

Пассивный микросейсмический мониторинг по методу MicroSeismicPRM

Метод. Пассивный мониторинг на месторождении углеводородов осуществляется путем регистрации микросейсмической эмиссии на дневной поверхности с помощью малоапертурной антенны, расположенной в эпицентральной зоне источников эмиссии, и специализированной обработки данных с использованием кластерных вычислений.

Регистрация. Используемая схема проведения микросейсмического мониторинга предполагает контроль воздействия на пласт, включая добычу жидкости и закачку жидкости для поддержания пластовых давлений. Непрерывная регистрация проводится не менее 14 суток. Время мобилизации полевой бригады составляет до 10 суток, демобилизации до 3 суток.

Аппаратура. Полевые работы проводятся с использованием цифровых сейсмических станций Scout (Рисунок 1), снаряженных сейсмическими датчиками GS-One. Используемое оборудование позволяет осуществлять регистрацию данных 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.



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

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

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.

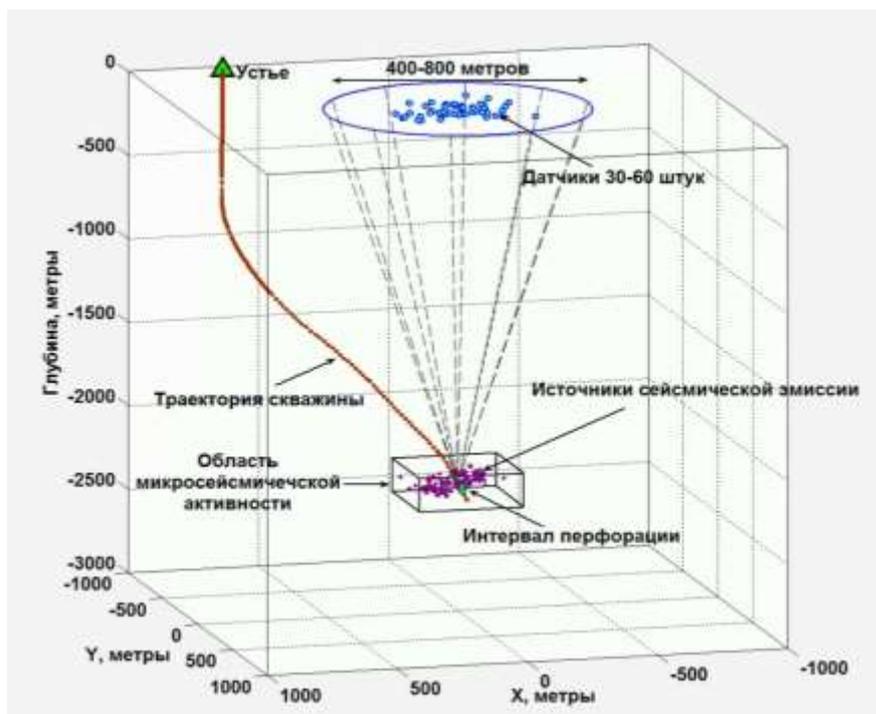


Рисунок 2 – Схема наблюдения

Решаемые задачи при пассивном мониторинге:

1. Мониторинг фронта вытеснения.
2. Определение зон питания скважин
3. Выявление разломно-блоковой структуры вблизи забоя скважины
4. Мониторинг фильтрационной активности в районе скважины после ГРП

Мониторинг фронта вытеснения. Определение гипоцентров микросейсмических событий позволяет проводить мониторинг процесс вытеснения жидкости из околоскважинного пространства рабочим агентом. В случае, когда процесс вытеснения только начался, можно наблюдать динамику распространения микросейсмической активности во времени (Рисунок 3) и определять направления распространения фронта.

