

Выделение зон растрескивания коллекторов по сейсмическим данным, полученным в процессе гидроразрыва пласта

В.А.Кочнев, В.С.Поляков, И.В.Гоз – Институт вычислительного моделирования СО РАН
И.В.Брыксин, В.Г.Савин, Б.К.Зоммер – ОАО «Хантымансиdgeофизика»

Аннотация

Определить конфигурацию зон растрескивания коллекторов при закачке в пласт жидкости и пропанта под большим давлением удавалось по наблюдениям упругих колебаний датчиками, расположенными в скважине. Нами разработан способ регистрации упругих колебаний в процессе гидроразрыва сейсмическими приборами, расположенными на поверхности. В результате удается восстановить динамику и направление формирования трещин в пласте. В статье приводится обоснование метода и примеры результатов, полученных на месторождениях Западной Сибири на начальном этапе разработки технологии.

Abstract

Most of the current microseismic methods for hydraulic fracture imaging employ multi-level receiver systems deployed on a wire-line array in one or more offset wellbores. Microseisms induced by changes in stress and pore pressure around the hydraulic fracture created when high-pressure liquid and proppant injected into the rock then can be located using conventional techniques based on arrival-time approach.

We developed and successfully applied a technique for imaging hydraulic fracture zones from surface passive microseismic data. The dynamics of the process of developing of hydraulic fracture and fracture orientation can be recovered from data and consequently visualized. We demonstrate the technique on several examples from West Siberia production sites.

Введение

В зарубежной литературе опубликовано немало статей [1–4], посвященных выделению зон растрескивания при закачке в пласт жидкости и пропанта под большим давлением. В этих зонах увеличивается трещиноватость и, как следствие, улучшаются коллекторские свойства и проницаемость пласта.

Для выявления подобных зон используются сейсмические данные, регистрируемые в глубоких скважинах, расположенных в окрестности скважины, в которую производится закачка жидкости с пропантом. Регистрация ведется однокомпонентными или трехкомпонентными приемниками на частотах в диапазоне от 100 до 1000 Гц.

Основой выявления отдельных локальных очагов растрескивания является регистрация Р и S-волн от отдельных микроземлетрясений. Запаздывание S-волны от Р-волны (если эта пара волн выделена и четко идентифицирована) дает возможность оценить радиус сферы, на поверхности которой могло произойти микроземлетрясение. Имея удачные наблюдения этого события в трех скважинах, можно оценить координаты микроземлетрясения. Благоприятной предпосылкой для такого метода является ситуация, когда микроземлетрясения следуют с периодом не меньше, чем время запаздывания волны S относительно волны Р. В зависимости от скорости, удаления источник-приемник время запаздывания может быть в пределах от 0.1 до 1 с и более. В статьях приводятся удачные опыты применения метода, когда наблюдение ведется в течение многих часов. В [2] приводятся следующие сведения. Гидроразрыв проводился для создания в геотермальных условиях проницаемой зоны в гранитах между двумя скважинами. Эксперимент длился 61 час, под давлением 48МПа (480 атмосфер). На абсолютную глубину 3460 м было закачано 21000 м^3 воды и было зарегистрировано около 11000 микроземлетрясений. Основная частота колебаний, судя по периоду (6–8 мс), составила 120–150 Гц. Длина импульса от 20 до 100 мс.

Причем более протяженными и более интенсивными являются поперечные волны. Запись велась на аналоговый носитель, а затем была оцифрована с шагом 0.2 мс. Авторы цитируемой статьи имели примерно 20% данных и, следовательно, в этот интервал времени (11 ч. 15 мин.) произошло около 2000 микроземлетрясений. В обработку они выбрали только 157 событий. В другой статье [1] указывается на необходимость ручной корреляции и идентификации записей на разных скважинах. Приводя эти данные, мы хотим подчеркнуть, что большая плотность событий приводит к трудности интерпретации данных. Главные трудности при наблюдении в скважинах возникают тогда, когда используются наблюдения в одной скважине, расположенной в стороне от забоя. В этом случае достоверность результатов снижается, особенно в области, противоположной скважине. Кроме того, не всегда есть возможность задействовать под наблюдение работающую скважину, а тем более две. Кроме того, отмечается, что нередки случаи потери скважин. Поэтому актуальной является задача разработки и исследования свойств метода выделения зон гидроразрыва по наблюдениям сейсмических колебаний на поверхности. Этому и посвящена данная статья. В последнее время используются ускоренные методы гидроразрыва под большим давлением, которые реализуются в течение получаса и, судя по резкому скачку давления, основной процесс гидроразрыва происходит в течение 10-20 мин и вызывает лавинообразное растрескивание коллектора. Это должно создавать среднечастотные колебания в очаге интенсивного растрескивания пласта, что создает предпосылки для регистрации этих колебаний на поверхности и определения гипоцентров зон интенсивного растрескивания коллекторов.

Опытно-экспериментальные наблюдения и анализ данных

Опытно-экспериментальные наблюдения и анализ данных, направленные на выявление такой возможности и были проведены ОАО «Хантымансиdgeофизика» с участием СНИИГиМС, геофизической службы Сибирского отделения РАН в ноябре 2001 г. Но выявить ожидаемые эффекты при первичной обработке не удалось. На заключительном этапе анализа, в начале 2003 г, в работе приняли участие сотрудники ИВМ СО РАН, авторы данной статьи.

Были выполнены следующие работы:

1. Проведен анализ исходных данных
2. Создана технология обработки и выявления местоположения поверхностных и глубинных источников
3. Проведена обработка данных с целью выявления источников упругих колебаний
4. Получены анимационные картинки движущихся источников, для снежевых, поверхностных и глубинных волн
5. Проведены модельные исследования и даны рекомендации

Ниже приводится более подробная информация по основным результатам этих работ.

Проведен анализ исходных данных, полученных двумя отрядами: отряд ОАО «Хантымансиdgeофизики» и СНИИГиМС. В результате анализа мы пришли к выводу, что предпочтительными для обработки являются данные отряда ОАО ХМГ. Главным показателем является качество регистрации волн от перфорации. Перед началом обработки было потрачено много времени на уточнение геометрии системы наблюдения. Для этого использовались данные перфорации колонны и зарегистрированные воздушные и прямые волны от стационарных и движущихся источников.

Проиллюстрируем рисунками эту вспомогательную, но очень важную часть работы, без которой была невозможна основная обработка.

На рис.1а показаны устье, забой скважины и исходная схема профилей наблюдения отряда ХМГеофизики. Она включает в себя 4 профиля, образующих два креста. Первый из них расположен северо-восточнее, а второй юго-восточнее забоя скважины. Один из профилей каждого креста ориентирован на забой скважины, а второй ортогонален ему. Минимальное удаление от проекции забоя на поверхность до ближайшего канала составило около 700 м,

максимальное около 1500 м. Число регистрирующих каналов на каждом профиле 30, шаг между приборами 25 м.

В процесс анализа сейсмограмм, полученных при перфорации колонны, были забракованы 40 каналов, которые в дальнейшей обработке не участвовали.

