



Геомодель

# 2024 Санкт-Петербург



**Геонауки: современные вызовы и пути решений**  
11-я международная конференция

8-11 апреля 2024 года | Санкт-Петербург, Россия

[www.geomodel.ru](http://www.geomodel.ru)

# Помехоустойчивость и точность локализации микротрещин при гидроразрыве пластов с помощью интеллектуального робота «АРИО»

А.А.Табачков, Ю.А.Степченков, В.Н.Ференци



Санкт-Петербург, 2024

Микросейсмический мониторинг приобретает в последние годы возрастающее значение для Контроля Трещинообразования при Гидроразрыве (КТГ), а также для контроля безопасности шахтных объектов, мониторинга газохранилищ и др.

При работах КТГ в России ощущается недостаток ПО для уверенной и помехоустойчивой локализации событий, для проектирования оптимальных параметров регистрации, а также для объективной оценки достоверности результатов обработки и интерпретации.

Разработан и использован для модельной оценки точности и помехоустойчивости локализации событий КТГ метод и алгоритмы с использованием Интеллектуального Робота (ИР) АРИО (Анализ - Решение - Исполнение - Оценка) при наблюдениях в скважине и на поверхности. Показана возможность оценки элементов методики (апертуры, количества датчиков и др.).

Использованное ПО разработано на платформе ЮНИВЕРС.

# 1. Наблюдения в скважине

## Методика

Скважинные наблюдения обладают существенным преимуществом перед наземными благодаря принципиально пониженному уровню шумов.

В то же время скважинная расстановка является линейной антенной с пониженной избирательностью в азимутальных направлениях.

Для оценки точности и помехоустойчивости полностью автоматической интеллектуальной системы АРИО выполнены модельные исследования для системы наблюдений на рисунке 1.

Рассчитаны волновые поля (Рис.2) в вертикальной наблюдательной скважине на удалении 200 м от другой вертикальной скважины из которой на глубине 1200 м моделируется последовательность источников. Последние расположены с равным шагом по окружности на горизонтальной плоскости с центром на глубине 1200 м в наблюдательной скважине. Интенсивность источников в виде короткого одностороннего сигнала частотой 60 Гц уменьшалась в 2 раза на каждой из следующих 9 позиций со сгущением в районе отношения сигнал/шум, равного единице (Табл.1).

Центр приемной косы располагался на глубине 1000 м. Приемники распределялись равномерно на заданной базе. Оценивалась точность локализации событий для разных длин базы (апертуры) и разного количества точек приема на каждой базе в зависимости от отношения сигнал/шум.

На рисунке 2 изображены волновые поля для расстановке 21 на базе 400 м в следящей компоненте.