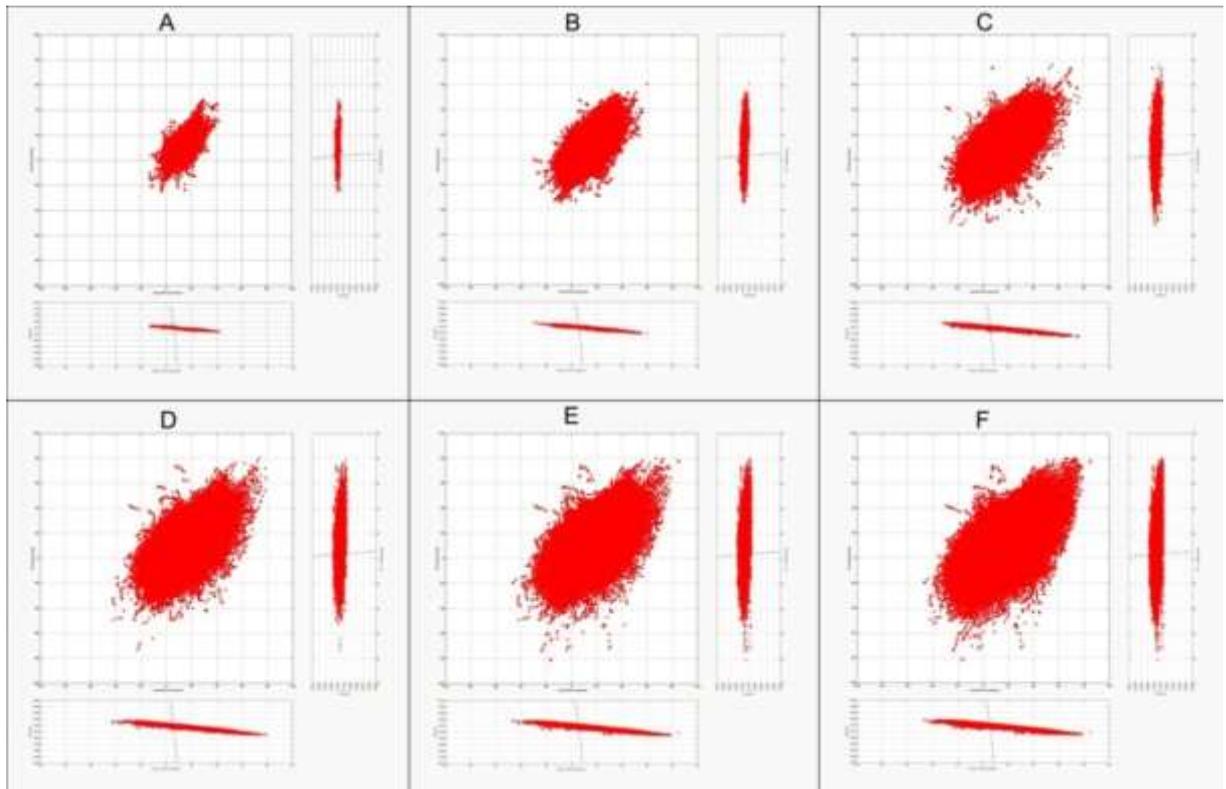


Рисунок 3 – Кадры развития облака микросейсмической активности последовательно через 100-часовой интервал, шаг сетки 10 метров

На основе решения обратной динамической задачи был получен тензор сейсмического момента. Это позволило определить энергетические параметры микросейсмических событий, которые в свою очередь характеризуют процессы микросейсмической активности при закачке жидкости в нагнетательные скважины. На основе анализа развития областей микросейсмической активности во времени (Рисунок 4) осуществлена оценка направления движения закачиваемой воды (фронта заводнения). Микросейсмические события зарегистрированные за 15 дней наблюдения представлены на Рисунок 5.

На Рисунок 6 представлены гистограммы некомпенсированной части энергии деформаций изотропного расширения (dP) и максимальных напряжений отрыва ($dSgN$), совмещенные с графиками суточных объемов и давлений закачки. Снижение давления и увеличение объемов закачки отображаются на энергетических параметрах.

