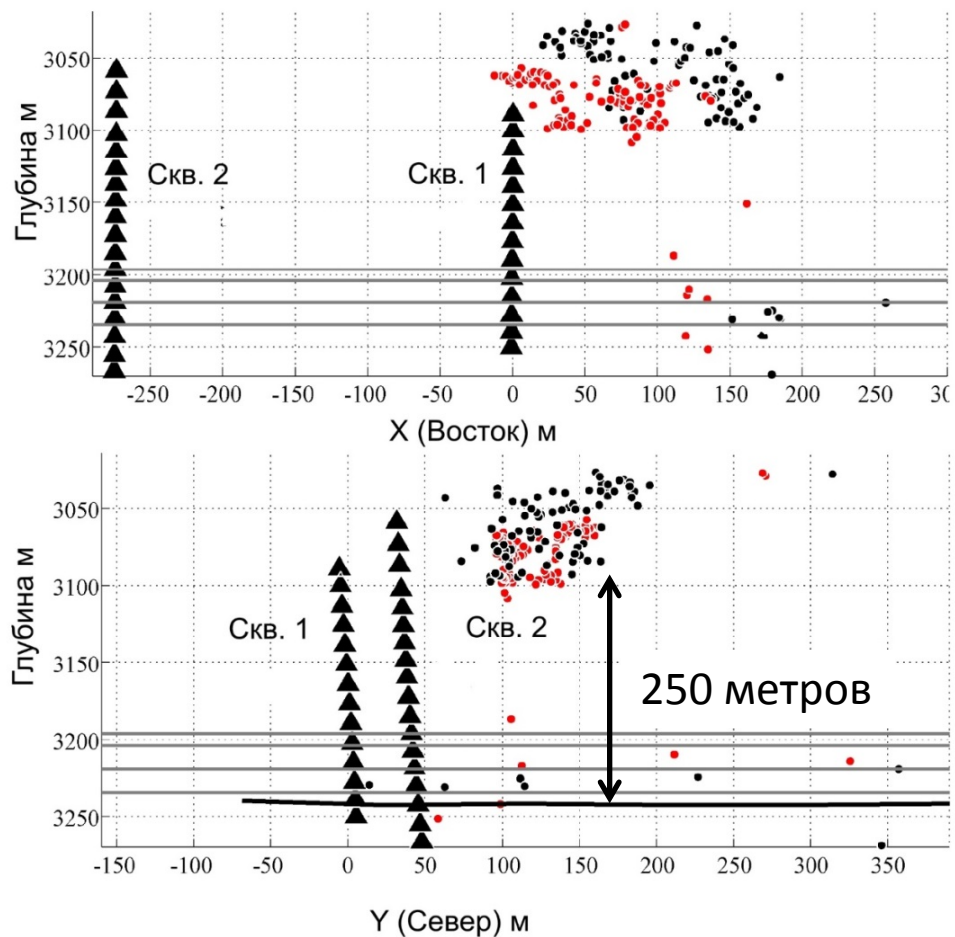
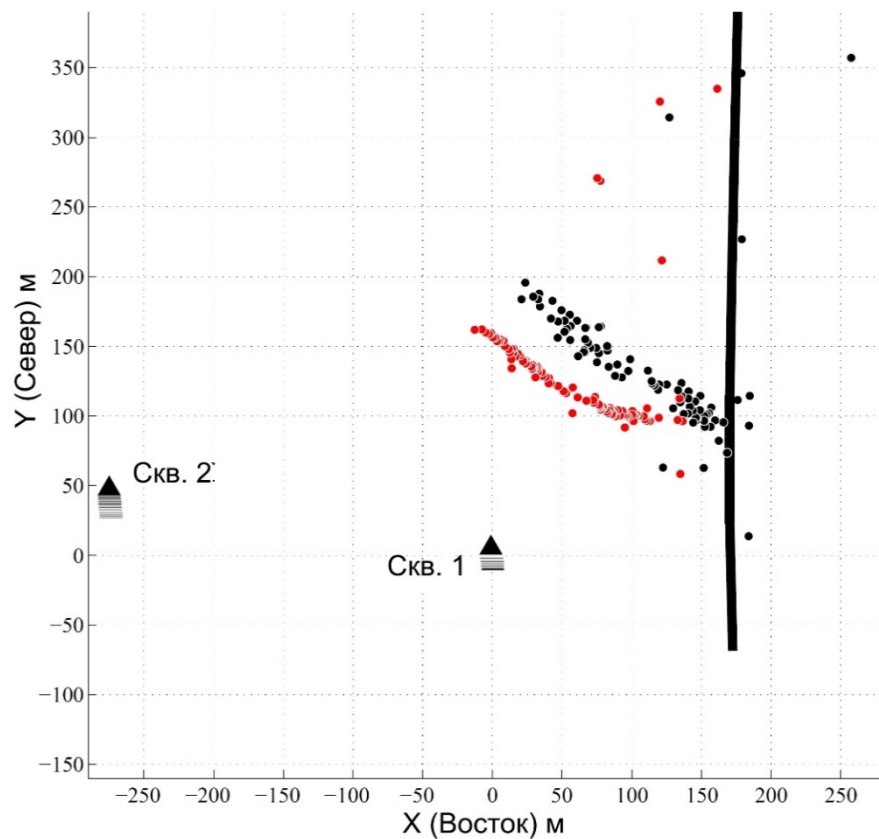
Расщепление поперечных волн



ММ ГРП в Баккене



Переобработка реальных данных



Механизмы источников

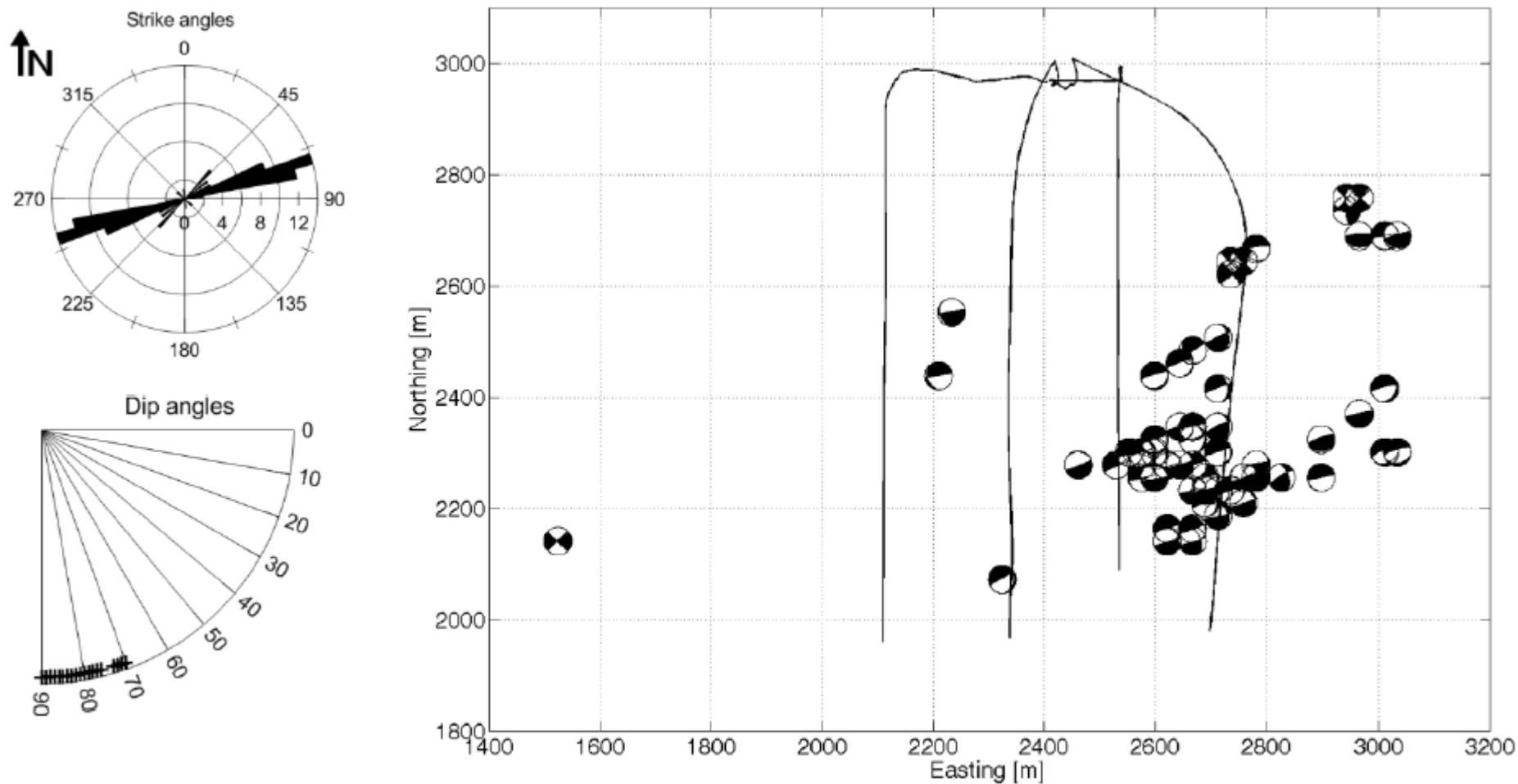


Figure 1: Rose diagrams and map view of 75 source mechanisms presented as beach balls. The rose diagram in upper left corner show orientation of strike angles. Crosses on diagram in lower left corner represent dip angles.

Геомеханическая интерпретация результатов микросейсмического мониторинга

Калибровка геомеханических моделей

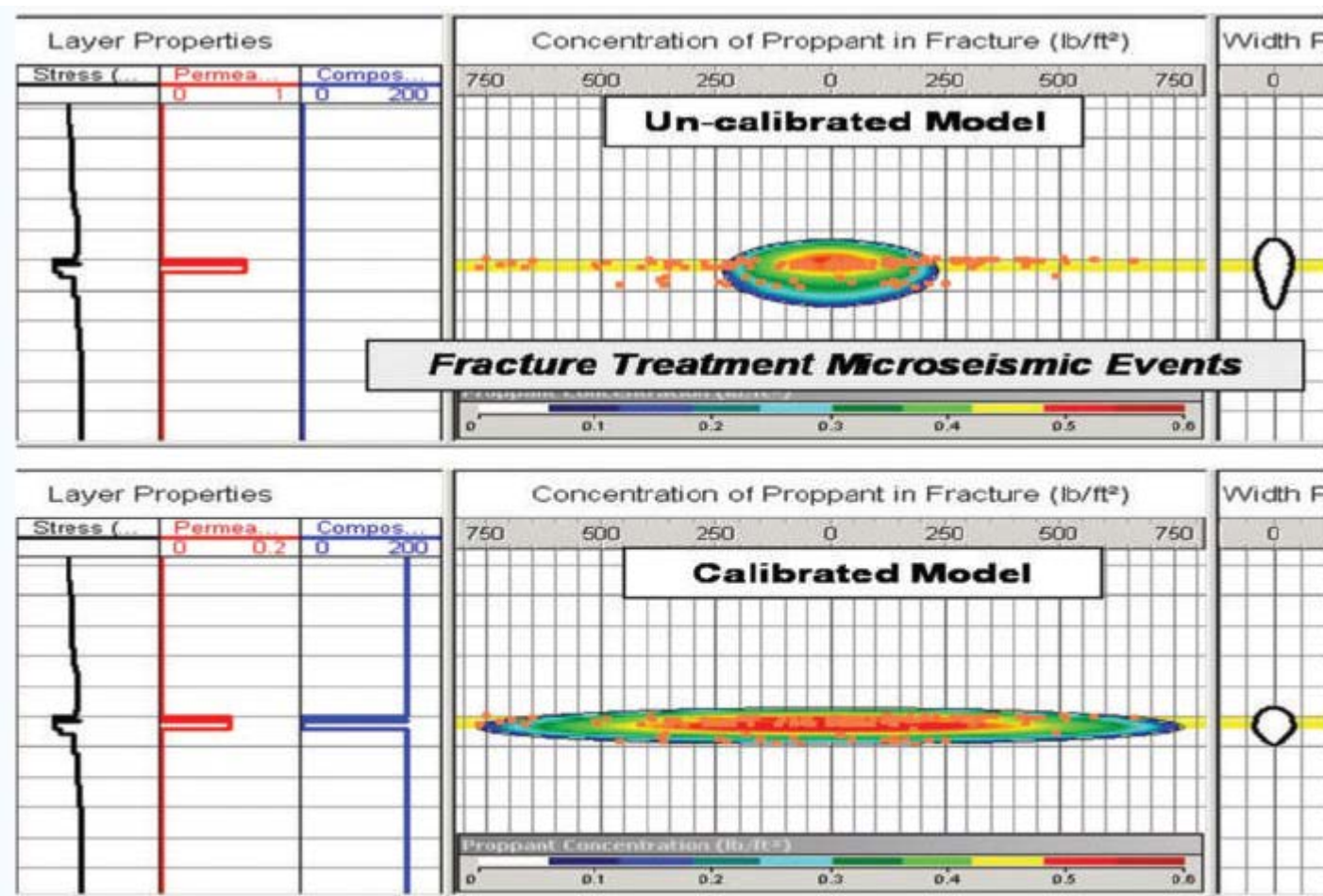
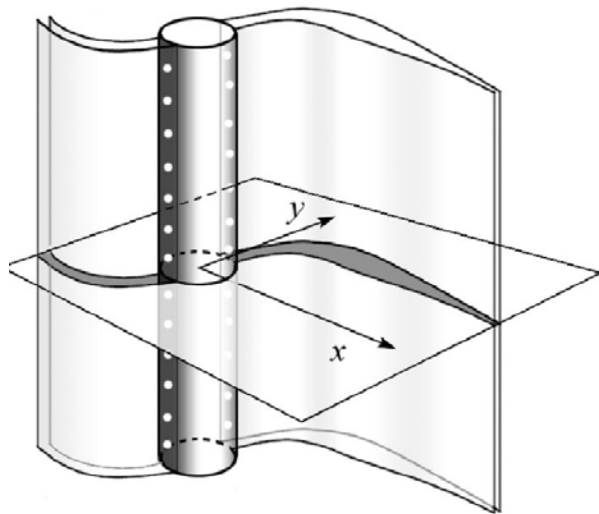