На рис.1 приведены два фрагмента сейсмограммы, зарегистрированной от перфорации: с введенной кинематикой (рис. 1б); с кинематикой и корректирующей статикой (рис. 1в). Корректирующая статика и скоростной график, по которому была рассчитана кинематика, использовались в дальнейшей обработке. Следует обратить внимание, что без сейсмограмм, зарегистрировавших перфорацию, дальнейшая обработка была бы практически невозможна. С использованием этой же сейсмограммы был опробован алгоритм нахождения координат X, Y глубинного источника упругих колебаний.

Модель и алгоритм накапливания

Рассматривалась горизонтально-слоистая модель среды, известная по результатам обработки ВСП соседней скважины. Опорные лучи трассировались с учетом преломления. Промежуточные лучи находились путем интерполяции. Суть алгоритма сводилась к тому, что в области поиска строилась равномерная сетка, и для каждого ее узла рассчитывался параметр когерентности P_j , который будет равен

$$P_j = \frac{\left(\sum_{i=1}^N A(t_{ij}) \right)^2}{N \sum_{i=1}^N A(t_{ij})^2}$$

где N – число приемников, i – номер пункта приема, j – номер узла сетки, t_{ij} – время прихода волны, рассеянной в узле j в пункт приема i , A – амплитуда трассы на соответствующем времени. Время прихода волны зависит от пространственного положения узла сетки и пункта приема и от скоростного графика.

Для улучшения помехоустойчивости необходимо усреднение показателя по совокупности параллельных годографов, охватывающих некоторый временной интервал. При известной форме сигнала можно построить оптимальный алгоритм усреднения показателя когерентности на интервале длины сигнала. При неизвестной форме, как будет в случае гидроразрыва, субоптимальным вариантом будет усреднение значений показателя когерентности. Усредненный параметр будет меняться от 0 до 1.

В том случае, когда годографы совпадут с направлением осей синфазности волны, будет получен максимум когерентности. В результате расчета показателя когерентности для сейсмограмм от перфорации были получены значения на сетке 32x32 с шагом 5 м. Распределение величины показателя видим на рис.1г. Как видно, кроме основного максимума амплитуды, который находится вблизи точки перфорации скважины, имеются побочные максимумы, вытянутые в субширотном направлении. Модельные исследования показали, что причиной вытянутости и появления сильных побочных максимумов является большая асимметрия системы наблюдения относительно забоя скважины. Для преодоления этого был разработан более устойчивый алгоритм, позволяющий учесть и уменьшить влияние асимметрии. Для этого вводились фиктивные зеркально-симметричные относительно точки расчета точки наблюдения. Изображение накопленного показателя когерентности, полученного новым алгоритмом, приведено на рис.1д. Хотя изображение не является изометричным, но оно не имеет побочных максимумов, а основной максимум совпадает с забоем скважины, вблизи которого проводилась перфорация. Смещения точек перфорации и точек забоя по осям X, Y отсутствуют. В первом приближении погрешность определения положения источника может быть в 0.3 шага радиуса окружностей, приведенных на рис.1г., то есть не выше 10 м.

Выявление поверхностных источников

На некоторых сейсмограммах, когда велась регистрация колебаний в процессе гидроразрыва, были зарегистрированы интенсивные низкочастотные колебания с кажущейся скоростью от 240 м/с до бесконечности. В процессе анализа предстояло изучить эти волны, определить их природу и в дальнейшем учитывать их или исключать из обработки соответствующие сейсмограммы.

В процессе анализа выявлено два стационарных источника. Они дают максимум когерентности при скорости распространения поверхностной волны равной 1530 м/с. Один из источников (по-видимому, двигатели, насосы буровой) расположен юго-восточнее устья скважины, а второй юго-восточнее забоя. Возможно, второй – отражение от мелкого горизонта сигнала первого источника или реальный источник шумов. Со слов одного из участников полевых работ – примерно в этом месте находился движок подзарядки аккумуляторов.

Анализ показал, что наиболее интенсивными оказались помехи от движущегося транспорта. Шумы от них передаются через верхние слои, по воздуху или через снег. Анализ проводился путем расчета в каждой точке поверхности показателя когерентности. Положение аномалий показателя связываются с местоположением источника шумов. Было выявлено два типа движущихся по поверхности источников.

Изображение первого движущегося источника, удаленного примерно на 2 км от центра, позволило сделать вывод о том, что источник перемещается со скоростью около 60 км/час. Судя по скорости и большой интенсивности, источником является движущийся по железной дороге поезд. Априорно о существовании в этом месте железной дороги нам не было известно. Позднее это было подтверждено. При настройке на глубину 2950 м по этим сейсмограммам (с 39 по 41) получаем интенсивное, слегка вытянутое к северу изометричное пятно, которое на предварительном этапе было принято нами за возможный глубинный источник – следствие от гидроразрыва.

После того, как было выяснено, что источником является движущийся объект, эти сейсмограммы были исключены из обработки. Сейчас нам ясно, что интенсивное расплывчатое пятно – это точки отражения от слоистой толщи упругих волн от движущегося поезда.

Второе интегральное изображение источников поверхностных низкоскоростных волн, ($V=240$ м/с), накопленных на сейсмограммах 29, 30, 31 отчетливо вырисовывало линейную траекторию движения источников (вероятно, здесь находится автомобильная дорога и источником звука является движущийся транспорт). Низкая скорость волны видимо объясняется тем, что она распространяется по снегу и слабо затухает. Такой феномен известен из опыта ранее проводимых работ.

Выявление глубинных источников

Работа по выявлению глубинных источников проведена в два этапа. На первом этапе были обработаны сейсмограммы с 23 по 26. Анимированный вывод результатов их обработки был продемонстрирован на НТС «Хантымансиdgeофизики».

На рис.2а показано интегральное изображение источников, накопленное при обработке 23,24,25 и 26 сейсмограмм, а на рис.2б – оно же, в сглаженном виде. Общий интервал регистрации этих сейсмограмм около 400 с. Обработка проводилась с вводом дополнительных симметричных расстановок. Судя по изображению, источники упругих волн концентрируются в субмеридиональной зоне, вытянутой до 60 м от забоя скважины.

На втором этапе была сделана попытка расширить область поиска, включив сейсмограммы 27 и 28, но это дополнительной информации не дало. Сейсмограммы с 29 по 31 и с 39 по 41 обрабатывать смысла не имело, так как уже было сказано, что при их регистрации наблюдались сильные шумы от движущихся источников.

Какие же независимые данные подтверждают правильность результата? Таким подтверждением является сопоставление кривой давления при закачке жидкости при

гидроразрыве и интегрального показателя когерентности, рассчитанного с шагом 20 мс. Показатель когерентности свидетельствует или о наличии слабых, но когерентных по направленному гидрографу колебаний, или о наличии очень сильных поверхностных шумов, порождающих отраженные волны. Сильных поверхностных шумов на этих сейсмограммах нет.

Следует обратить внимание на то, что регистрация упругих колебаний от гидроразрыва началась с 23 сейсмограммы. Время регистрации сейсмограммы составляет 100 с. Таким образом, на первых четырех сейсмограммах охвачен интервал 400 с, т.е. 6 мин. 40 с.

