



**ЗАО “Градиент”**

---

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВЕННОГО  
НАПРАВЛЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ  
НА ОСНОВЕ ПОЛНОВОЛНОВОГО ЧИСЛЕННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН И МЕТОДА  
МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ**

Биряльцев Е.В., Рыжов В.А., Камилев М.Р.

г. Москва,  
Гальперинские чтения - 2014

**Результат исследований** – площадное распределение:

1. Доминирующего направления трещиноватости
2. Полей микросейсмической активности

**Информация востребована при:**

1. Проектировании ГРП
2. Проектировании ствола горизонтальной скважины

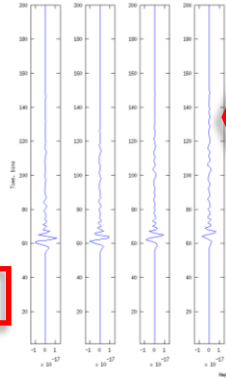
# Метод полноволновой локации (Full-Wave Location (FWL))

## 3D полноволновое моделирование

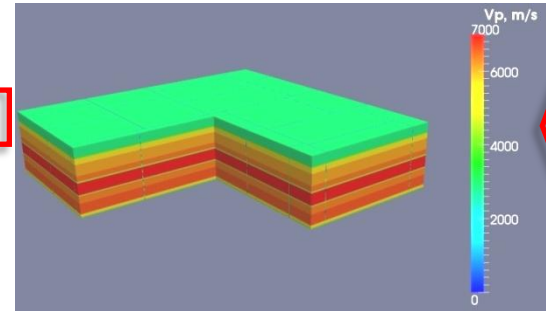


Проектирование, регистрация перфорации и процесса ГПП

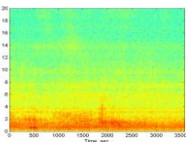
Модельные сигналы



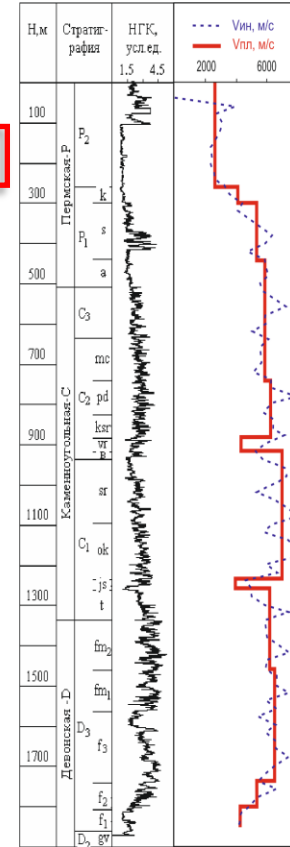
Базовая 3D-скоростная численная модель



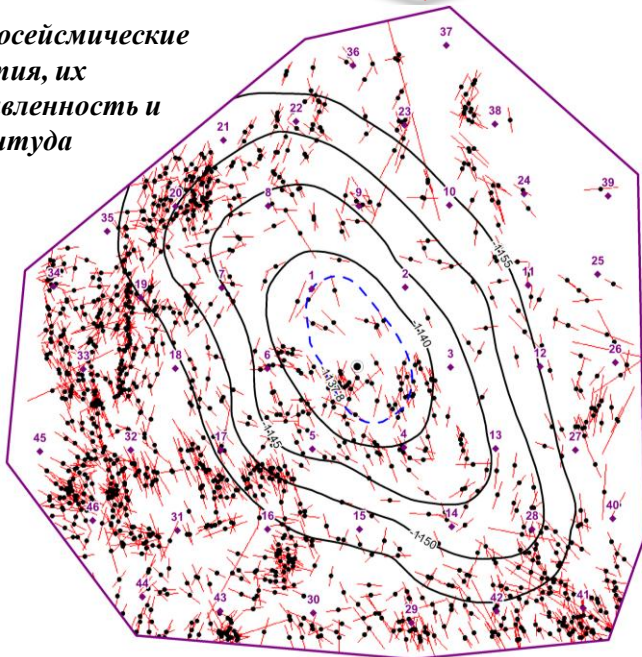
Обработка



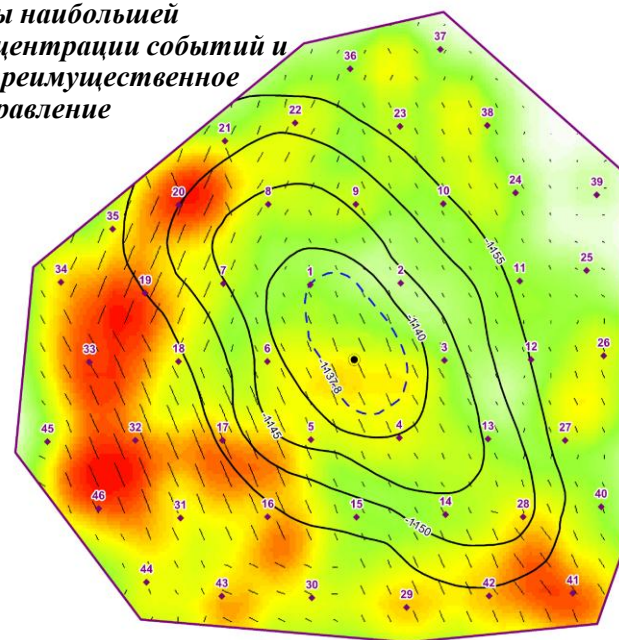
Метод максимального правдоподобия



Микросейсмические события, их направленность и амплитуда



Зоны наибольшей концентрации событий и их преимущественное направление



логарифм микросейсмической активности, у. е.

## *Основные преимущества метода FWL*

- ✓ **Выполняется с дневной поверхности на оборудовании сейсмологического класса.**
- ✓ **Применяется 3D полноволновое численное моделирование для получения в местах установки датчиков 3х компонентных откликов модели на импульсные воздействия в пласте.**
- ✓ **Для локализации событий применяется метод максимума правдоподобия, который использует полную форму сигналов и наилучшим образом локализует событие при низком отношении сигнал/шум.**

