

Оперативный мониторинг гидроразрыва высокой точности и помехоустойчивости с использованием интеллектуального робота «АРИО»

А.А. Табаков* (ООО «Геоверс»), Ю.А. Степченков (ООО «Геоверс»), В.Н.Ференци (ООО «Геоверс»)

Введение

Микросейсмический мониторинг образования трещин при гидроразрыве пласта (ГРП) в последнее время набирает все большую актуальность. Волновые поля, регистрируемые в процессе образования трещины, зачастую осложнены сильными техногенными помехами и шумами естественной природы, существенно понижающими точность локализации микросейсмических событий или делающими локализацию практически невозможной.

В работе представлен эффективный метод автоматической локализации микросейсмических событий с высокой точностью и помехоустойчивостью при многократном превышении уровня шума над уровнем полезного сигнала.

В программном комплексе «ЮНИВЕРС» разработаны модули проектирования наземных и скважинных систем наблюдения для выбора оптимальных параметров регистрации в задачах микросейсмического мониторинга при ГРП и для оценки достоверности результатов обработки и интерпретации. Определение гипоцентров микросейсмических событий с оценкой точности и помехоустойчивости проводится в автоматическом режиме при помощи интеллектуального робота «АРИО» [1].

Проектирование систем наблюдения

На базе программной платформы «ЮНИВЕРС» разработана интерактивная технология проектирования наземных и скважинных систем наблюдения в задачах микросейсмического мониторинга. К основным функциональным возможностям технологии относится описание геометрии производственной скважины, задание источников микросейсмической активности (портов ГРП), описание поверхностных и скважинных систем регистрации, задание скоростной модели для продольных и поперечных волн, расчет векторных волновых полей продольных и поперечных волн (с возможностью задания импульса, уровня шума), зарегистрированных от заданных источников в соседних скважинах и/или на поверхности, а также автоматическое определение гипоцентров микросейсмических событий по рассчитанным волновым полям. На рис. 1 показан пример интерактивного проектирования геометрии наблюдений для 9-ти заданных в производственной скважине источников микросейсмической активности. Регистрация проводится на поверхности (лучевая расстановка сейсмоприемников на трех профилях) и в соседней наблюдательной скважине. В результате, для указанной расстановки сейсмоприемников, могут быть получены модельные волновые поля с целью последующей локализации источников и оценки точности и помехоустойчивости отклонения рассчитанных гипоцентров от заданных.