На графике давления (рис.2в, вверху) при закачке жидкости и пропанта видно отчетливое повышение давления в течение первых четырех с половиной минут. Максимальное давление поднялось до 450 кг/см^2 и после этого резко стало падать, достигнув уровня 280 кг/см^2 на времени около 7 мин. (420 с). Таким образом, первые 4 сейсмограммы охватывают интервал с повышенным давлением. Максимум давления на времени 250 с от начала попадает в интервал регистрации 25 сейсмограммы, где отмечено основное событие (наиболее интенсивное на времени 240 с.) и серия более мелких. После этого давление стало резко падать. Начиная с 27 сейсмограммы ведет себя стабильно, что свидетельствует об отсутствии сильного внутреннего напряжения.

Время проявления глубинных событий мы видим только на интегральном графике когерентности (рис.2в, внизу) и по сериям изображений распределения когерентности. Но, даже зная время регистрации события или совокупности событий, мы не видим их следов на исходных сейсмограммах. Этот факт говорит о том, что выделенные при накапливании сигналы на исходных сейсмограммах слабы, и выделение оказывается успешным в результате того, что накапливание от 90 групп сейсмоприемников увеличивает соотношение сигнал/помеха почти на порядок. Следует иметь в виду, что оно увеличивается еще и за счет временного окна интегрирования. В какой-то мере возможности для созданной системы накапливания могут помочь оценить результаты моделирования.

На рис.3а показана модельная сейсмограмма, полученная от одного глубинного источника при соотношении сигнал/помеха, равном 5. На рис. 3б эта же сейсмограмма получена при соотношении сигнал/помеха, равном 1. Регулярного волнового поля мы не видим. При таком или более низком соотношении по симметричной 12-лучевой системе наблюдения (рис.3в) были получены изображения симметрично расположенных источников случайной интенсивности, группирующихся вдоль трех лучей. На рис.3г видим эти изображения, восстановленные без ввода симметричных приемников. Результат позволяет сделать вывод о возможности технологии выделять слабые сигналы на фоне сильных помех.

Таким образом, в результате опытных работ 2001-2003 года удалось установить существование слабых продольных волн в сейсмическом диапазоне частот и предложить для их выделения более надежную систему наблюдения, состоящую из 6 пересекающихся лучей. Ранее подобная система использовалась при наблюдениях упругих волн от работающего долота (ВСП в процессе бурения) [11].

Результаты работ по новой технологии с симметричной системой наблюдения

На рис.4 приведены исходные и профильтрованные сейсмограммы от перфорации, полученные по схеме наблюдения, близкой к той, что была предложена (рис.3в). Такая схема была реализована в 2004 году на одном из месторождений Западной Сибири. Число регистрируемых каналов 390, при применении 6 приемных линий (12 лучей). Шаг между пунктами приема: 50м, максимальное фланговое удаление 1600м. Длина записи сейсмостанции 64 сек., шаг дискретизации записи 2 мсек., время регистрации 1.4 часа.

На рис.4 приведены изображения сейсмограмм от перфорации после ввода кинематики и статики. При учете полученной кинематики и статики изображение источника точно совпало с его реальным положением. Следует заметить, что при фокусировке без учета статики

получается расплывчатое и смещенное на 60 м изображение. В некоторых скважинах неучет статики приводил к полному исчезновению изображения источника перфорации.

На рис.5а показаны накопленные изображения зон гидроразрыва, полученные в разные интервалы времени. Как видно, в период от 0 до 2000 сек (рис.5а, первые два кадра) наблюдается слабое изображение в центре. В следующих интервалах времени изображение зоны развивается в северо-западном направлении.

Геологический анализ поведения нефтеотдачи на соседних скважинах подтвердил правильность результата. Наибольшее влияние гидроразрывы оказали на скважину, расположенную в северо-западной части участка исследований. Там нефтеотдача увеличилась на 84 %, а в скважинах, находящихся в стороне от основного направления растрескивания незначительно уменьшилась (рис. 5а, последний кадр).

На рис.5б приведены технологические графики и график сейсмической активности в пласте. Как видно, основная активность пласта отмечается в интервале от 1500 до 2700 с, то есть 25 минут, когда держится высокое пластовое давление. После его снижения, особенно после окончания закачки пропанта, сейсмическая активность пласта находится на уровне фоновой, которую видим до начала подъема давления (интервал от 0 до 1500 с).

Все приведенные результаты получались на одной плоскости, то есть на горизонтальной плоскости, проходящей через точку инъекции жидкости и пропанта.

В связи с этим возникает вопрос, а возможно ли построение объемной картинки, выявляющей зоны повышенной активности на нескольких уровнях? Для ответа на этот вопрос был проведен эксперимент регистрации энергии, когда фокусировка энергии делается на многих уровнях в интервале от 1600 до 3500 м. График суммарной интенсивности шумов на каждом уровне приведен на рис.6. Получился довольно интересный рельефный график, интерпретируя который можно сделать следующие выводы.

1) Острый пик в интервале глубины инъекции вызван «свистом», возникающим при прохождении жидкости через перфорационные отверстия. Именно этот источник хорошо выделяется на рис.5а на всех четырех фрагментах.

Более расплывчатый максимум, который получается, если убрать острый пик кривой, обусловлен интенсивностью шумов в пласте. Она уменьшается почти на порядок при уменьшении глубины и в меньшей степени уменьшается с увеличением глубины. На кривой видим отдельные пики, которые, возможно, обусловлены появлением дополнительной энергии от мощных отражающих горизонтов (например, горизонта Б).

По этому графику лишь в первом приближении можно судить о разрешающей способности метода. Не следует забывать, что график обобщает интенсивность волн на всем пространстве наблюдения. В любом случае, нужно пытаться получать изображения на уровнях выше и ниже основного уровня. Расстояние между уровнями фокусировки зависит от качества основного изображения и чем оно четче, тем меньше может быть шаг между уровнями. Для данной ситуации его можно принять равным 100 м. И если при гидроразрыве пласта проявляется прорыв на более высокий уровень, то он может быть выявлен. Горизонтальное положение глубинных источников оценивается с точностью не менее 15 м. Это достигается следующими факторами: симметричная система наблюдения с большим количеством каналов и точные статические и кинематические поправки, которые удается получить с использованием данных от источника при перфорации на заданной глубине плоскости гидроразрыва. Эксперименты показали, что точность во многом зависит и от шага сетки, на которую производится фокусировка. Но это тема для отдельной статьи.

По данной технологии проведены наблюдения в 7 скважинах. К сожалению, качество наблюдений было не всегда хорошим. На одной из скважин вместо перфорации использовалось прожигание отверстий для закачки жидкости. Это не позволяет получать поправки за пункт приема, а, следовательно, и качественное изображение. На некоторых скважинах наблюдение проводилось на экспериментальных, не опробованных вертикальных группах сейсмоприемников. В любом случае, получен значительный опыт наблюдений, который лег в основу нового запатентованного метода сейсмических исследований [5].

Некоторые результаты представлены на международных и местных конференциях [7-10]. В данной статье содержится наиболее полный анализ некоторых результатов.

Заключение

Приведенные в статье результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Впервые показана принципиальная возможность выделения зон гидроразрыва пласта по поверхностным наблюдениям шумов
2. Предложена и опробована технология наблюдения шумов на поверхности
3. Разработаны алгоритмы выделения зон гидроразрыва
4. Технология признана как новый способ сейсморазведки и запатентована [5]
5. Технология предназначена для изучения процессов, происходящих в пласте при гидроразрыве, и может использоваться при необходимости проводить более аккуратную эксплуатацию залежей.