# Геометрия системы наблюдения

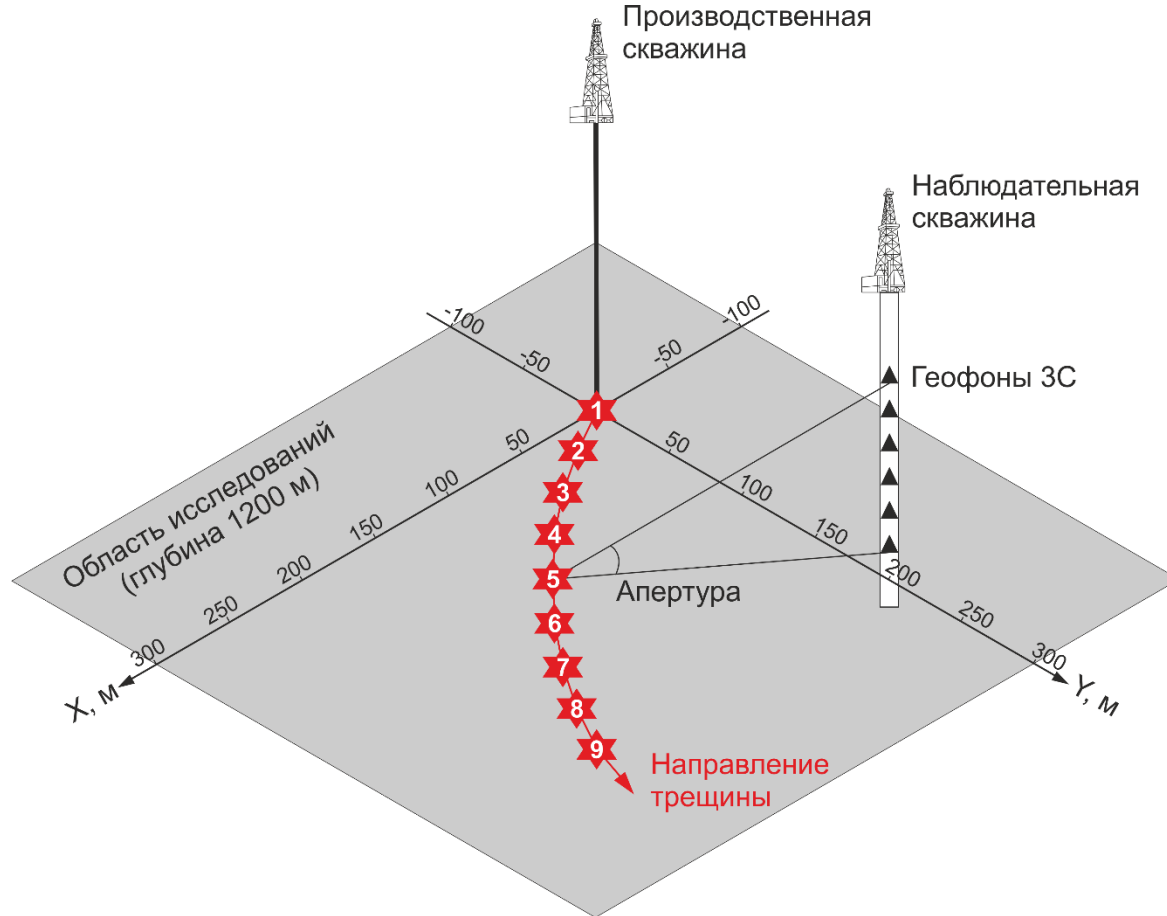


Рис. 1. Скважинная система наблюдения

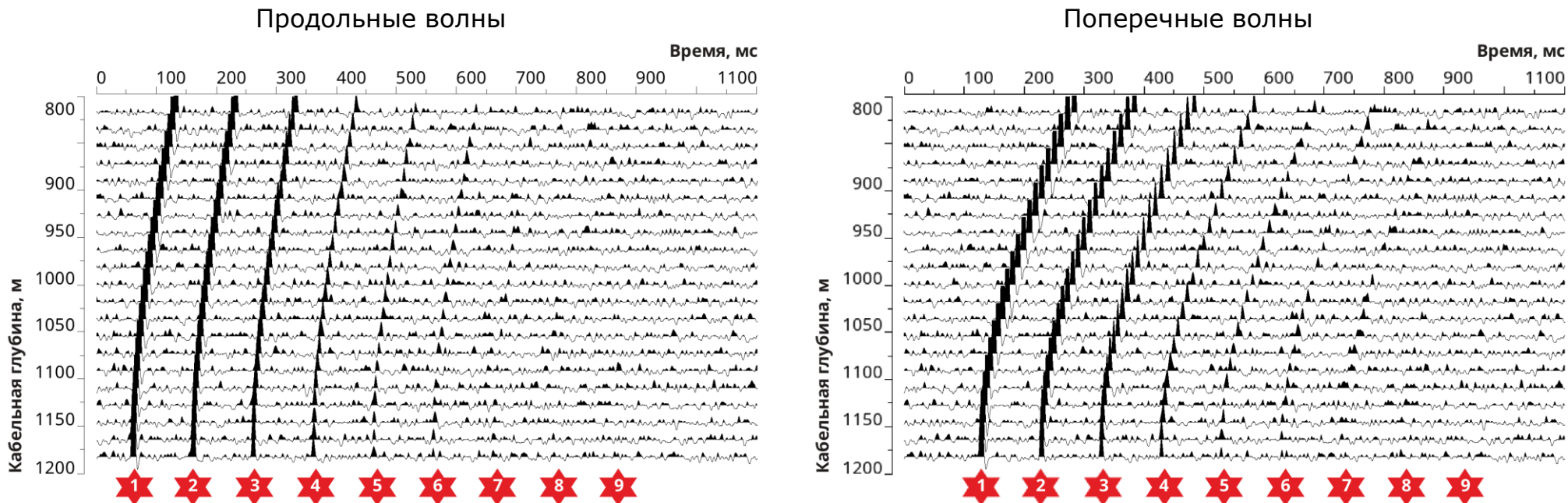


Рис. 2. Модельные волновые поля (следящая компонента)

Таблица 1. Источники с различными отношениями сигнала к шуму

№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигнал/шум	10	5	2.5	1.25	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1

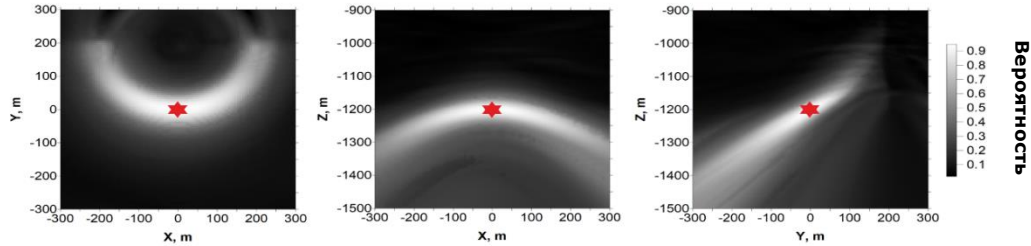
С помощью Интеллектуального Робота (ИР) АРИО рассчитаны поля вероятностей в трех плоскостях (Рис. 3) для события из первой точки возбуждения, зарегистрированного 21-точечным зондом на базе 400 м.

Поля вероятностей иллюстрируют, что:

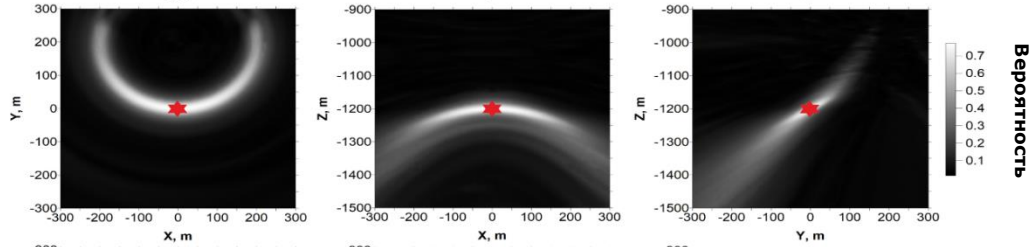
- неопределенность в азимутальном направлении больше, чем в радиальном;
- неопределенность для поперечных волн меньше, чем для продольных;
- имеет место существенное уточнение локализации события при совместном учете продольных и поперечных волн.