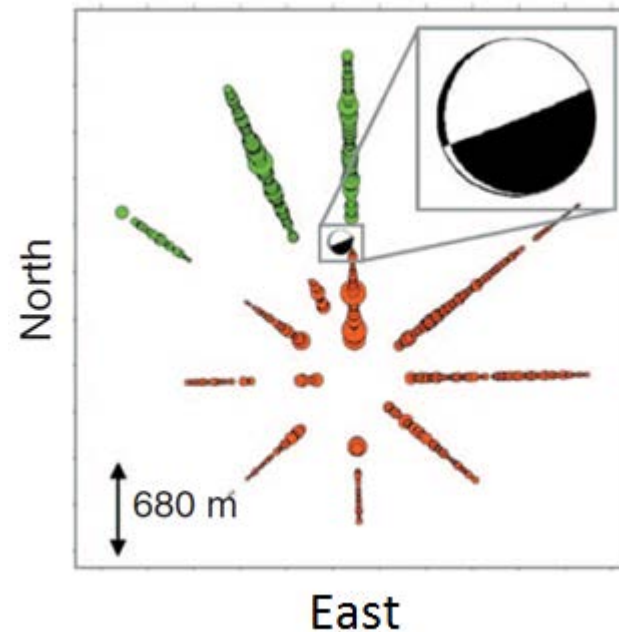
Figure 1. Cross sectional view of a frac model and microseismic events. Yellow is the reservoir depth interval, and top panel shows the original model and bottom the model after calibration to the microseismic results. On the left are the input model parameters and right is the relative fracture width profile (after SPE96080).

Парадокс микросейсмики ГРП

В моделировании гидроразрыва преобладает механизм раскрытия

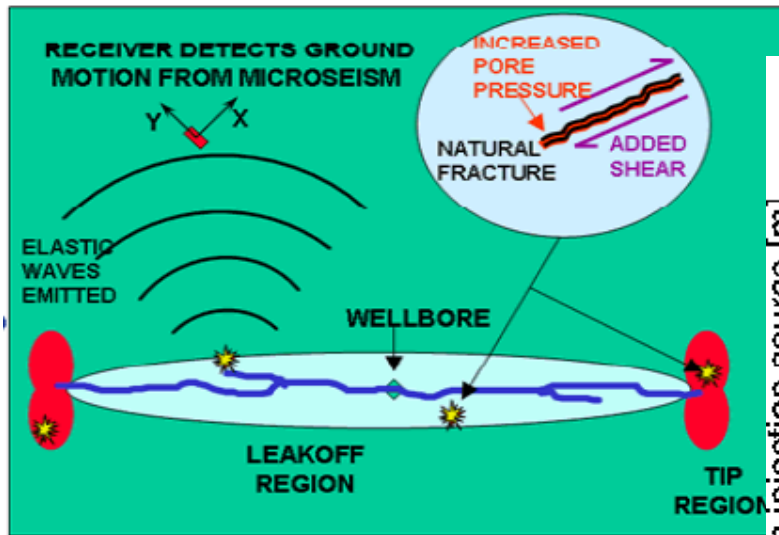


В микросейсмических наблюдениях преобладает механизм «двойной диполь»



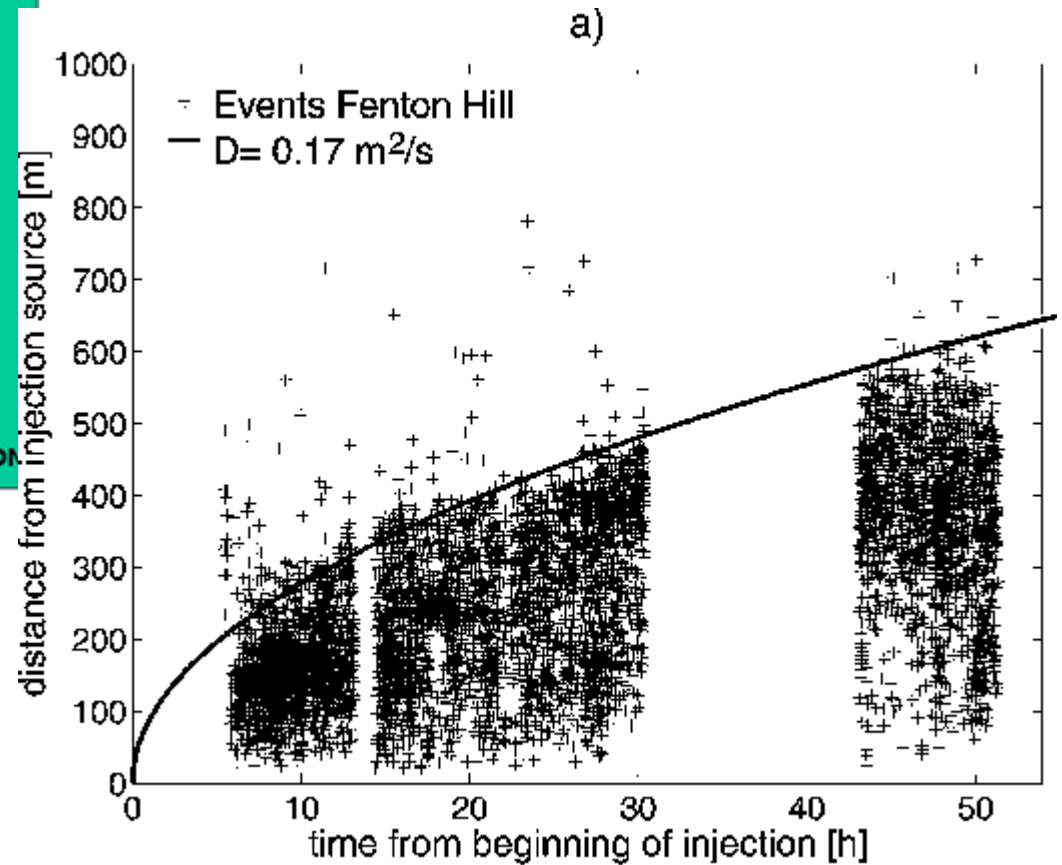
Механизм 1.

Повышение порового давления



$$r = \sqrt{4\pi Dt}$$

проницаемость



[Shapiro et al., 2010]

Механизм 2. Инициация существующих трещин

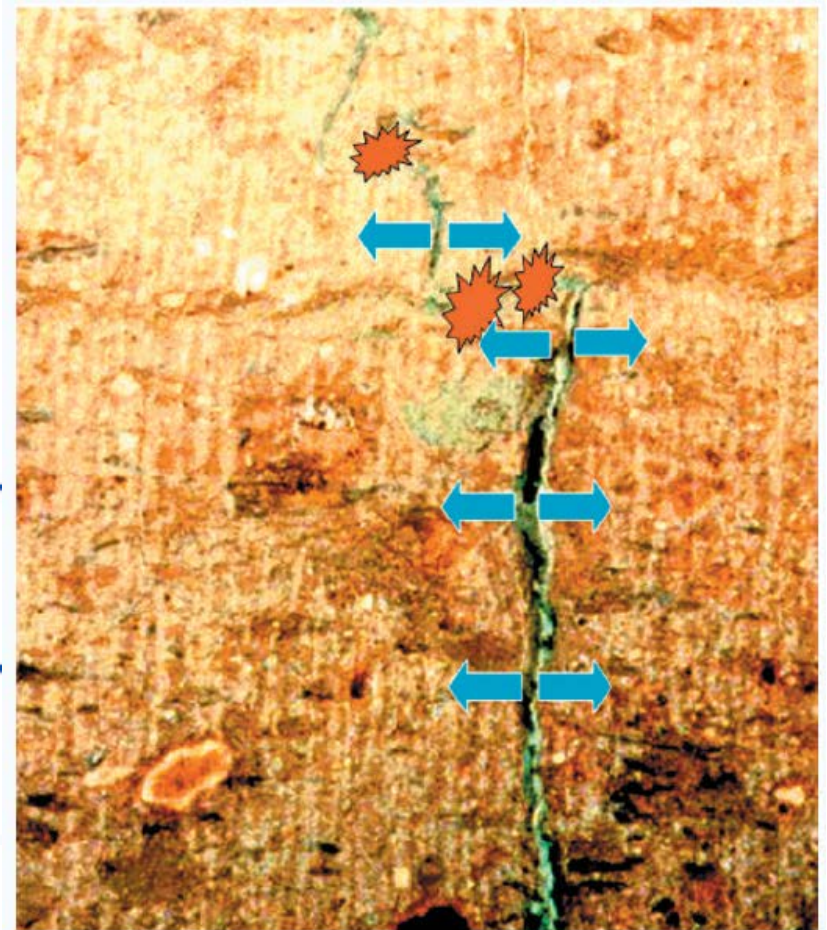
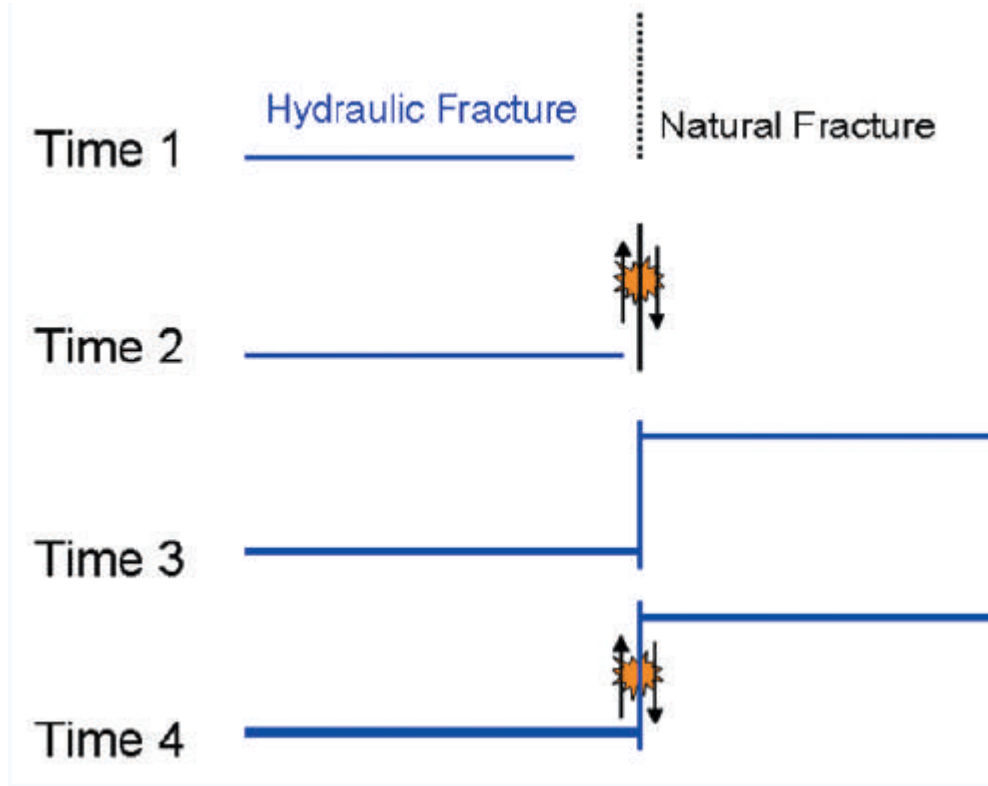
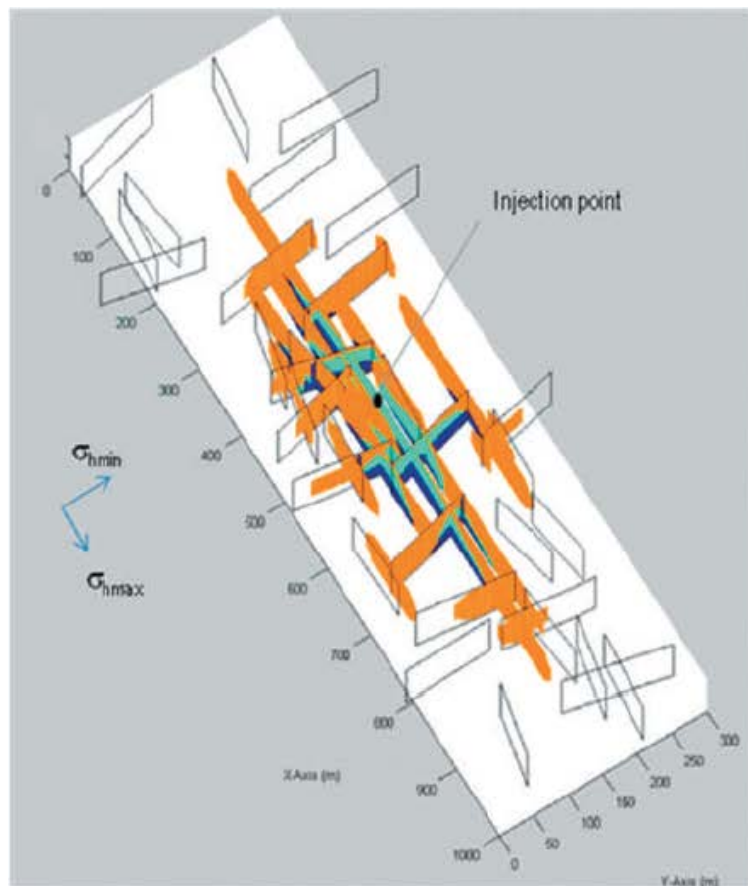


