



Микросейсмический мониторинг по методу MicroseismicCSP

Метод. Пассивный мониторинг на месторождении углеводородов осуществляется посредством регистрации сигналов микросейсмической эмиссии на дневной поверхности с помощью сейсмической антенны, расположенной в эпицентральной зоне источников эмиссии, и специализированной обработки данных, основанной на кластерных вычислениях. Обработка и интерпретация проводится в специально разработанном программном комплексе «Fracloc»

Решаемые задачи при пассивном мониторинге:

1. Мониторинг ГРП.
2. Мониторинг фронта вытеснения.
3. Определение зон питания скважин.
4. Выявление разломно-блоковой структуры вблизи забоя скважины.
5. Мониторинг фильтрационной активности после гидроразрыва пласта (ГРП).

Регистрация. Для проектирования системы наблюдения проводится этап моделирования, в ходе которого выполняется построение трехмерной глубинно-скоростной модели среды. По результатам решения обратных задач на модельных данных, с учётом поверхностных условий (карт орографии, инфраструктуры, потенциальных источников шума, таких как точки бурения новых скважин, ЭЦН и т.п.) предлагается оптимальная методика наблюдения

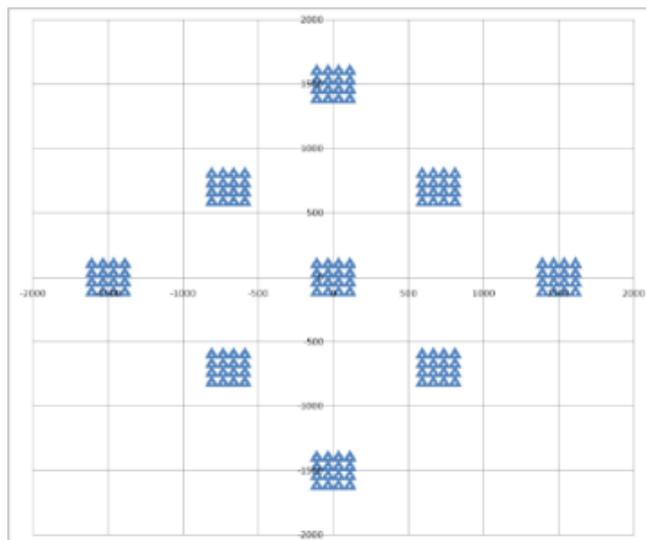


Рис. 1 – Пример системы наблюдения

Аппаратура. Технология базируется на обработке данных, полученных с любых типов полевого оборудования и систем расстановки, как кабельных, так и бескабельных; Проведены испытания и коммерческие работы на всех основных типах оборудования, представленных на рынке: SCOUT, RefTek, Sercel, Wireless Seismic, SGD, GS.

Характеристики оборудования, показавшие свою эффективность:

- 5-150 Гц – рабочий частотный диапазон
- 100 – 160 в/м/с/ - чувствительность геофонов
- Не более 1 мс – частота дискретизации
- Не более 100 микросекунд – погрешность синхронности записи
- До 30 дней – непрерывность регистрации данных



Схема наблюдения. Сейсмическая антенна состоит из сейсмических датчиков. Низкая стоимость получения, передачи и обработки микросейсмических данных в сочетании с высокой мобильностью полевой бригады, быстрым временем развертывания аппаратуры позволяет оперативно получать интересующую информацию о наблюдаемом процессе, характеризующуюся высоким разрешением.

Мониторинг ГРП

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 зоны трещиноватости и азимута ее распространения представлен на рис. 2. Для большего понимания процессов трещинообразования технология позволяет визуализировать процесс формирования активной микросейсмической зоны не только в статическом варианте (рис. 3), но и динамически с учетом особенностей визуализируемой информации.

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 рассчитываются на основе тензора сейсмического момента, который можно представить в главных осях в виде трех перпендикулярных векторов. На рис. 4 представлено распределение микронапряжений в области возникновения микросейсмической эмиссии с направлениями главных осей напряжений (тензор сейсмического момента) в процессе МГРП. На рисунке указываются максимальные значения тензора микросейсмических событий, линейные размеры пропорциональны энергии. Расчет плотности энергии микросейсмических событий позволяет построить контур области микросейсмической активности (рис. 5).