# Поля вероятностей

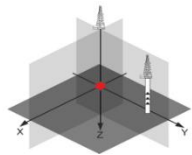
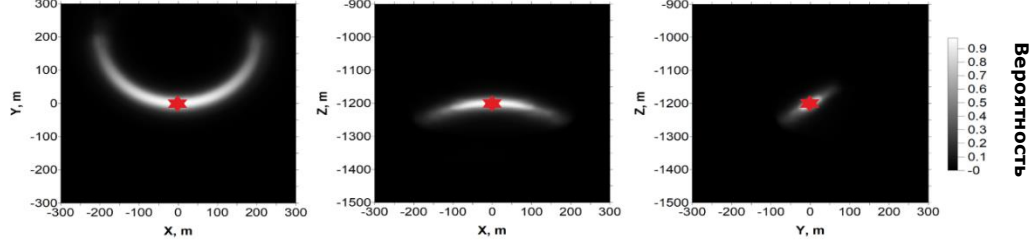
Продольные  
волны



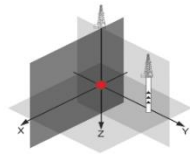
Поперечные  
волны



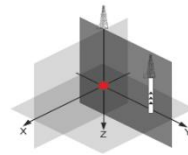
Продольные и  
поперечные  
волны  
совместно



Плоскость XY



Плоскость XZ



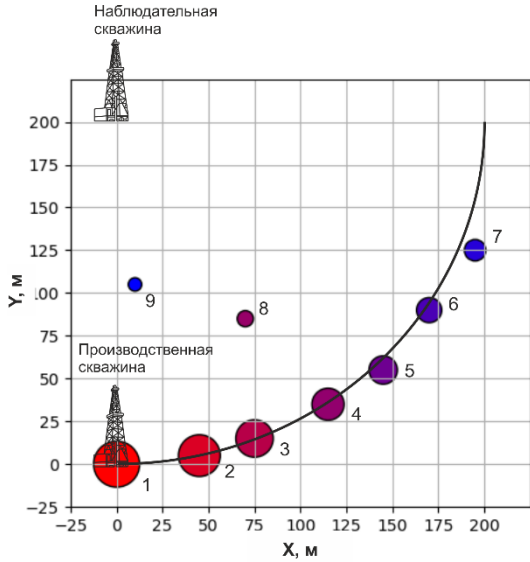
Плоскость YZ

Рис. 3. Поля вероятностей для первого события (21-точечный зонд, база 400 м, апертура  $60^\circ$ )

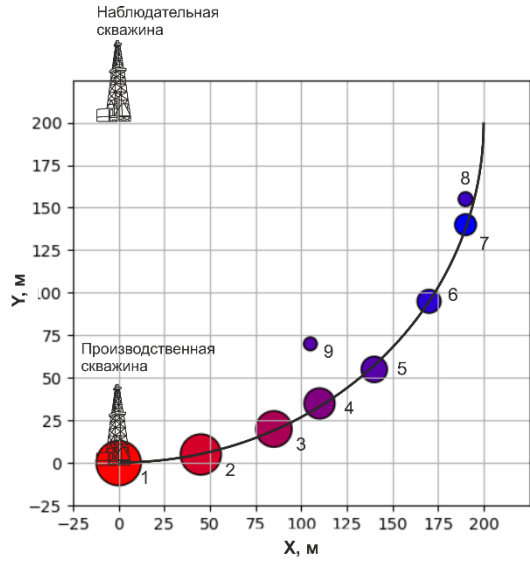


Изображения точек предполагаемой локализации всех девяти событий с уменьшающимся отношением сигнал/шум показывает рисунок 4:

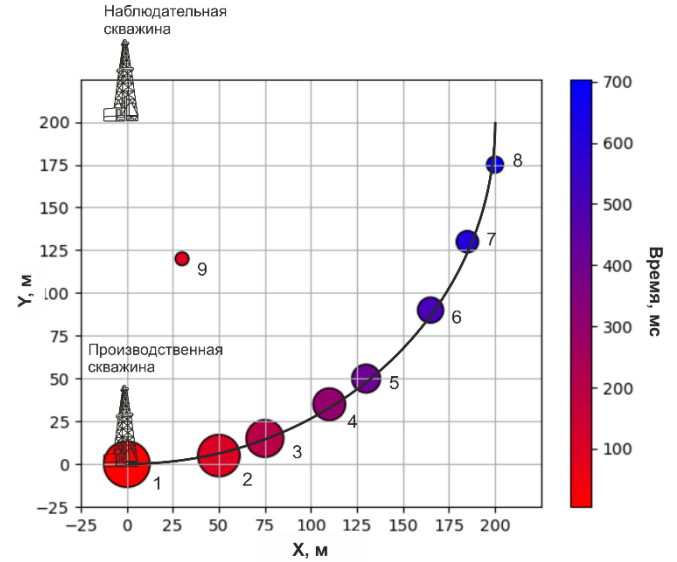
- практически точная локализация достигается даже для отношения сигнал/шум, равного 0.2, хотя событие совершенно не обнаруживается в волновом поле;
- локализация событий по расстоянию от приемной установки практически точная, тогда как имеют место небольшие азимутальные отклонения.