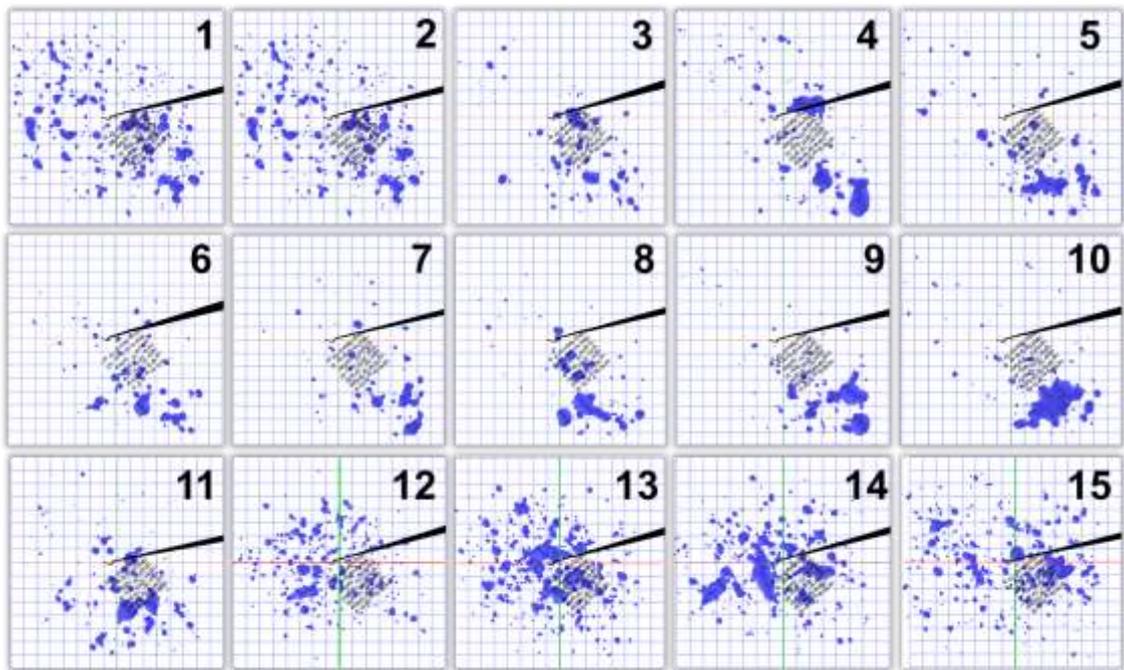


Рисунок 4 – Изоповерхность плотности энергии микросейсмических событий в проекции на дневную поверхность, зарегистрированных в районе нагнетательной скважины месторождения углеводородов; шаг сетки 100 м; изоповерхность вмещает 98% энергии микросейсмической эмиссии; красная линия обозначает разлом, черная линия – ствол вертикальной скважины

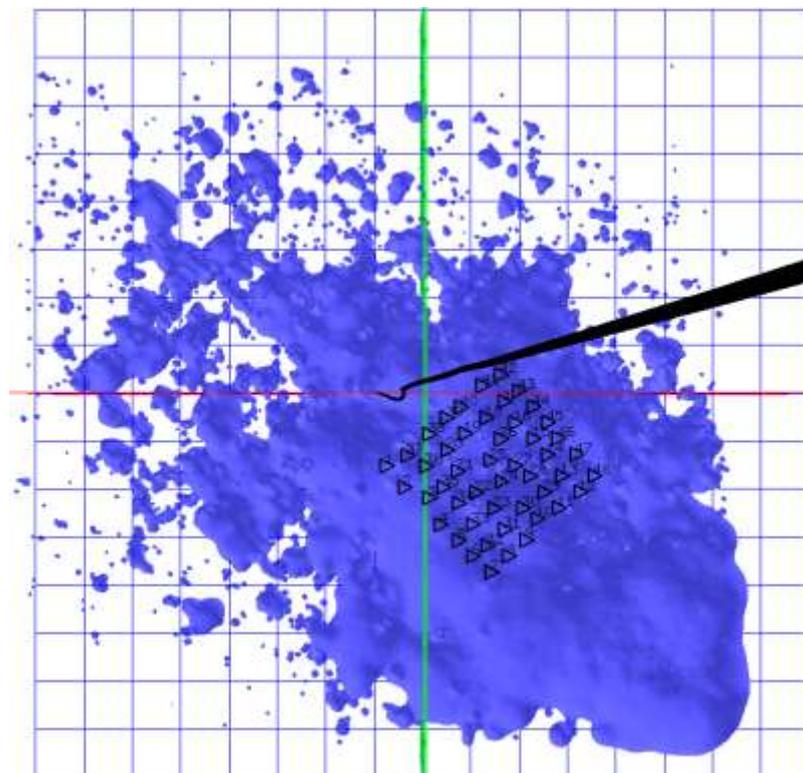


Рисунок 5 – Изоповерхность плотности энергии микросейсмических событий в проекции на дневную поверхность, зарегистрированных в районе нагнетательной скважины месторождения углеводородов за 15 дней

