

ЗАО “Градиент”

**Сопоставление возможностей
метода Кейпона и
метода Максимума правдоподобия
для локализации микросейсм**

*Е.В. Биряльцев, В.А. Рыжов,
М.Р. Камилев * (ЗАО "Градиент")*

г. Москва – 2015 г

Виды микросейсмического мониторинга ГРП

Скважинная микросейсмика

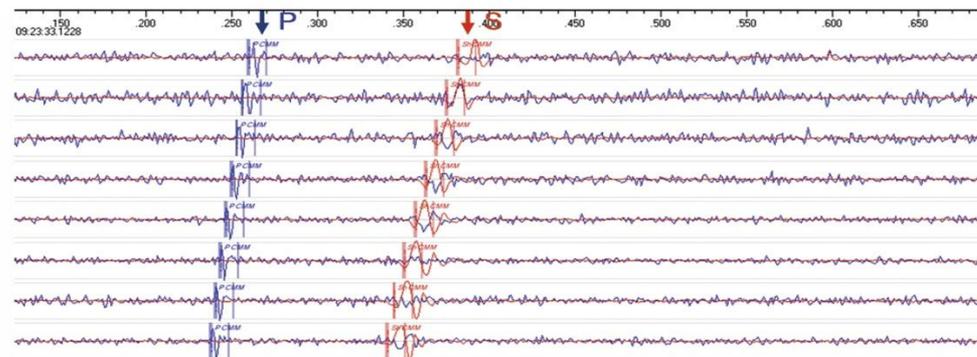
Расположение датчиков в соседней (300-500 м) скважине

Минус:

Требуется скважина, что не всегда возможно

Плюс:

Микросейсм виден на записи



Наземная микросейсмика

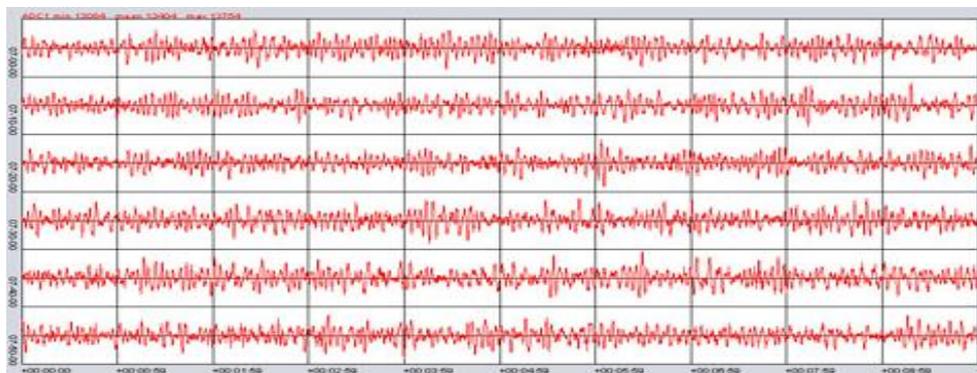
Расположение датчиков на поверхности (2-3 км от события)

Плюс:

Мониторинг возможен всегда/везде

Минус:

