

# Метод построения дифракционных изображений трещинно-кавернозных зон на основе многомерной спектральной фильтрации и новые возможности изучения свойств геологических сред на основе анализа многомерных сейсмических данных общей точки изображения

Е.В. Анохина\*, Г.Н. Ерохин

НИИ прикладной информатики и математической геофизики, Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта, Калининград, Россия

В статье описаны результаты применения оригинальных методов обработки сейсмических данных: Common Scattering Point Dip (CSPD) и Vector Pair Reverse Time Migration (VPRTM). На конкретных примерах показано, что метод CSPD позволяет эффективно решать широкий круг задач на различных этапах геологоразведочных работ: поиск трещинно-кавернозных коллекторов, выделение залеченных разломов, оконтуривание гранитной интрузии, выявление опасных для бурения зон и геонавигация горизонтального бурения. Метод VPRTM эффективен не только для обнаружения слабых дифракторов, но и является перспективным для одновременного проведения точного анализа в различных процедурах.

**Ключевые слова:** обработка, рассеянные волны, дифракторы, векторные пары, трещиноватость

**Для цитирования:** Анохина Е.В., Ерохин Г.Н. (2018). Метод построения дифракционных изображений трещинно-кавернозных зон на основе многомерной спектральной фильтрации и новые возможности изучения свойств геологических сред на основе анализа многомерных сейсмических данных общей точки изображения. *Георесурсы*, 20(3), Ч.2, с. 228-237. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.228-237>

Трещинные коллектора содержат более половины мировых запасов углеводородов, значительное количество углеводородов находится в низкопористых карбонатных породах. Резервуары в таких породах в основном приурочены к зонам трещиноватости, главным источником которой являются тектонические нарушения. Зачастую именно через разрывные нарушения происходит миграция углеводородов в ловушки и их аккумуляция. Благодаря хорошим фильтрационно-емкостным свойствам (ФЕС), такие зоны обеспечивают высокие дебиты в скважинах. Разломная тектоника определяет структуру, уровень емкостных характеристик и степень насыщения трещинного пространства.

Залежи в резервуарах с трещинным типом коллектора относятся к сложно построенным. Эффективность поиска традиционными методами таких залежей гораздо ниже, чем залежей с традиционными коллекторами порового типа. В России активно развивается направление сейсморазведки, направленное на выделение зон повышенной трещиноватости по рассеянным сейсмическим волнам. Транснациональные сервисные нефтяные компании также активно ведут научно-исследовательские работы по тематике, связанной с использованием рассеянных волн.

Пределы возможностей применяемого нами оригинального метода престоковой обработки многоканальных сейсмических записей МОГТ – Common Scattering Point Dip (CSPD) – определяются высоким качеством разделения полного волнового поля на отраженную и рассеянную

компоненты и качеством обрабатываемых данных. Метод прошел проверку на синтетических и полевых материалах и показал свою эффективность. В рамках верификации метода было обработано свыше 20 тысяч погонных километров сейсмических профилей и более 6 тысяч кв. километров сейсморазведочных данных 3D на 50 месторождениях. Исследуемые площади расположены во многих нефтегазоносных провинциях мира и в различных геологических условиях. Это Западно-Сибирская, Лено-Тунгусская и Волго-Уральская нефтегазоносные провинции, а также отдельные площади и профили в Польше, Казахстане, Китае, на Баренцевоморском, Бразильском и Антарктическом шельфах. Геологические объекты, изученные методом CSPD:

- трещинные коллекторы в глинистых породах баженновской и абалакской свит;
- доюрский комплекс Западной Сибири: трещинно-кавернозные коллектора в магматических породах триаса, карбонатных породах девона, коры выветривания пород фундамента;
- карбонатные кембрийские и венд-рифейские отложения Восточной Сибири;
- девонские рифы Волго-Уральской НГП;
- карбонатные, вулканогенно-карбонатные породы, магматические породы прикаспийской провинции;
- вулканогенно-терригенные породы триаса (Китай, Латинская Америка).

Проиллюстрируем связь индекса рассеяния, получаемого по методу CSPD, с продуктивностью резервуара в горизонтальных скважинах, путем сравнения данных газового каротажа, проведенного при бурении горизонтальных скважин с амплитудами рассеянных волн (дифракторов) в

\* Ответственный автор: Анохина Екатерина Валерьевна  
E-mail: [eanokhina@kantiana.ru](mailto:eanokhina@kantiana.ru)

прискважинной зоне в границах продуктивного горизонта.

Данные газового каротажа используются для выделения в разрезе скважины интервалов, перспективных на нефть и газ, и для оценки характера насыщения пластов. Для интерпретации данных газового каротажа (TG) необходима информация о некоторых технологических параметрах процесса бурения. Поэтому одновременно с газовым каротажем проводят каротаж механический – регистрацию механической скорости проходки (ROP). Одним из параметров, влияющих в том числе на скорость бурения, является трещиноватость. Информацию о ее наличии можно получить из данных интерпретации поля рассеянных волн. Учет этих зон позволит корректировать планируемую траекторию скважины еще до начала бурения, а также избежать осложнений и аварий при бурении (Анохина, Жегалина и др., 2017). Выборка данных представляет собой значения амплитуд рассеянных волн на горизонтальном участке скважин, зарегистрированных непосредственно вдоль ствола и в прискважинной зоне, где значения суммированы в объемах диаметром 25 м, 75 м, 125 м, 175 м (т.н. «трубы»).