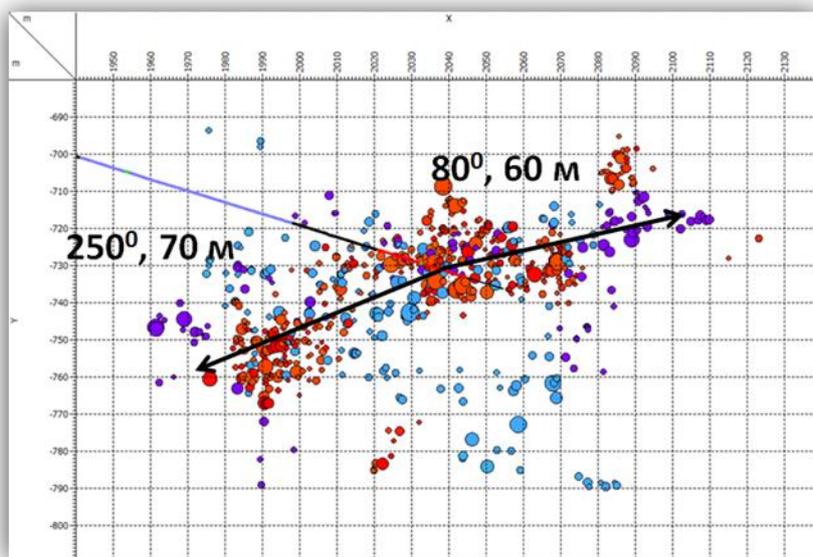


Рис. 2 – Карта зарегистрированных микросейсмических событий в процессе производства стадий замещения, миниГРП и основного ГРП; размер событий пропорционален их энергии;



цвет события соответствует его времени регистрации: фиолетовый – стадия замещения, голубой цвет – стадия миниГРП, красный – стадия основного ГРП

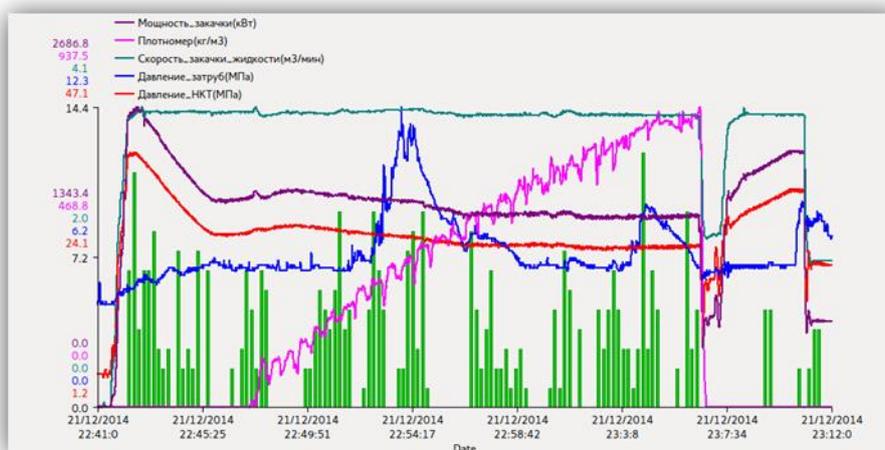


Рис. 3 – Гистограмма зарегистрированных микросейсмических событий по времени проведения основного ГРП, совмещенная с графиками техпроцессов (график давления НКТ выделен красным цветом, давление в затрубье – синим, расход жидкости – зеленым, концентрация пропанта по плотномеру – розовым, мощность закачки – фиолетовым)

Сравнительные характеристики стадий МГРП. Оценка мощности закачки выполняется по графикам технологических процессов (рис. 3). Суммарные значения микросейсмической энергии и их отношения к общей энергии закачки характеризуют различные стадии МГРП и позволяют сравнивать их друг с другом. На рис. 4 представлен дисбаланс энергий деформации изотропного расширения и максимальных напряжений отрыва для различных стадий МГРП. На рис. 5 представлены сравнительные значения абсолютных и относительных энергий эмиссии для стадий МГРП.