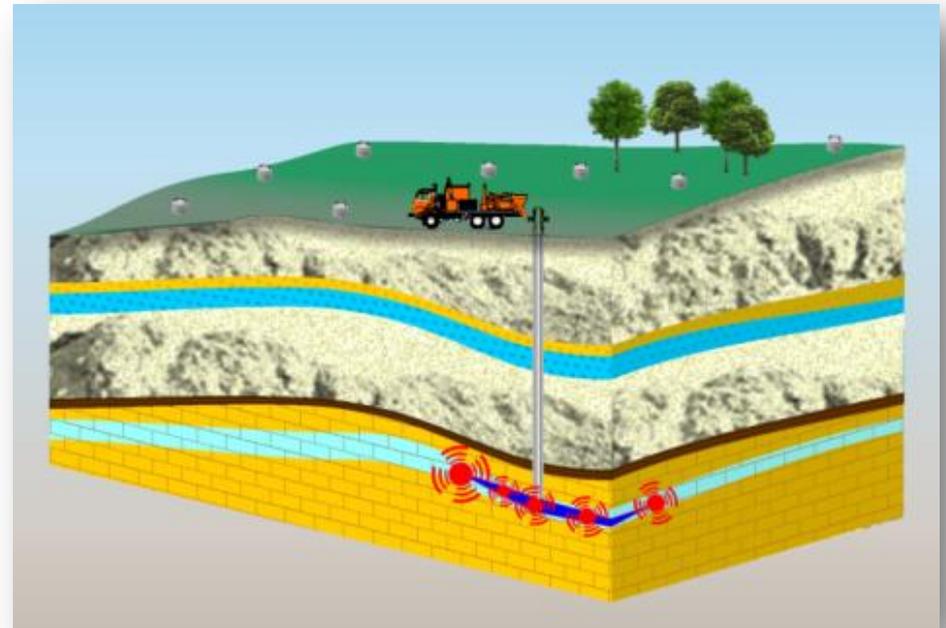
Микросейсм не виден на записи



Микросейсмический мониторинг с поверхности технологией Полноволновой локации

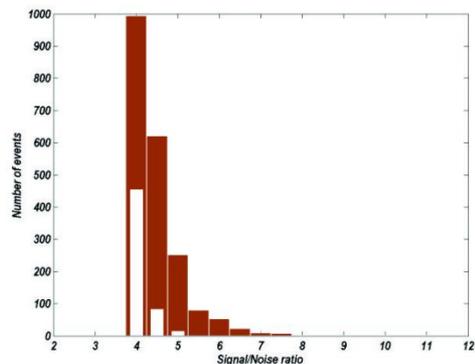
Локация микросейсмических импульсов с определением их параметров (положения в пространстве, амплитуды, тензора сейсмического момента) позволяет решать ряд технологических и геологических задач:

- мониторинг ГРП;
- мониторинг процессов разработки месторождений УВ (закачка, оценка зон дренирования и др.);
- мониторинг зон активной трещиноватости с определением преимущественного направления трещиноватости

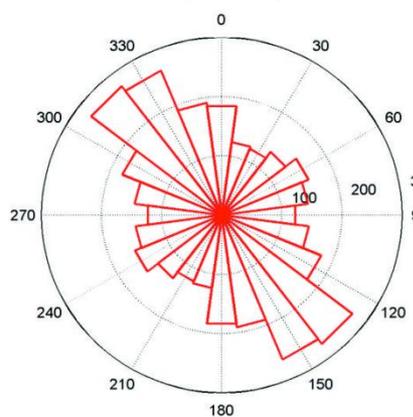


Мониторинг многостадийного ГРП в горизонтальном стволе

Зоны микросейсмической активности, осевые линии микросейсмической активности, ориентация трещин каждого события, зоны проникновения проппанта



Роза направлений трещин

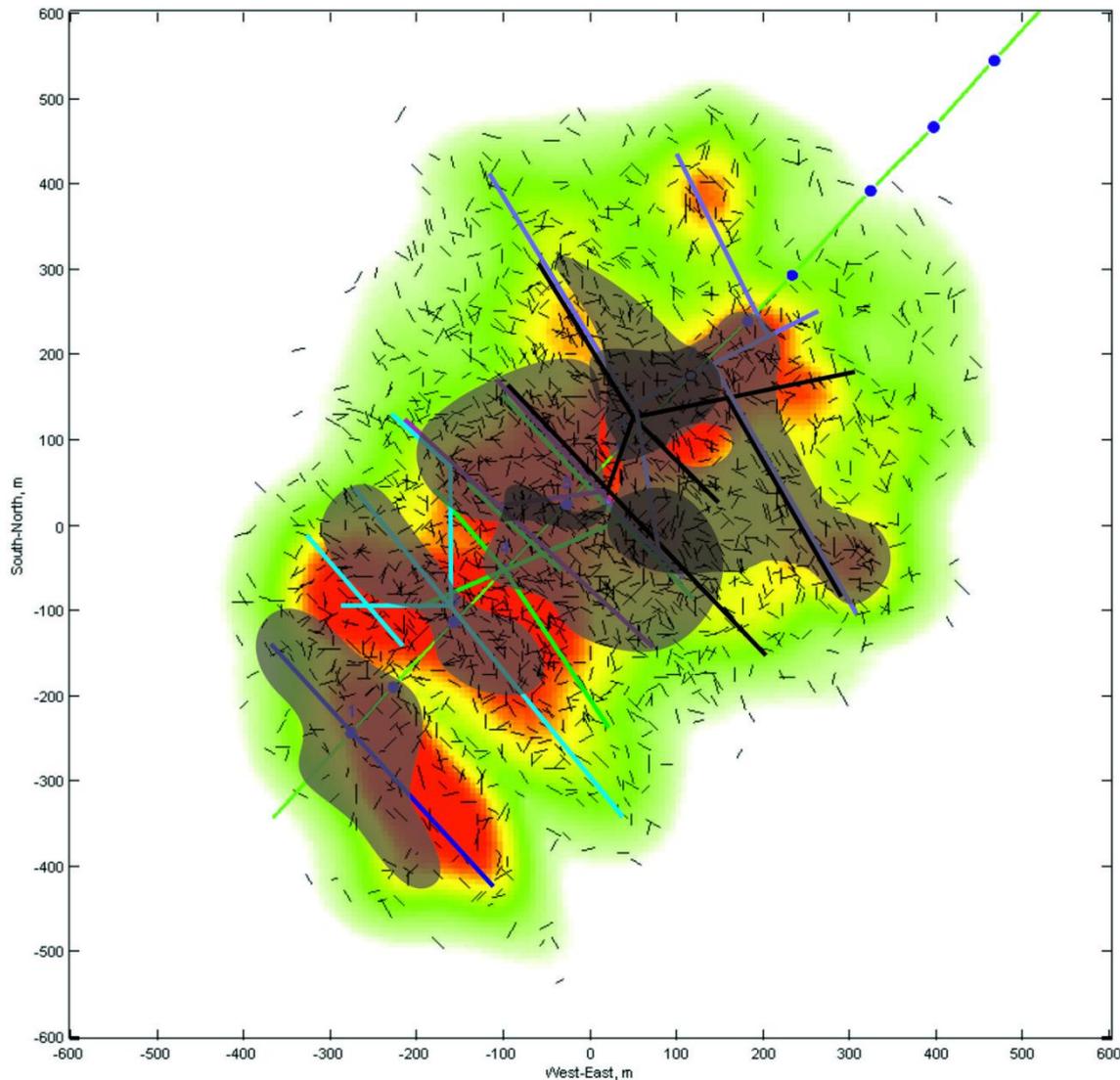


Условные обозначения

Осевые линии суммарной зон повышенной микросейсмической активности по стадиям ГРП:

