

Микросейсмический мониторинг МГРП по методу MicroSeismicPRM

Метод. Микросейсмический мониторинг многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) на месторождении углеводородов осуществляется путем регистрации микросейсмической эмиссии на дневной поверхности с помощью малопертурной антенны, расположенной в эпицентральной зоне источников эмиссии, и специализированной обработки данных с помощью кластерных вычислений.

Регистрация. Используемая схема проведения микросейсмического мониторинга предполагает контроль проведения всех технологических операций на скважине, включая сутки до начала и сутки после окончания МГРП. Время мобилизации полевой бригады составляет 10 суток, демобилизации 3 суток.

Аппаратура. Полевые работы проводятся с использованием цифровых сейсмических станций Scout (Рисунок 1), снаряженных сейсмическими датчиками GS-One. Используемое оборудование позволяет регистрировать данные со следующими параметрами:

- синхронность записи с погрешностью не более 100 микросекунд,
- частота дискретизации более 1 кГц,
- рабочий частотный диапазон 5-200 Гц,
- непрерывность регистрации до 28 дней.

Применяемый дифференциальный GPS - приемник позволяет измерять относительные координаты сейсмических датчиков с высокой точностью.



Рисунок 1 – Трехканальная цифровая сейсмическая станция Scout снаряженная сейсмическими датчиками GS-One.

Схема наблюдения. Антенна состоит из сейсмических датчиков (апертура антенны около 500 метров), датчики заглубляются на 1-2 метра в зависимости от геологических условий.

Отличительными особенностями методики наблюдения (Рисунок 2) является высокая мобильность, быстрое время развертывания, высокая разрешающая способность, низкая стоимость получения, передачи и обработки микросейсмических данных.

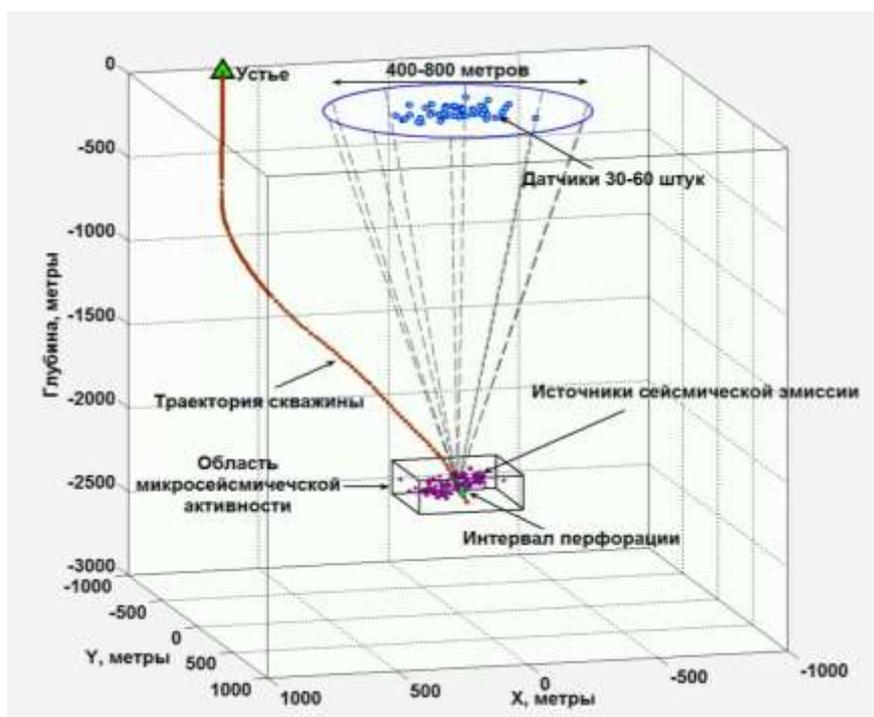


Рисунок 2 – Схема наблюдения

Решаемые задачи при мониторинге МГРП:

1. Определение длины и азимута зоны трещиноватости
2. Визуализация развития зоны трещиноватости во времени
3. Определения энергетических параметров микросейсмических событий и процесса закачки жидкости.
4. Визуализация области микросейсмической активности
5. Построение карт плотности энергии
6. Анализ стадий МГРП на основе подсчета энергетических параметров