# Аппаратура

# Техническая оснащённость полевого отряда

Трехкомпонентный широкополосный сейсмометр СМЕ-4111-LT



Трехкомпонентный широкополосный сейсмометр LE-3Dlite

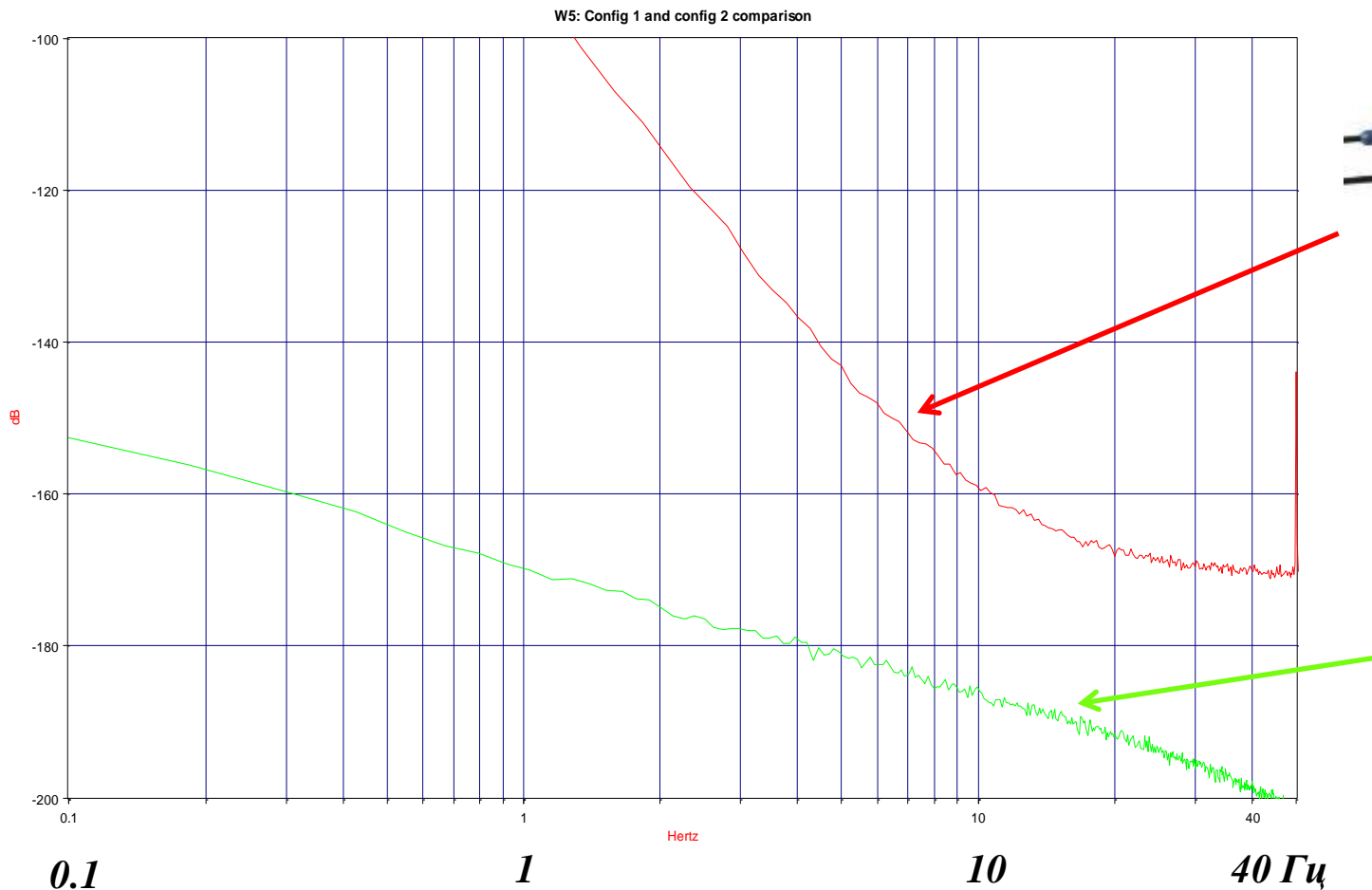


Регистратор «Байкал-АСН88».



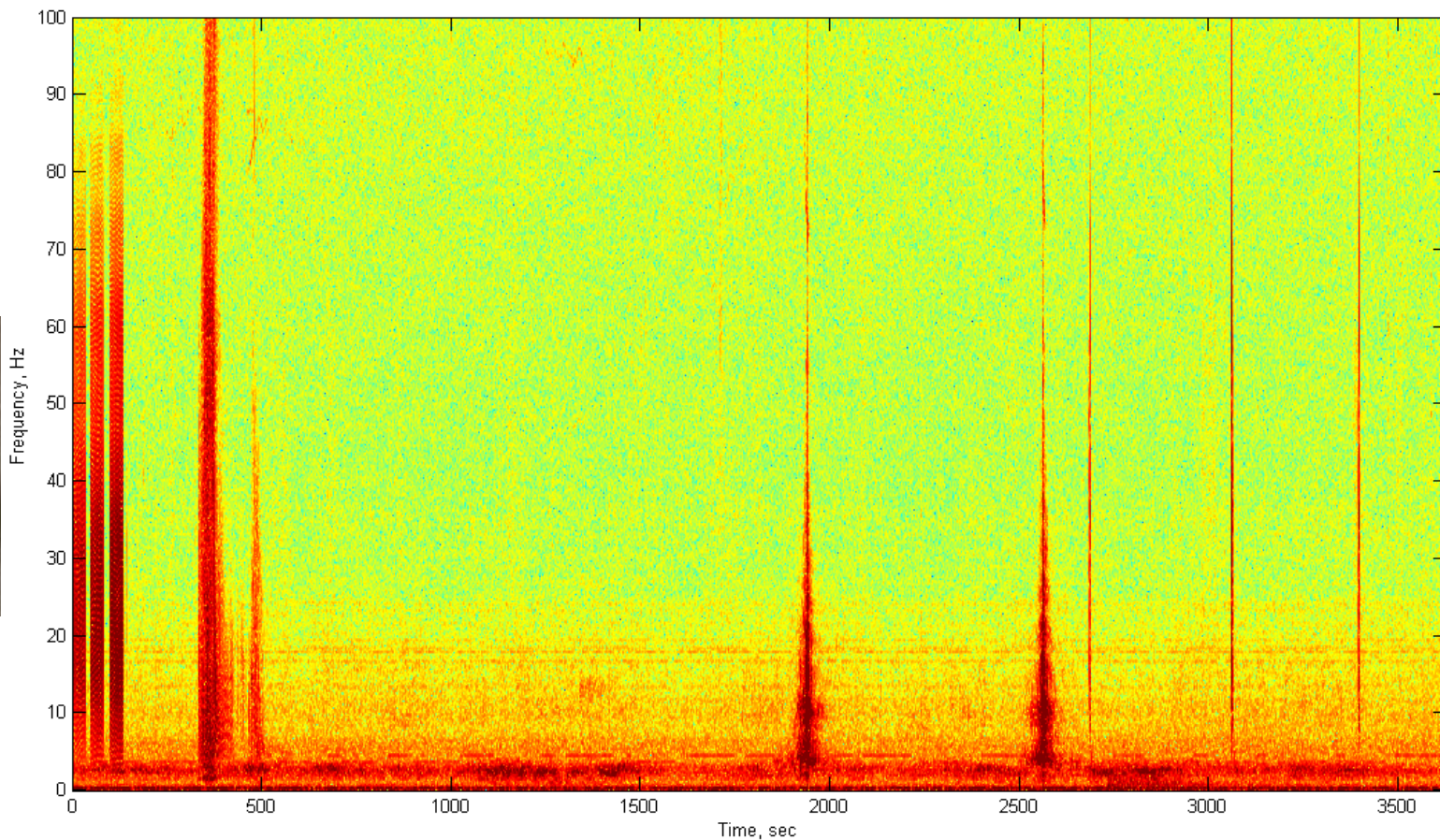
# Сравнение аппаратуры

*Оценка собственных шумов сейсмологической (СМЕ-4111-LT) и сейморазведочной (GS-20) аппаратуры*