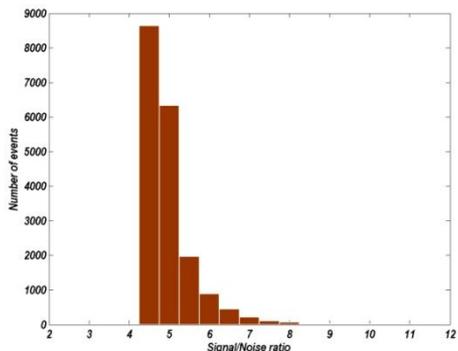
- Стадия 1
- Стадия 3
- Стадия 4
- Стадия 5
- Стадия 6
- Стадия 7

- Проекция ствола скважины и порт ГРП
- Положение и ориентация трещины
- количество локализованных событий (коричневый)
- оценочное количество ложных событий (белый)
- Зона вероятного распространения проппанта

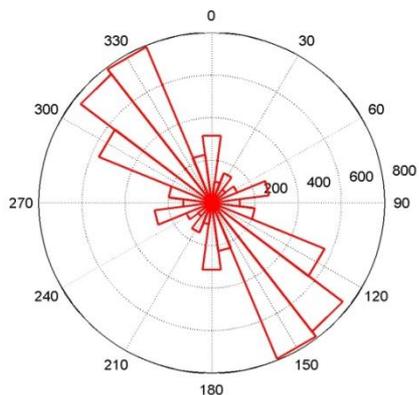


Мониторинг естественной активной трещиноватости

Зоны микросейсмической активности, доминирующее направление трещиноватости



Роза направлений трещиноватости



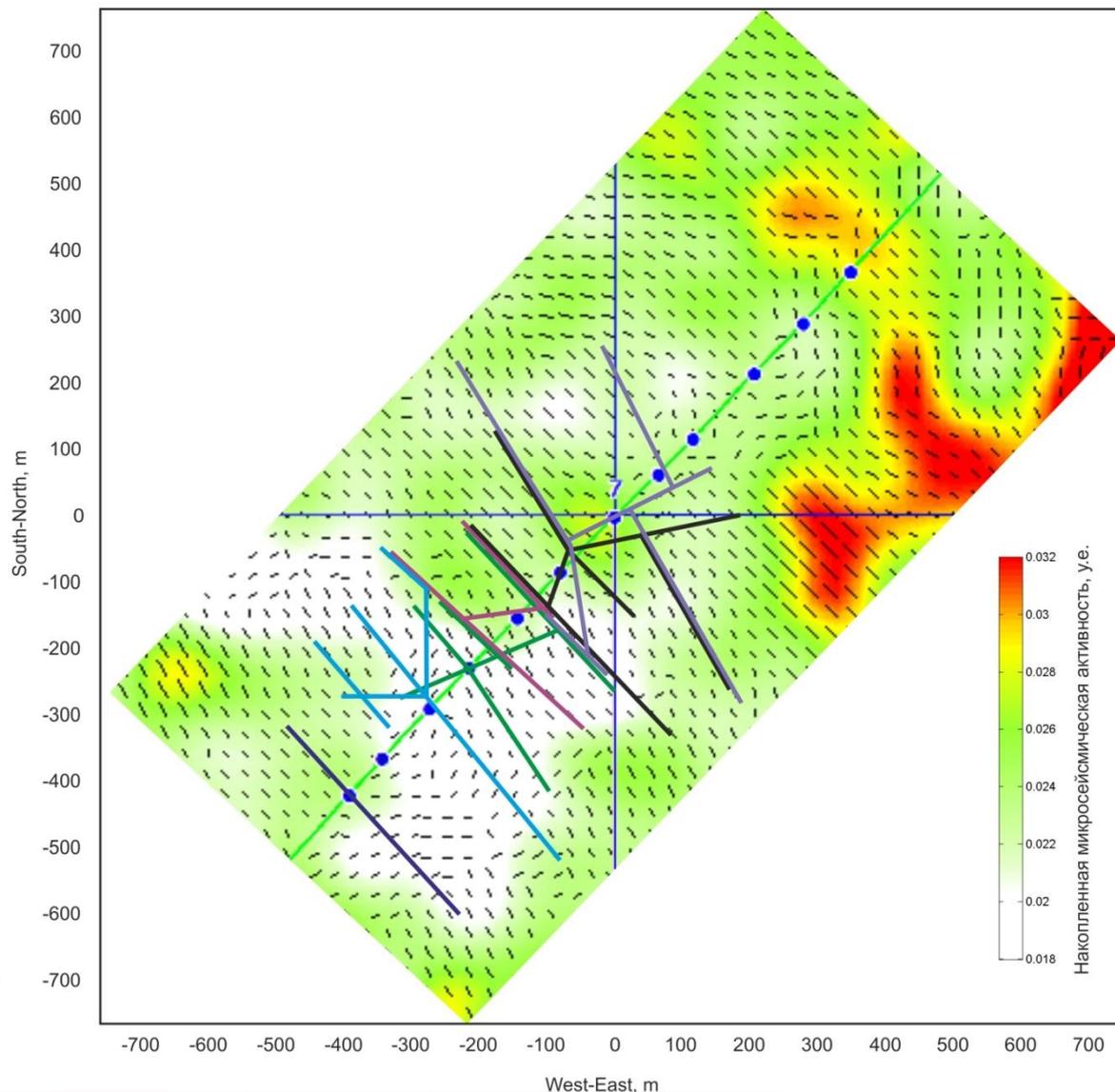
Условные обозначения

Осевые линии суммарных зон повышенной микросейсмической активности по стадиям ГРП:

- Стадия 1
- Стадия 3
- Стадия 4
- Стадия 5
- Стадия 6
- Стадия 7

● Проекция ствола скважины и порт ГРП

— Локальное направление трещиноватости (азимут) и выраженность данного направления (длина)