Результат мониторинга. Кинематические характеристики событий. Одна из основных задач мониторинга гидроразрыва – определение геометрических параметров зоны трещиноватости, образующейся в результате проведения ГРП в скважине. Такие параметры как длина зоны трещиноватости и ее азимут, оцениваются по гипоцентрам микросейсмических событий, зарегистрированных в процессе мониторинга. Пример оценки длины крыльев зон трещиноватости и азимута ее распространения представлен на Рисунок 3. Для большего понимания процессов трещинообразования технология позволяет визуализировать процесс формирования активной микросейсмической зоны не

только в статическом варианте (Рисунок 4), но и в виде интерактивного проигрывания видеоролика.

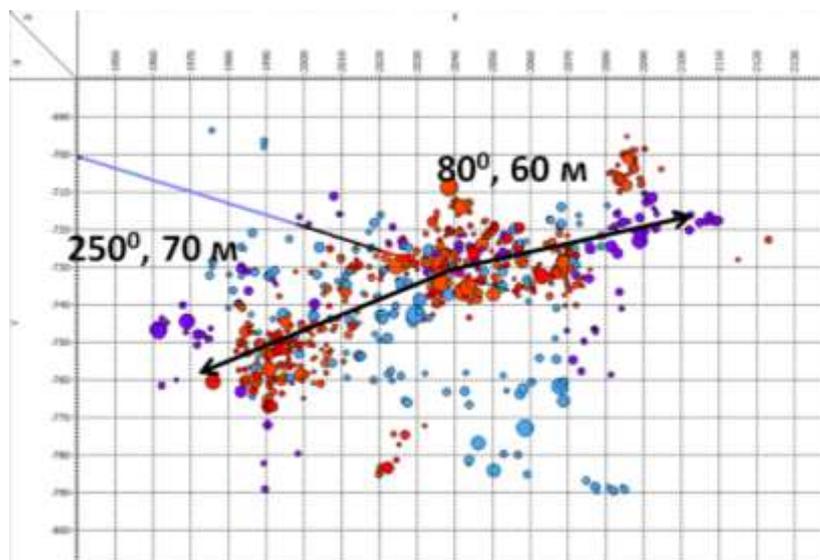


Рисунок 3 – Карта зарегистрированных микросейсмических событий в процессе производства стадий замещения, миниГРП и основного ГРП (1 порт) в проекции на дневную поверхность; размер событий пропорционален их энергии; начало системы координат совмещено с устьем скважины, цвет соответствует времени регистрации: фиолетовый – стадия замещения, голубой цвет – стадия миниГРП, красный – стадия основного ГРП.

Результат мониторинга. Динамические характеристики событий. Каждое микросейсмическое событие описывается набором параметров. Помимо координат и времени возникновения микросейсмического события, определяются энергетические параметры (абсолютная энергия, магнитуда, энергия деформаций изотропного сжатия/расширения, энергия максимальных отрывных/сжимающих/сдвиговых напряжений и др.) Энергетические параметры рассчитаны на основе тензора сейсмического момента, который можно представить в главных осях в виде трех перпендикулярных векторов. На Рисунок 7 представлено распределение микронапряжений в области возникновения микросейсмической эмиссии с направлениями главных осей напряжений (тензор сейсмического момента) в процессе ГРП. На рисунке указывается максимальное значение тензора микросейсмических событий, линейные размеры пропорциональны энергии.