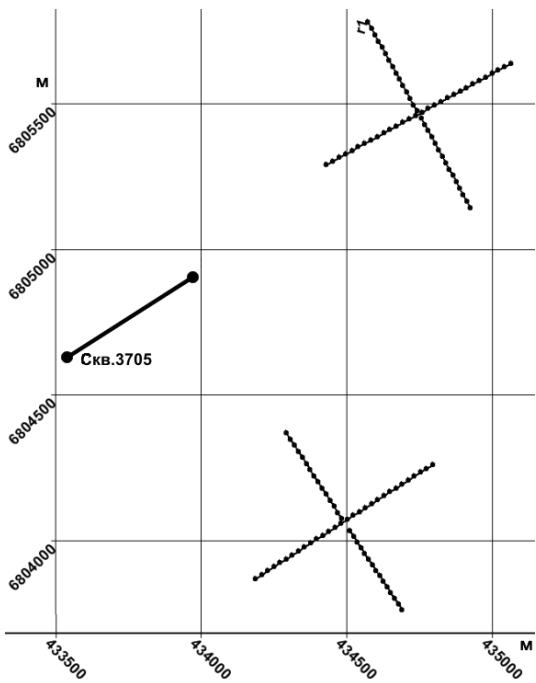
На обработку результатов на первых скважинах требовалось значительное время. Окончательный результат иногда выдавался через месяц. В настоящее время результат может быть получен в реальном времени.

Авторы признательны руководству «Сургутнефтегаза» (СНГ) за объекты для проведения исследований и финансирование работ на последних 7 объектах, а также Воцалевскому З.С., инициировавшему это направление работ, и принимавшему участие в полевых работах 2001 г.

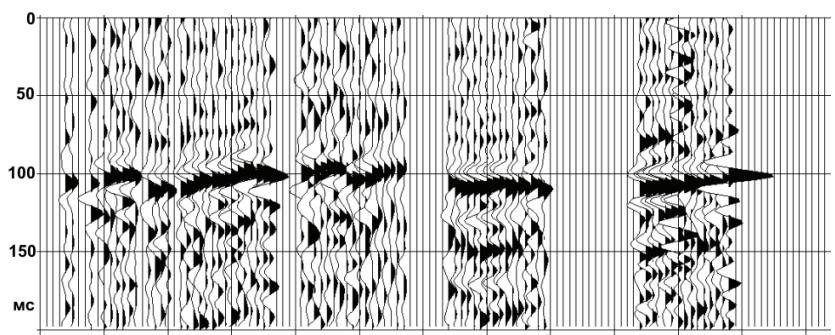
Литература

1. Rutledge, J. T. and Phillips, W. S., 2003. Hydraulic stimulation of natural fractures as revealed by induced microearthquakes, Carthage Cotton Valley gas field, east Texas. *Geophysics*, 68.
2. Li, Y., Cheng, H.C., Toksoz, M.N., 1998. Seismic monitoring of the growth of a hydraulic fracture zone at Fenton Hill, New Mexico. *Geophysics*, 63, 1.
3. Block, L.V., Cheng, C.H., Fehler, M.C. , and Phillips, W. S., 1994 Seismic imaging using microearthquakes induced by hydraulic fracturing. *Geophysics*, 59, 11.
4. Meadows, M.A. and Winterstein D.F., 1994. Seismic detection of a hydraulic fracture from shear-wave VSP data at Lost Hills Field, California. *Geophysics* 59, 11.
5. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Муртаяев И.С., Савин В.Г., Зоммер Б.К. Патент РФ на изобретение №2282876 «Способ сейсмической разведки зон растрескивания горных пород в процессе гидроразрыва» (от 03.06.2008)
6. Брыксин И.В., Зоммер Б.К., Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Савин В.Г., Опыт регистрации и обработки сейсмических данных в результате гидравлического разрыва пласта. Геофизика, спец.вып. «55 лет ОАО Хантымансиискгеофизика», с.20-22.
7. V.A. Kochnev, V.S. Polyakov, I.V. Goz, I.V. Bryksin, I.S. Murtayev, V.G. Savin, B.K. Zommer. Imaging Hydraulic Fracture Zones from Surface Passive Microseismic Data. EAGE/SEG Research Workshop 2007 “Integrating Geosciences for Fractured Reservoir Description”. Perugia, 3-6 Sept. 2007. A38, 5 стр.
8. V.A. Kochnev, V.S. Polyakov, I.V. Goz, I.V. Bryksin, I.S. Murtayev, V.G. Savin, B.K. Zommer. Imaging Hydraulic Fracture Zones from Surface Passive Microseismic Data. First Break, vol.25, October 2007, p.77-80.
9. Кочнев В.А., Муртаяев И.С., Поляков В.С., Брыксин И.В., Гоз И.В., Савин В.Г., Зоммер Б.К. Опыт регистрации и обработка шумов с целью определения зон гидроразрыва пласта.. Сб.трудов Межд.конф. геофизиков и геологов, Тюмень, 4-7 декабря 2007 г
10. Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В., Брыксин И.В., Савин В.Г., Зоммер Б.К. Опыт выделения зон растрескивания коллекторов по сейсмическим данным, полученным в процессе гидроразрыва пласта. Сб.докл. научн.-практ. конф. «Современные геофизические технологии в ОАО «Хантымансиискгеофизика» и перспективы их использования для повышения эффективности поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа». Ханты-Мансийск, 30 мая – 2 июня 2007 г.

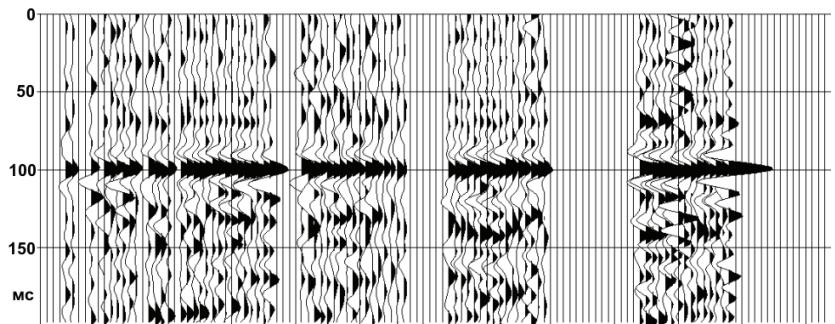
11. Бехтерев И.С., Кочнев В.А., Поляков В.С., Гоз И.В. Метод решения навигационной задачи по сейсмическим данным ВСП ПБ. Геофизика, №5, 2000 г.