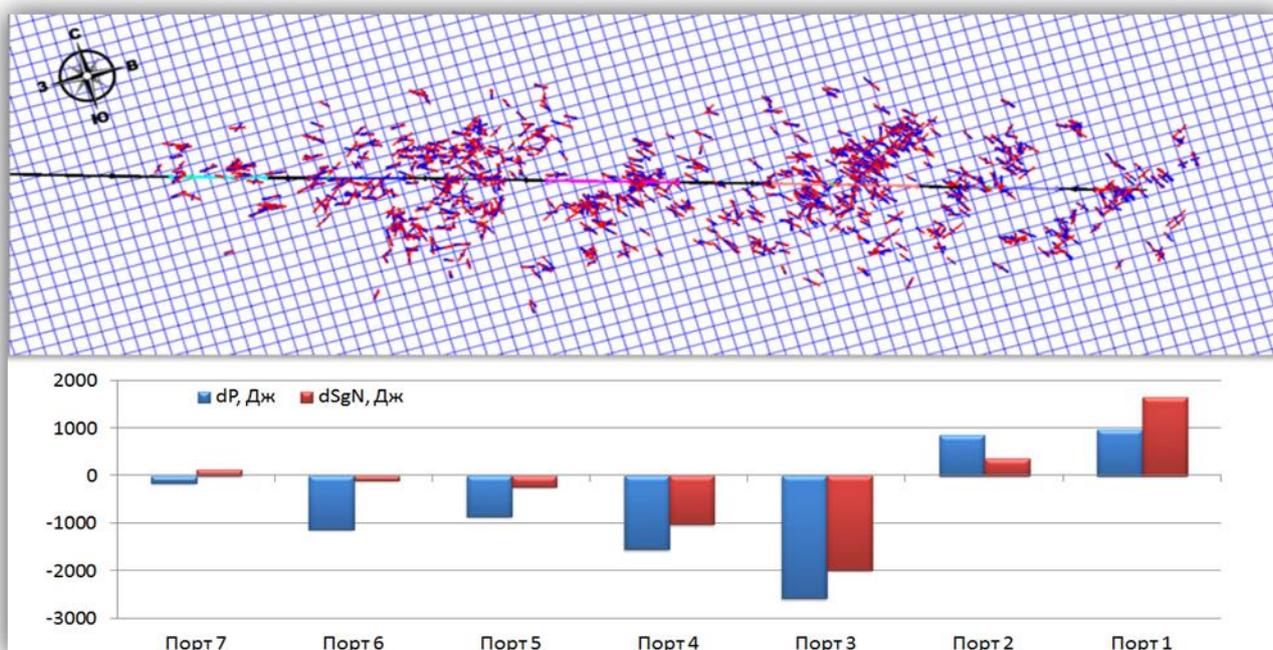




Рис. 4 – Направления главных осей напряжений микросейсмических событий (тензор сейсмического момента) (сверху); некомпенсированная часть энергии деформаций изотропного расширения (P) и некомпенсированная часть энергии максимальных напряжений отрыва (SgN) для различных стадий МГРП (снизу)