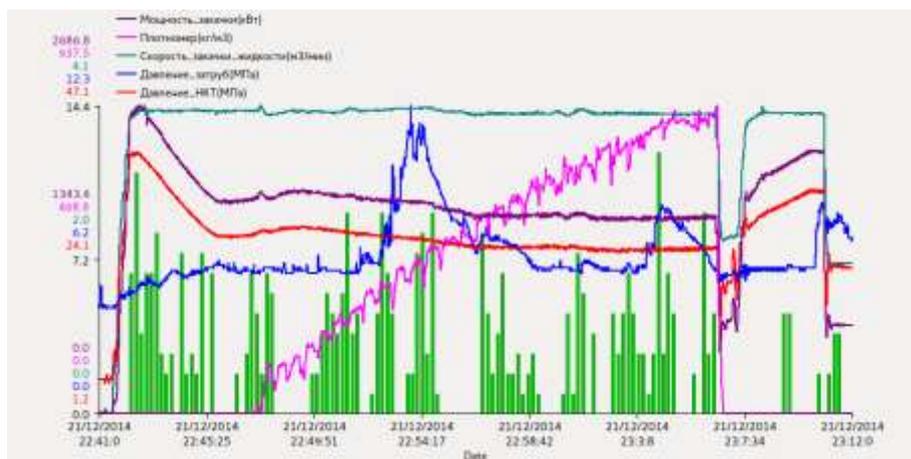


Рисунок 4 – Гистограмма зарегистрированных микросейсмических событий по времени проведения основного ГРП, совмещенная с графиками техпроцессов (график давления НКТ выделен красным цветом, давление в затрубе – синим, расход жидкости – зеленым, концентрация пропанта по плотномеру – розовым, мощность закачки – фиолетовым).

Расчет плотности энергии микросейсмических событий позволяет построить контур области микросейсмической активности (Рисунок 5). На срезе этой области можно наблюдать плотность микросейсмической энергии (Рисунок 6).

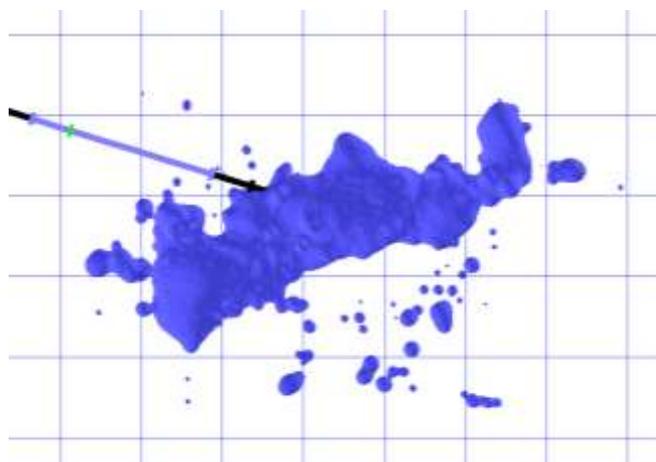


Рисунок 5 – Изоповерхность плотности микросейсмических событий, зарегистрированных в процессе производства первой стадии МГРП; шаг сетки равен 25 метрам; изоповерхность вмещает 95% энергии микросейсмической эмиссии

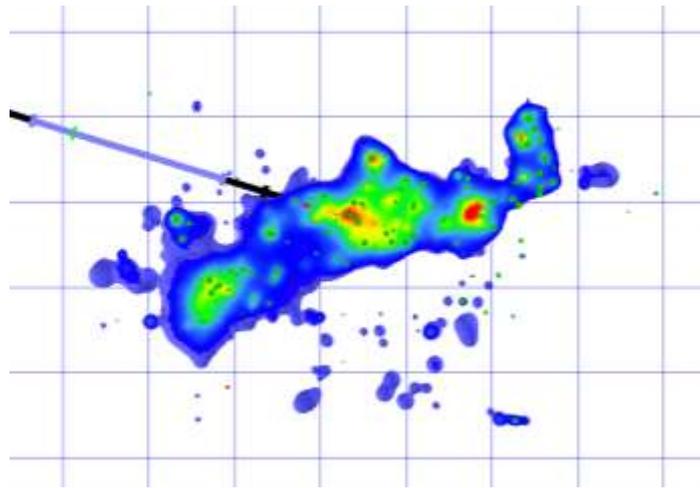


Рисунок 6 – Горизонтальный срез плотности энергии микросейсмических событий, зарегистрированных в процессе производства стадий замещения, миниГРП и основного ГРП; шаг сетки равен 25 метрам;