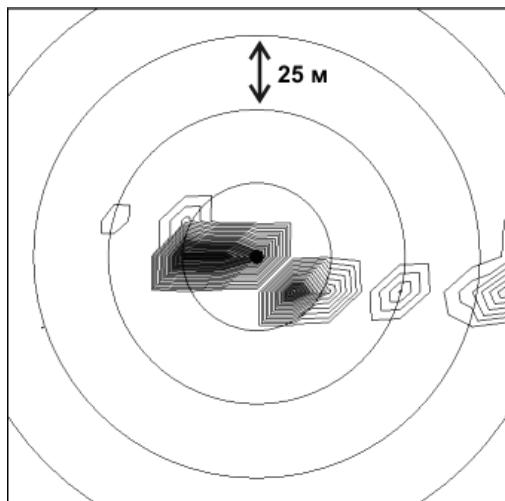
а) Схема наблюдения



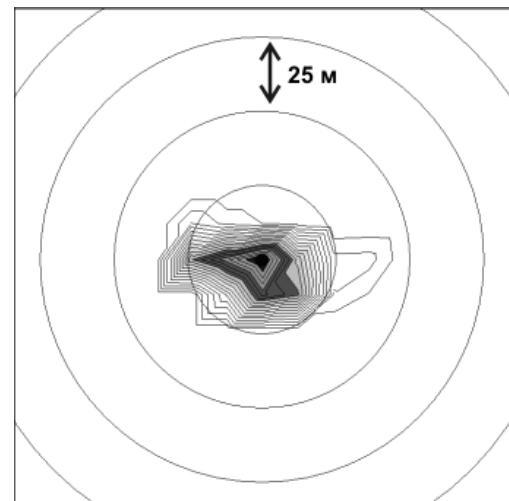
б) Сейсмограмма от перфорации с введенной кинематикой



в) Сейсмограмма от перфорации с введенной кинематикой и статикой

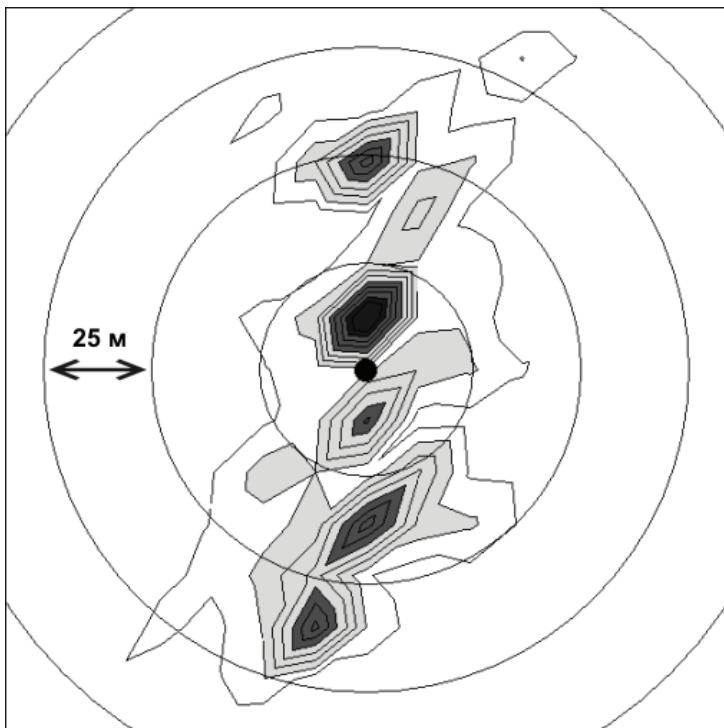


г) Распределение величины показателя когерентности во время перфорации

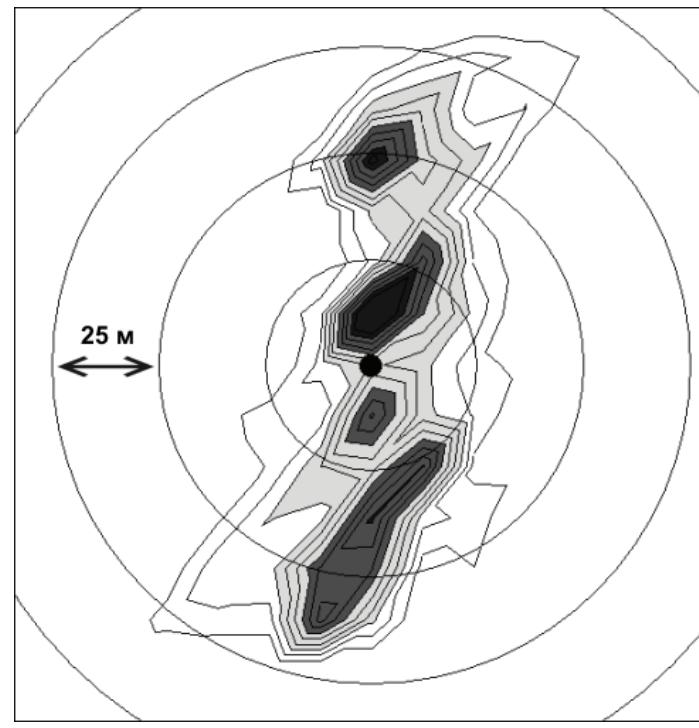


д) Распределение показателя когерентности во время перфорации, полученное с учетом расстановок симметрии.

Рис.1 Обработка данных, полученных при перфорации до гидроразрыва на кусте 3705 Восточно-Сибирского месторождения



а) Интегральное изображение источников, накопленное при обработке 23,24,25 и 26 сейсмограмм



б) Сглаженное интегральное изображение источников, накопленное при обработке 23,24,25 и 26 сейсмограмм