Продольные  
волны



Поперечные  
волны



Продольные и  
поперечные волны  
совместно

№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигнал/шум	10	5	2.5	1.25	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1

Рис. 4. Точки предполагаемой локализации событий (21-точечный зонд, база 400 м)

После локализации событий возникает возможность расчета траекторий каждого события в волновом поле и оценки для него формы сигнала, в общем случае трехкомпонентного.

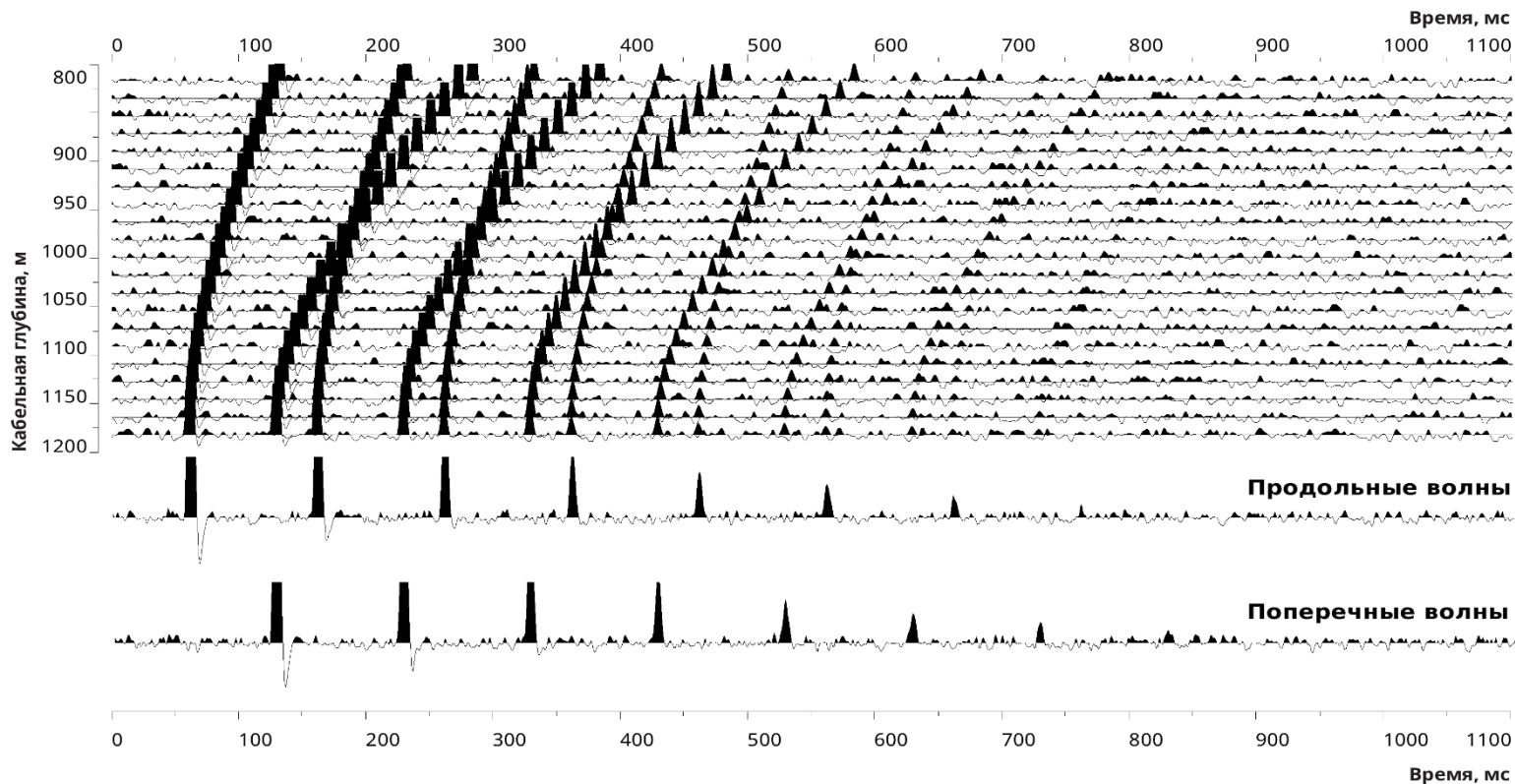
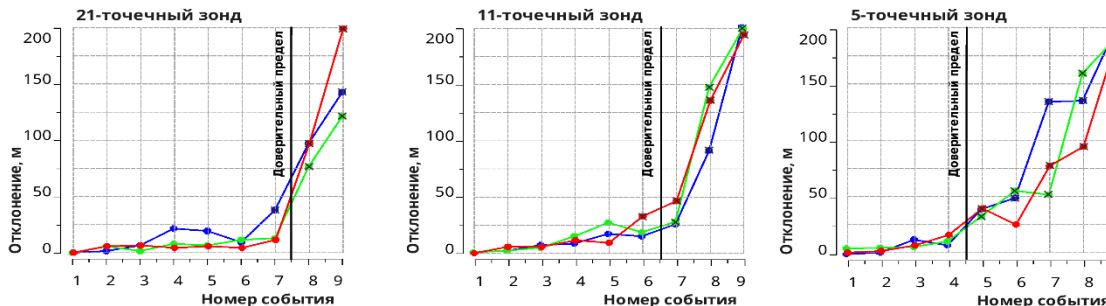


