

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА: РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

Д.Н. Гапеев¹, Г.Н. Ерохин¹, Р.Д. Седайки¹, С.В. Родин², К.Д. Сисембаев³, И.И. Смирнов¹

¹Научно-исследовательский институт прикладной информатики и математической геофизики
Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта

²ООО «Антел-нефть»

³ТОО «CSP MUNAY SERVICES (СиЭсПи Мунай Сервисес)» (Казахстан)

В последние годы микросейсмический мониторинг широко применяется для наблюдения за гидравлическим разрывом пласта (ГРП) с целью подтверждения успешности операций трещинообразования. Особую актуальность в мире получил микросейсмический мониторинг многостадийного ГРП в горизонтальных стволах добывающих скважин. Наибольшую известность, с точки зрения опыта и объема проведения микросейсмического мониторинга ГРП, имеют такие кампании как Schlumberger, Pinnacle [1], Microseismic Inc., Weatherford International Ltd и др. Этими компаниями применяется скважинная технология мониторинга, которая имеет существенные ограничения. Причины неудобства применяемой технологии связаны с обязательным наличием близко расположенных наблюдательных скважин, необходимостью проведения спуско-подъемных операций по размещению «гирлянды» датчиков и значительной стоимостью работ.

Указанные ограничения отсутствуют в технологии поверхностного малоапертурного микросейсмического мониторинга Seismic Moment Tensor Inverse Problem (SMTIP) [2-3], применяемая для контроля ГРП и других мероприятий на месторождениях углеводородов. Технология SMTIP разработана БФУ им. И. Канта совместно с компанией «Антел-нефть» и в данный момент комплекс микросейсмического мониторинга находится на стадии опытно-промышленных испытаний в полевых условиях с последующей суперкомпьютерной обработкой получаемых результатов по оригинальным авторским алгоритмам. Данная технология защищена рядом патентов Российской Федерации [4-6].

Технология SMTIP поверхностного микросейсмического мониторинга позволяет решать традиционные задачи мониторинга ГРП:

- локализация гипоцентров микросейсмических событий, отслеживание раскрытия и геометрических размеров трещин ГРП, включая их длину, высоту, асимметрию и азимут;
- анализ интенсивности излучения микросейсмической энергии при производстве ГРП.

Новые возможности технология SMTIP позволяют также осуществлять:

- микросейсмический мониторинг добычи/закачки флюида, пропантa и химических реагентов;
- оценку изменения конфигурации каналов фильтрации;
- выявление плоскости активных разломов, зон трещиноватости;
- определение структурно-тектонических особенностей участков нефтегазовых месторождений, примыкающих к эксплуатационным скважинам.

Разработанная технология микросейсмического мониторинга основана на применении малоапертурной системы наблюдения. Регистрация микросейсмических колебаний проводится малоканальной цифровой телеметрической станцией, установленной на дневной поверхности в радиусе не более 400-500 метров. Антенна состоит из 30-60 датчиков, отстоящих друг от друга на расстоянии 30-50 метров.

Применяемое для регистрации оборудование представляет собой 6-ти каналные станции RefTek 130-01, 96 или 48 каналные станции производства ООО НПК «СибГеофизПрибор» SGD-SMN96 или SGD-SHF48. Его использование дает возможность быстрого развертывания системы наблюдения в условиях болотистой местности. Привязка станций к системе GPS позволяет осуществить синхронизацию станций с точностью 100 мкс.

Малая апертура антенны и ее установка в эпицентрaльную область событий выбраны не случайно – это позволяет обойти проблему рефракции волн, неоднородности и анизотропии вмещающей геологической среды, так как для обработки используются сигналы, распространяющиеся вдоль практически прямолинейного вертикального луча от источника к приемнику (для апертуры диаметром 800-1000 метров при глубинах 2500-2800 метров - максимальный угол отличается от вертикали не более чем на $7-10^0$). Данные условия расположения

антенны позволяют использовать при расчетах гипоцентров событий интегральную скорость распространения сейсмических волн.

Принципиально новой возможностью микросейсмического мониторинга является выявление структурно-геологических особенностей коллектора залежи углеводородов на основе длительного пассивного наблюдения. Так, на основе технологии SMTIP удалось выявить структурно-тектонические особенности участков нефтегазовых месторождений, примыкающих к эксплуатационным скважинам, на ряде нефтяных месторождений Алатюбе, Ащиагар, Атамбай-Сартюбе и Оймаша (Казахстан).

Главной особенностью метода пассивного микросейсмического мониторинга является длительный режим непрерывного наблюдения. Речь идет о регистрации с дискретизацией 1 мс на протяжении 2-х недель и более. За это время накапливается большой объем информации, требующий для обработки больших вычислительных мощностей. Обработка данных осуществляется специализированным программным обеспечением на вычислительном комплексе (СВК-128) кластерной архитектуры производительностью 12 Тфлопс и оперативной памятью 4 ТБ. Главными результатами обработки являются координаты гипоцентров микросейсмических событий.