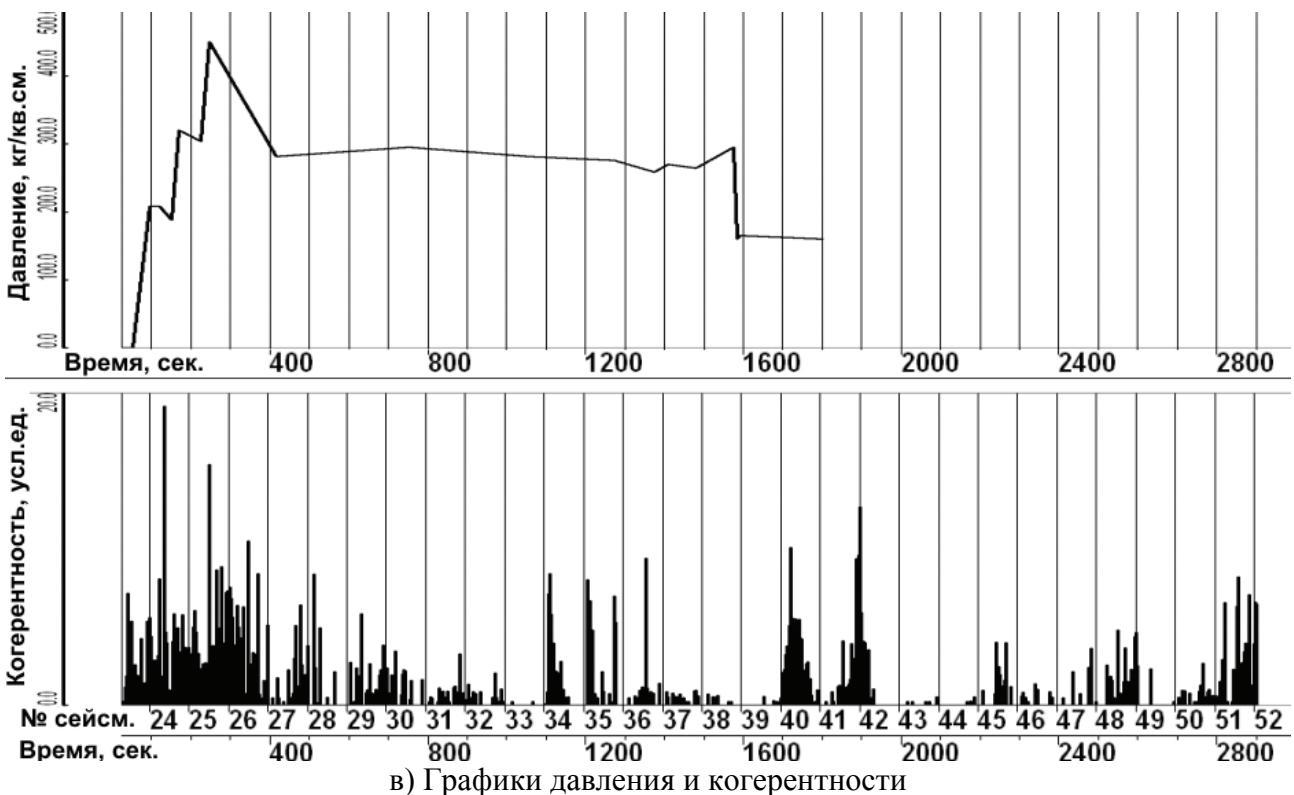
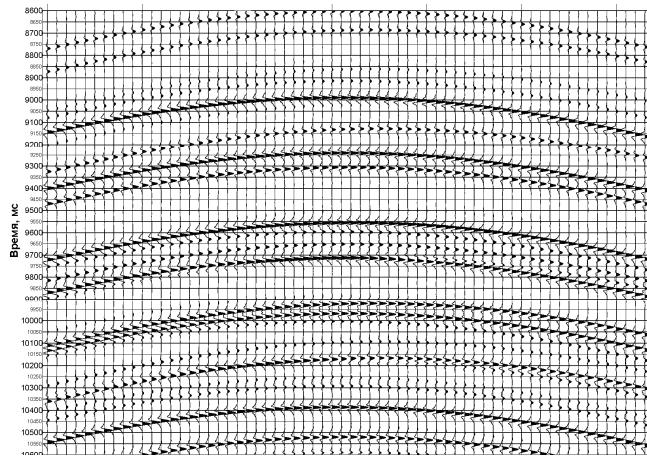
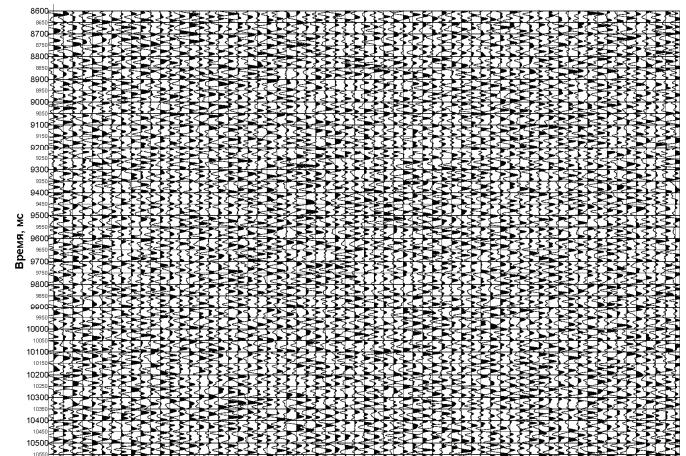


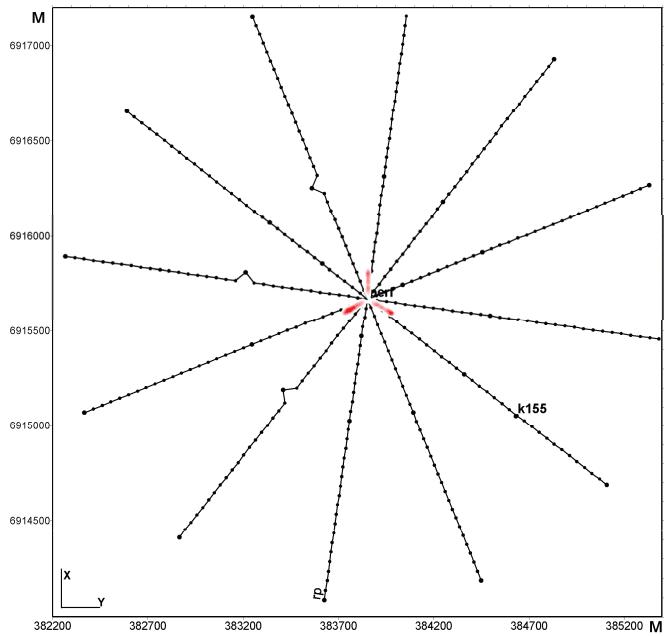
Рис.2 Обработка данных, полученных во время гидроразрыва на кусте 3705 Восточно-Сибирского месторождения