# Сравнение аппаратуры

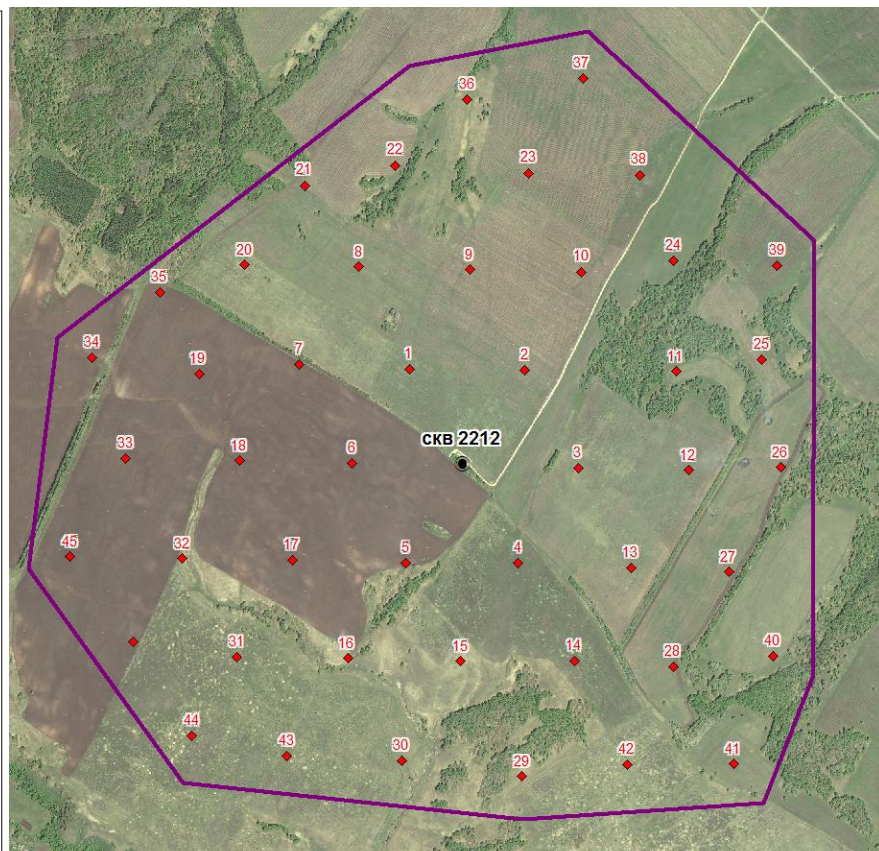
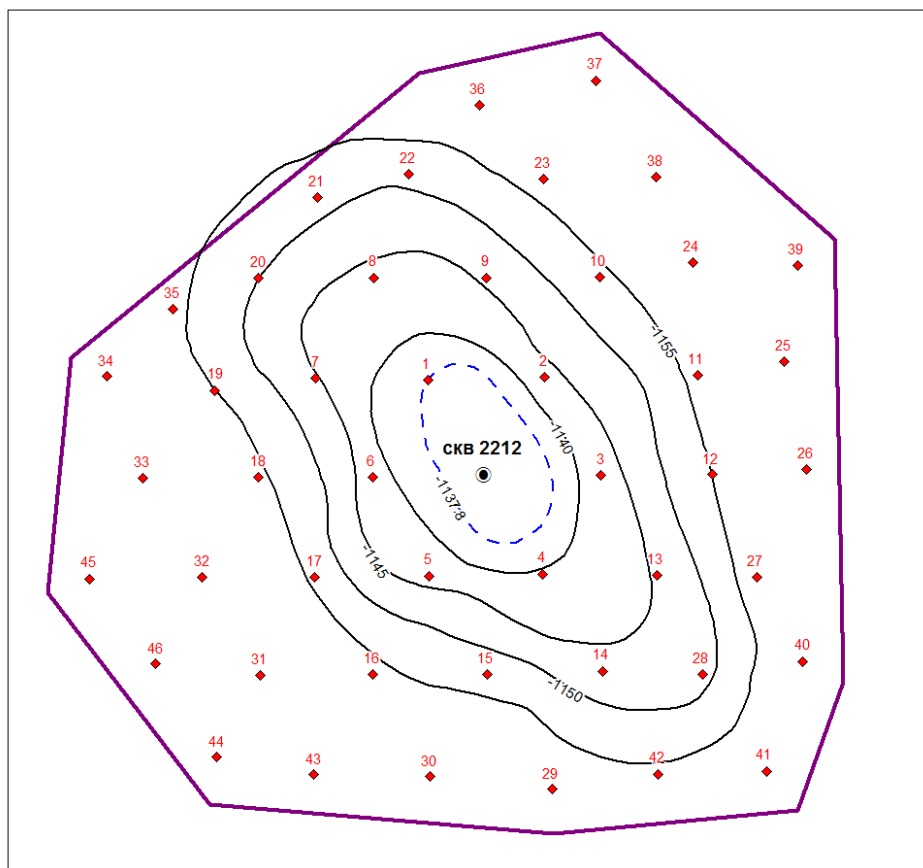
*Сравнение собственных шумов сейсмологической (СМЕ-4111-LT)  
и сейморазведочной (GS-20) аппаратуры*





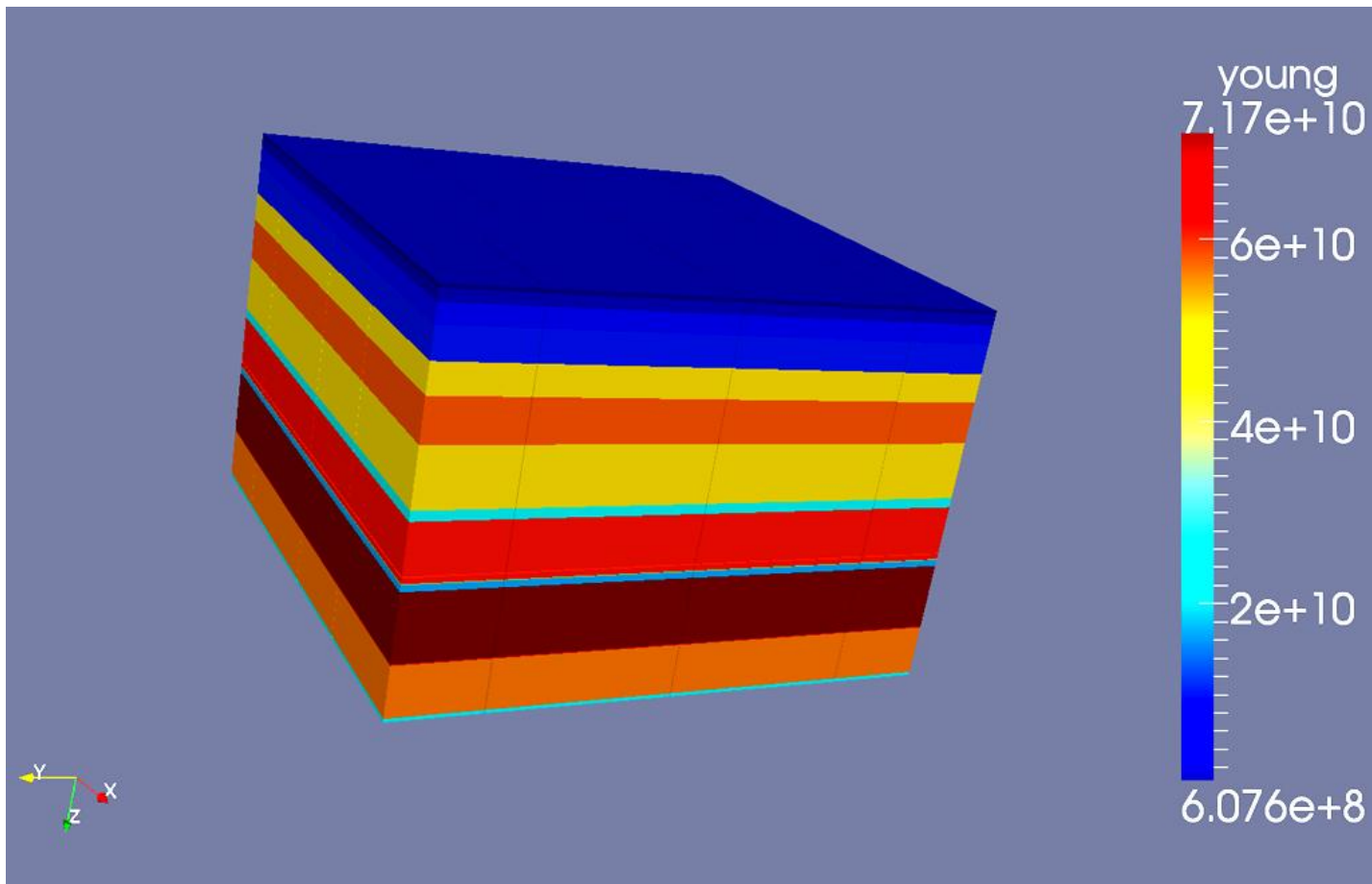
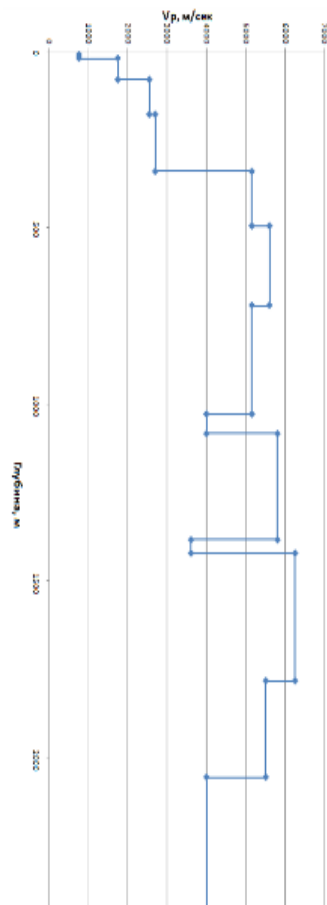
# Схема наблюдения