Особенности технологии Полноволновой локации ЗАО «Градиент»

Поверхностные исследования возможны при значительной техногенной зашумленности территории работ, что достигается использованием:

- аппаратных комплексов сейсмологического класса;
- оптимизацией схемы наблюдения;
- алгоритма вычислений основанном на:
 - полноволновом численном моделировании;
 - методе максимального правдоподобия.

Метод Максимум правдоподобия

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

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

n_k — шум, s_k — сигнал, а z_k — их смесь.

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 на каналах

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

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

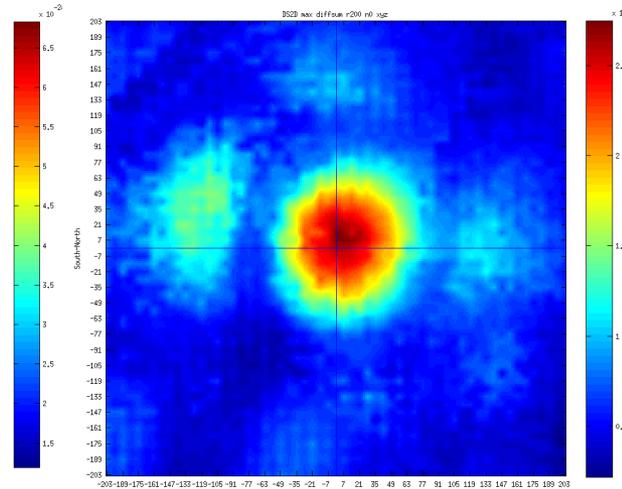
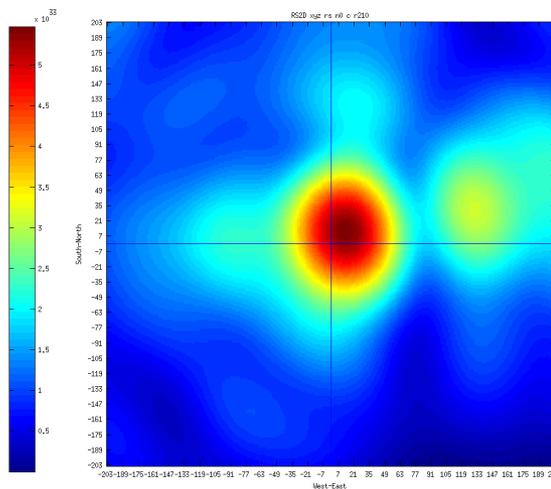
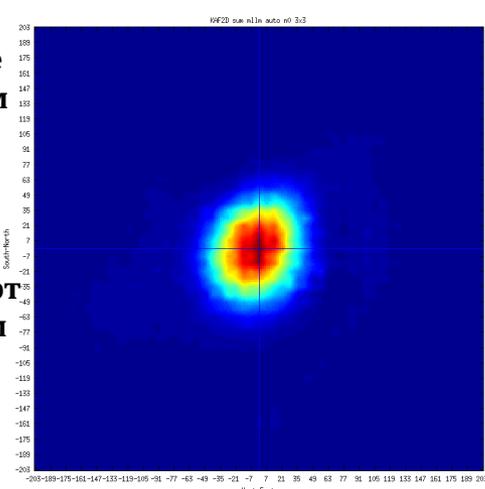
Метод Максимума правдоподобия