мониторинга; шаг сетки 100 м; изоповерхность вмещает 98% энергии микросейсмической эмиссии; черная линия – ствол вертикальной скважины

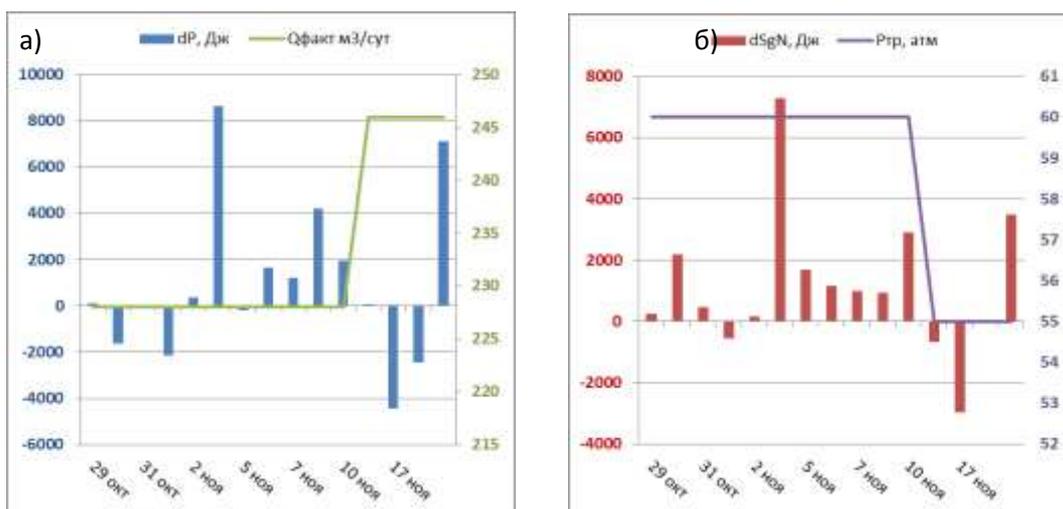


Рисунок 6 – а) гистограмма некомпенсированной части энергии деформаций изотропного расширения (синий) и график объемов закачки жидкости (зеленый), б) гистограмма некомпенсированной части энергии максимальных напряжений отрыва (красный) и график трубного давления (фиолетовый)

Определение зон питания скважин. Область дренирования добывающих скважин на месторождении углеводородов является источником полезной и важной информации. Выделенная область на Рисунок 7 – зона наибольшей интенсивности микросейсмических событий на месторождении в процессе добычи в поровом коллекторе без нагнетания («на истощение»).