# Схема постановки работ пассивного микросейсмического мониторинга зон трещиноватости



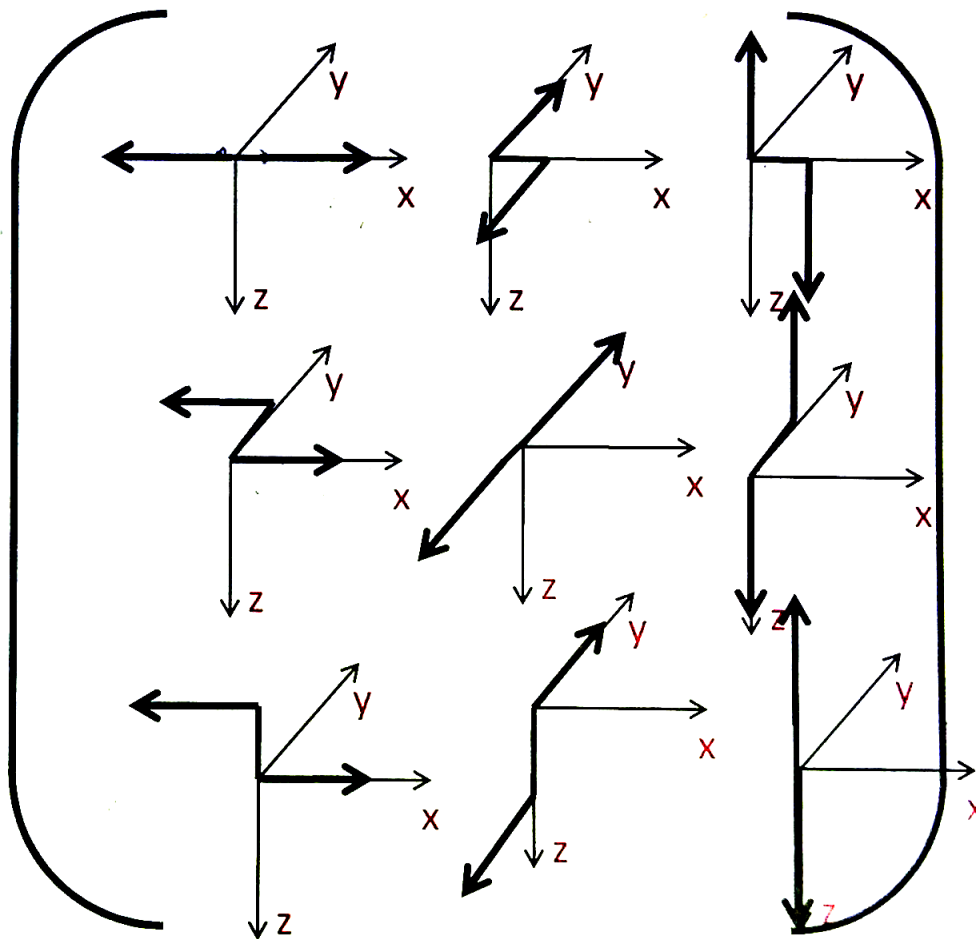
# Полноволновое численное моделирование

# Получение численной модели

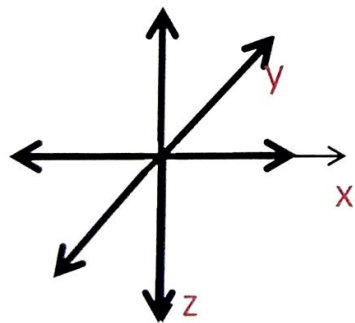


# Тензор точечного источника (Общий вид)

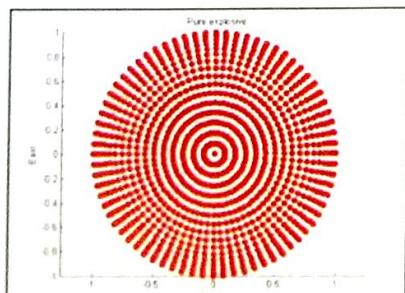
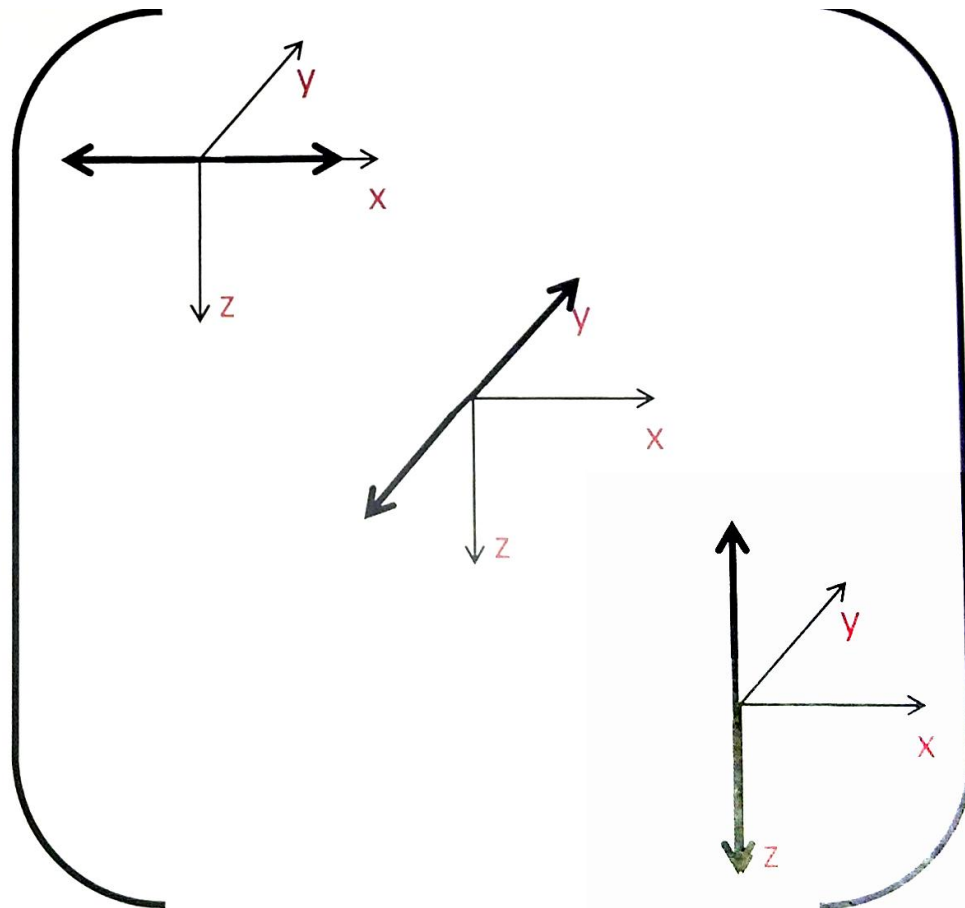
$$\begin{pmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yx} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{pmatrix}$$