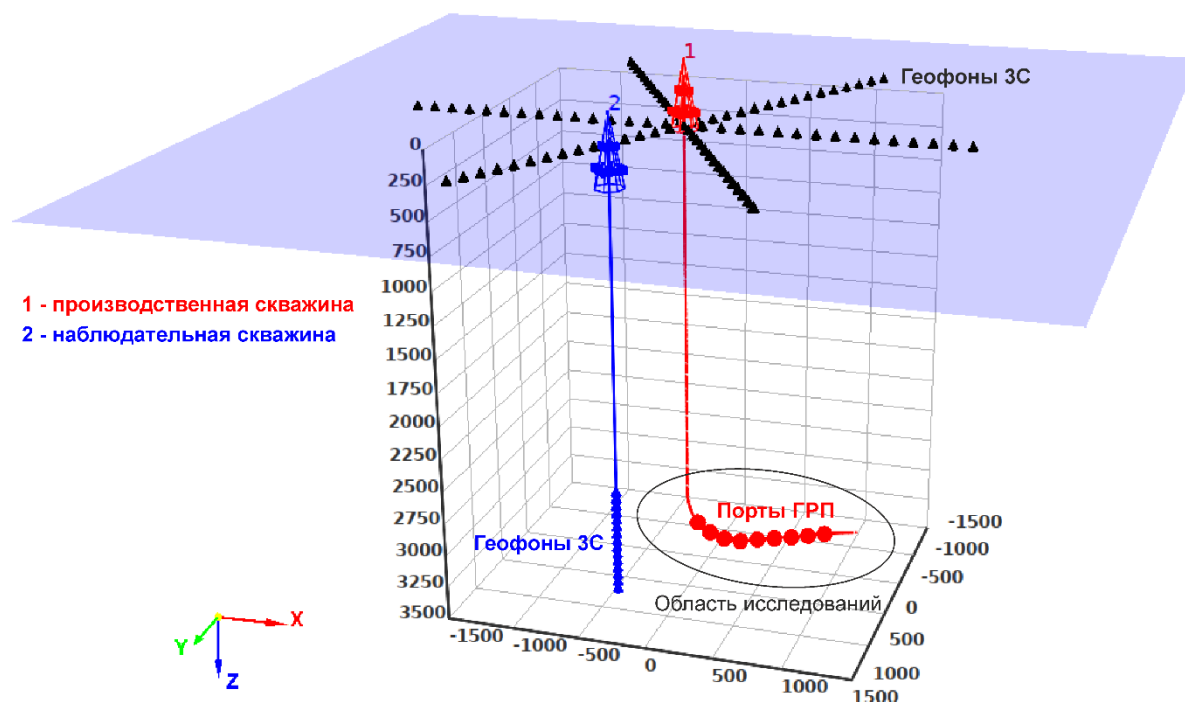


Рисунок 1. Скважинная и поверхностная системы наблюдения для контроля гидроразрыва.

Точность и помехоустойчивость локализации

Оценка точности и помехоустойчивости при определении гипоцентров микросейсмических событий выполняется автоматически с использованием концепции интеллектуального робота «АРИО» [1]. В численном эксперименте на глубине 1200 м задавались девять событий с различным отношением сигнал/шум: 10(1), 5(2), 2.5(3), 1.25(4), 0.8(5), 0.6(6), 0.4(7), 0.2(8), 0.1(9). Для регистрации проектировалась расстановка трехкомпонентных сейсмоприемников на поверхности. Среда задавалась однородной ($V_p=3500$ м/с, $V_s=1600$ м/с). Для различных апертур наблюдения и разного числа приемников были рассчитаны векторные волновые поля, по которым получены поля вероятностей локализации событий. На рис. 2 показаны проекции полей вероятностей для первого события (сигнал/шум=10) в ортогональных плоскостях для продольных волн, поперечных волн и продольных волн с поперечными совместно при апертуре наблюдения 120° . Выразительность события в поле вероятности позволяет однозначно делать вывод о достоверности выделения микросейсмического события. На рис. 3 представлены результаты оценки отклонений рассчитанных положений гипоцентров микросейсмических событий от заданных при наблюдениях на поверхности. При совместном использовании продольных и поперечных волн погрешность отклонения до 25 м достигается для 240 сейсмоприемников при отношении сигнала к шуму до 0.04, для 120 приемников при отношении сигнала к шуму 0.08 и для 60 приемников при отношении сигнала к шуму 0.16.