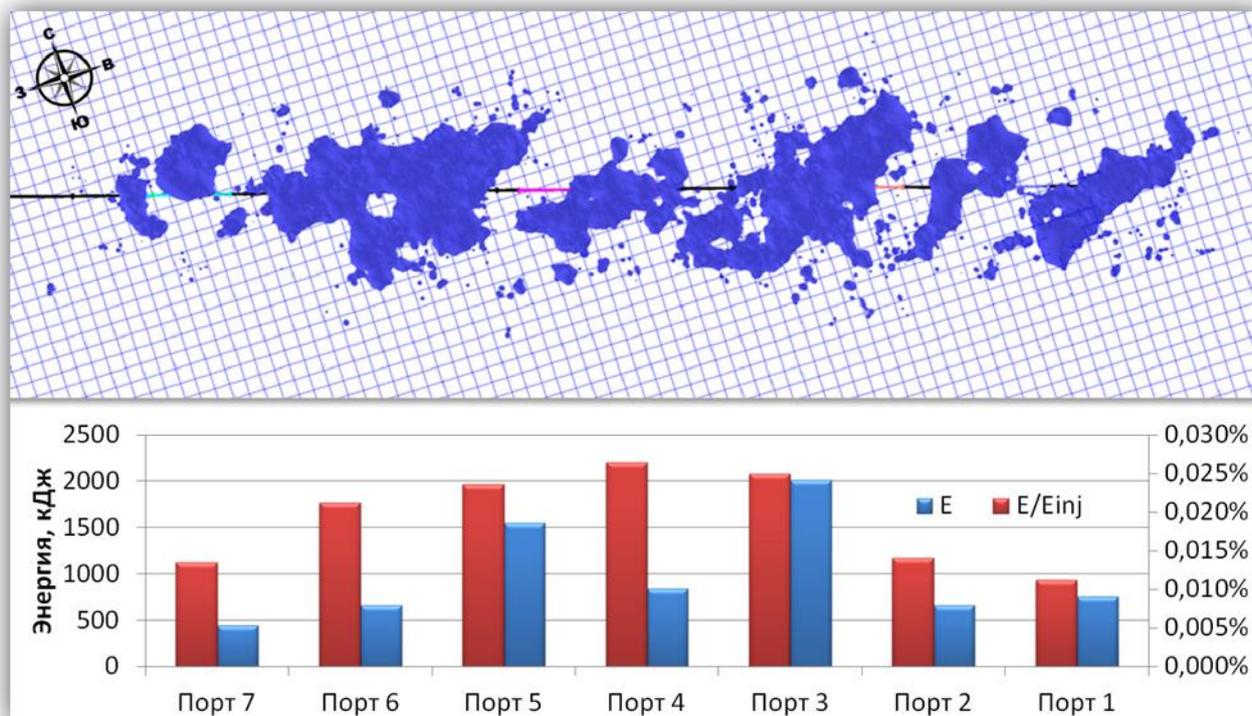


Рис. 5 – Изоповерхность плотности энергии микросейсмических событий (сверху); суммарные значения излученной сейсмической энергии и их отношения к энергиям закачки (снизу) для различных стадий МГРП

Мониторинг фронта вытеснения. Мониторинг процесса вытеснения жидкости из околоскважинного пространства рабочим агентом осуществляется посредством определения гипоцентров микросейсмических событий. Решением обратной динамической задачи является тензор сейсмического момента. Он позволяет определять энергетические параметры микросейсмических событий, которые, в свою очередь, характеризуют процессы микросейсмической активности при закачке жидкости в нагнетательные скважины. Анализ развития областей микросейсмической активности во времени (рис. 6) позволяет оценить направления движения закачиваемой воды (фронта заводнения).

Пример облака микросейсмических событий, выделенных за 15 дней наблюдения, представлен на рис. 7 а). Изменение режимов закачки (снижение давления и увеличение объемов жидкости) отражаются на значениях энергетических параметров микросейсмических событий. На рис. 7 б) и в) представлены гистограммы некомпенсированной части энергии деформаций изотропного расширения (dP) и максимальных напряжений отрыва (dSgN), совмещенные с графиками суточных объемов и давлений закачки.