Рис. 5. Формы сигнала микросейсмических событий

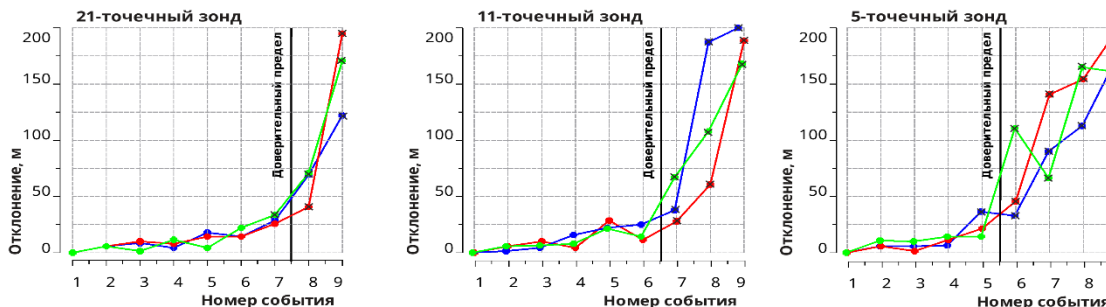
На рисунке 6 показаны осредненные по 10 разным реализациям белого шума отклонения оцененных ИР АРИО координат событий от заданных для продольных и поперечных волн, а также совместно.

Как условно недостоверные отмечены оценки с отклонениями более 25 м.

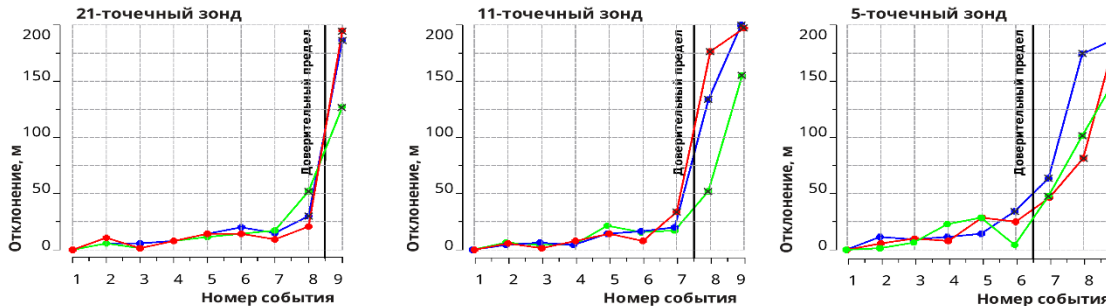
Продольные волны



Поперечные волны



Продольные и поперечные волны совместно



№ события	Сиг./шум
1	10
2	5
3	2.5
4	1.25
5	0.8
6	0.6
7	0.4
8	0.2
9	0.1

× - недостоверные наблюдения

60 45 20  
Апертура, град

Рис. 6. Отклонения оцененных координат событий от заданных

## 2. Наблюдения на поверхности Методика эксперимента

В однородной (для исключения фактора неточности знания модели среды) толще со скоростями  $V_p=3500$  м/с и  $V_s=1600$  м/с на глубине 1200 м моделировались события на прямой линии, начинающейся на исследуемой скважине с убывающим отношением сигнал/шум от 5 до 0,02 (Табл.2). Приемная расстановка состояла из трех лучей под  $120^\circ$  с центром в устье исследуемой скважины (Рис. 7,8).

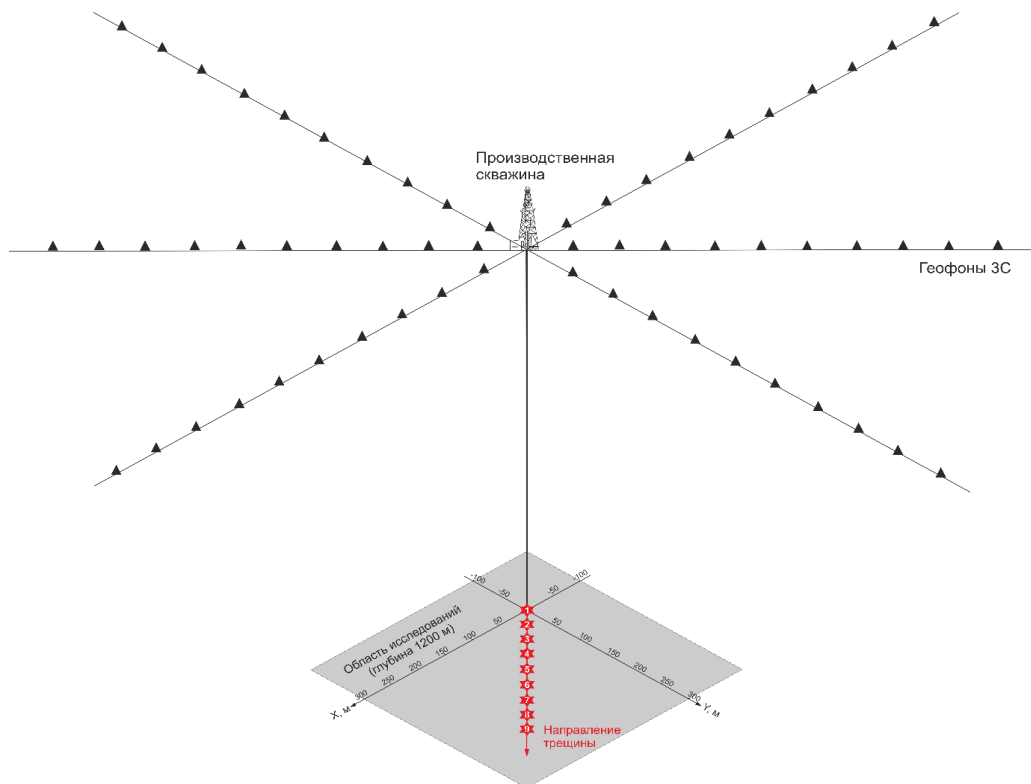
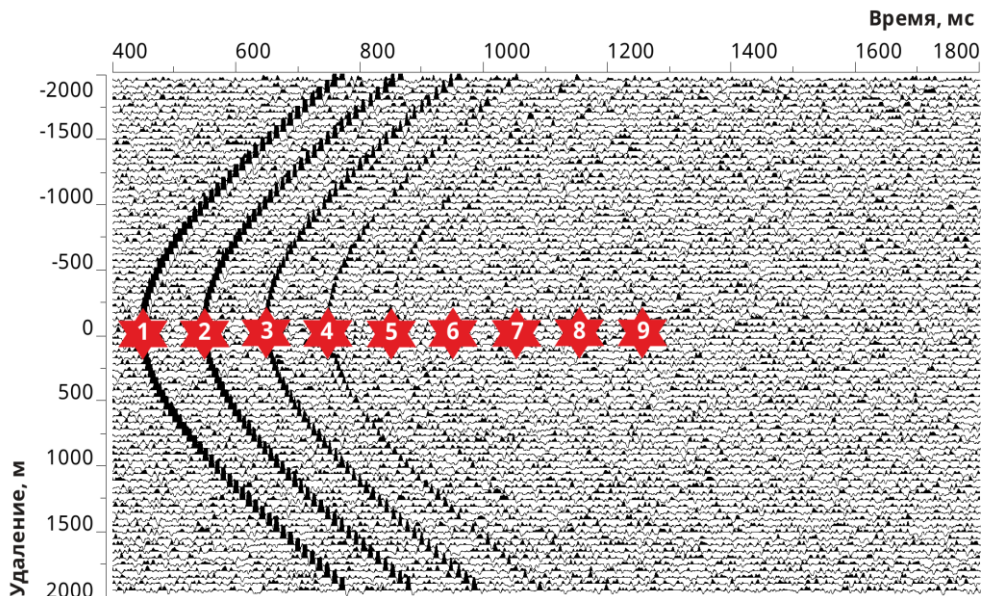