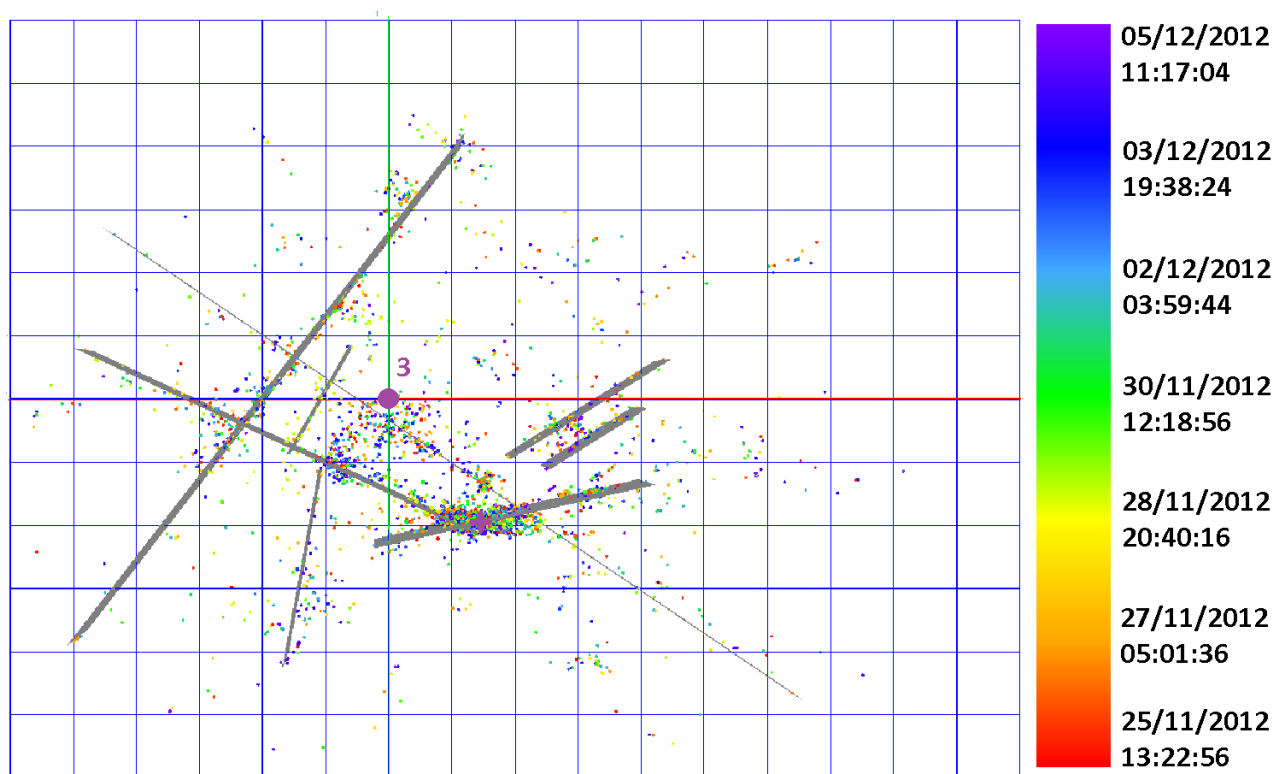


Рис. 1 Карта микросейсмических событий в районе скважины №3 месторождения Атамбай-Сартюбе, Казахстан. Проекция устья скважины отмечена точкой фиолетового цвета, забой – звездой, размер квадрата сетки 50х50 метров.

По результатам обработки микросейсмических записей, полученных при пассивном мониторинге добывающих скважин, строятся карты микросейсмических событий района. Пример такой карты приведен на рисунке 1 (район скважины №3 месторождения Атамбай-Сартюбе, Казахстан). На карте отчетливо выделяются сгущения событий, формирующие плоские и объемные формы. Плоские сгущения, которые в проекции на дневную поверхность представляются линиями, ассоциируются с активными разрывными нарушениями, а последовательное выделение таких направленных скоплений формирует разломно-блоковую структуру. Наиболее плотное объемное скопление соответствует забою скважины, что объясняется отбором жидкости из формации.