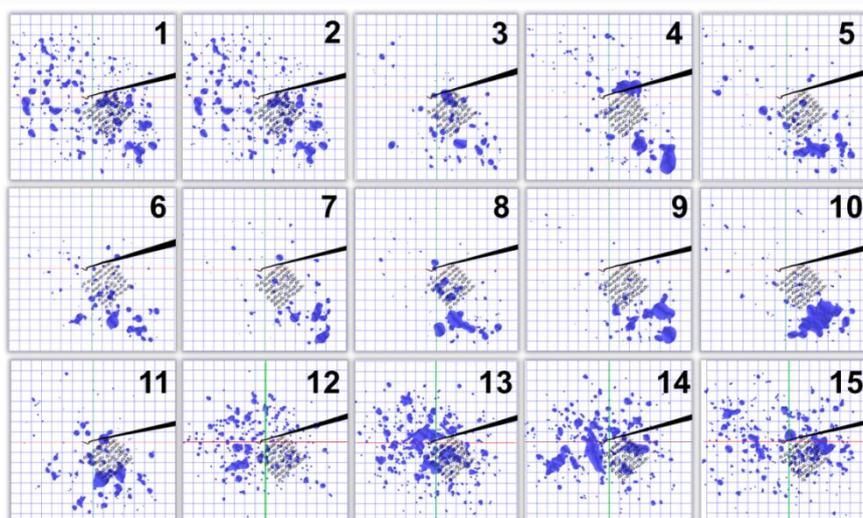


Рис. 6 – Развитие микросейсмической активности во времени, шаг сетки 100 м.
Цифрами отмечены разные дни наблюдений

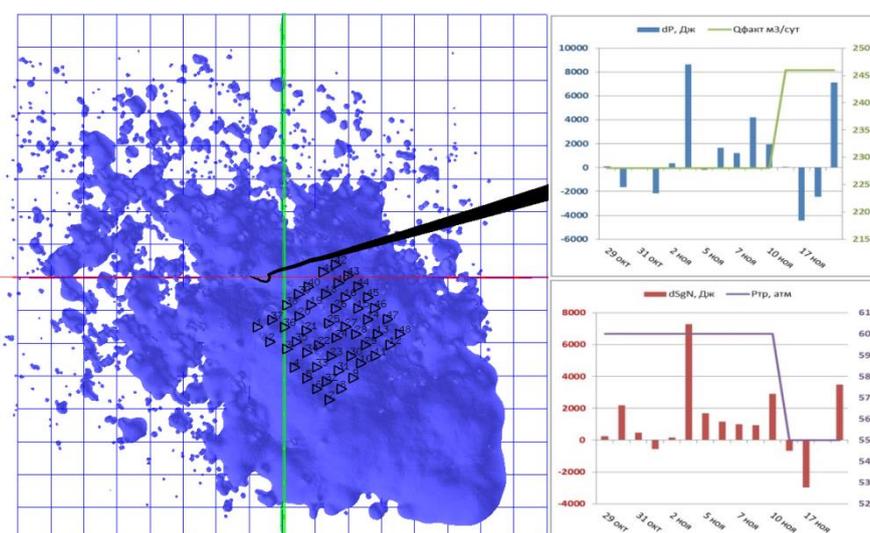


Рис. 7 – а) изоповерхность плотности энергии событий за 15 дней мониторинга; шаг сетки 100 м;
б) гистограмма некомпенсированной части энергии деформаций изотропного расширения (синий)
и график объемов закачки жидкости (зеленый), в) гистограмма некомпенсированной части
энергии максимальных напряжений отрыва (красный) и график трубного давления (фиолетовый)

Определение зон питания скважин. Область дренирования добывающих скважин на месторождении углеводородов является источником полезной и важной информации о состоянии залежи. Длительный микросейсмический мониторинг процесса добычи («на истощение») позволяет определять области микросейсмической активности в поровом коллекторе. На рис. 8 представлена выделенная область – зона наибольшей интенсивности микросейсмических событий на месторождении в процессе добычи в поровом коллекторе без нагнетания («на истощение»).