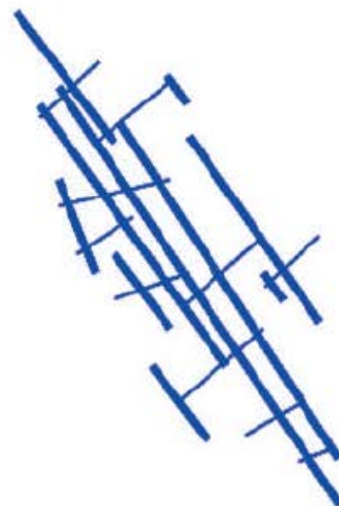
Figure 12. Photograph of hydraulic fracture from mine-by tunnel. Note the offset and possible microseismic locations (after Cipolla et al., 2008).

[Maxwell, 2011a]

Типы деформаций при ГРП



Tensile



Shear



- Clean fluid
- Slurry
- Proppant bank

... таким образом

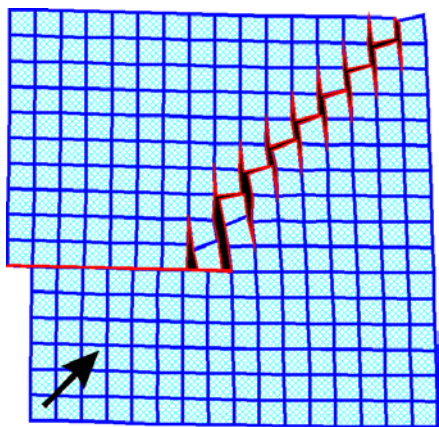
Значительная часть развития трещины ГРП является асейсмичной, т.е. данные микросейсмического мониторинга содержат неполную информацию о ГРП.

- микросейсмические данные полезны для калибровки геомеханических моделей ГРП
- для интерпретации микросейсмических данных необходимо калиброваться по геомеханическим моделям

**Динамические аспекты
микросейсмического мониторинга
(волны при продвижении трещины)**

Метод конечных разностей (Уилкинса)

модель гипопругой и упругопластичной среды

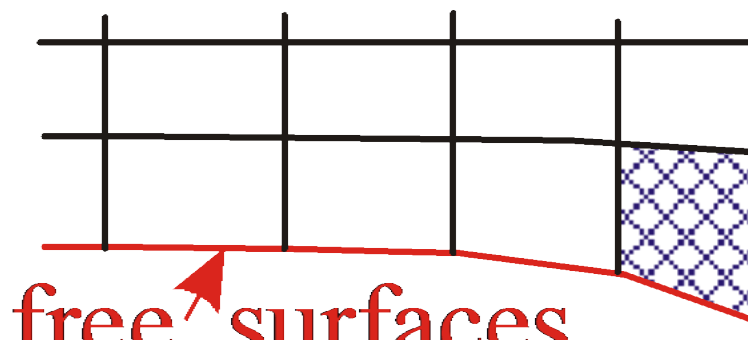


$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = \rho \ddot{u}_i$$

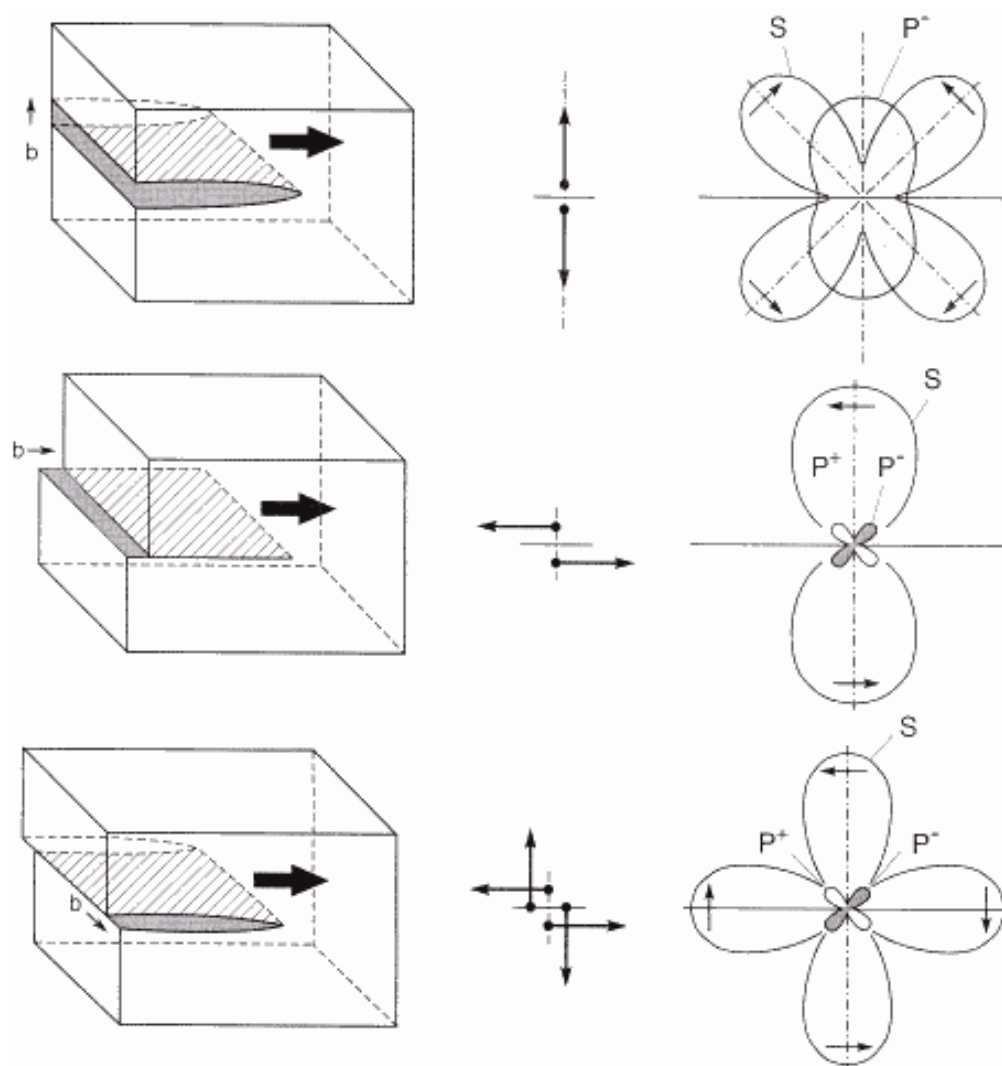
$$\sigma^{\nabla}_{ij} = \lambda \dot{\theta} \delta_{ij} + 2\mu \dot{\epsilon}_{ij}$$

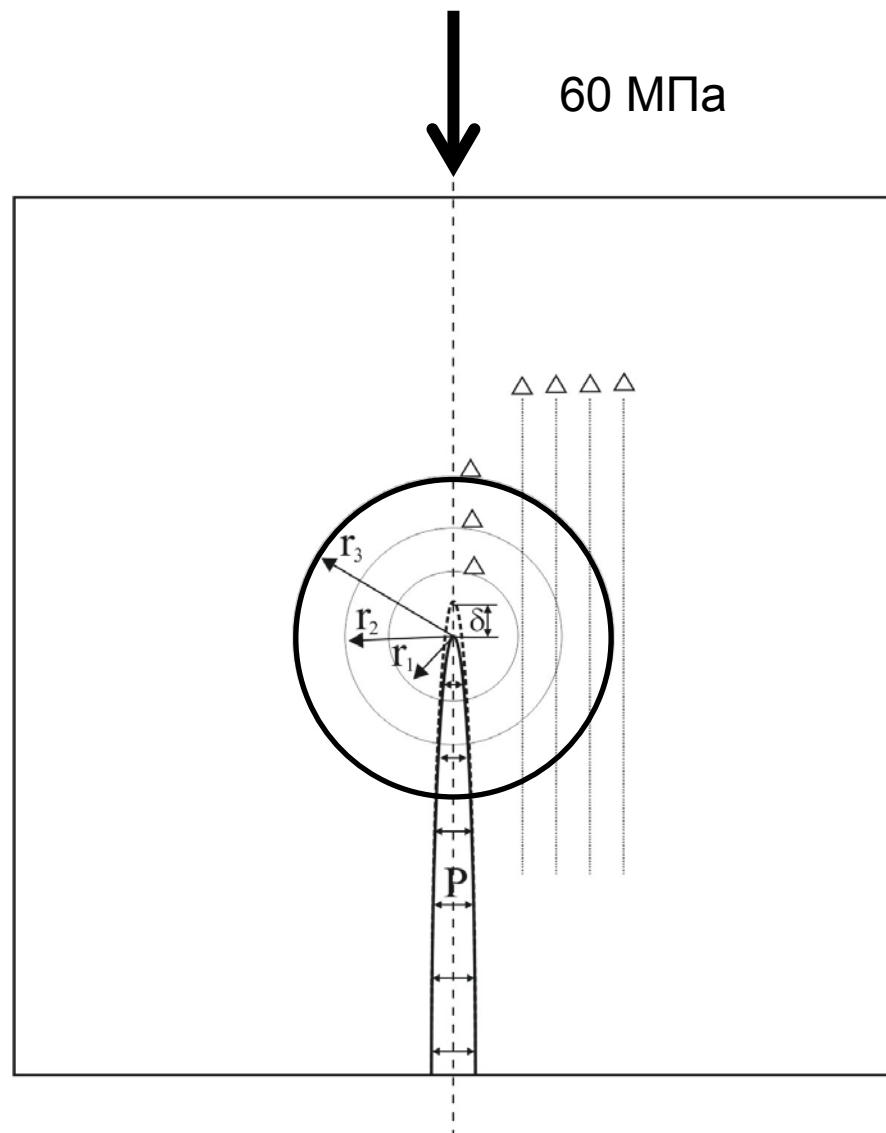
$$\sigma^{\nabla}_{ij} = \frac{d\sigma_{ij}}{dt} - \Omega_{ik}\sigma_{kj} - \Omega_{jk}\sigma_{ki}$$