По имеющимся данным были построены зависимости средних значений TG/ROP от средних значений дифракторов. Для каждого ряда данных была нанесена линия тренда и величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) данных (Рис. 1). Все значения величин достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) со всех построенных зависимостей были вынесены в таблицы, и по этим данным был построен график зависимости  $R^2$  от диаметра объема усреднения (Рис. 2). По горизонтальной оси отложен диаметр «трубы», по вертикальной оси отложены значения величин  $R^2$ .

Физический смысл заключается в попытке найти «зону питания» горизонтального участка ствола скважин. Как видно на графике (Рис. 2), значения  $R^2$  вначале плавно нарастают при увеличении диаметра «трубы», из которой получены данные средних значений дифракторов, достигают максимума для «труб» диаметром 75-125 метров, и начинают снижаться.

То есть основные аномальные значения рассеянных волн, появление которых мы связываем с наличием трещинного коллектора, находятся в этой зоне. Исходя из этого, можно предположить, что основное количество продукта скважина берет из зоны диаметром 150 метров. Но при бурении горизонтальных стволов на показания газового каротажа и механическую скорость проходки влияют не только физические свойства пород (в первую

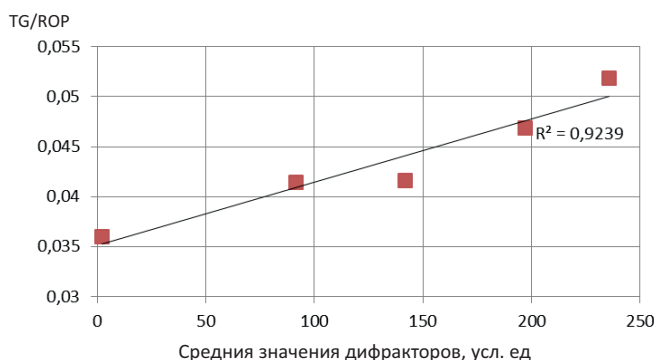


Рис. 1. Зависимость средних значений TG/ROP, от средних значений дифракторов в диаметре 125 метров от ствола скважины

очередь пористость и трещиноватость) и их литология, но также технология проводки скважины. Попытка связать изменение TG и ROP только с технологическими или только с геологическим причинам может привести к ошибочной интерпретации результатов механического каротажа.

Привлечение дополнительной информации в виде результатов интерпретации поля рассеянных волн, выделяющих зоны трещиноватости, позволяет уменьшить неопределенность, связанную с геологическим фактором. Эти данные имеют чрезвычайно важное значение при проектировании скважины, выборе ее конструкции, позволяют производить бурение в оптимальном технологическом режиме, избегать аварийных ситуаций (Erokhin et al., 2016).

#### Задачи, решаемые с помощью CSPD:

- поиск трещинно-кавернозных коллекторов;
- оконтуривание гранитной интрузии;
- выделение залеченных разломов и разломов с открытой трещиноватостью;
- выявление опасных для бурения зон;
- геонавигация горизонтального бурения.

Приведем несколько примеров поиска трещинно-кавернозных коллекторов. Прогноз зон распространения коллекторов трещинного и кавернозного типа по рассеянным волнам основан на следующих принципах:

- Формирование рассеянных сейсмических волн с высокими значениями амплитуд происходит в зонах, где сосредоточено значительное количество открытых трещин и каверн, заполненных флюидом. Чем меньше в объеме пород открытых трещин и каверн, тем ниже значения амплитуд поля рассеянных волн.
- Насыщение трещин практически не влияет на значения амплитуд рассеянных волн, поэтому нет возможности выявлять тип флюида, заполняющего трещины.
- Коллекторы порового типа имеют низкие, близкие к фоновым, значения амплитуд рассеянных волн. Поэтому при наличии в изучаемом продуктивном интервале (пласте) коллекторов порового и трещинного типа, на разрезах и картах рассеянных волн выявляются только зоны повышенной трещиноватости, а не пористости.