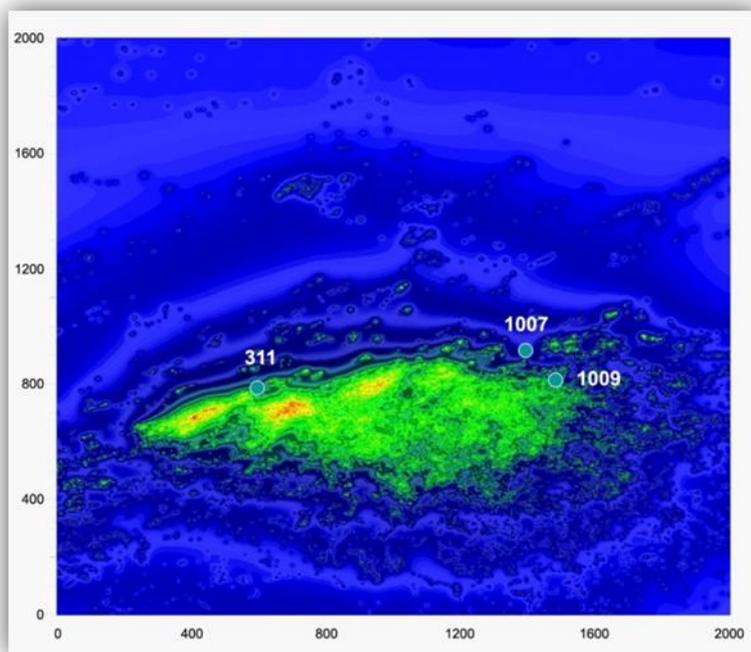


Рис. 8 – Выделение области дренирования добывающих скважин, теплый цвет соответствует большей интенсивности

Выявление разломно-блоковой структуры. На рис. 9 представлены результаты пассивного микросейсмического мониторинга добычи углеводородов «на истощение» в коллекторе смешанного типа после операции ГРП. Наблюдаемая конфигурация облака микросейсмических событий характеризует разломно-блоковую структуру в районе добывающей скважины.

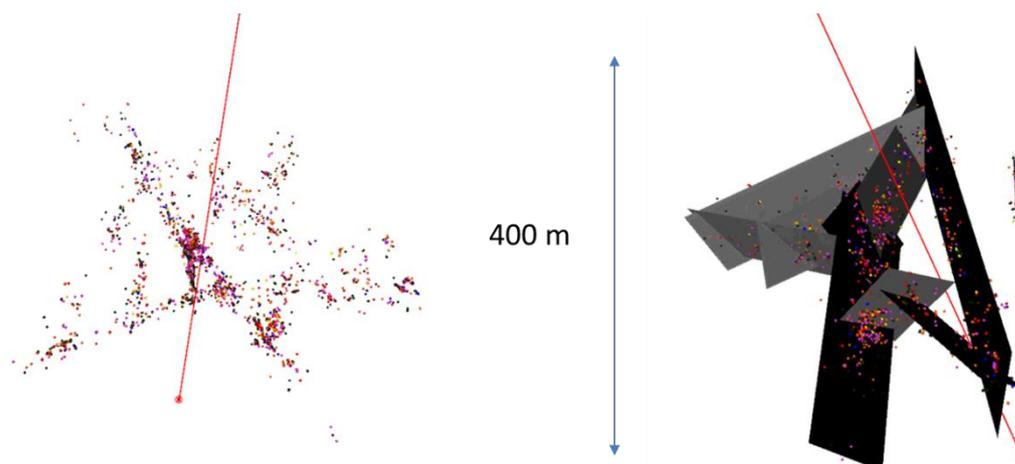


Рис. 9 – Микросейсмические события, формирующие блочно-разломную структуру в районе вертикальной добывающей скважины



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 (рис. 10, 11), позволяет фиксировать микросейсмическую активность в районе портов, осуществляющих добычу. Пример проведения пассивного мониторинга после ГРП представлен на рис. 10. Совместная интерпретация данных сейсморазведки на рассеянных волнах и микросейсмического мониторинга (рис. 11) позволяет выявить наиболее перспективные порты МГРП. Исследования притоков показали максимальный дебит в районе 4-6 портов, в окрестности которых наблюдается микросейсмическая активность.