Ω_{ij} - спин-тензор

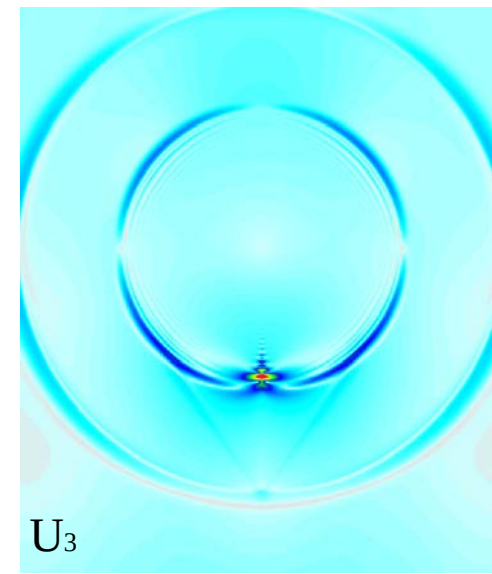
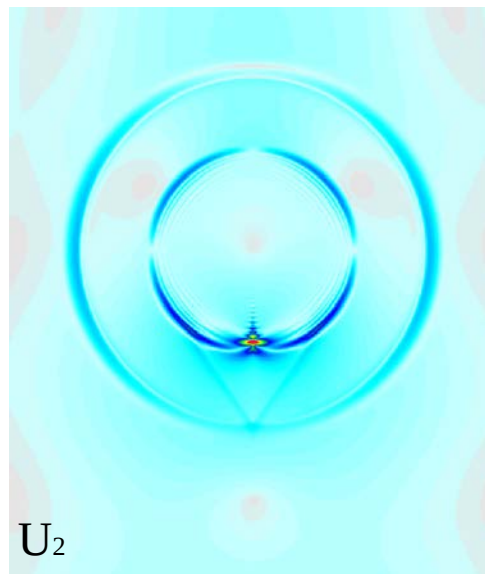
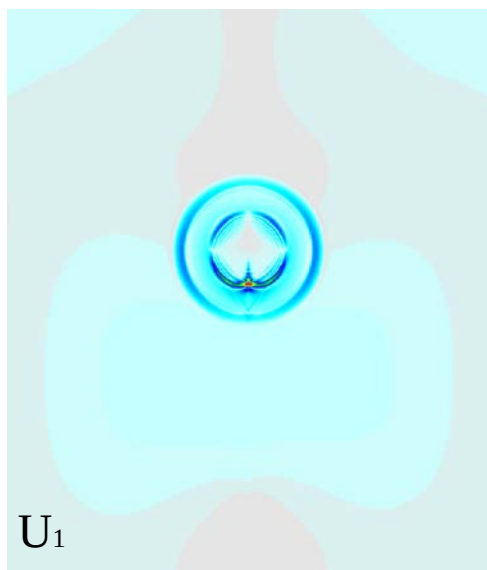
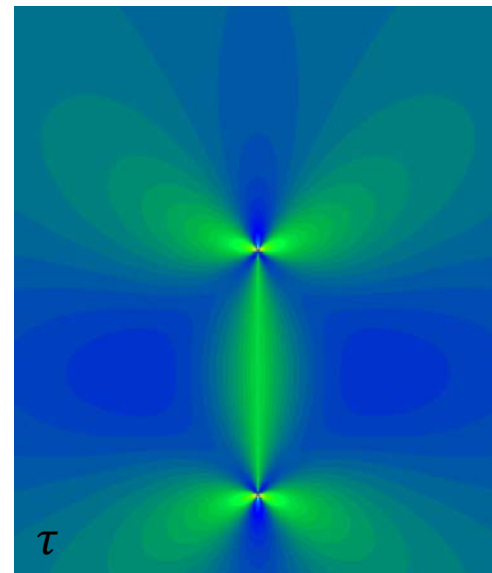
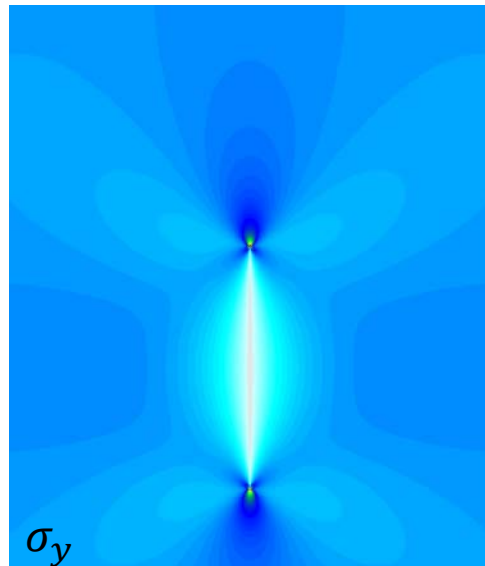
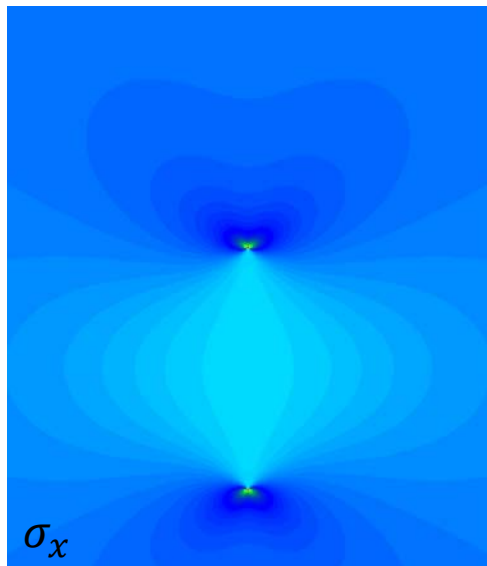


раскрытие трещины



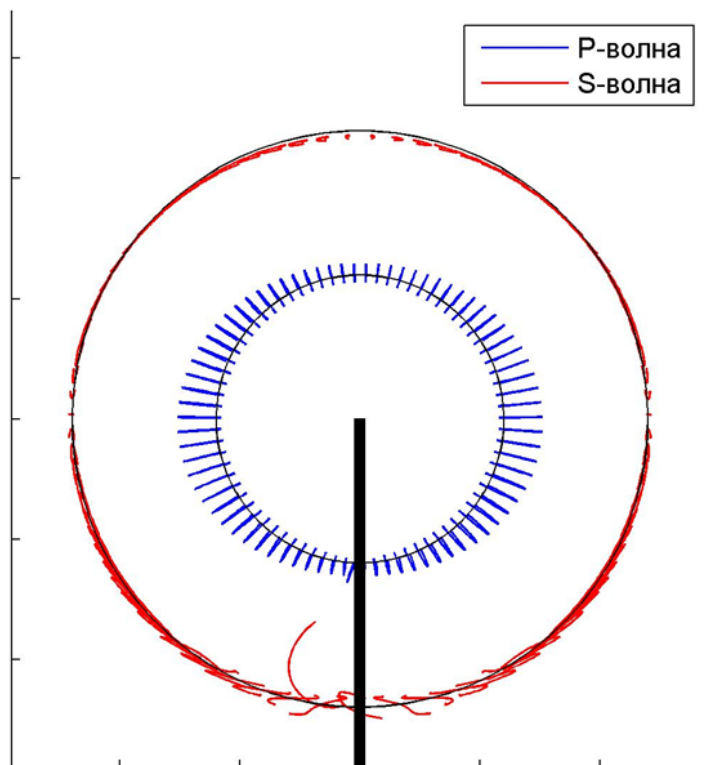


Трещина отрыва

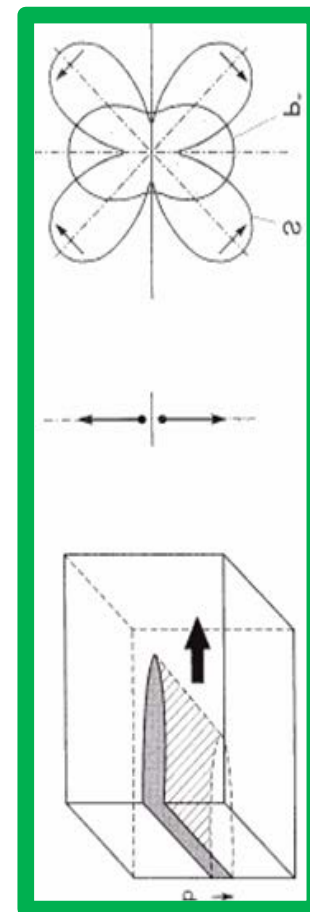
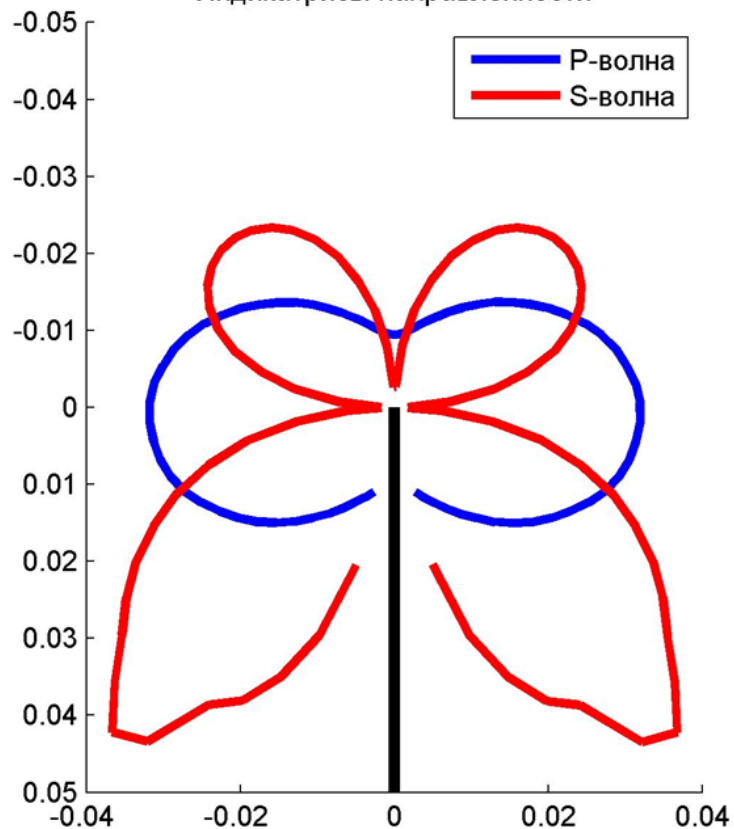


Трещина отрыва

Поляризация волн



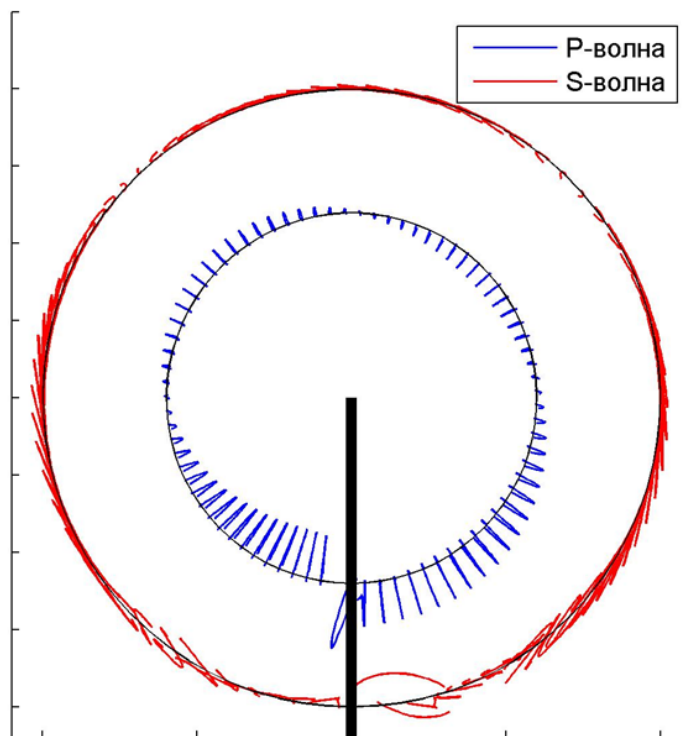
Индикатрисы направленности



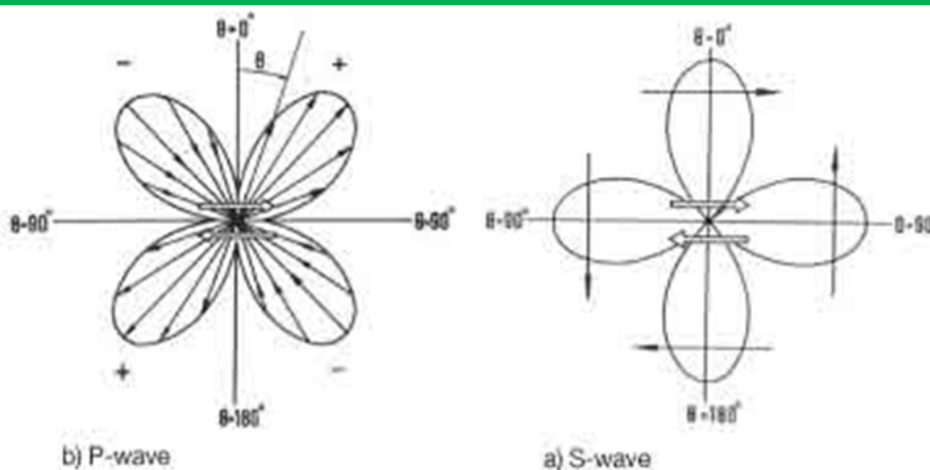
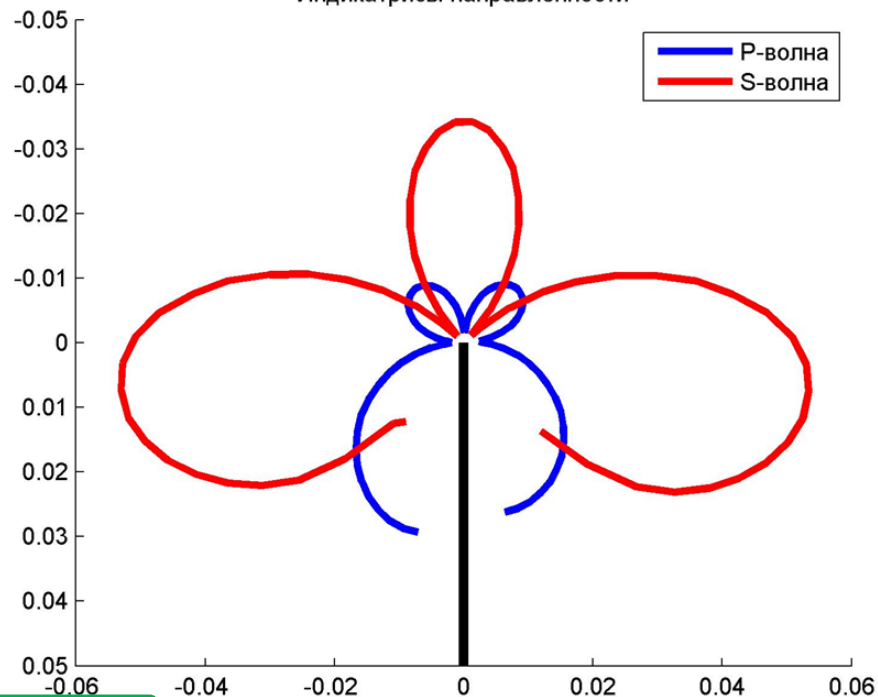
поляризация похожа на источник типа диполь
(раскрытие трещины)