Рис. 7. Система наблюдения на поверхности

Продольные волны



Поперечные волны

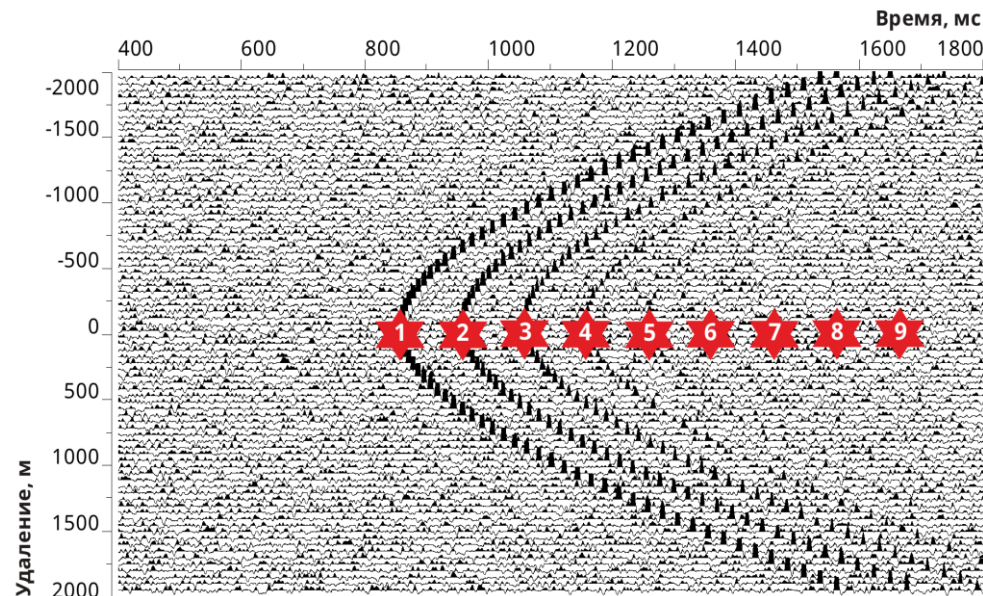


Рис. 8. Модельные волновые поля (следящая компонента)

Таблица 2. Источники с различными отношениями сигнала к шуму

№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигнал/шум	5	2.5	1.25	0.63	0.31	0.16	0.08	0.04	0.02

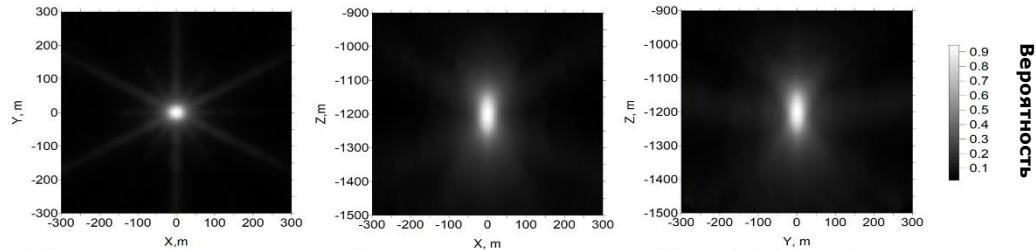
Поля вероятностей для первого события хорошо концентрируются вблизи точки образования, но незначительно растянуты по вертикали. Локализация улучшается для продольных и поперечных волн совместно (Рис.9).