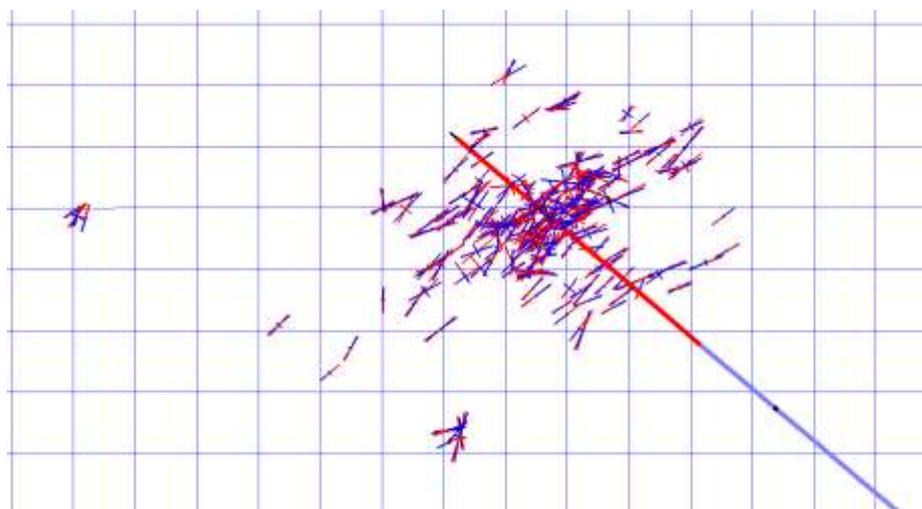


Рисунок 7 – Направление главных осей напряжения (тензор) для каждого микрособытия при производстве ГРП; шаг сетки равен 25 метрам

Сравнительные характеристики стадий МГРП. Оценка мощности закачки выполняется по графикам технологических процессов (Рисунок 4). Подсчет общей энергии закачки жидкости и соотношения микросейсмической энергии к общей энергии закачки характеризует различные стадии ГРП и позволяет сравнивать их друг с другом. Так на Рисунок 9 представлен дисбаланс энергий деформации изотропного расширения и сжатия (P) для различных стадий МГРП. На Рис. 10 представлены сравнительные изображения стадий 7-ми стадийного ГРП.

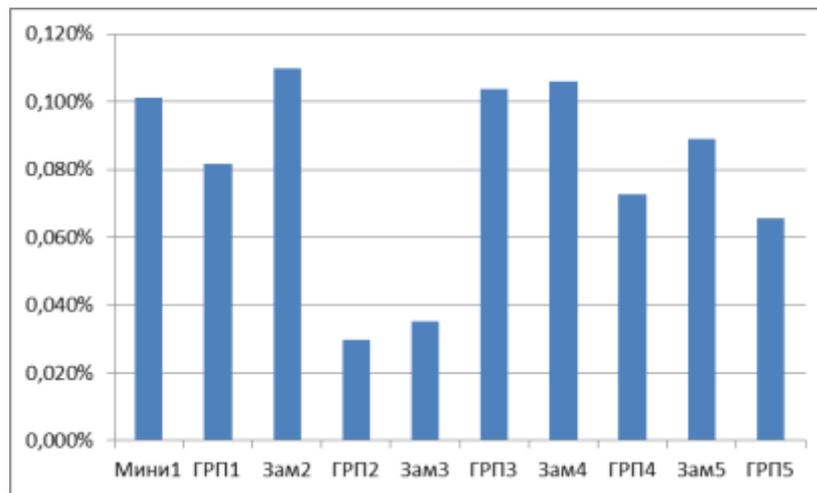


Рисунок 8 – Процентное соотношение суммарной излученной сейсмической энергии от энергии закачки для различных стадий МГРП