Трещина сдвига

Поляризация волн

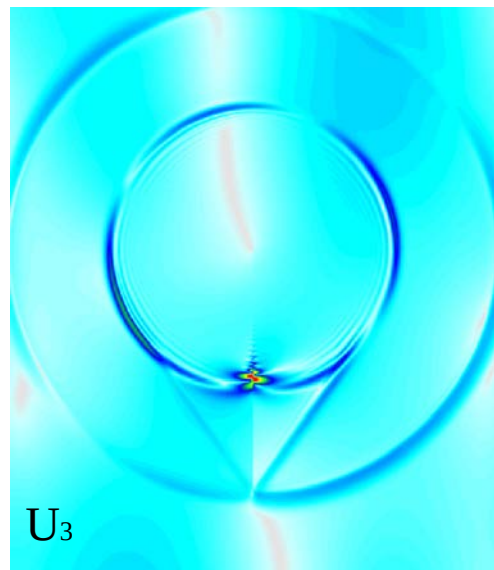
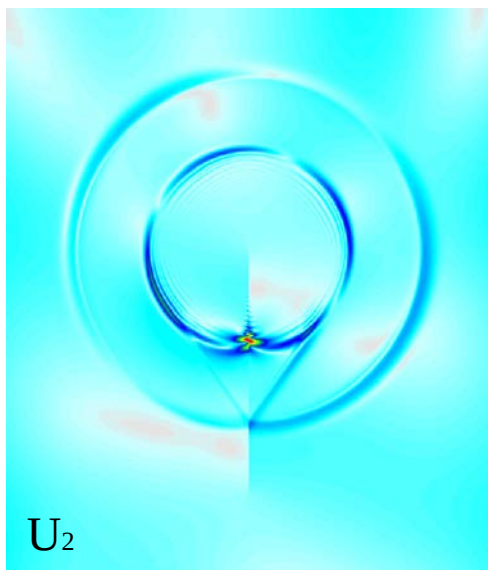
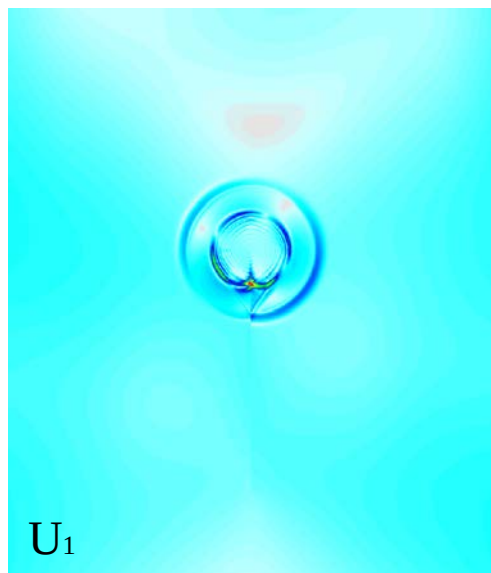
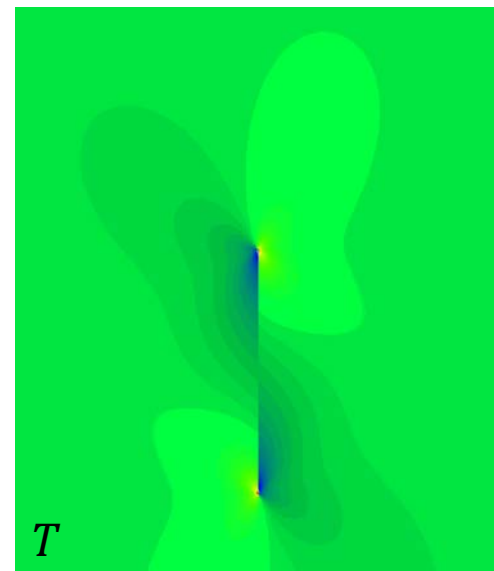
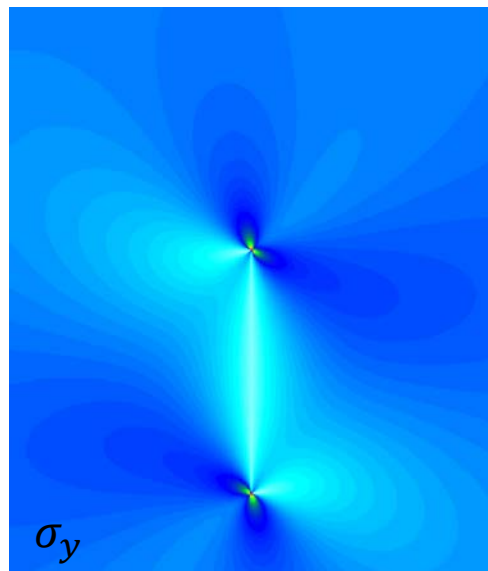
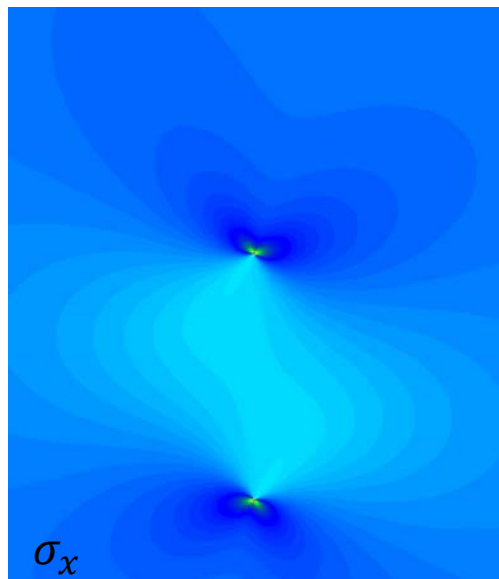


Индикатрисы направленности



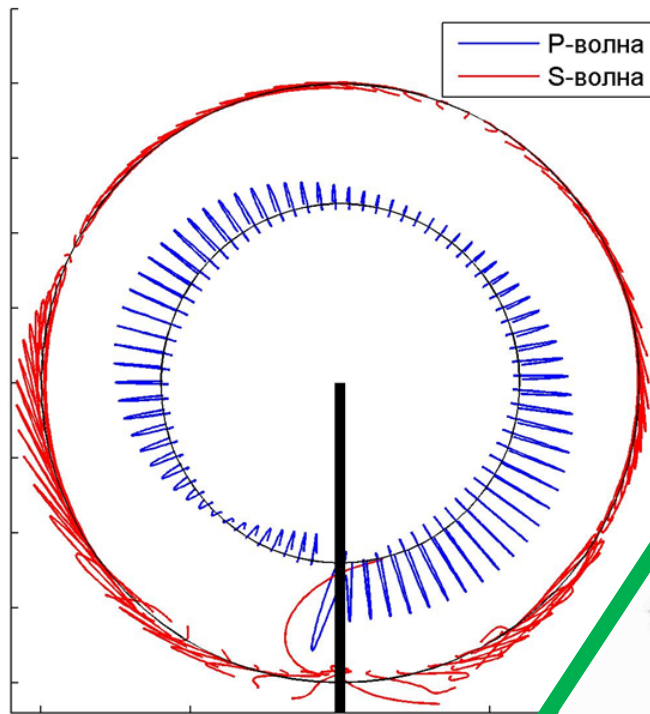
Искаженный источник типа двойного диполя (сдвиг по трещине)

Трещина: отрыв+сдвиг

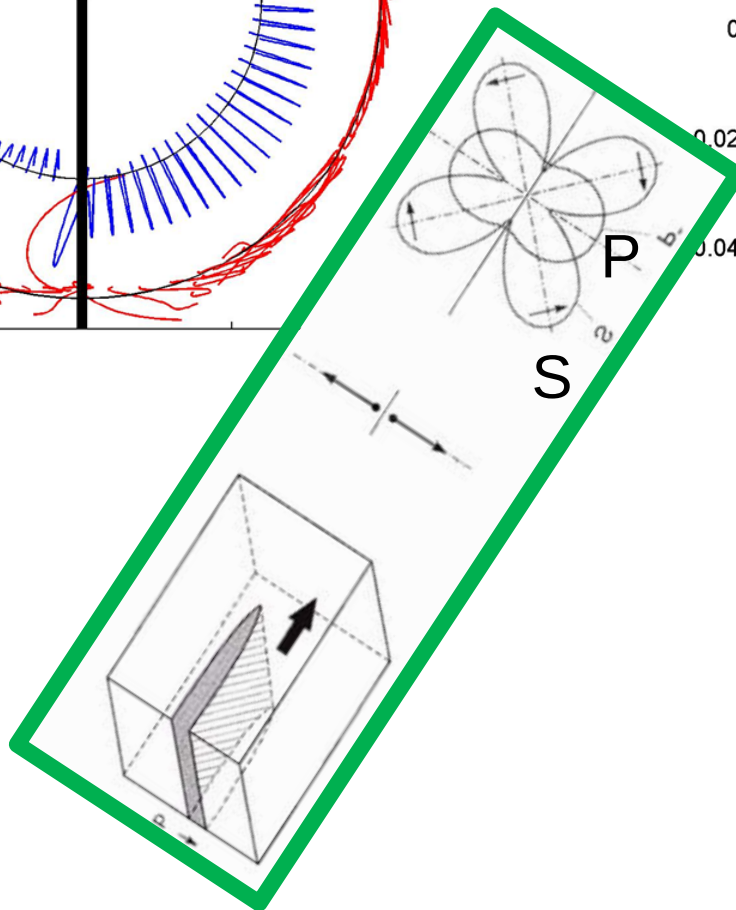
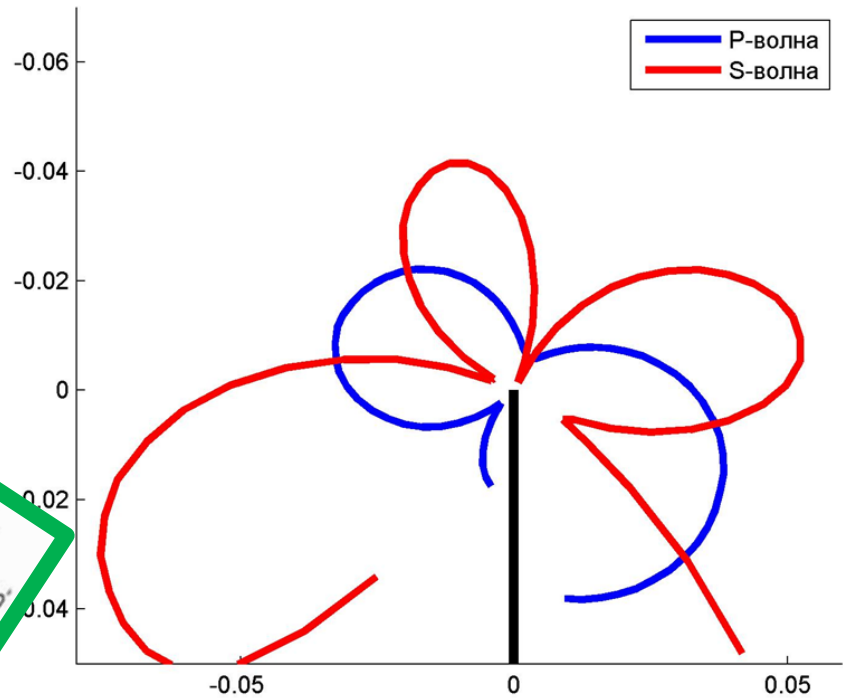