$$\equiv$$


# Тензор точечного источника (центр взрыва)

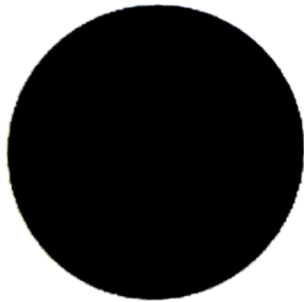


=

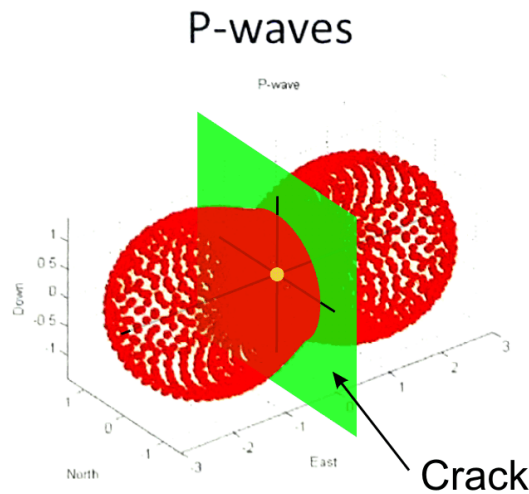


# Тензор точечного источника (tension crack)

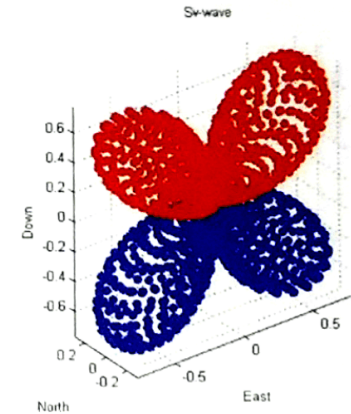
$$\begin{pmatrix} M_0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\lambda + 2\mu}{\lambda} M_0 & 0 \\ 0 & 0 & M_0 \end{pmatrix}$$



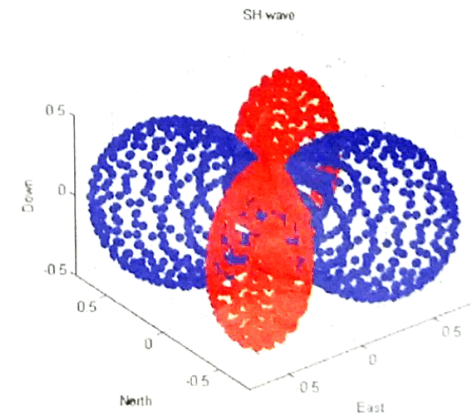
VOL=55%  
CLVD=45% for Poisson solid  
DC=0%



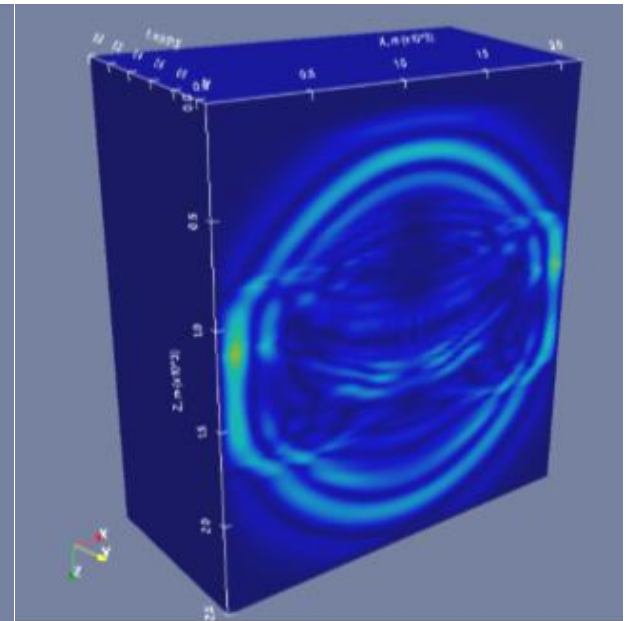
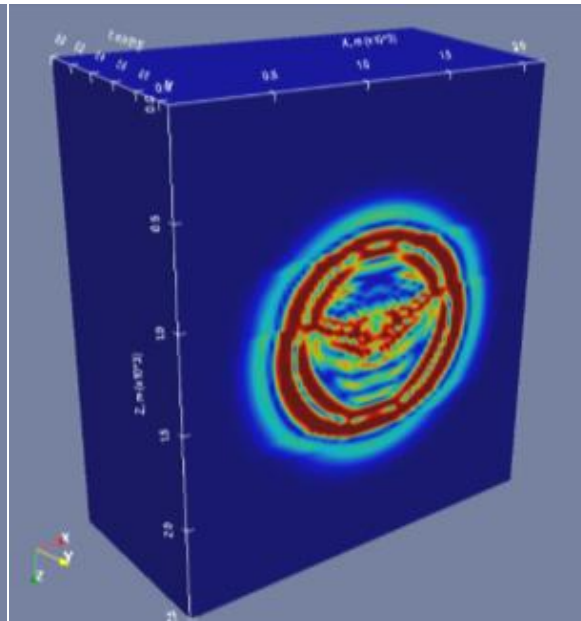
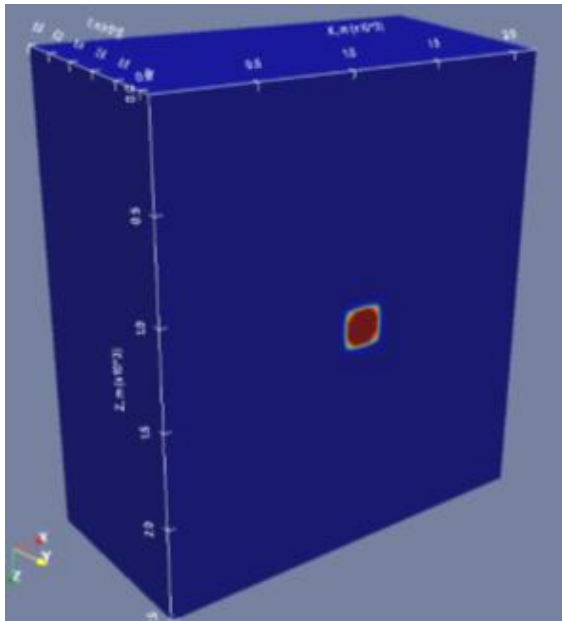
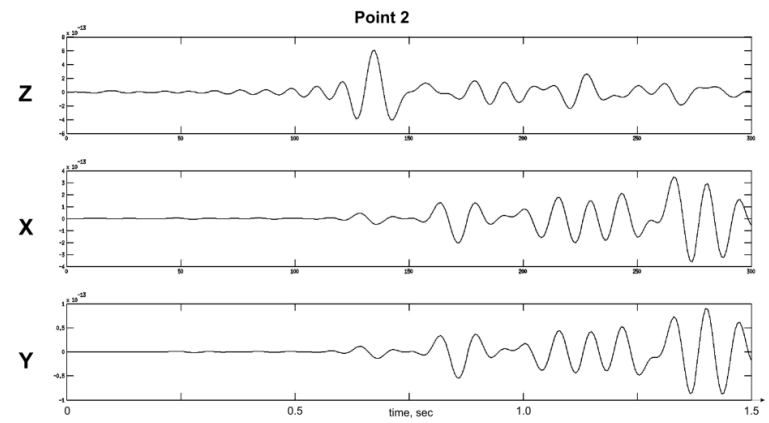
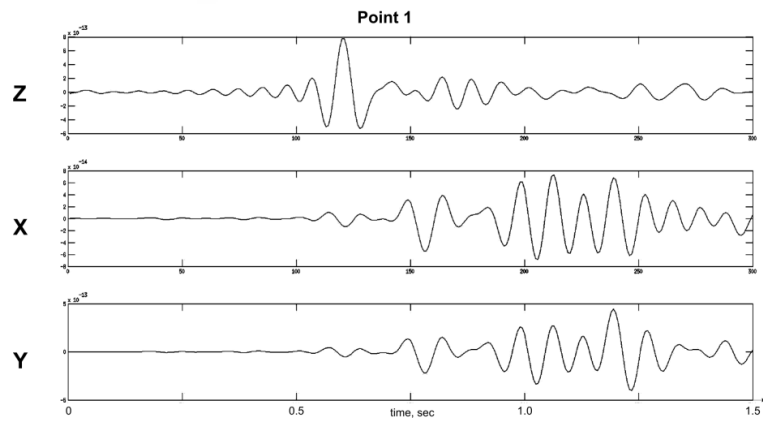
SV-waves