На первоначальном этапе интерпретации, исходя из материалов бурения скважин, определяются интервалы, в которых осложнения связаны с зонами трещиноватости. Далее устанавливается соответствие между наличием в скважине зон трещиноватости и проявлением на картах и разрезах куба рассеянных волн амплитудных аномалий. Затем подобные места изучаются в других местах

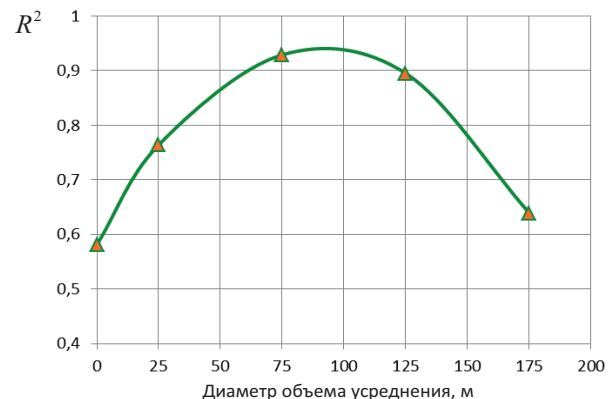


Рис. 2. Графики зависимости средних значений TG/ROP от диаметра объема усреднения

площади, и выдается прогноз распространения зон, интерпретируемых как зоны наличия трещиноватости.

На рисунке 3 приведены разрезы отраженных (слева) и рассеянных (справа) волн, полученные в результате специализированной обработки данных на одном из месторождений Западной Сибири. По разрезу отраженных волн нельзя сделать каких-либо выводов о наличии зон трещиноватости. Привлекая рассеянную компоненту волнового поля, можно однозначно указать места, которые за счет вскрытия трещинного коллектора обеспечат высокие дебиты в скважинах. На этом и последующих рисунках синий цвет соответствует низким значениям амплитуд рассеянных волн и отсутствию трещиноватости и кавернозности, а красный и желтый – высоким, соответствующим зонам трещиноватости и кавернозности.

Подтверждение прогноза по методу CSPD бурением проиллюстрируем на примере нефтяного месторождения в Республике Казахстан. Основной нефтеносный объект – среднетриасовые отложения, в которых выделяют две пачки: вулканогенно-доломитовая и вулканогенно-известняковая, к ним приурочены продуктивные горизонты Т2б и Т2а, соответственно. Коллекторы в обеих пачках сложностроенные трещинно-кавернозные и порово-кавернозные, распространены по площади мозаично и не подчиняются структурному фактору (Киричек и др., 2013).

Для прогноза зон развития трещинно-кавернозных коллекторов в триасовых отложениях были построены и проанализированы карты суммарных значений амплитуд рассеянных волн во временных интервалах, соответствующих продуктивным горизонтам (Рис. 4).

После проведения работ на месторождении была пробурена скважина 15, вскрывшая выделенный резервуар с трещинным коллектором в продуктивных горизонтах, приток нефти составил 124 м<sup>3</sup>/сут (Рис. 5).

Подтверждение выполненного прогноза, основой которого являются рассеянные волны, полученные по

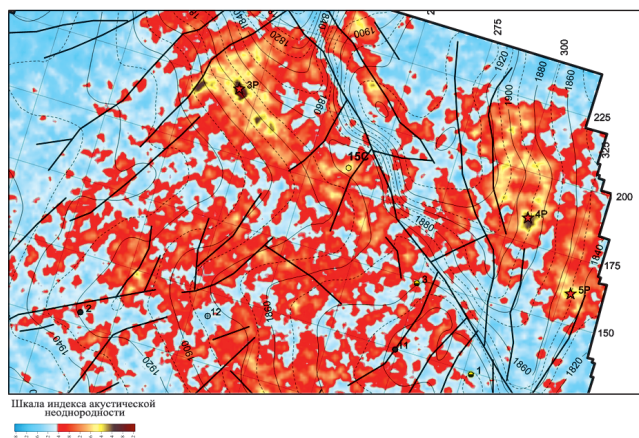


Рис. 4. Карта суммарных амплитуд рассеянных волн горизонта Т2б

технологии CSPD, позволяет рекомендовать данную технологию для картирования нетрадиционных сложно-построенных коллекторов трещинного типа.

### Оконтуривание гранитной интрузии

Объектом исследования было выбрано месторождение Оймаша, расположенное на территории Республики Казахстан. Основная нефтеносность месторождения связана с отложениями среднего триаса и с гранитной интрузией.

Нефтенасыщенной в гранитной интрузии является приподнятая часть тела гранитного массива, непосредственно выходящая на дневную поверхность, где получили основное развитие выветрелые граниты, находящиеся на различной глубине от поверхности гранитного массива, что подтверждено результатами опробования и испытания скважин. Коллекторы характеризуются высокой неоднородностью и резкой изменчивостью по площади и разрезу, поэтому пластовый резервуар имеет сложные контуры.