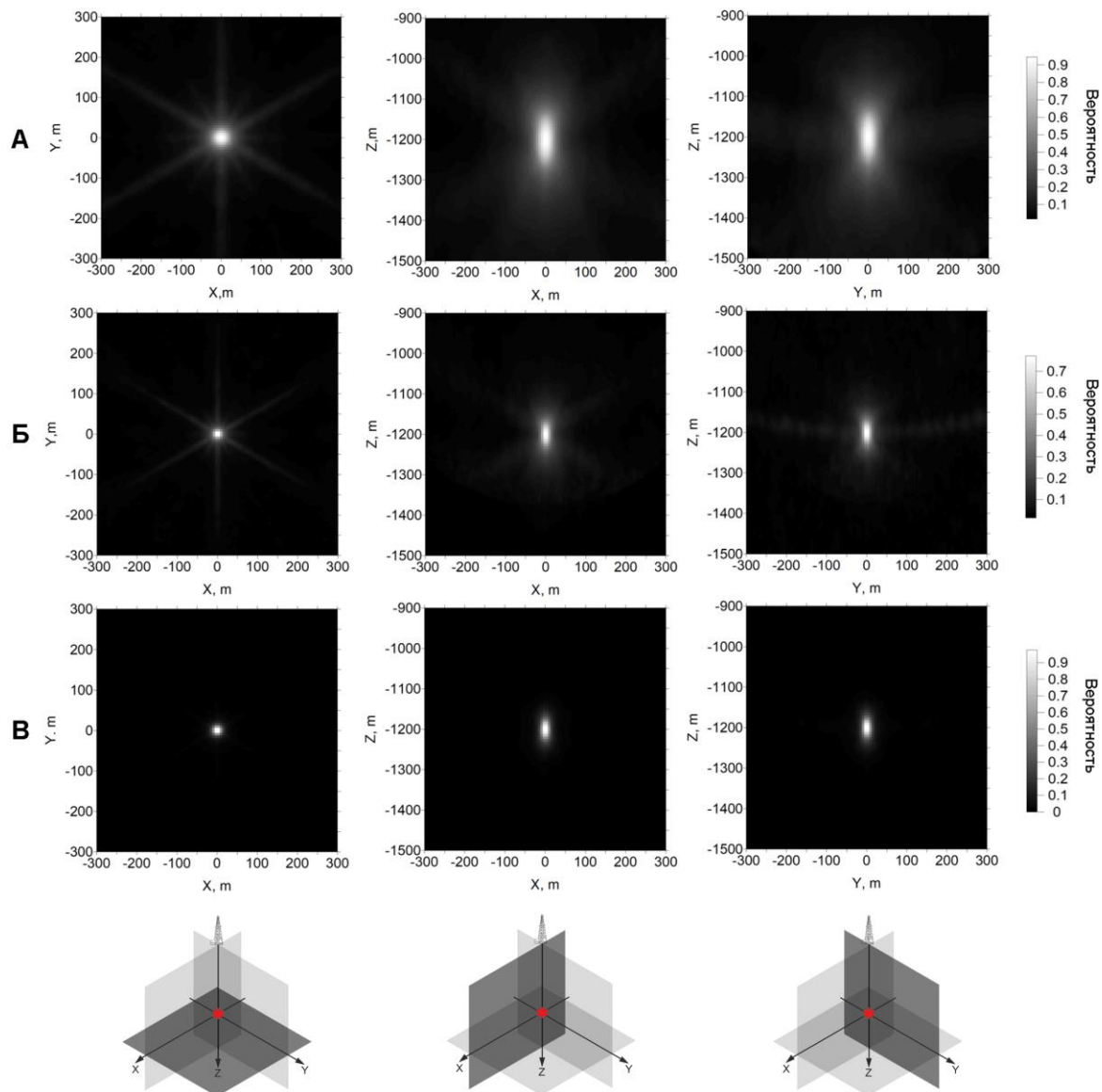


Рисунок 2. Поля вероятностей в плоскостях XY , XZ и YZ локализации микросейсмического события для системы наблюдения на поверхности, состоящей из 240 сейсмоприемников при апертуре 120° (А – продольные волны, Б-поперечные волны, В – продольные и поперечные волны совместно).