SH-waves

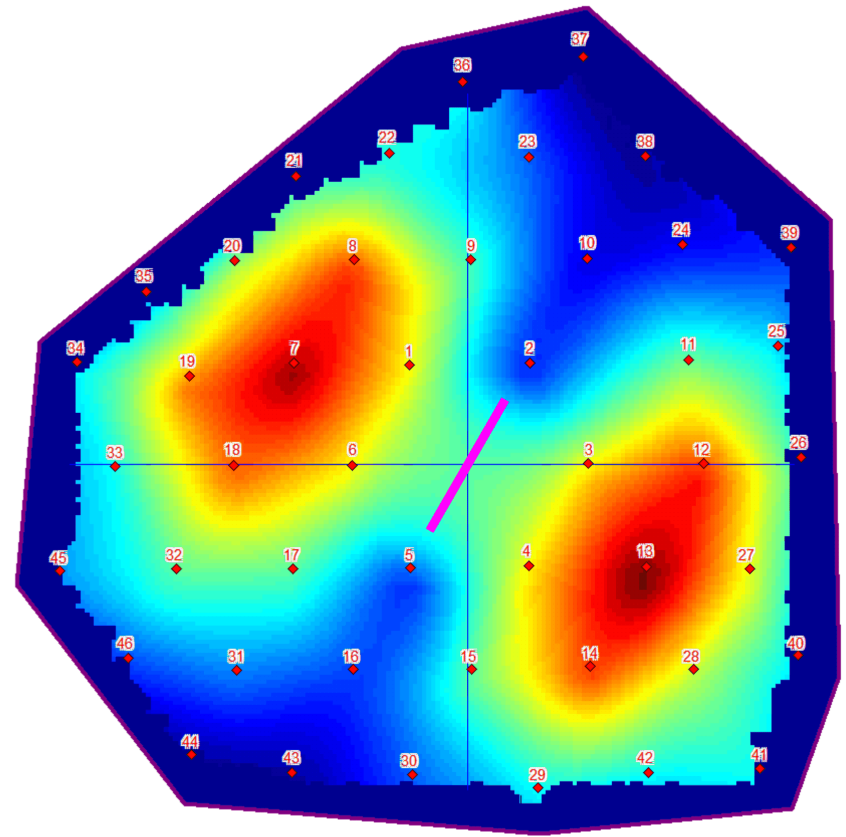
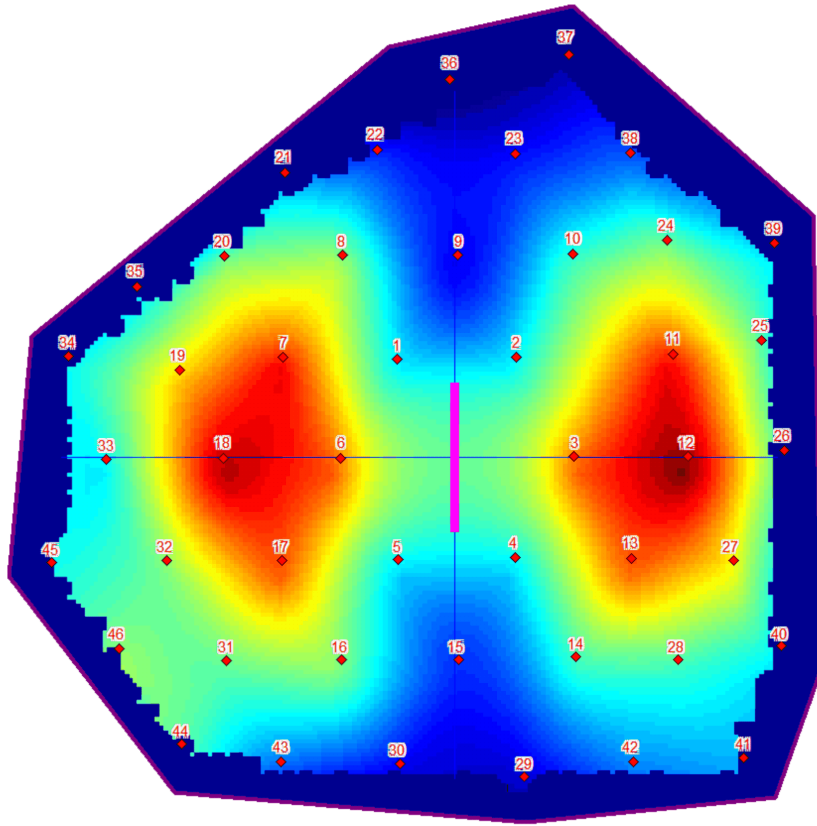


# Численное моделирование





# Расхождение точечного источника для азимутов $0^\circ$ и $30^\circ$ (tension crack)



# Метод максимального правдоподобия

## Метод максимального правдоподобия

Суть метода заключается в оценке функции правдоподобия наличия известного сигнала в измеряемой набором приемных устройств отсчетов смеси сигнала и шума.

$$z_k(t) = n_k(t) + s_k(t)$$

где  $n_k$  — шум в момент времени,  $s_k$  — искомый полезный сигнал, а  $z_k$  — их регистрируемая сумма.

В предположении гауссовского шума функцию правдоподобия можно записать как :

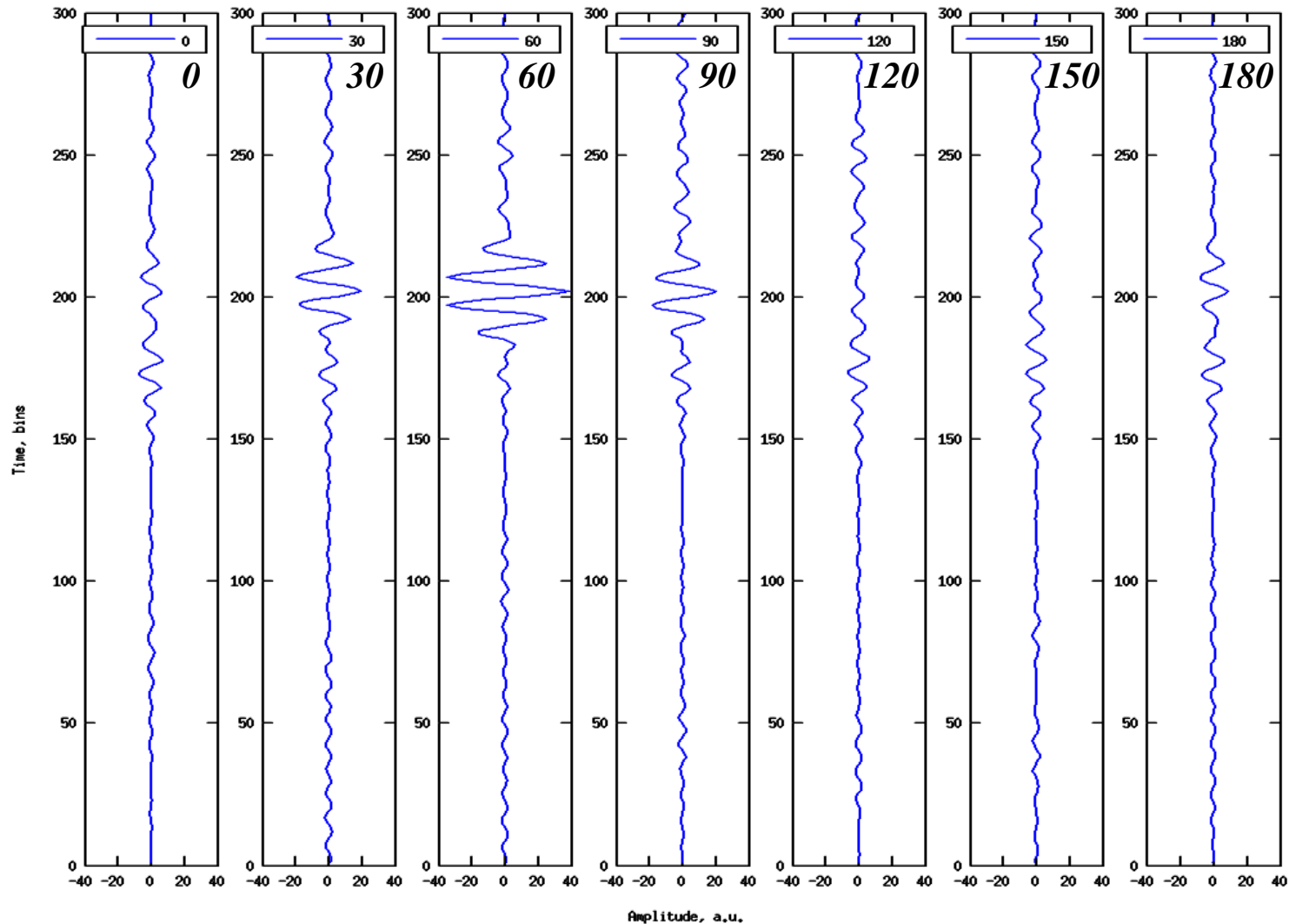
$$L(t_j) = \prod_k \prod_i \left[ \exp\left(-\frac{(z_k(t_j + t_i) - s_k(t_i))^2}{2D_k}\right) / \exp\left(-\frac{z_k(t_j + t_i)^2}{2D_k}\right) \right]$$