Данное месторождение было определено в качестве

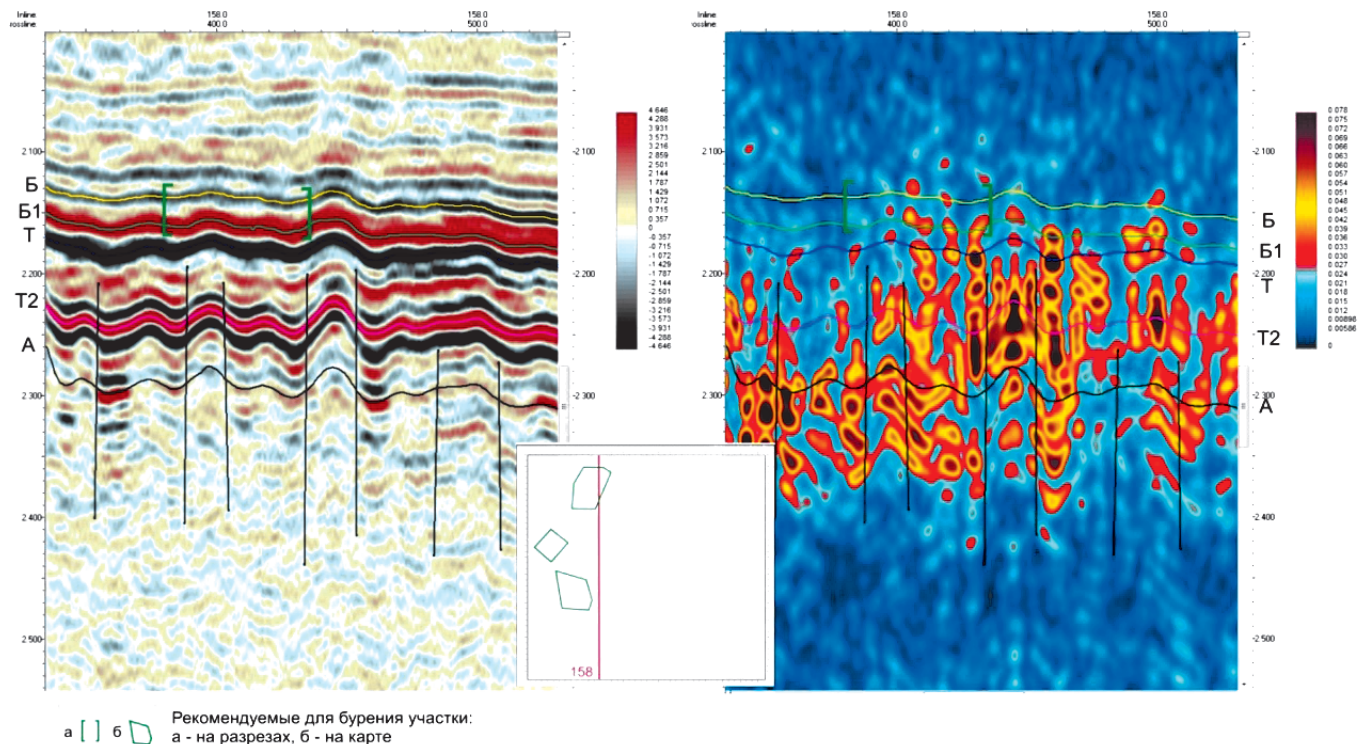


Рис. 3. Разрезы отраженных и рассеянных волн, полученные в результате специализированной обработки данных

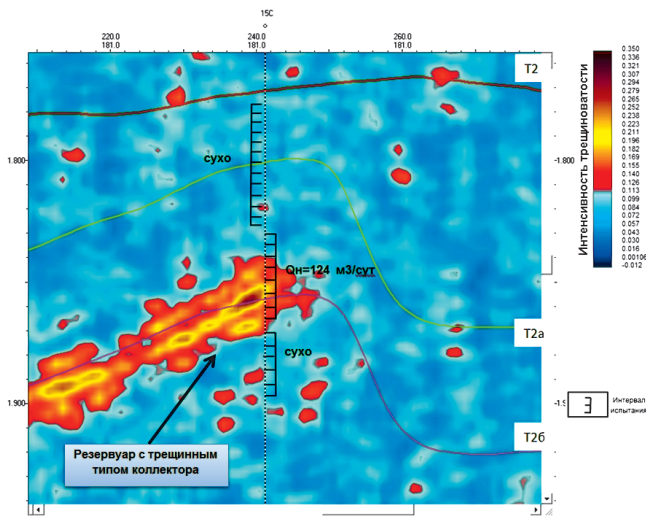


Рис. 5. Фрагмент временного разреза рассеянных волн через скважину №15

полигона для комплексного изучения недр геологически и геофизическими методами. Были проведены детальные сейсморазведочные, высокоточные гравиметрические и магнитометрические работы, но несмотря на такой большой объем проведенных работ, данных о строении резервуара в гранитной интрузии получено не было. Был выделен только перспективный блок в северо-восточной части гранитной интрузии. В связи с этим было принято решение применить метод CSPD, базирующийся на работе с рассеянными волнами.

Благодаря методу удалось не только закартировать кровлю гранитной интрузии, не видимую в отраженных волнах (Рис. 6), но и по результатам интерпретации

выделить зоны разной перспективности в интервале залегания резервуара гранитной интрузии с трещинно-кавернозным типом коллектора, вмещающего залежь нефти.