Метод максимума правдоподобия

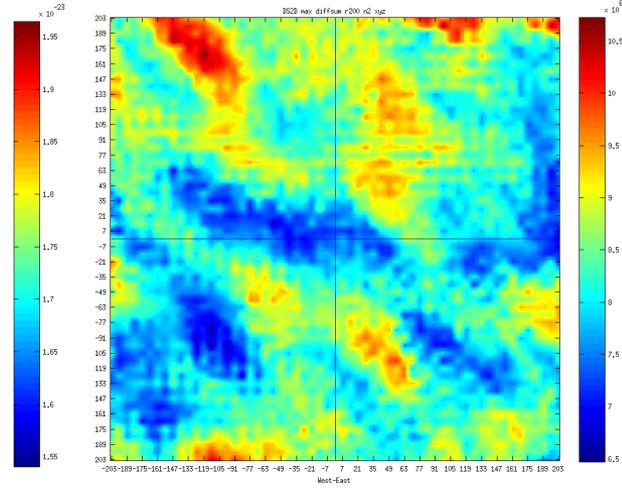
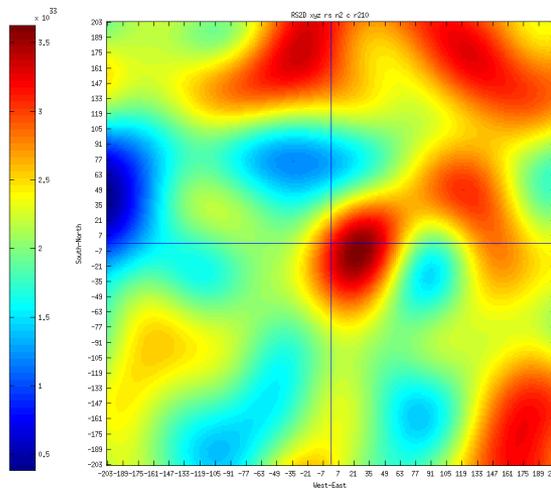
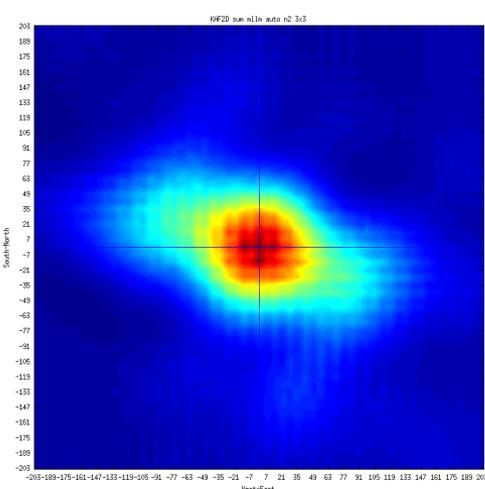
Time Reverse Modeling

Дифракционное суммирование

Отношение сигнал/шум большое, разницы в методах почти нет, все выделяют микросейсм