где  $D_k$  — дисперсия шума на канале приема,  $i$  - индекс времени  $t_i$  известного сигнала  $s_k$ .

$$\ln L(t_j|A) = \sum_k \sum_i \left[ \left( -\frac{(z_k(t_j + t_i) - A \cdot s_k^i(t_i))^2}{2D_k} \right) \right]$$

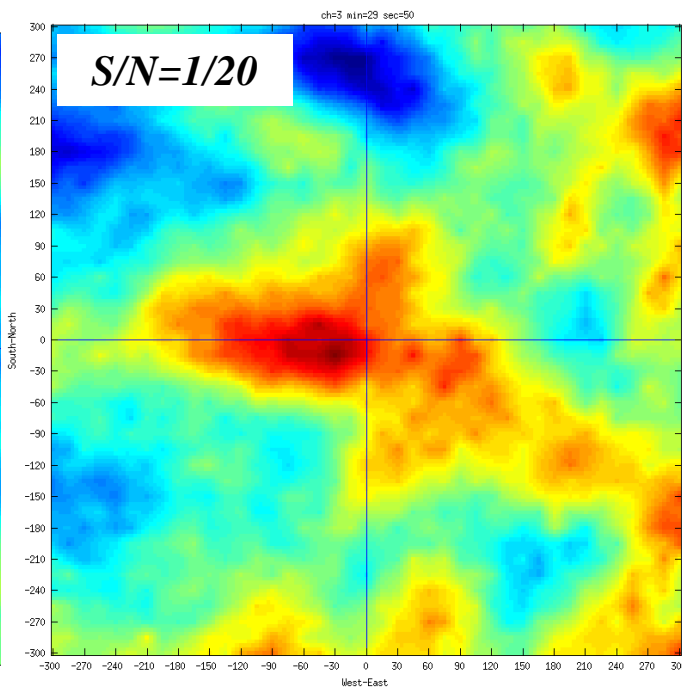
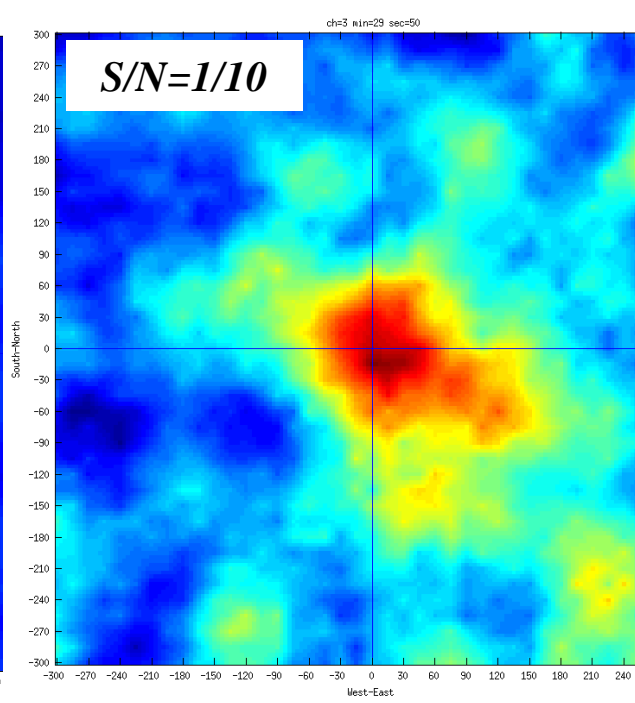
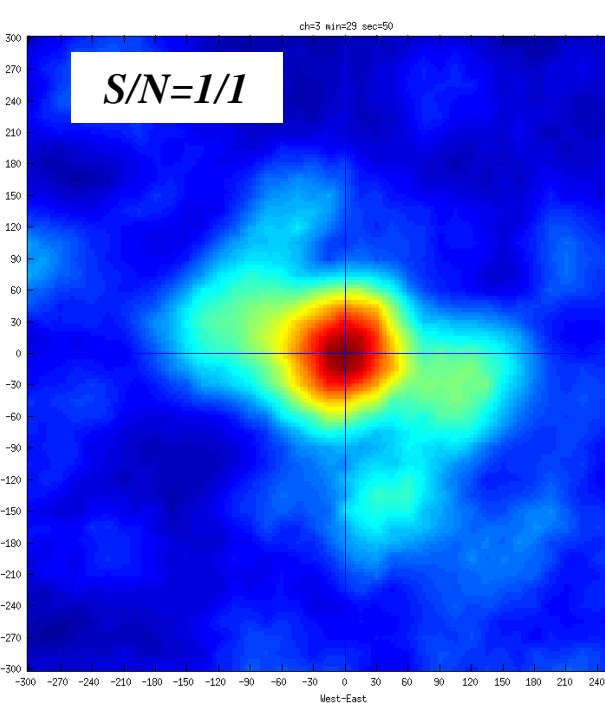
$$A(t) | \max_A \ln L(t|A)$$

**Восстановленные амплитуды модельной трещины с азимутальным углом  $60^\circ$  в одной точке визуализации по вариантам волнового поля для азимутальных углов трещины ( $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ ) методом максимального правдоподобия**