Анализируя изменение интенсивности поля рассеянных волн по разрезу (Рис. 7) в интервале залегания гранитной интрузии необходимо отметить, что интенсивность поля резко падает с глубиной, что может свидетельствовать об ухудшении коллекторских свойств. Все данные бурения, результаты испытания скважин и исследования керна свидетельствуют о том, что интервал пород, обладающих удовлетворительными коллекторскими свойствами, составляет не более 100-150 метров (Анохина и др., 2014).

### Выделение залеченных разломов и разломов с открытой трещиноватостью

Разломы – основные источники трещиноватости, поэтому принципиально важно составить максимально полную картину разломной тектоники изучаемого месторождения. Получить ее можно путем совместной интерпретации куба рефлекторов, куба дифракторов и кубов мгновенных динамических и геометрических атрибутов. Глубинные разломы и зоны растяжения формируют проводящие каналы – пути миграции и поступления углеводородов в ранее сформированные ловушки (Анохина, Демидова и др., 2017). Проявление разломов в поле рассеянных волн связано с приуроченными к таким областям зонами трещиноватости. Разделение разломов на проводящие и залеченные является важной задачей, решить которую по данным отраженных волн, без привлечения рассеянной компоненты, довольно сложно.

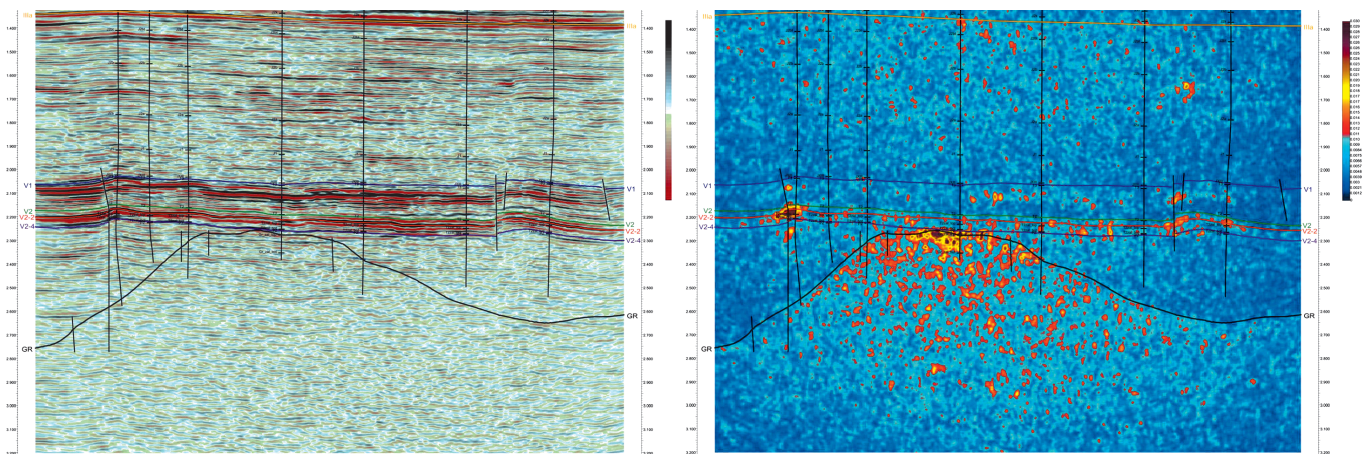


Рис. 6. Разрезы отраженных и рассеянных волн, полученные в результате специализированной обработки данных

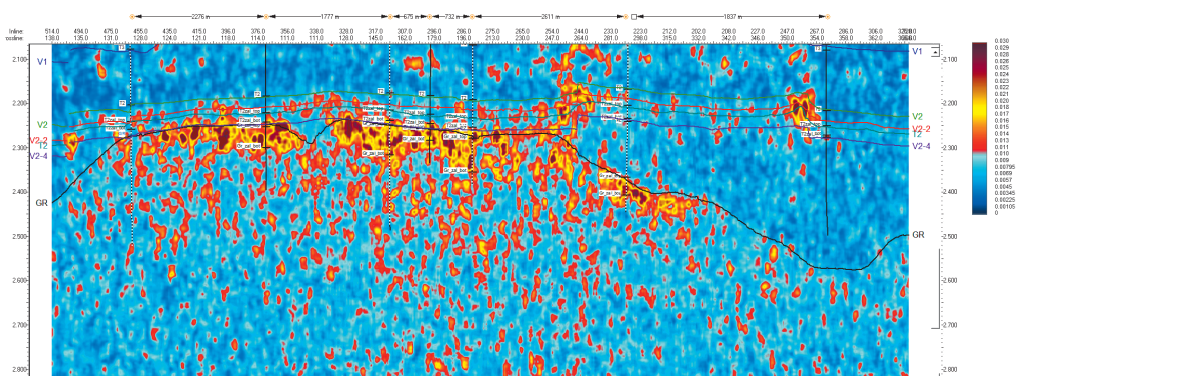


Рис. 7. Временной разрез рассеянных волн через скважины. Выделение залеченных разломов и разломов с открытой трещиноватостью

На месторождении Yuxi, расположенном на северо-востоке Китая, была проведена специализированная обработка данных сейсморазведки. По результатам работ появилась возможность разделить закартированные разломы на проницаемые и залеченные (Рис. 8). По разрезу отраженных волн (Рис. 8, слева) невозможно понять, какие из разломов будут проводящими. И лишь привлекая рассеянную компоненту (Рис. 8, справа) можно увидеть, что разломы в западной части месторождения залечены (Рис. 9), и не стоит ожидать там хороших дебетов в скважинах.