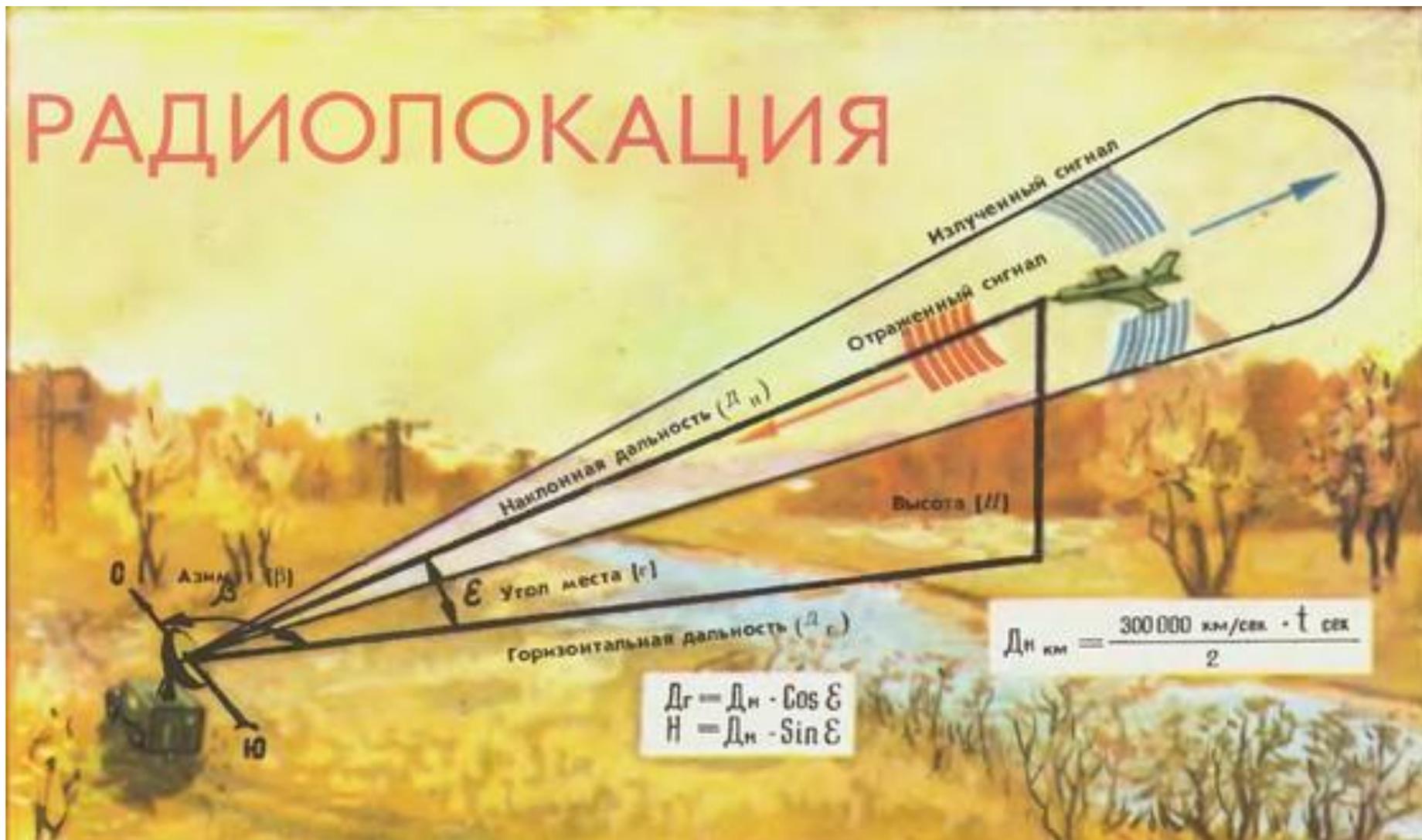


Отношение сигнал/шум маленькое, ММП работает, остальные не работают



Метод Кейпона в радиолокации

РАДИОЛОКАЦИЯ



Метод Кейпона

Модель сигналов из N приемников:

$$\mathbf{Z} = \sum_{k=1}^J a_k \mathbf{S}(\varphi_k) + \mathbf{X},$$

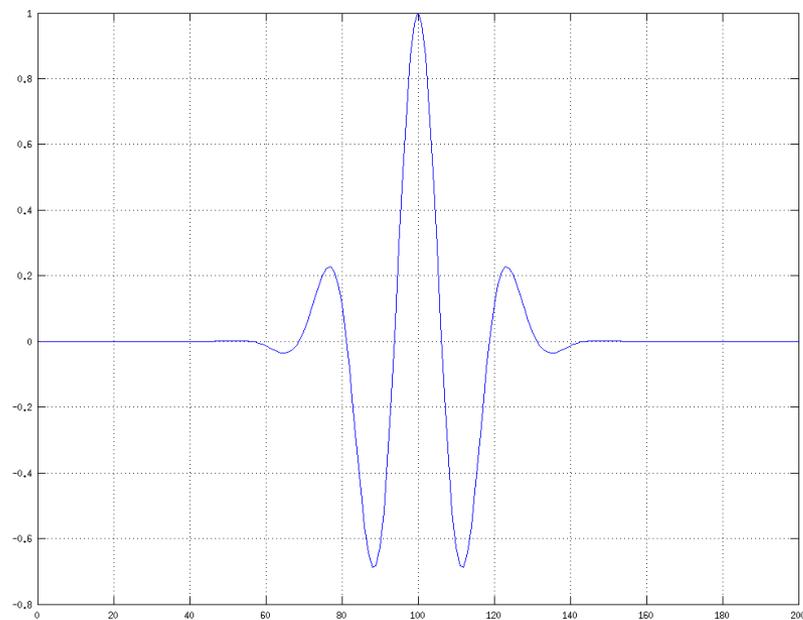
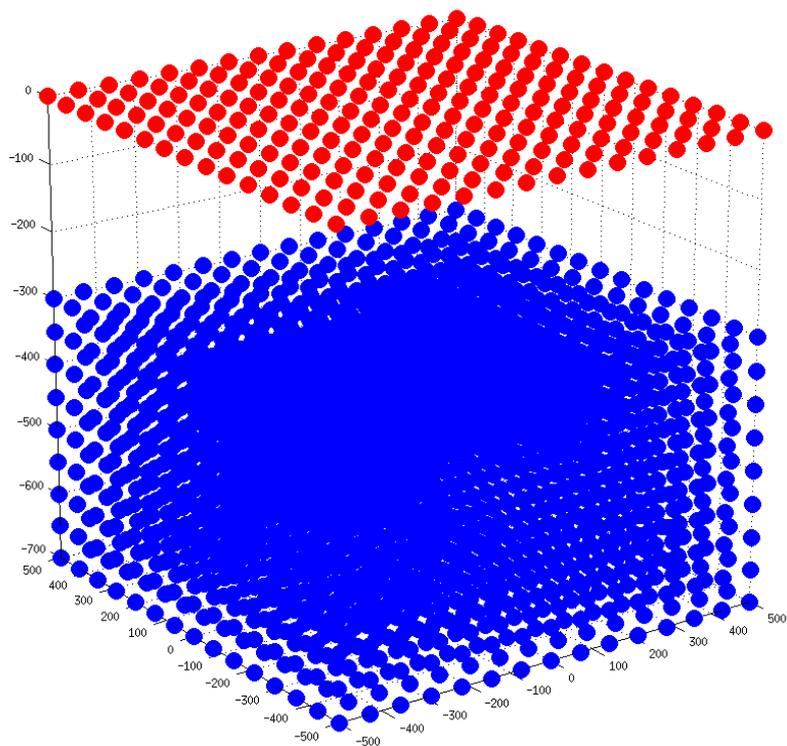
где J - число дискретных источников; a_k ; φ_k - амплитуда и угол прихода волны, соответствующей индексу k ; $\mathbf{S}(\varphi_k)$ - N -мерный вектор сигналов от источника с номером k ; \mathbf{X} - N -мерный вектор собственного шума
 \mathbf{Z} - N -мерный вектор принятого сигнала.