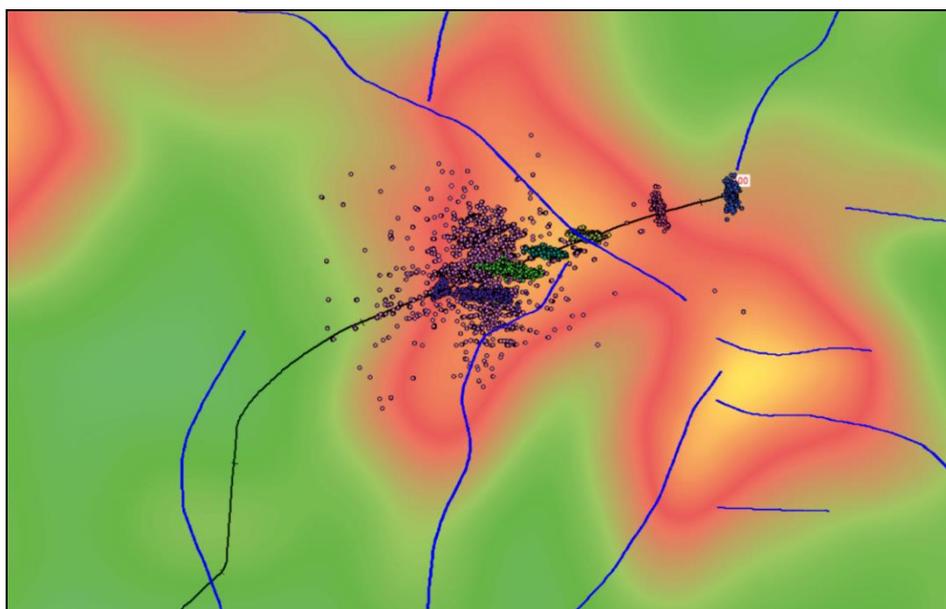


Рис. 10 – Структурная карта с нанесенными разломами и микросейсмическими событиями, зарегистрированными в процессе МГРП и пассивного мониторинга (сиреневого цвета).

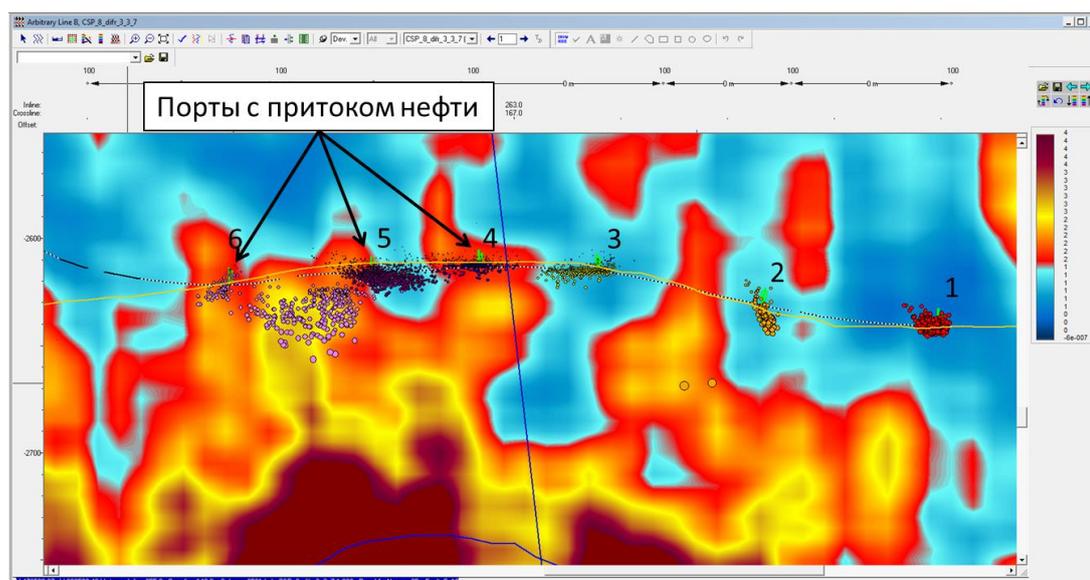


Рис. 11 – Разрез куба рассеянных волн, проходящий вдоль горизонтального участка ствола скважины, совмещенный с результатами микросейсмического мониторинга