Так как разломы являются основными источниками трещиноватости, то принципиально важно составить максимально полную картину разломной тектоники изучаемого месторождения, получить которую можно путем совместной интерпретации куба рефлекторов и куба дифракторов. Помимо этого, такая интерпретация позволяет разделять разломы на флюидопроницаемые и флюидонепроницаемые, а также появляется возможность картирования проницаемых разломов без вертикальных смещений, выделение которых на разрезах отраженных волн вызывает большие сомнения.

**Выявление опасных для бурения зон**

Приведем пример подобных работ, выполненных на месторождении в восточной части Ангаро-Ленской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской нефтегазоносной

провинции. К основным перспективным нефтегазоносным объектам в этом районе относятся песчаные горизонты под-солевого терригенного комплекса, опыт разведки которых в исследуемом районе показывает, что бурение поисковых и разведочных скважин в мощных солевых толщах над залежами нефти и газа нередко осложняется и даже становится невозможным из-за наличия рапопроявлений.

На площади исследований пробурены 5 глубоких скважин. Бурение скважин А и В остановлено в верхах усольской свиты нижнекембрийских отложений. Скважины законсервированы в связи с аварией, связанной с притоком соленосного раствора (рапы) в интервале христоворского и балыхтинского горизонтов. Осложнения при бурении возникали и в вышележащих интервалах геологического разреза (бильчирский горизонт) в скважинах D и А. Скважины D, F и G вскрыли продуктивный интервал вендских отложений на глубине более 2000 м.

В процессе интерпретации по всей площади были прокоррелированы и увязаны основные отражающие горизонты, привязка которых осуществлена по данным ВСП и ГИС скважин, расположенных на площади исследований и в непосредственной близости к ней (Рис. 10).

Прогноз по рассеянным волнам распространения зон, которые могут представлять опасность при проходке из-за наличия трещиноватости и появления различных осложнений, связанных с наличием зон аномально-высоких

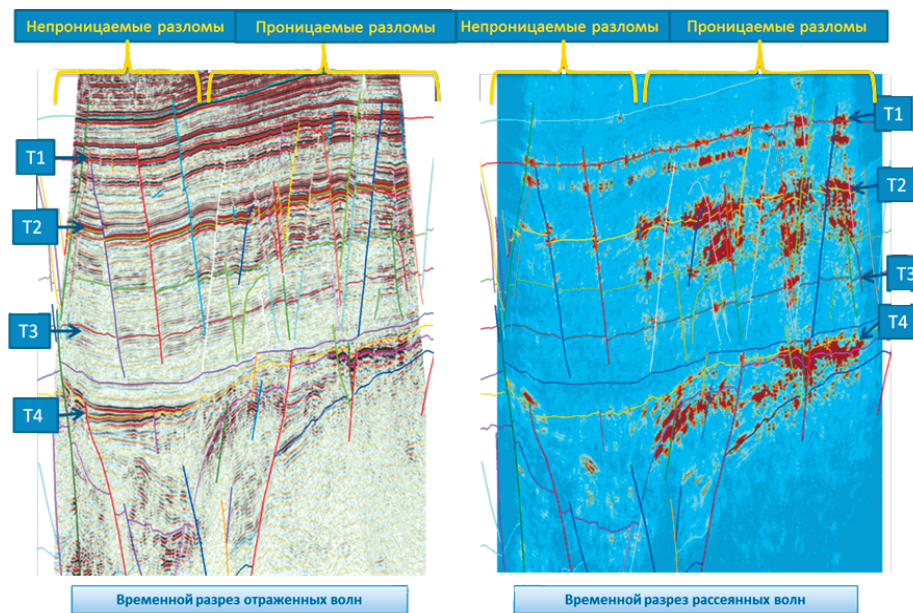


Рис. 8. Разрезы отраженных и рассеянных волн, полученные в результате специализированной обработки данных