$$\min_W \langle |\mathbf{W}^H \mathbf{Z}|^2 \rangle \quad \text{при условии} \quad \mathbf{W}^H \mathbf{S}(\varphi) = 1$$

$$\Phi(\mathbf{W}) = \langle |\mathbf{W}^H \mathbf{Z}|^2 \rangle - \chi(\mathbf{W}^H \mathbf{S}(\varphi) - 1) \quad \mathbf{W} = \frac{1}{\mathbf{S}^H(\varphi) \mathbf{M}^{-1} \mathbf{S}(\varphi)} \mathbf{M}^{-1} \mathbf{S}(\varphi)$$

$$\eta_1(\varphi) = \frac{1}{\mathbf{S}^H(\varphi) \mathbf{M}^{-1} \mathbf{S}(\varphi)}.$$

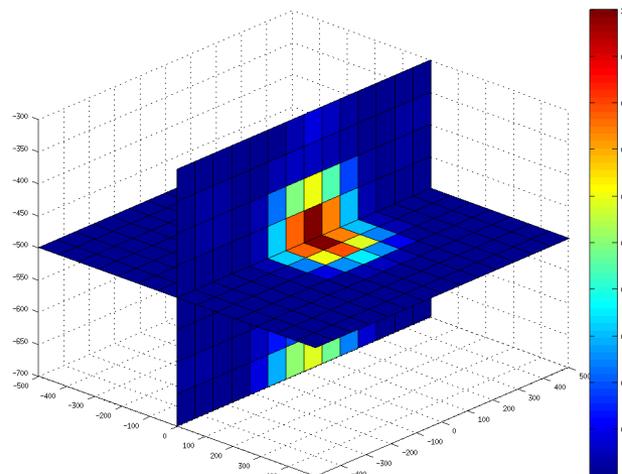
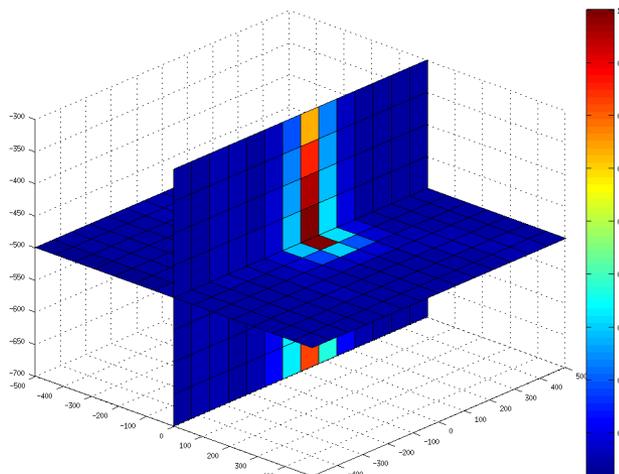
Модель эксперимента



Результаты обнаружения источника методами Кейпона и ММП

Сигнал/
шум

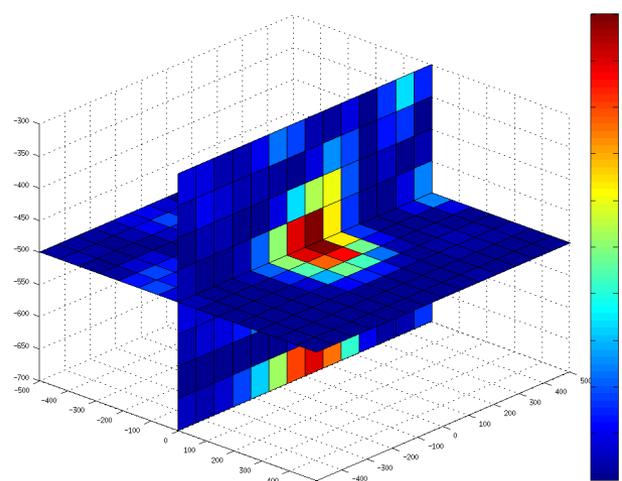
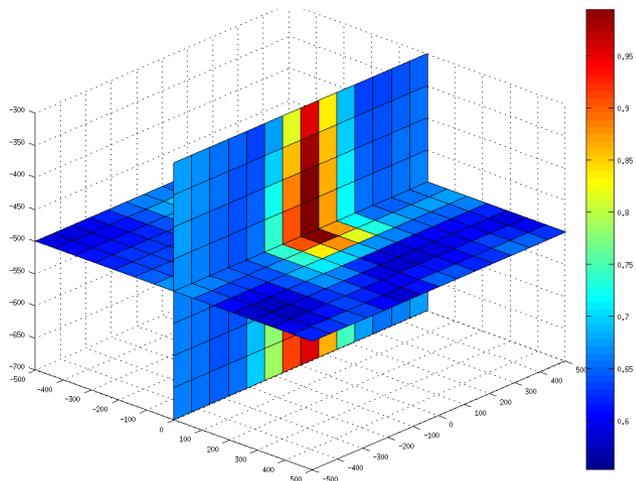
1