Трещина: отрыв+сдвиг

Поляризация волн

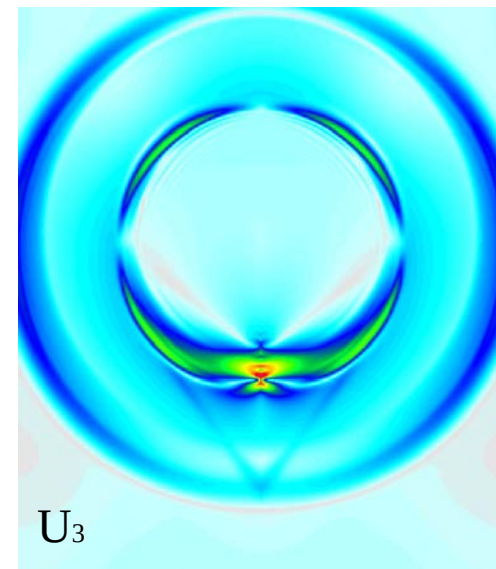
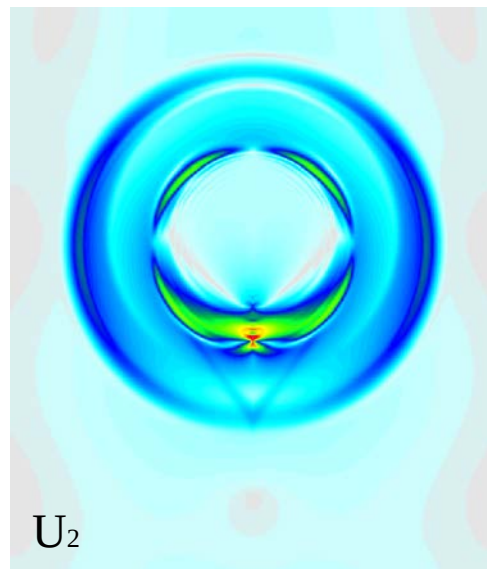
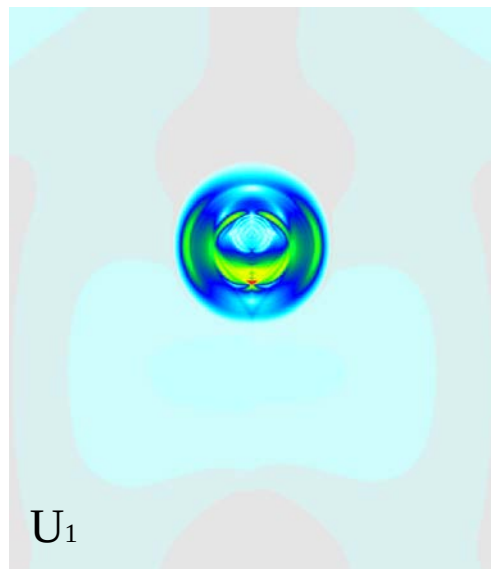


Индикатрисы направленности

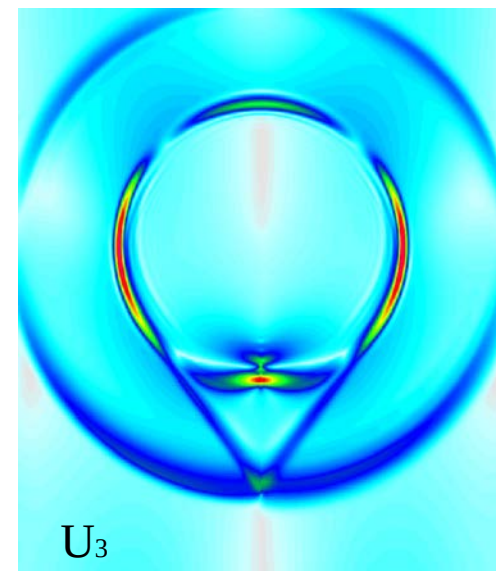
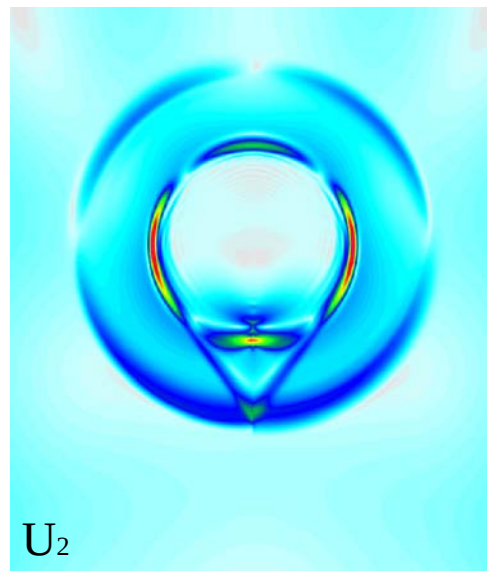
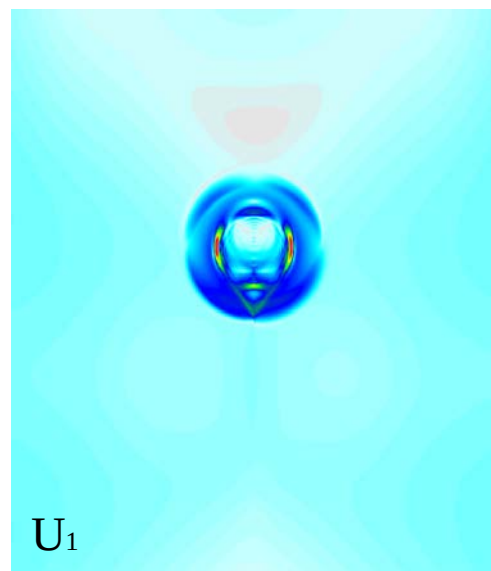


Повернутый искаженный диполь
(раскрытие бортов под углом)

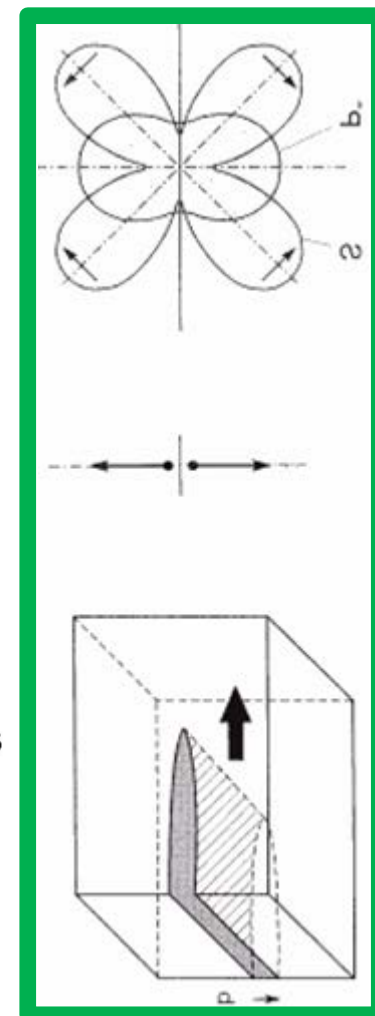
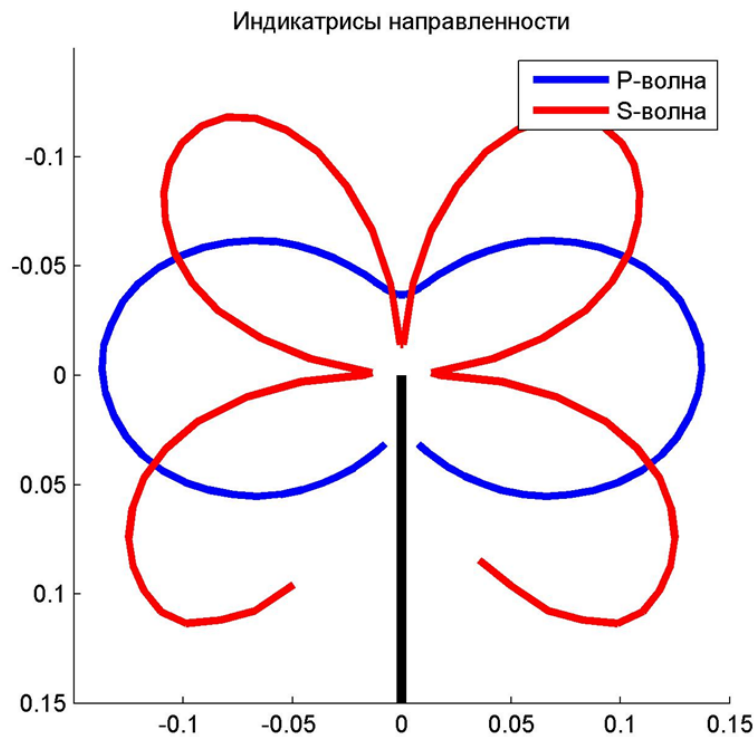
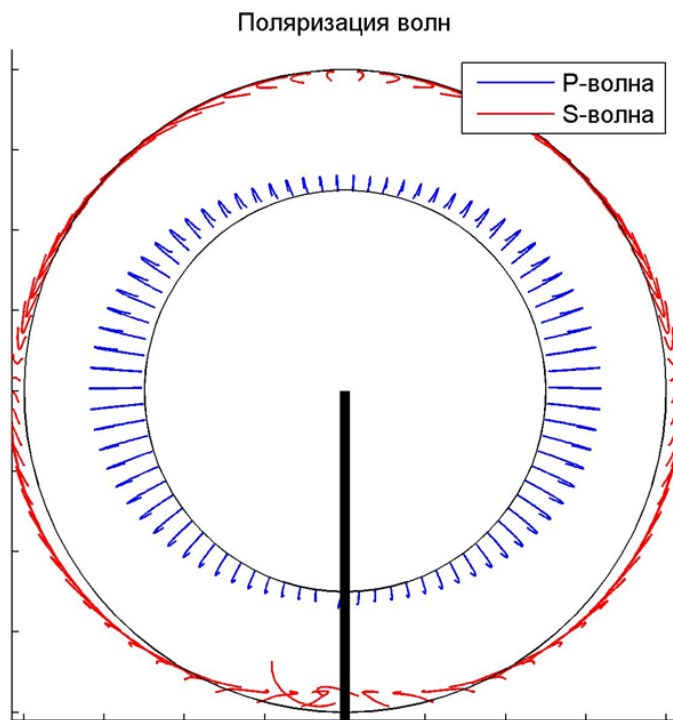
Трещина отрыва+