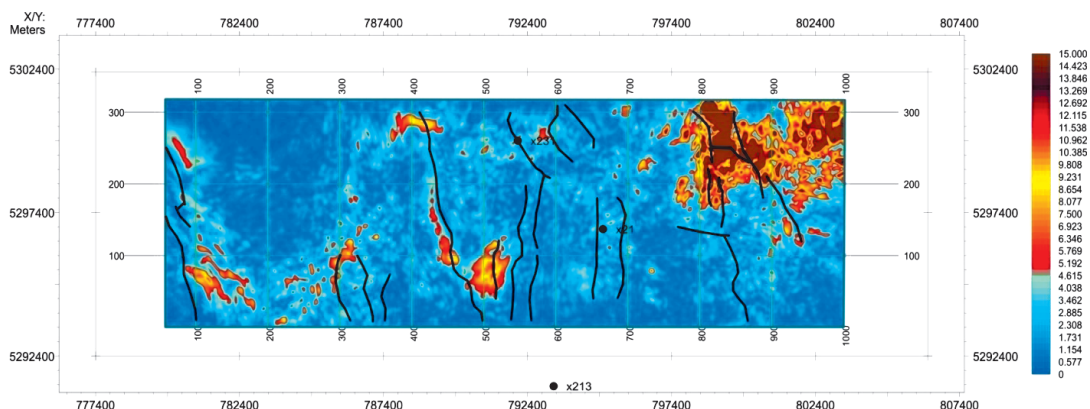


Рис. 9. Карта суммарных амплитуд рассеянных волн горизонта T3

пластовых давлений (АВПД), основан на тех же принципах, что и прогноз зон распространения коллекторов трещинного и кавернозного типа.

В качестве примера приведем результирующую карту суммарных амплитуд рассеянных волн в интервале бильчирского горизонта, перекрывающего продуктивный интервал (Рис. 11). На карту вынесены скважины, в которых были отмечены рапо- или газопроявления, обусловленные АВПД. Выделенные на карте аномалии амплитуд рассеянных волн можно отождествить с зонами распространения трещинно-кавернозного коллектора в доломитах. Заполнение коллектора может быть различным – это может быть пластовая вода с высокой минерализацией (рапа) или углеводороды. Например, в скважине А в бильчирском горизонте отмечено газопроявление. Выделенные зоны, вероятно, характеризуются АВПД.

В районе скважины G аномалия поля рассеянных волн существенно меньше, и в самой скважине при проходке этого интервала не возникло никаких трудностей.

Таким образом, сейсмические исследования на рассеянных волнах позволили выделить на площади исследований достаточно обширные зоны трещиноватости, связанные с областями АВПД, а также с зонами дробления вдоль разломов, представляющие интерес при проектировании

и выборе технологии бурения глубоких скважин.

По итогам выполненной интерпретации составлена результирующая карта зон трещиноватости в нижнекембрийских отложениях (Рис. 12). Применение специализированной обработки, разделяющей полное волновое поле на отраженную и рассеянную компоненты, позволяет выявить зоны трещиноватости, в частности в межселевых пластах доломитов нижнекембрийского возраста, заполненных пластовыми водами высокой минерализации.

Особая ценность использования рассеянной компоненты волнового поля заключается в прогнозировании АВПД до начала бурения. Эти данные имеют чрезвычайно важное значение при проектировании скважины, выборе ее конструкции, позволяют производить бурение в оптимальном технологическом режиме, избегать аварийных ситуаций (Анохина и др., 2016).

### Геонавигация горизонтального бурения

В последнее время все чаще встает вопрос о необходимости разработки месторождений с трещинным типом коллектора, приуроченным к карбонатным отложениям, с последующим бурением горизонтальных скважин. Поэтому корректное выделение зон трещиноватости является очень важной задачей, так как именно эти зоны

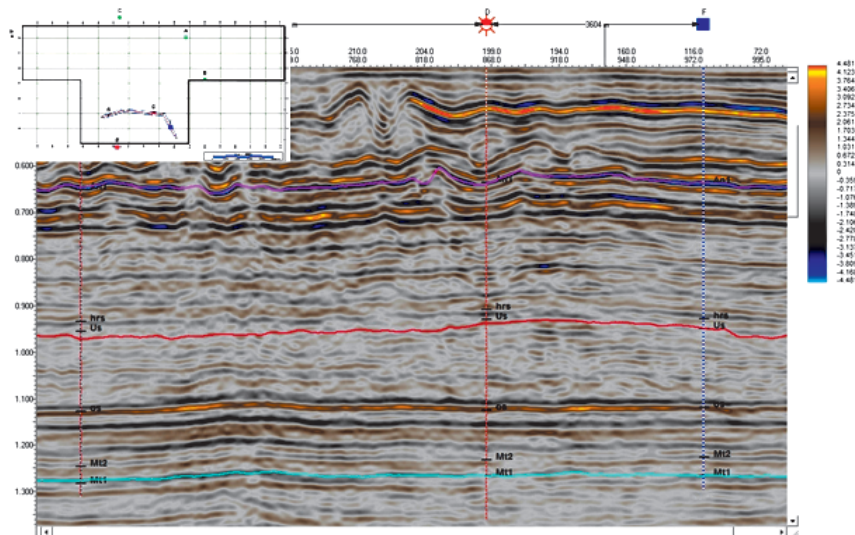


Рис. 10. Вертикальный срез куба отраженных волн по линии, проходящей через скважины D, G и F