При совместном использовании продольных и поперечных волн погрешность до 25 м достигается для 240 датчиков при с/п до 0.04 для 120 датчиков при с/п 0.08 и для 60 датчиков при с/п 0.16 (Рис.10,11).

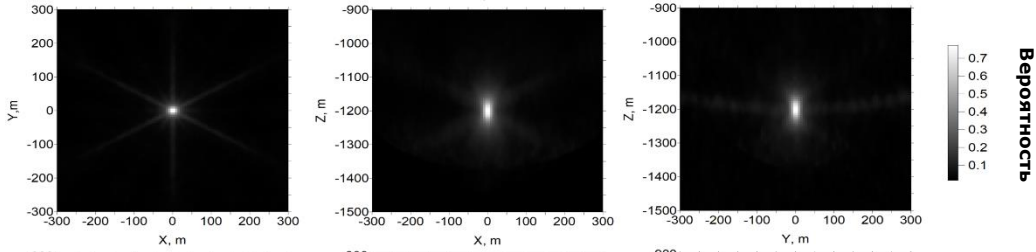


# Поля вероятностей

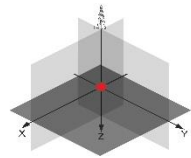
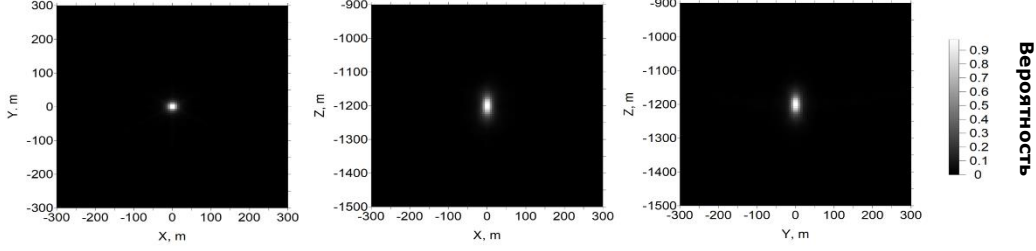
Продольные  
волны



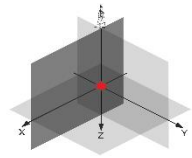
Поперечные  
волны



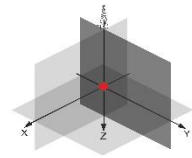
Продольные и  
поперечные  
волны  
совместно



Плоскость XY

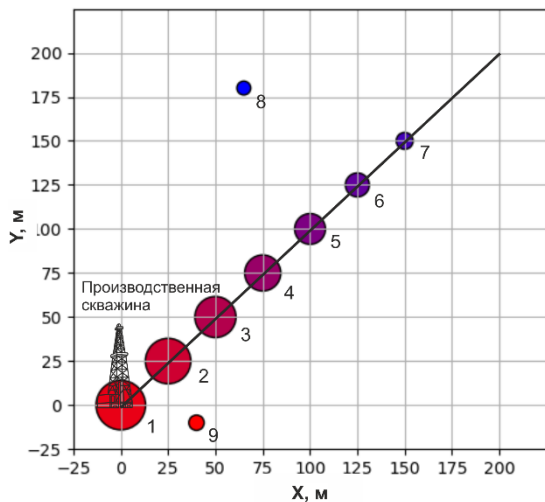


Плоскость XZ

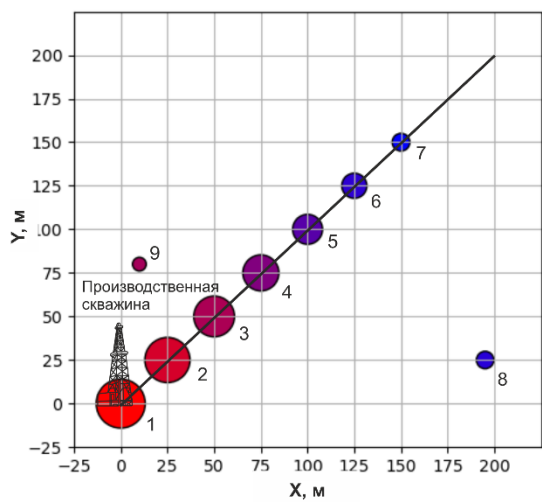


Плоскость YZ

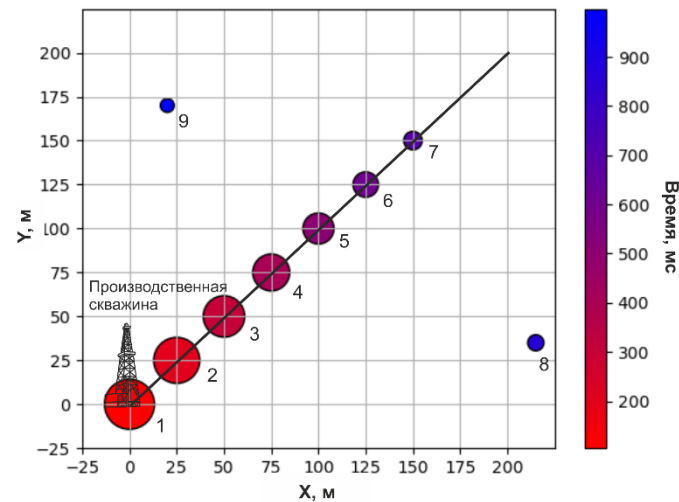
Рис. 9. Поля вероятностей для первого события (240 сейсмоприемников, апертюра 120<sup>0</sup>)