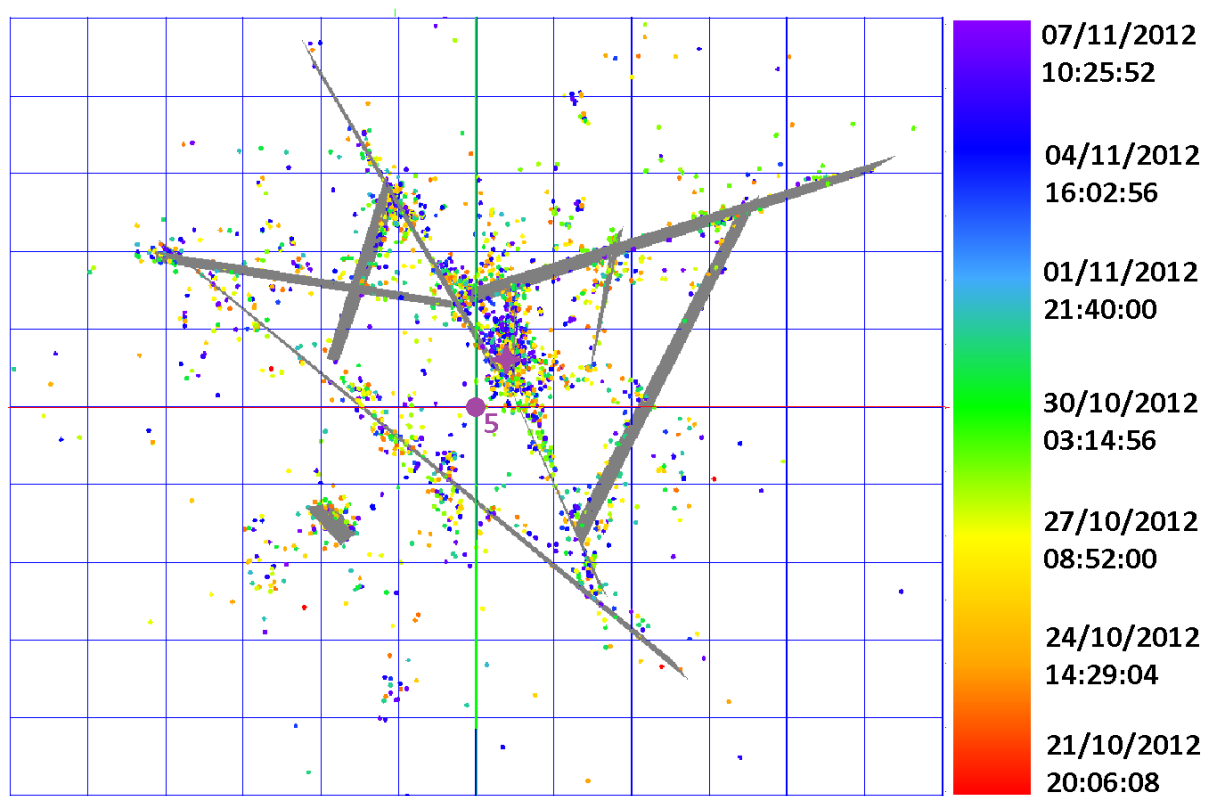


Рис. 2 Карта микросейсмических событий в районе скважины №5 месторождения Ащиагар, Казахстан. Проекция устья скважины отмечена точкой фиолетового цвета, забой – звездой, размер квадрата сетки 50х50 метров.

На рисунке 2 представлена карта микросейсмических событий в районе скважины №5 месторождения Ащиагар, Казахстан. Было известно, что в вертикальной скважина №5, до проведения пассивного микросейсмического мониторинга, проводился ГРП, который изменил общую структуру района. Наиболее плотное объемное скопление находится в пересечении разнонаправленных «линий» и соответствует забою скважины. По результатам пассивного микросейсмического мониторинга по технологии SMTIP выделяются направления трещин проведенного ранее ГРП.

Таким образом, впервые в мировой практике, на основе пассивного микросейсмического мониторинга выявлены и картированы структурно-тектонические особенности разломно-блокового характера межскважинного пространства на действующем нефтяном месторождении.

Авторы благодарят за вклад в работу П.Б. Бортникова, Ф.Д. Шмакова, В.И. Строкова, К.С. Кутергина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jones, G.A., J.-M. Kendall, I.D. Bastow, D.G. Raymer, Locating microseismic events using borehole data. *Geophysical Prospecting*, Volume 62, Issue 1, January 2014, Pages 34-49
2. Erokhin, G.N., and P.B. Bortnikov, 1987, Inverse problem of determination of the earthquake source seismic moment tensor. *Geology and Geophysics*, 4, 115-123.
3. Anikonov, U.E., B.A., Bubnov and G.N. Erokhin, 1997, Inverse and Ill-Posed Sources Problems, VSP
4. Ерохин Г.Н., Майнагашев С.М., Бортников П.Б., Кузьменко А.П., , Рожков М.В. Способ контроля разработки залежей углеводородов по микросейсмической эмиссии // Патент РФ № 2309434, МПК G01V 1/00, Опубликовано 27.10.2007 бюллетень №30.
5. Ерохин Г.Н., Майнагашев С.М., Бортников П.Б., Кузьменко А.П., Родин С.В. Способ контроля процесса гидроразрыва пласта залежи углеводородов // Патент РФ № 2319177. Опубликовано 10.09.2008, бюллетень № 7.
6. Шмаков Ф.Д., Майнагашев С.М., Кузьменко А.П., Бортников П.Б. Способ определения размеров трещины в породах // Патент РФ № 2410727. Опубликовано 27.01.2011, бюллетень № 3