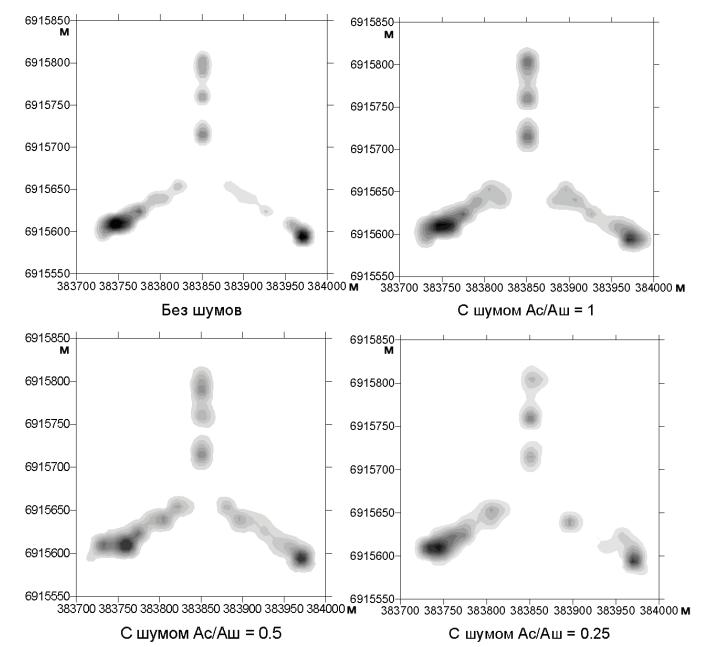
а) Модельные трассы без шума



б) Модельные трассы с шумом



в) Схема 12-лучевой модели наблюдений



г) Полученные изображения источников

Рис.3

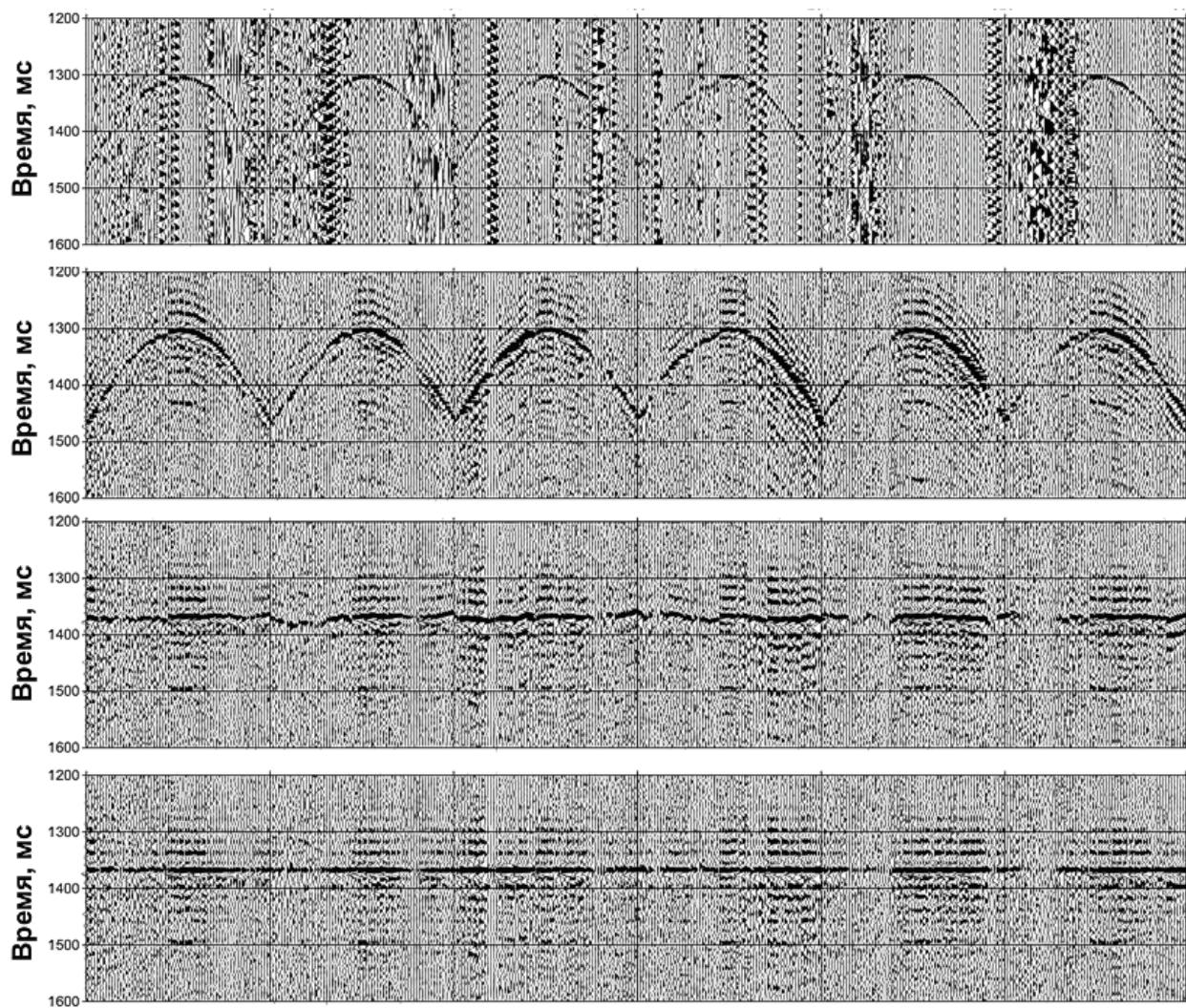
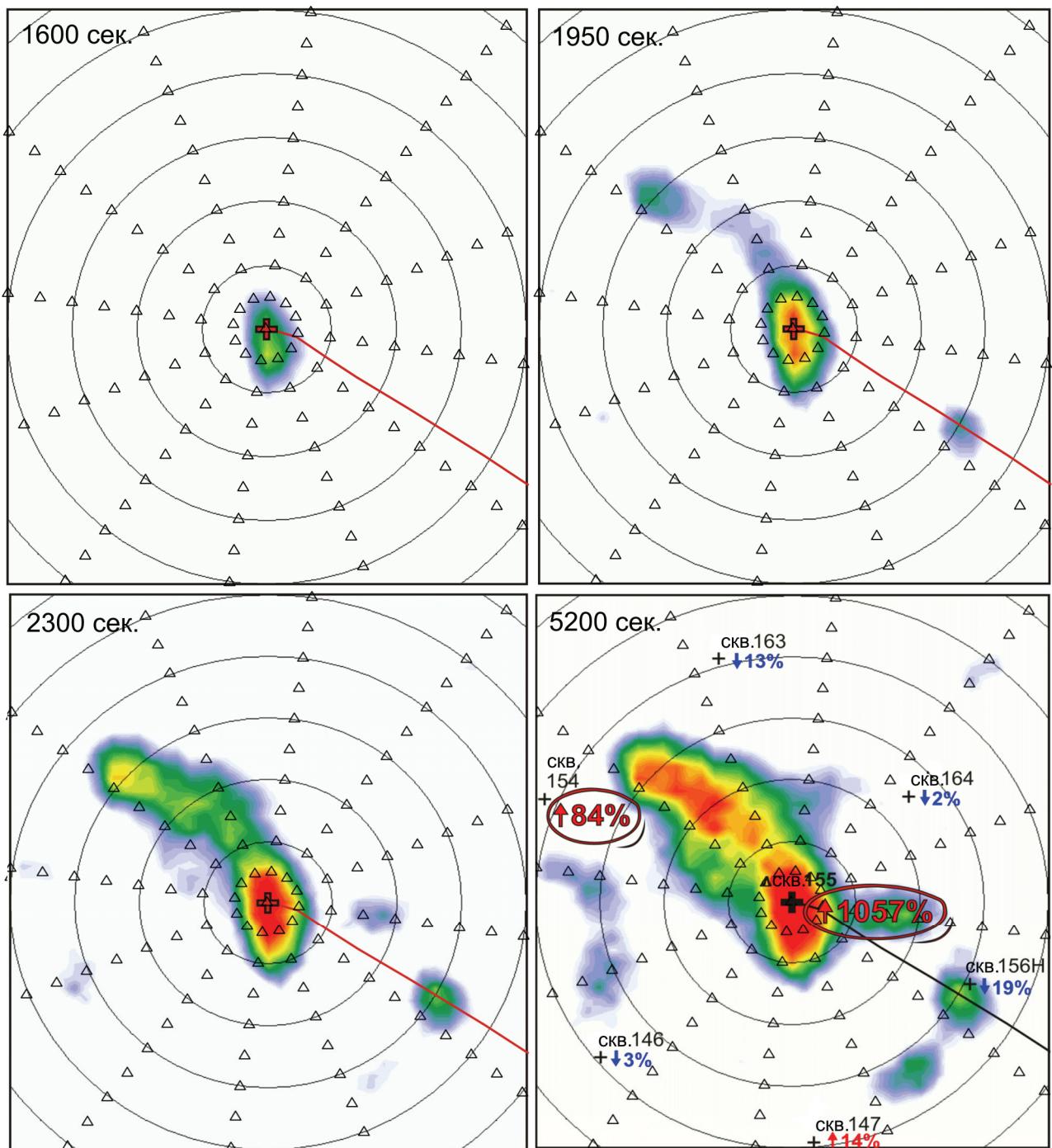
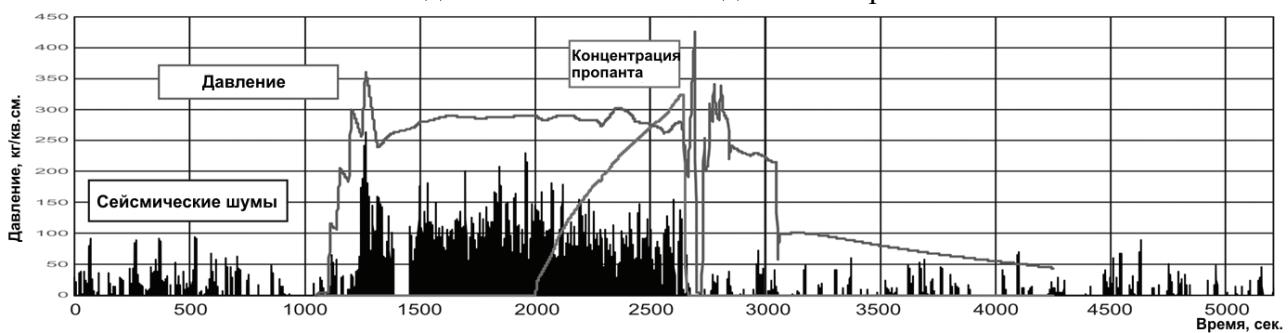