Трещина сдвига+



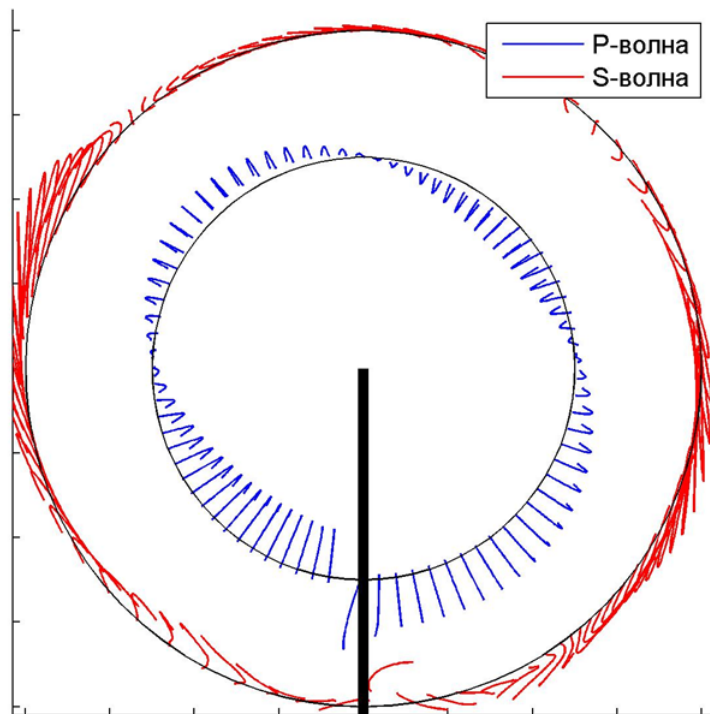
Трещина отрыва+



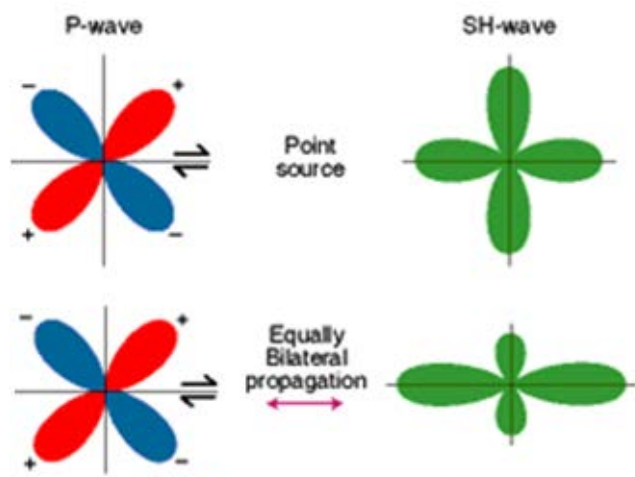
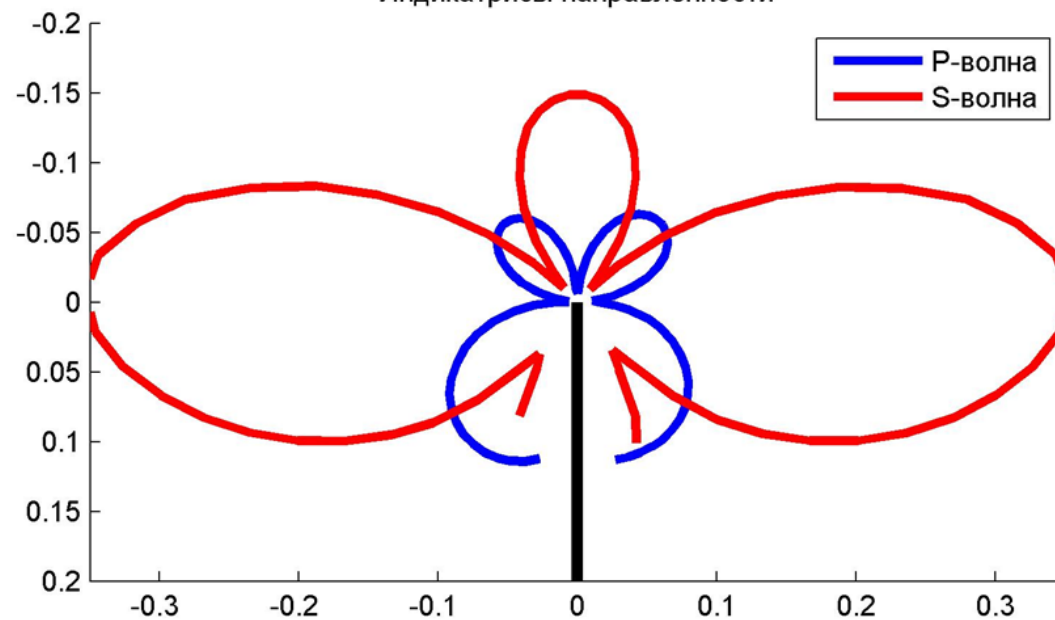
Идеальная поляризация источника типа диполь (раскрытие трещины)

Трещина сдвига+

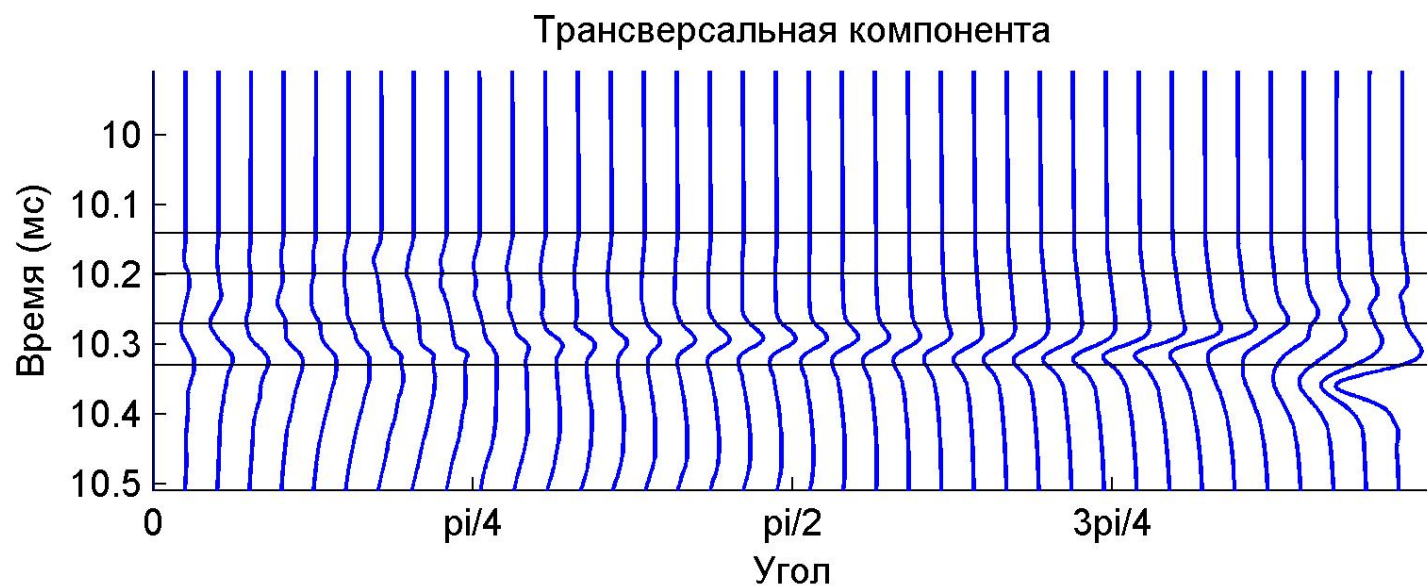
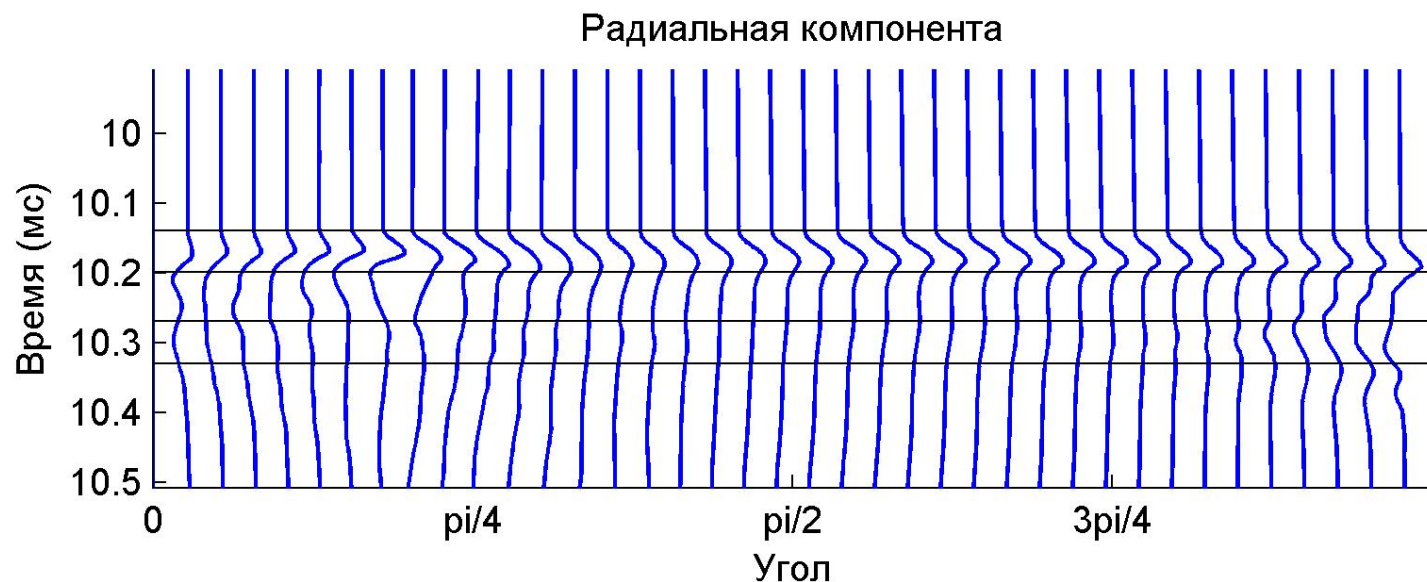
Поляризация волн



Индикатрисы направленности

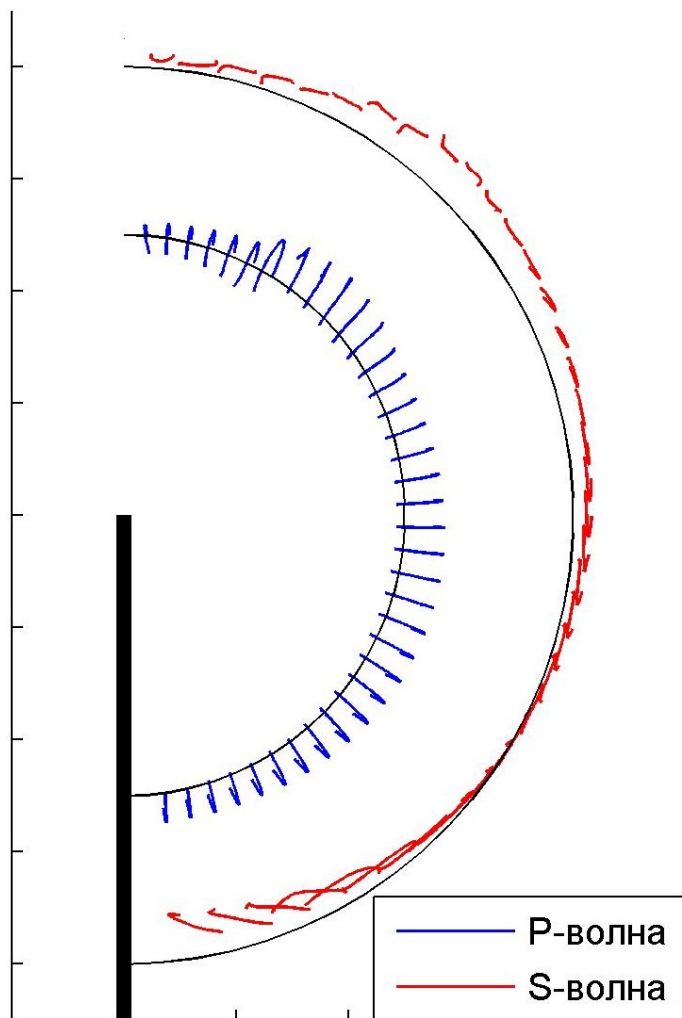


Раскрытие трещины (с пластичностью)

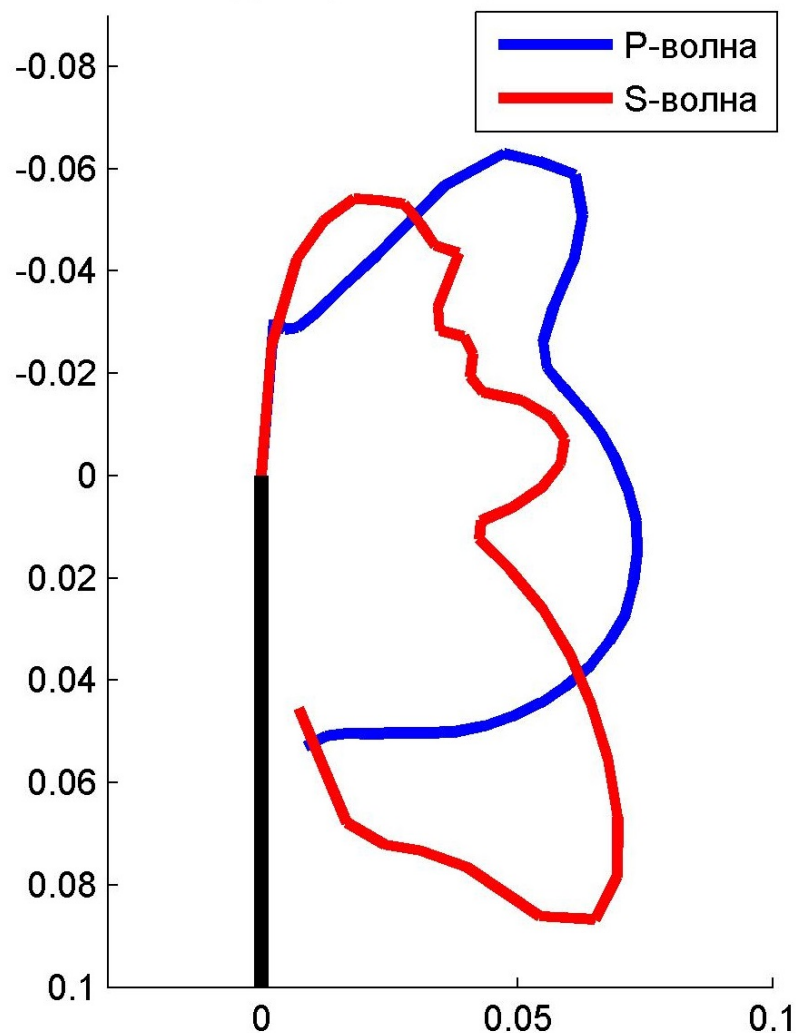


Раскрытие трещины (с пластичностью)