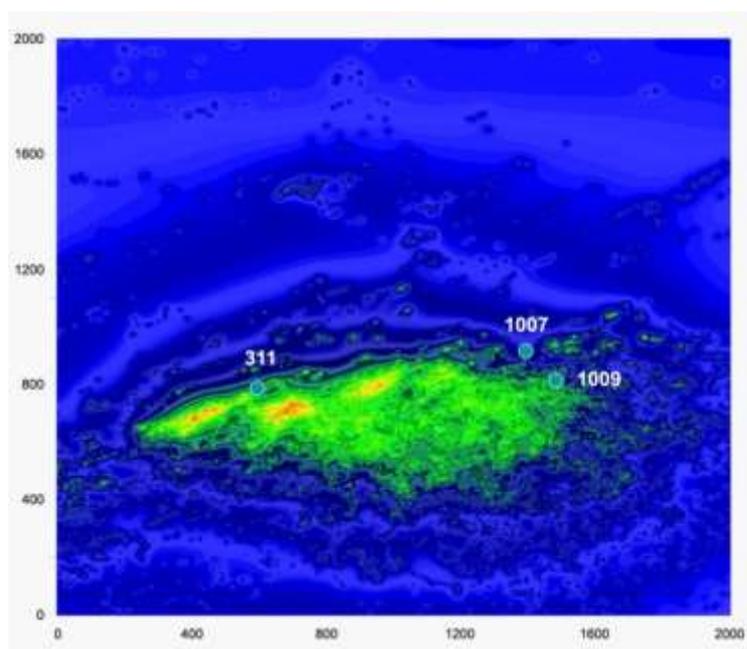


Рисунок 7 – Выделение области дренирования добывающих скважин, теплый цвет соответствует большей интенсивности

Выявление разломно-блоковой структуры. На Рисунок 8 представлены результаты микросейсмического мониторинга добычи углеводородов «на истощение» в коллекторе смешанного типа. Блочно-разломная структура в районе добывающей скважины характеризуется ранее проведенным ГРП.

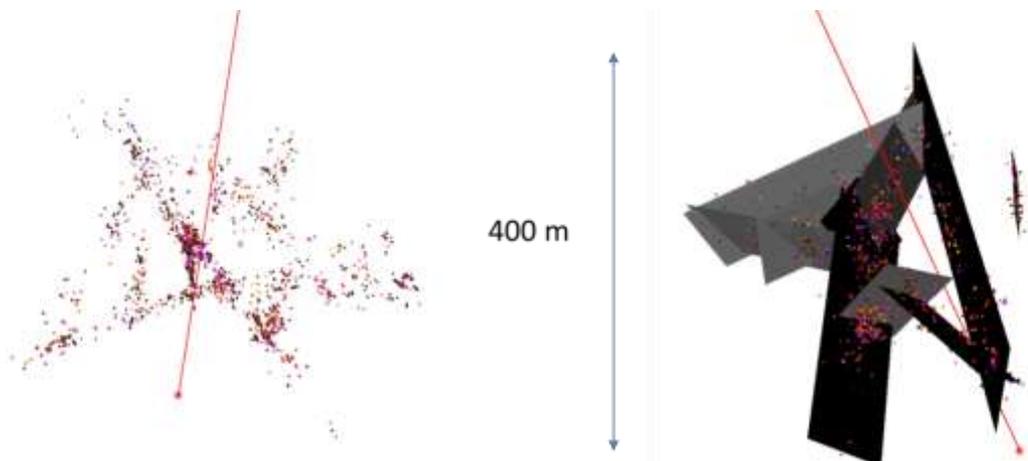


Рисунок 8 – Микросейсмические события, формирующие блочно-разломную структуру в районе вертикальной добывающей скважины; красная линия – траектория ствола скважины.

Мониторинг фильтрационной активности. В настоящее время активно применяют технологию добычи в горизонтальных скважинах с использованием многостадийного ГРП (МГРП). Традиционно микросейсмический мониторинг применяется для контроля МГРП, однако такое применение не дает информации о качестве работы отдельных портов. Пассивный микросейсмический мониторинг, проводимый после МГРП (Рисунок 9-10), позволяет фиксировать микросейсмическую активность в районе портов, осуществляющих добычу. Результаты исследования притоков в скважине выявили то, что дебиты дают только последние 3 порта, в районе которых и наблюдается микросейсмическая активность.