Рис.4 Вид сейсмограмм от перфорации. Сверху вниз: исходные, после фильтрации, после ввода кинематики, после ввода статики



а) Изображения зон гидроразрыва в разные интервалы времени, полученные в 2004 году на одной из скважин Западной Сибири.



б) Технологические графики проведения гидроразрыва и сейсмической активности в пласте.

Рис. 5 Результаты обработки данных, полученных по усовершенствованной технологии

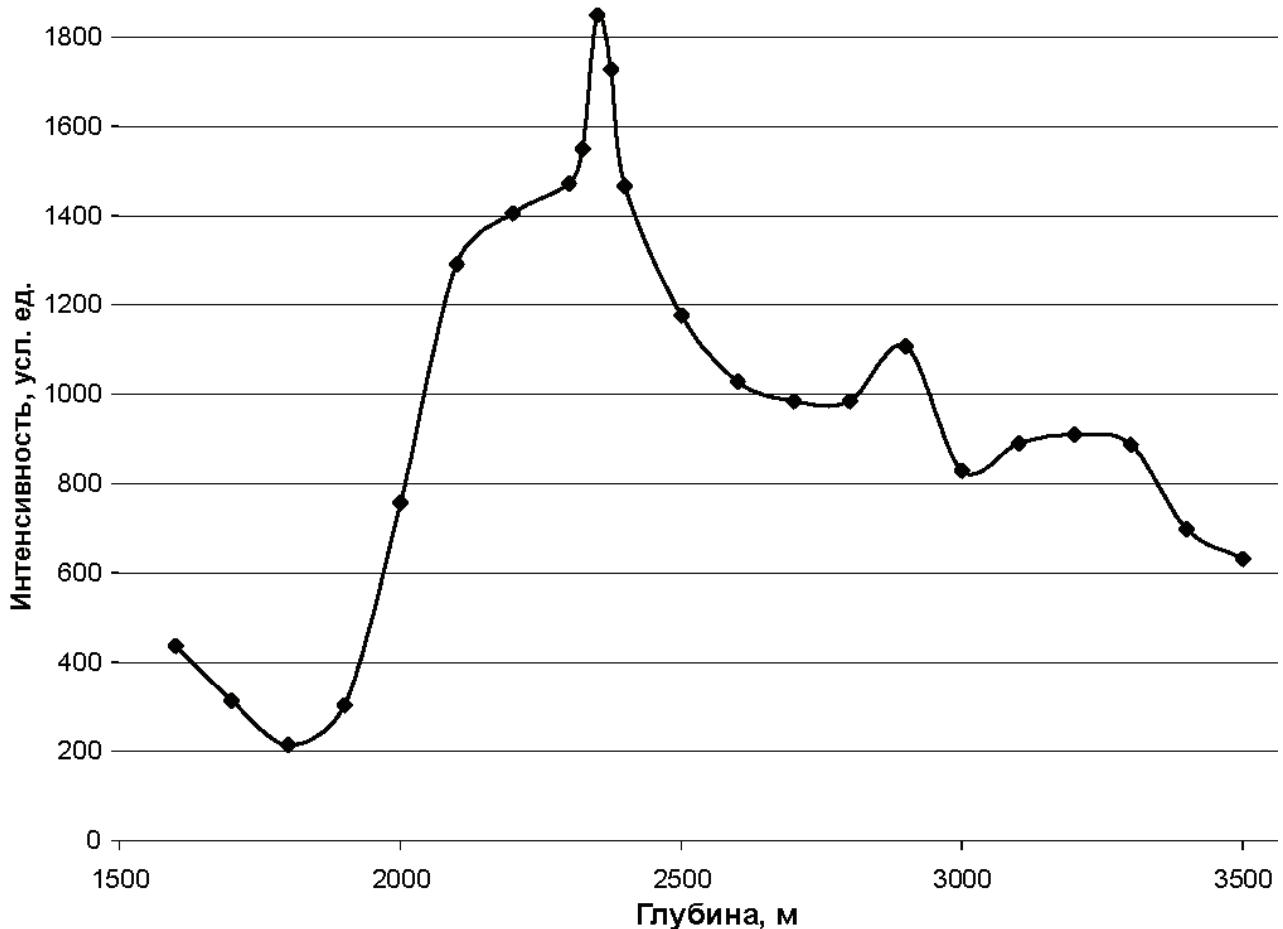
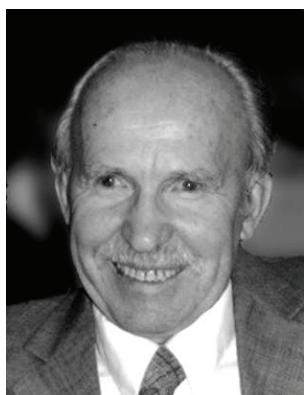


Рис.6 Суммарная интенсивность шумов на разной глубине

Об авторах



Владимир Алексеевич Кочнев — в.н.с. Института вычислительного моделирования СО РАН, доктор технических наук. В 1958 г. закончил геофизический факультет Свердловского горного института им. В.В. Вахрушева. Участвовал в открытии 7 месторождений в Западной Сибири (Томская и Тюменская обл.) Область научной деятельности: разработка и исследование новых методов решения прямых и обратных задач геофизики: сейсморазведки, гравиметрии, магнитометрии и электроразведки. Автор более 100 работ, в т.ч. 2х монографий.



Виталий Сергеевич Поляков — В 1993 г. закончил физический факультет Красноярского государственного университета. Область интересов: разработка методов и пакетов программ для обработки и интерпретации сейсмических данных.



Илья Владимирович Гоз — инженер-программист Института вычислительного моделирования СО РАН. В 1993 г. закончил физический факультет Красноярского государственного университета. Область научных интересов: методы решения прямых и обратных задач.



Илья Валерьевич Брыксин — ведущий геофизик ГЭОИ ОАО «Хантыманский геофизик», окончил Уральскую государственную горно-геологическую академию в 1999 г. Специализируется в обработке и интерпретации данных сейсморазведки. Имеет 3 опубликованные работы.



Владимир Георгиевич Савин — главный геолог ОАО «Хантыманский геофизик», окончил Тюменский индустриальный институт в 1971 г.



Борис Кузьмич Зоммер — заместитель генерального директора ОАО «Хантыманский геофизик», окончил Тюменский индустриальный институт в 1974 г.