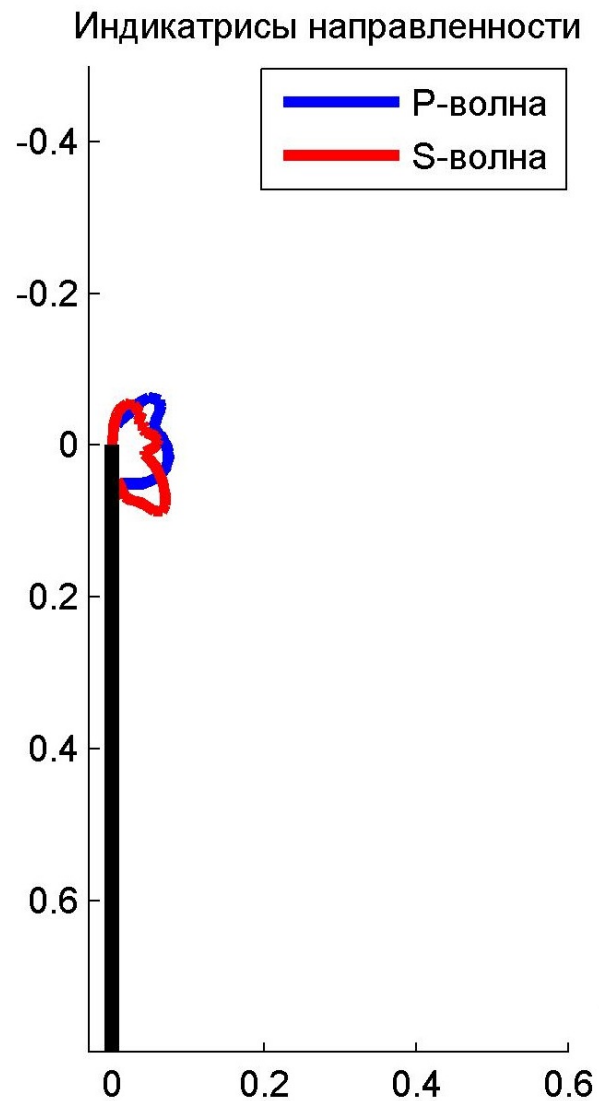
Поляризация волн



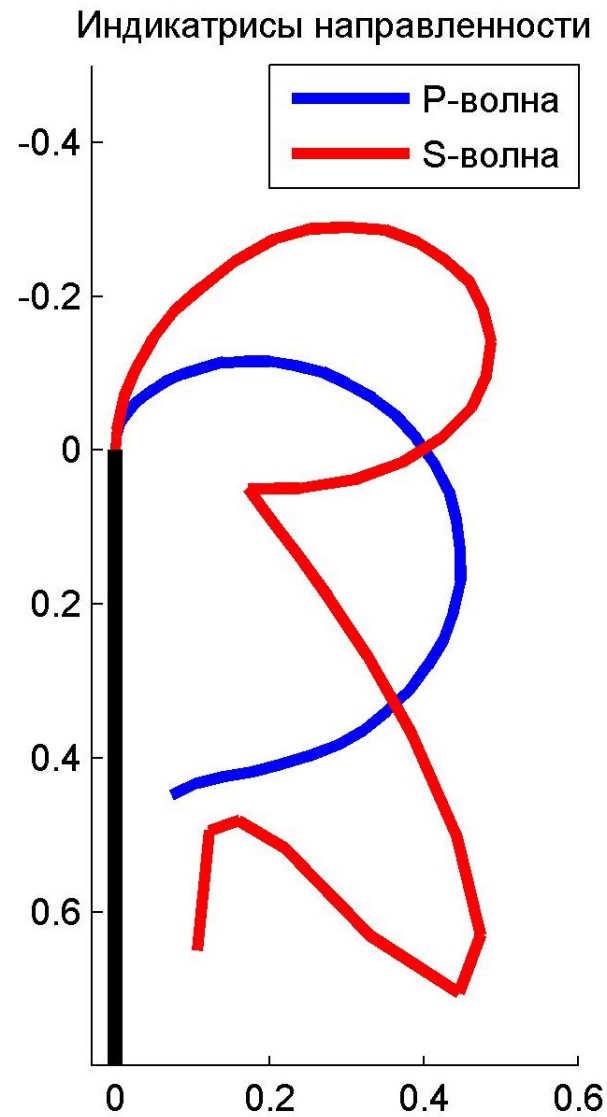
Индикатрисы направленности



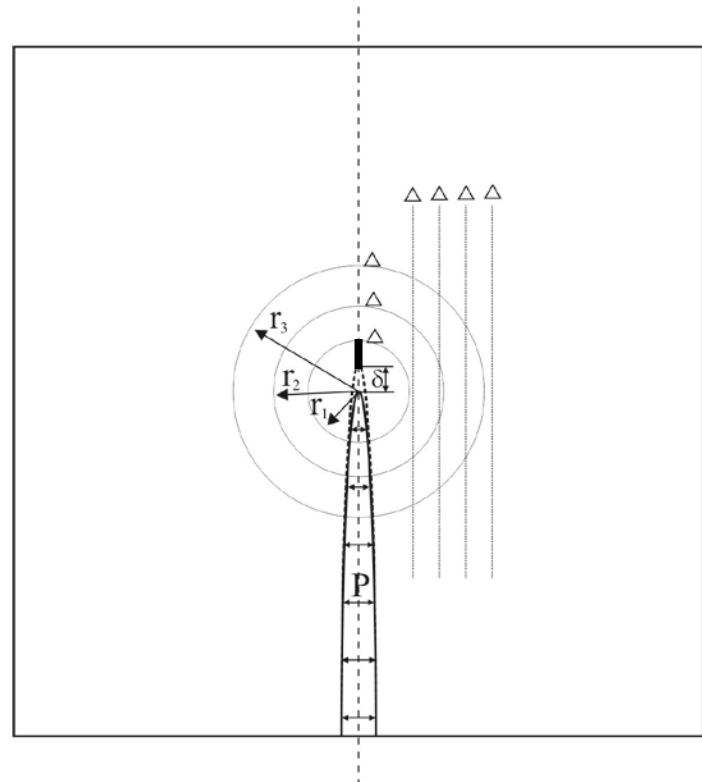
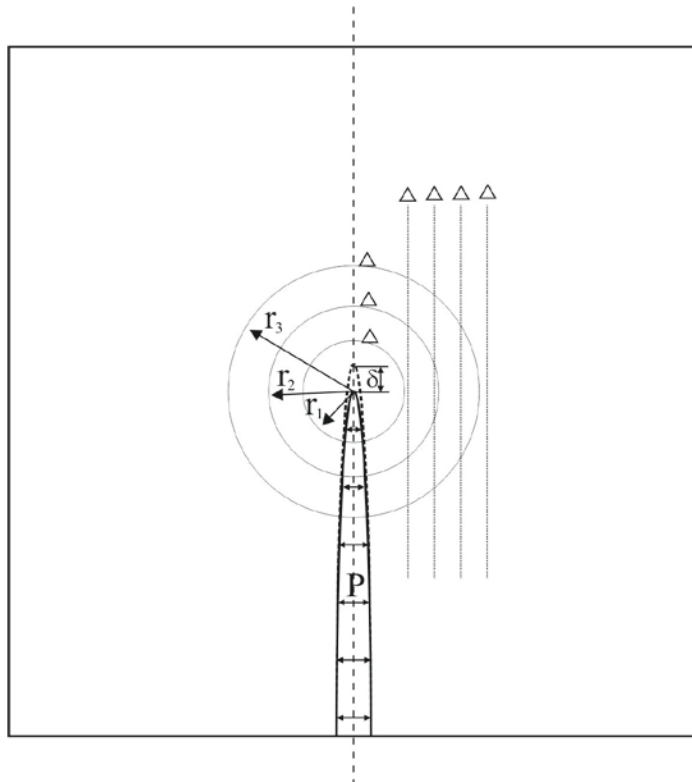
с пластичностью



без пластичности

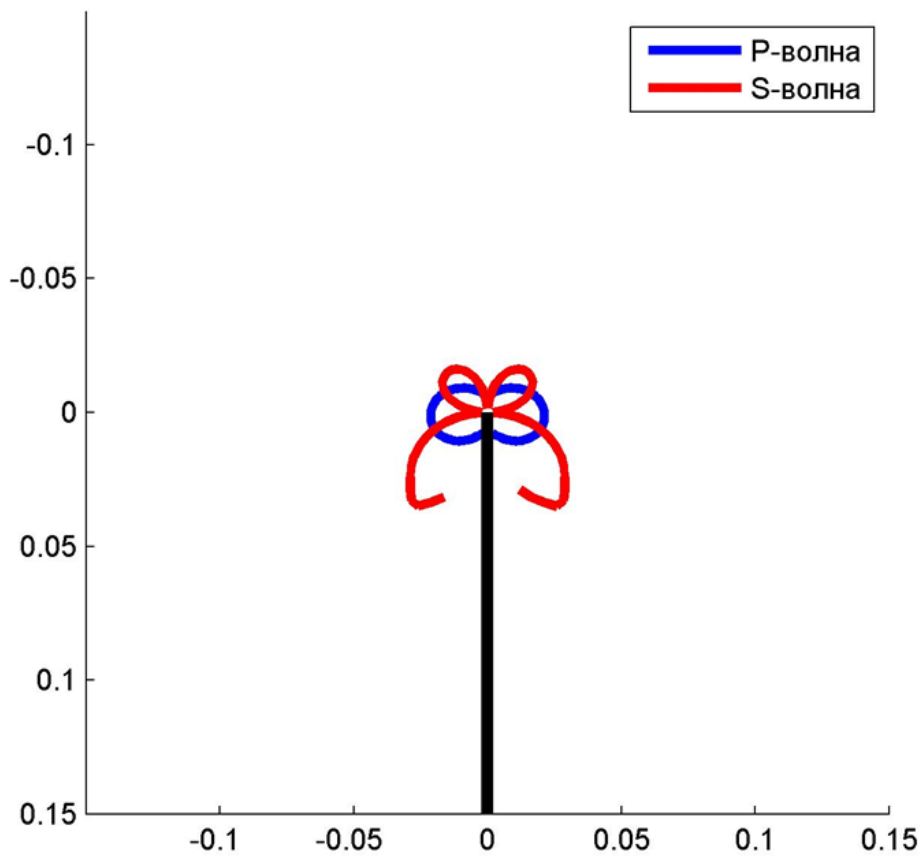


Раскрытие трещины (существующие нарушения)



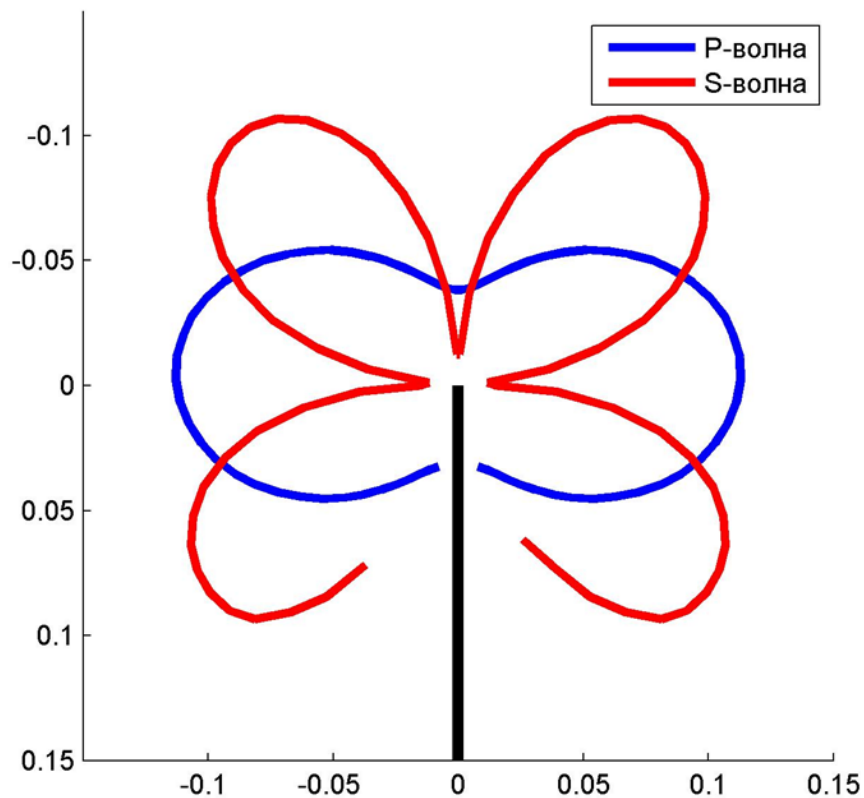
без малой трещины

Индикатрисы направленности



с малой трещиной

Индикатрисы направленности



Выводы

Для геомеханической интерпретации микросейсмического мониторинга необходимо изучить связь геомеханических процессов с генерацией упругих волн и соотношение сейсмической и асейсмической составляющих роста трещины

Удастся получить хорошее соответствие с точечным дипольным источником при описании элементарного акта роста трещины

Излучение при росте трещины может быть:

- ослаблено пластичностью (на кончике трещины)
- усилено наличием нарушений по ходу роста трещины

Спасибо за внимание!