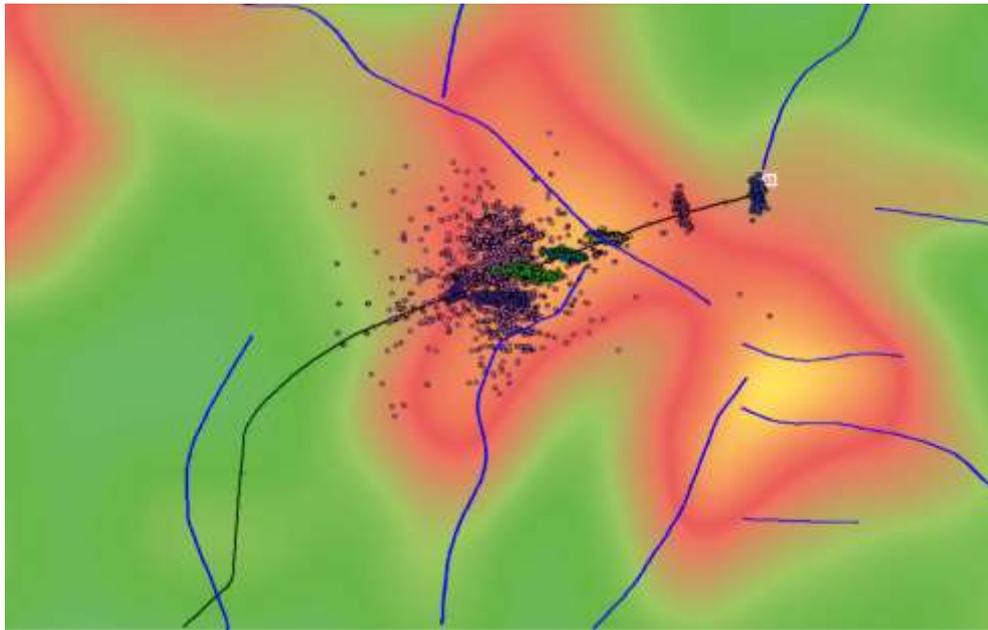


Рисунок 9 – Структурная карта с нанесенными разломами и микросейсмическими событиями, зарегистрированными в процессе МГРП и пассивного мониторинга (сиреневого цвета).

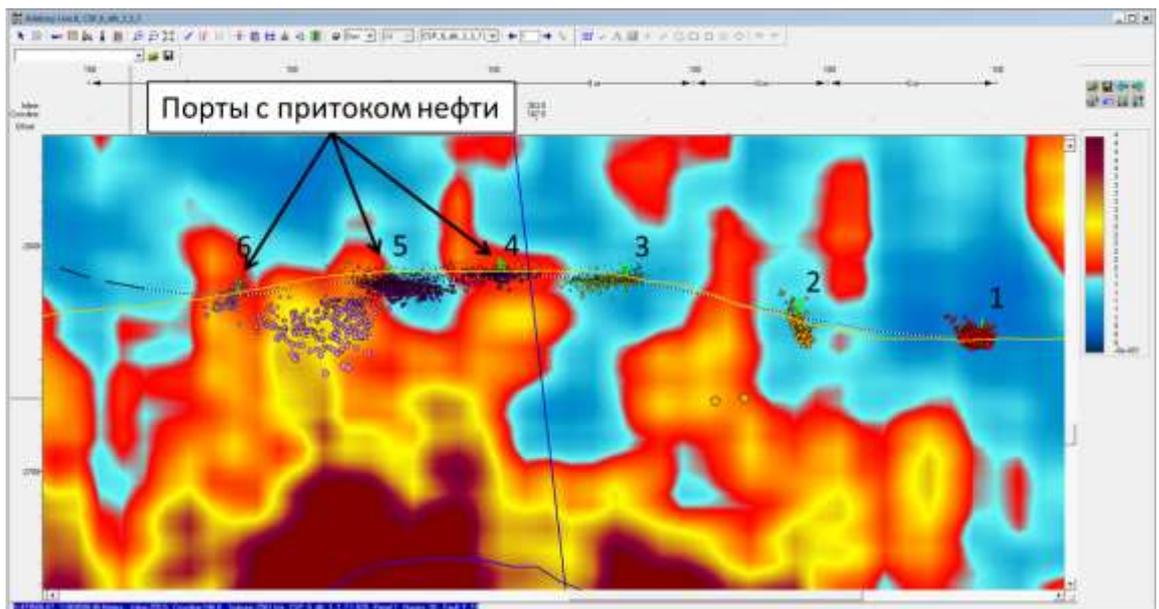


Рисунок 10. Вертикальный срез куба рассеянных волн вдоль линии профиля, проходящего через скважину

Метод применяется с 2002 года .Опробован на 85 месторождениях.