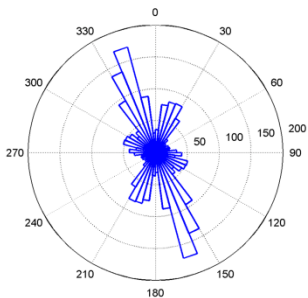
# Чувствительность метода FWL

# Чувствительность метода локализации при различных соотношениях сигнал/помеха

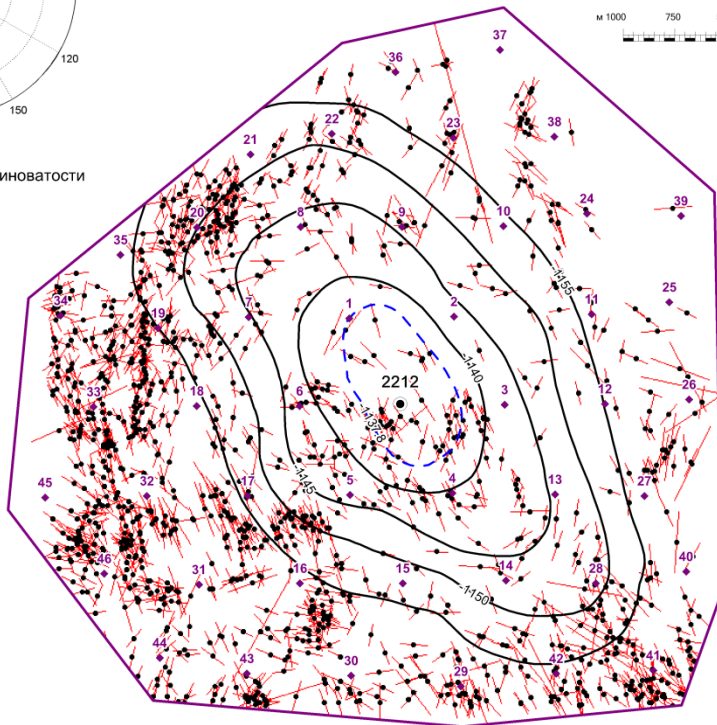
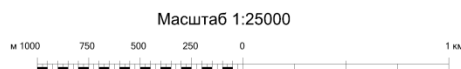


# Пример мониторинга естественной трещиноватости

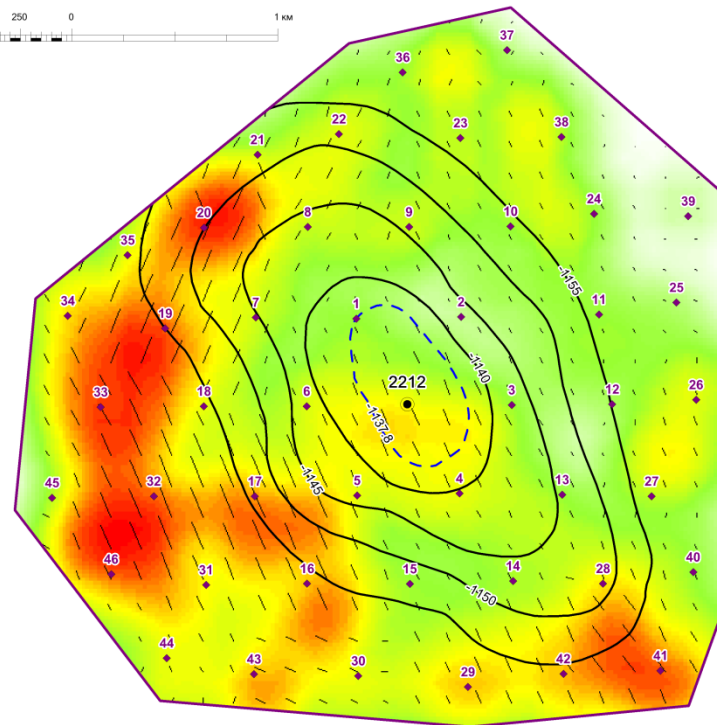
# Результаты мониторинга естественной трещиноватости



Роза направлений трещиноватости



Прогнозная карта трещиноватости



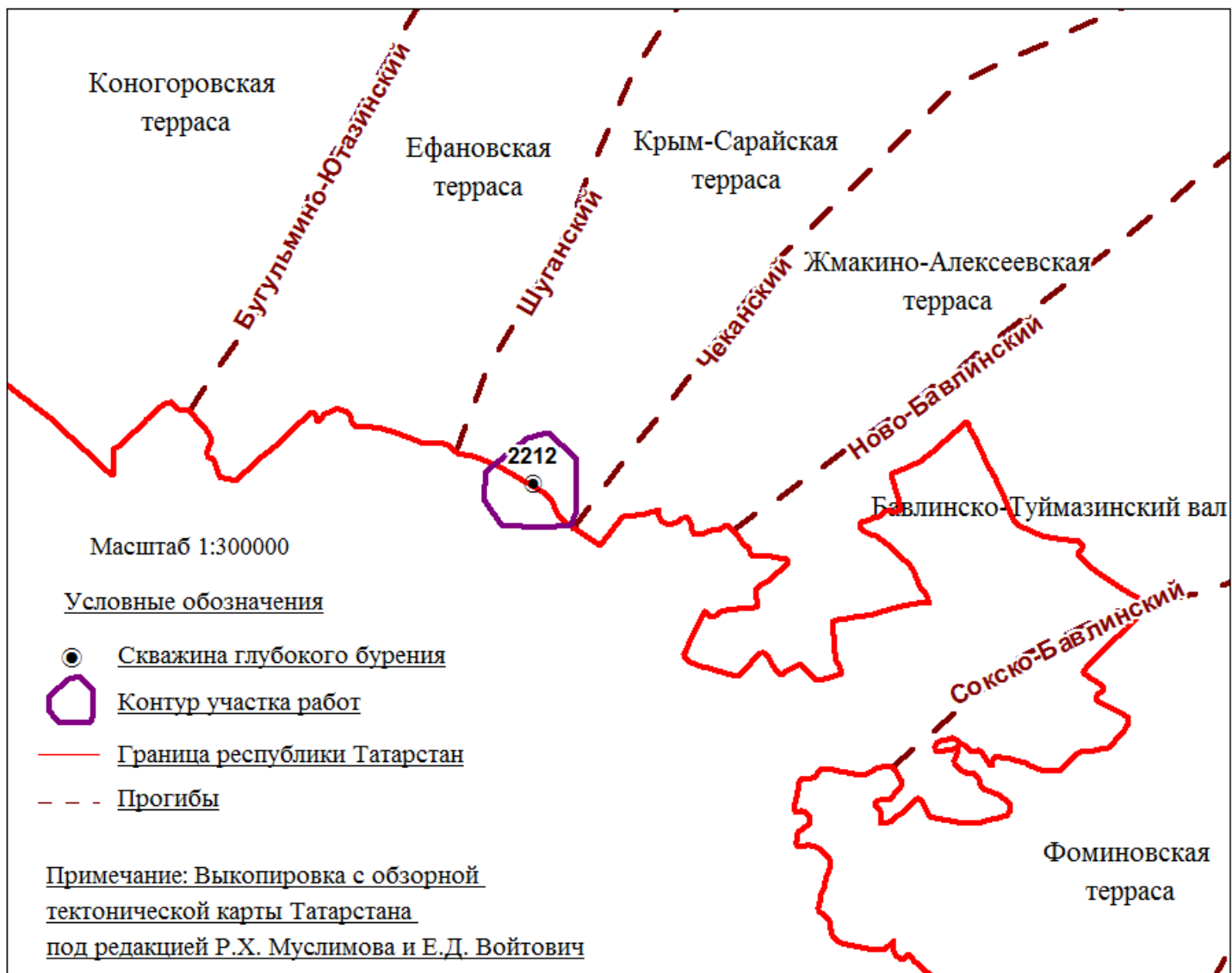
Карта микросейсмической активности с преимущественным направлением трещиноватости (срез на 1440 м)

Условные обозначения:

- |  |                            |  |   |  |   |
|--|----------------------------|--|---|--|---|
|  | Пункты наблюдения          |  | Изолинии по поверхности данково-лебеяданского горизонта |  | Положение и направление трещины         |
|  | Контур участка работ       |  | Контур ВНК по данным ОАО "Татнефть"                     |  | Доминирующее направление трещиноватости |
|  | Скважина глубокого бурения |  |   |  |   |



# Тектоническая схема района работ



# ***СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!***

***ЗАО «ГРАДИЕНТ»  
г. Казань, ул. Еришова, 29  
тел. +7 (843) 200-10-99  
тел/факс +7 (843) 238-32-43  
e-mail: mail@gradient-geo.com,  
gradient-kzn@yandex.ru  
сайт: www.gradient-geo.com***