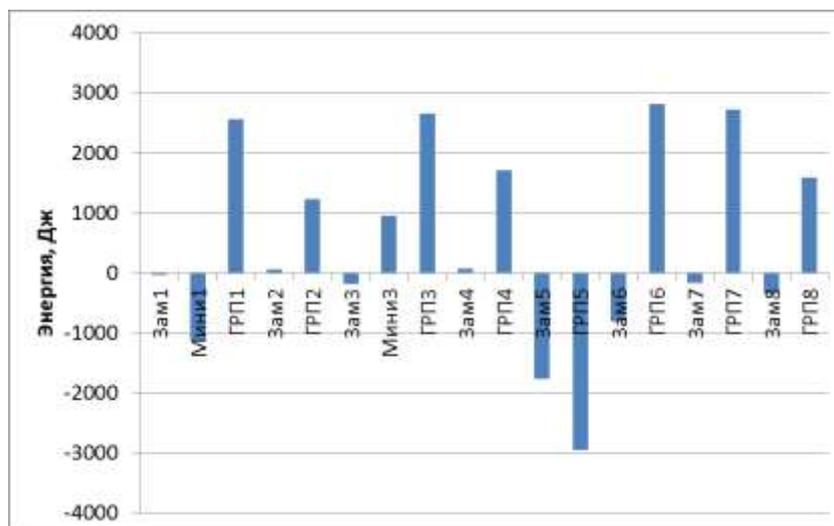


Рисунок 9 – Некомпенсированная часть энергии деформаций изотропного расширения (P) для различных стадий МГРП

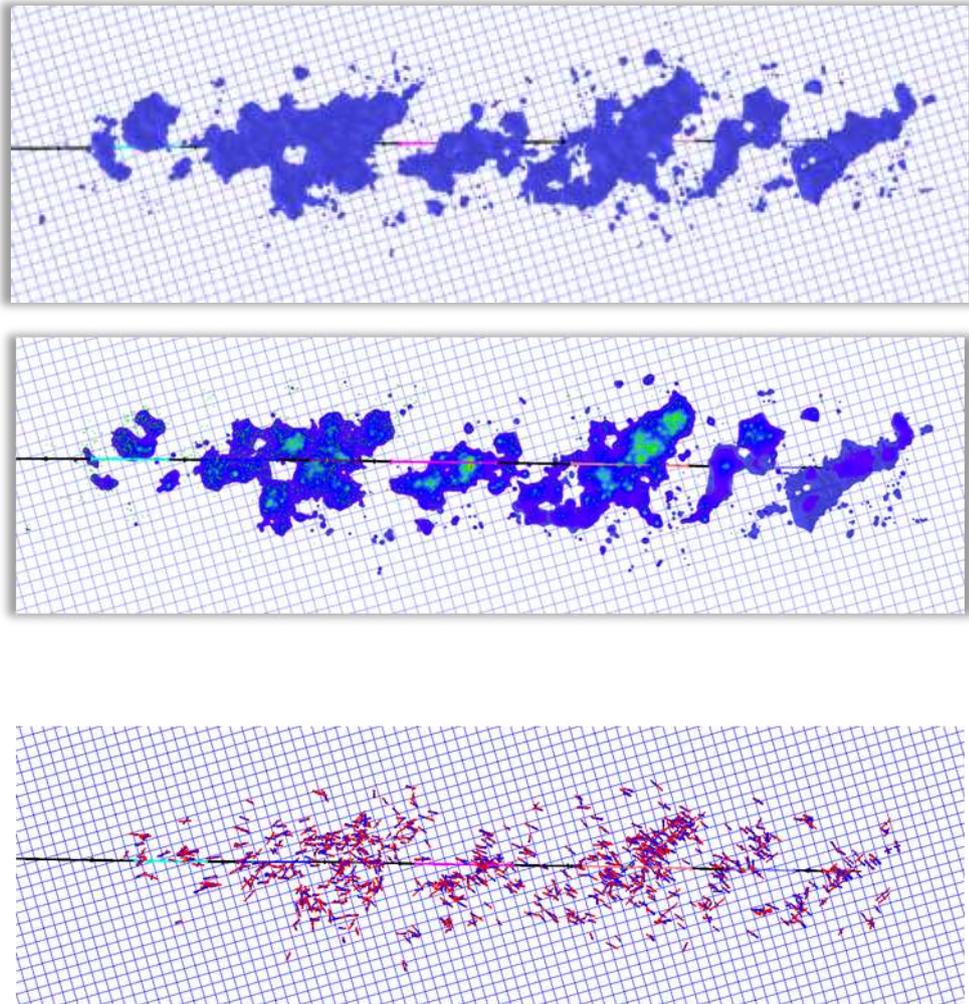


Рисунок 10 – Результат микросейсмического мониторинга МГРП в изоповерхностях энергии и в виде горизонтальных проекций главных осей напряжений

Метод применяется с 2002 года . Опробован на 85 месторождениях.