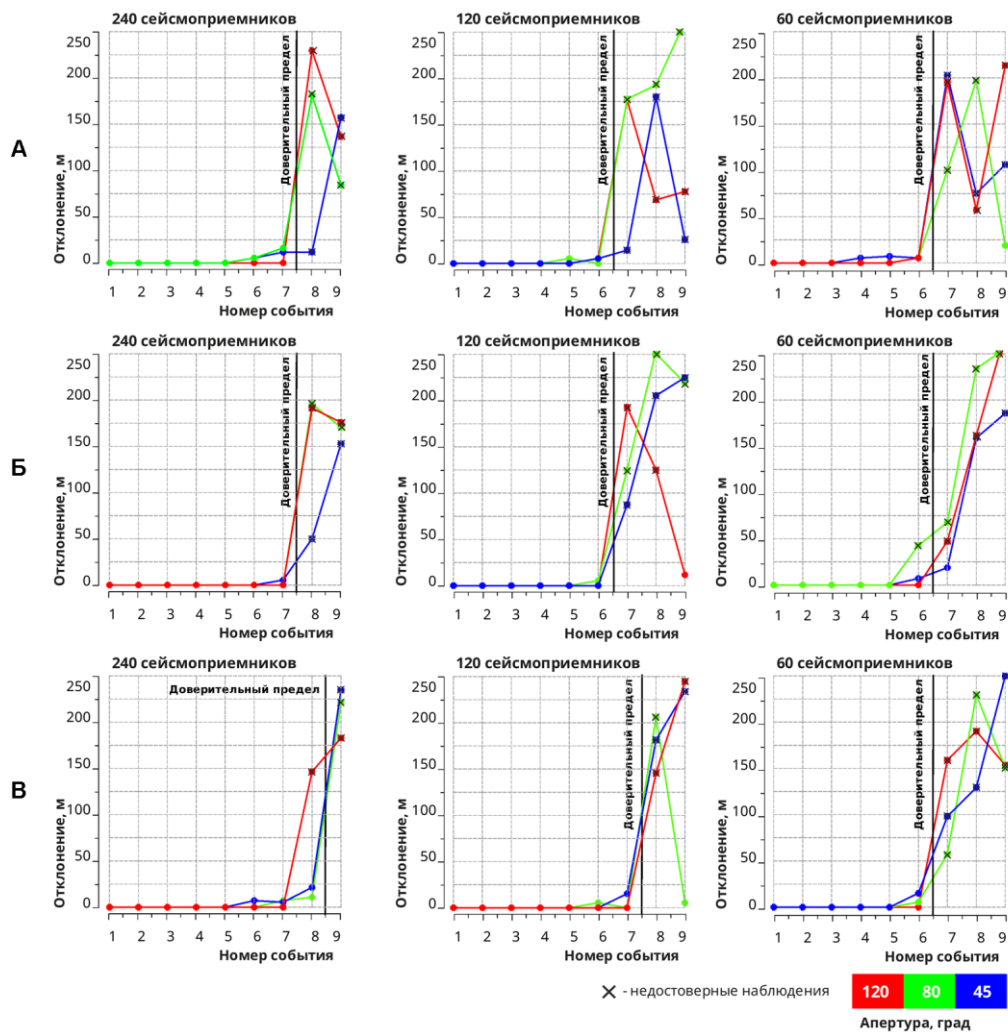


Рисунок 3. Отклонения рассчитанных положений центров микросейсмических событий от заданных при различных отношениях сигнала к шуму для системы наблюдения на поверхности (А-продольные волны, Б-поперечные волны, В-продольные и поперечные волны совместно).

Выводы

1. Представленная технология автоматического обнаружения микросейсмических событий при мониторинге ГРП с помощью интеллектуального робота «АРИО» обеспечивает высокую точность локализации и хорошую помехоустойчивость.
2. Разработанная интерактивная среда проектирования наземных и скважинных систем наблюдения рекомендуется для контроля корректности обработки и интерпретации данных сейсмического мониторинга при ГРП.
3. В связи с выявленной в процессе эксперимента высокой точностью и помехоустойчивостью локализации объектов, превышающей мировые аналоги, рекомендуется применять представленную технологию при обработке реальных данных.

Библиография / References

1. А.А. Табаков, Ю.А. Степченков, В.Н. Ференци. Помехоустойчивость и точность локализации микротрещин при гидроразрыве пластов с помощью интеллектуального робота «АРИО» // 11-я международная геолого-геофизическая конференция «Санкт-Петербург 2024. Геонауки: современные вызовы и пути решений», Геомодель, Санкт-Петербург, 2024.