Сигнал/
шум

1

1/4



1/9

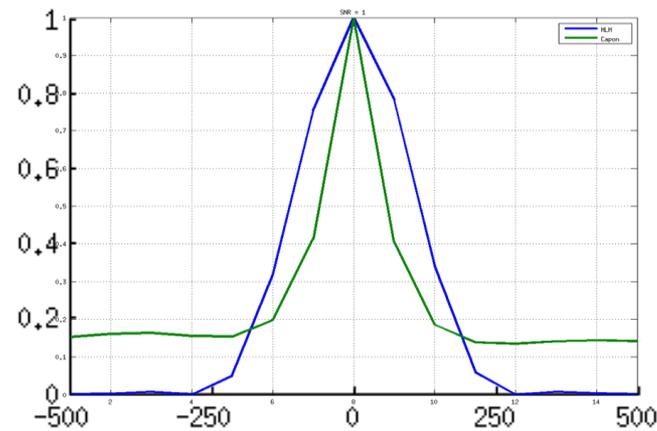
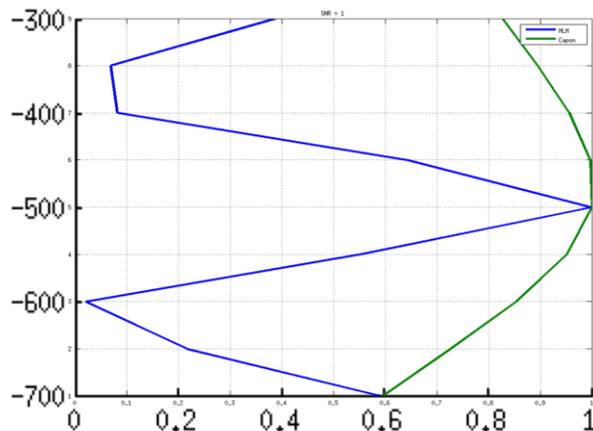
Результаты обнаружения источника методами Кейпона и ММП

Сигнал/
шум

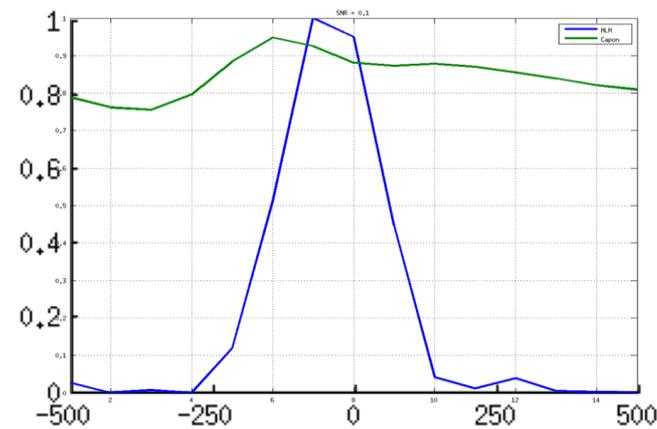
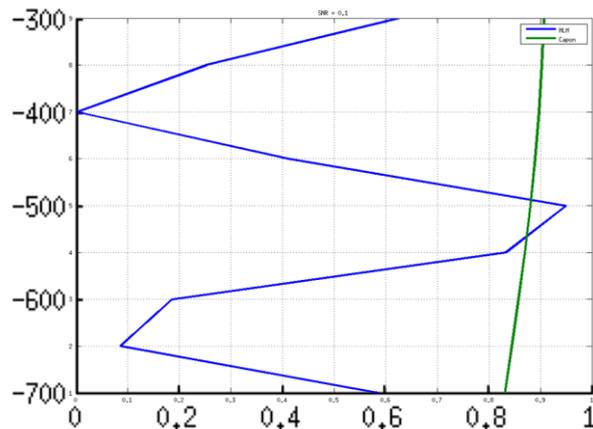
Локация
по глубине

Локация
в плане

1



1/10



1. Метод Кейпона

- хорошо локализует событие в плане при высоких отношениях сигнал/шум
- плохо локализует по глубине
- можно применять для обнаружения источника при слабых помехах

2. Метод максимума правдоподобия

- лучше локализует событие при низких отношениях сигнал/шум

3. Метод максимума правдоподобия лучше подходит для локаций микросейсмических событий при наблюдениях с поверхности

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

ЗАО «ГРАДИЕНТ»
г. Казань, ул. Ершова, 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