Продольные  
волны



Поперечные  
волны

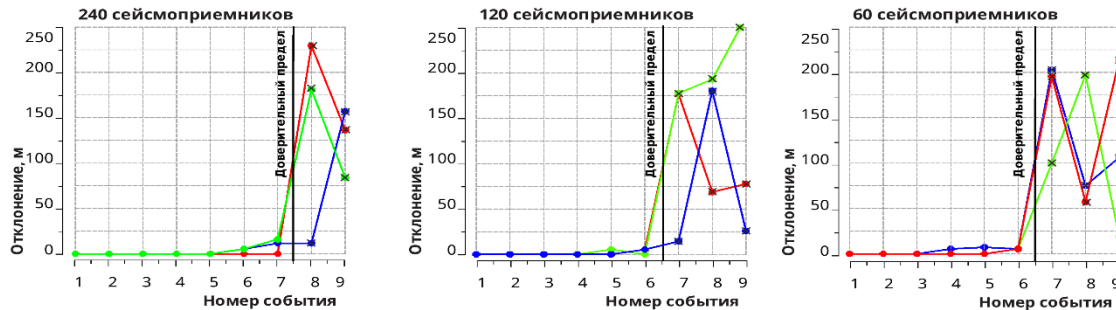


Продольные и  
поперечные волны  
совместно

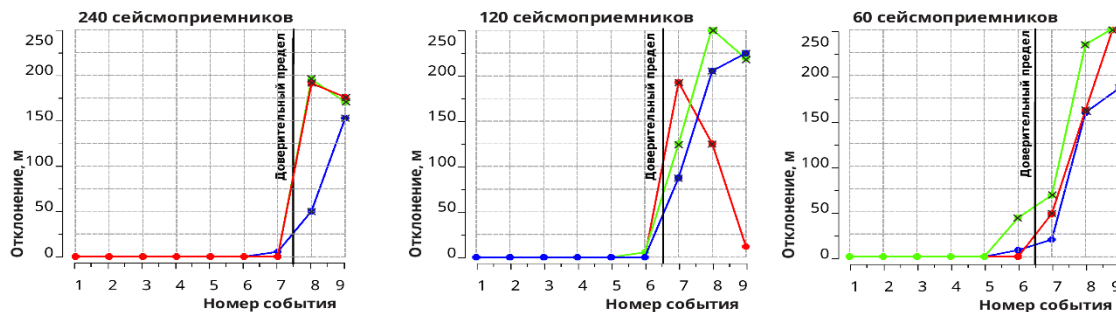
№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сигнал/шум	5	2.5	1.25	0.63	0.31	0.16	0.08	0.04	0.02

Рис. 10. Точки предполагаемой локализации событий (240 сейсмоприемников , апертюра 120<sup>0</sup>)

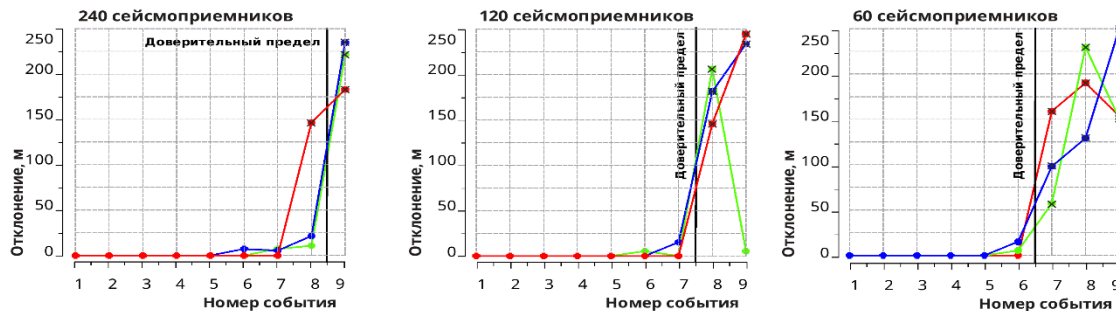
Продольные волны



Поперечные волны



Продольные и поперечные волны совместно



№ события	Сиг./шум
1	5
2	2.5
3	1.25
4	0.63
5	0.31
6	0.16
7	0.08
8	0.04
9	0.02

× - недостоверные наблюдения



Рис. 11. Отклонения оцененных координат событий от заданных

1. Технология локализации очагов трещинообразования при мониторинге гидроразрыва с помощью интеллектуального робота АРИО обеспечивает высокую точность автоматического обнаружения и локализации при хорошей помехоустойчивости. Это открывает возможность наблюдения за образованием трещин в реальном времени.
2. При скважинных наблюдениях обеспечивается более высокая точность локализации по удалению и меньшая по азимуту.
3. Точность и помехоустойчивость возрастает при совместном использовании продольных и поперечных волн. Последние из-за большой кривизны обеспечивают более точную локализацию в пространстве вероятностей.
4. Увеличение количества точек наблюдения приводит практически к линейному повышению помехоустойчивости.

Разработанная методика и технология локализации микросейсмических событий с помощью интеллектуального робота АРИО может применяться:

1. Для контроля трещинообразования при гидроразрыве в реальном времени с высокой точностью и помехоустойчивостью.
2. При проектировании работ по Контролю Трещинообразования при Гидроразрыве (КТГ), для выбора параметров методики полевых работ и для оценки достоверности результатов обработки и интерпретации данных КТГ.

<http://geovers.com>