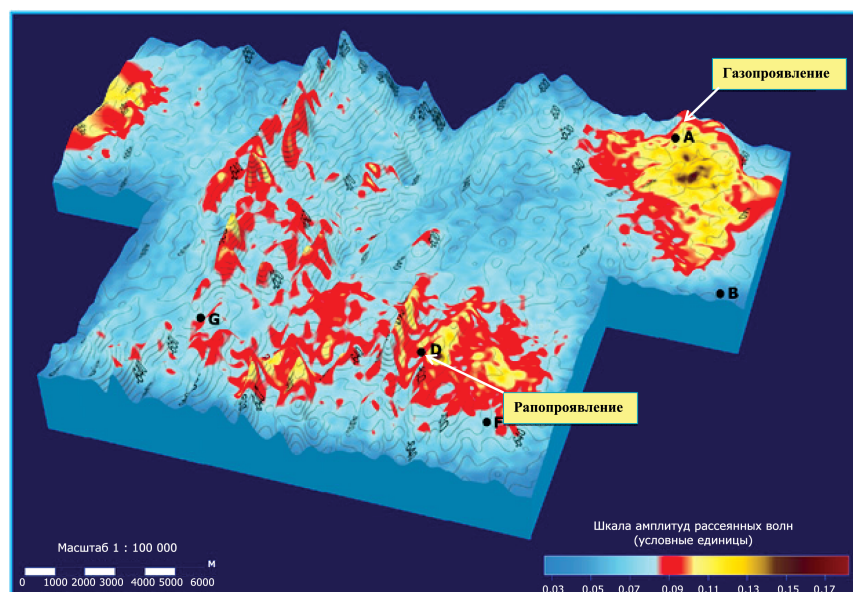


Рис. 11. Карта суммарных амплитуд рассеянных волн интервала бильчирского горизонта

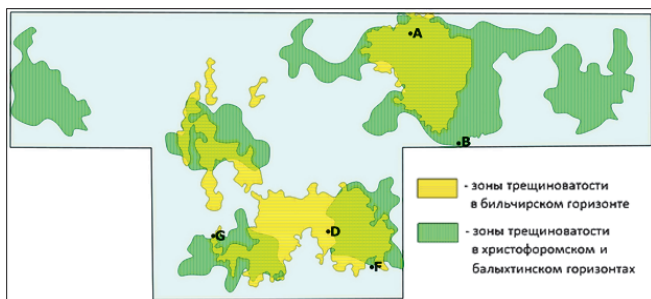


Рис. 12. Прогнозная карта зон трещиноватости в нижнекембрийских отложениях

приурочены к тектоническим нарушениям, обеспечивающим хорошие ФЕС, и, как следствие, высокие дебиты. Для выделения таких зон, помимо определения кинематических и динамических характеристик отраженных волн необходимо привлекать совершенно новые технологии и методы прогноза, например такие, как:

- рассеянные волны, позволяющие выделять интервалы повышенной трещиноватости и кавернозности продуктивных пластов, зоны деструкции и другие объекты (метод CSPD);
- результаты микросейсмического мониторинга, позволяющие выявлять особенности строения коллектора, вмещающего залежи углеводородов (метод MSPRM).

Оба метода решают задачи картирования зон открытой трещиноватости.

Приведем пример месторождения с регионально нефтегазоносным верхнеюрским подкомплексом (баженовско-верхнеабалакским). Коллекторы пластов Ю1 (верхнеабалакская подсвита) и Ю0 (баженовская-нижнетутлеймская подсвита) имеют весьма сложный характер развития, обусловленный как микрослоистостью и листоватостью пород, так и тектонически напряженными зонами (зоны дизъюнктивных нарушений, деструкций, растяжения и сжатия) и гидротермальными процессами (выщелачивание и растворение). Тип коллекторов – порово-кавернозно-трещинный.

На площади была проведена съемка 3D, обработанная по методу CSPD, затем выполнен МГРП с микросейсмическим мониторингом. Это позволило провести комплексную интерпретацию уже имевшихся кубов рассеянных волн и новых данных по микросейсмике.

В горизонтальной скважине был выполнен

многостадийный ГРП, во время которого велся микросейсмический мониторинг. По данным испытаний в скважине, из трех последних портов получен приток нефти. На разрезе рассеянных волн они попадают в зону повышенных значений, указывающих на наличие трещиноватости. Основные микросейсмические события, зарегистрированные при проведении ГРП, также локализованы в районе этих портов (Рис. 13).

Специализированная обработка данных сейсморазведки по технологии CSPD позволяет выявлять зоны естественной открытой трещиноватости и зоны не “залеченных” разломов. Микросейсмическая эмиссия возникает в зонах “живущих” в настоящее время разломов и в зонах открытой естественной трещиноватости. Такие зоны фиксируются при проведении пассивного микросейсмического мониторинга по методу MSPRM. Совместная интерпретация результатов комплексирования этих методов позволяет однозначно прогнозировать местоположение зон открытой трещиноватости и дренирования в пространстве, т.к. аномалии поля рассеянных волн с высокими значениями амплитуд и облако микросейсмических событий имеют одну природу. Контроль результатов воздействия на пласт в процессе ГРП позволяет получать данные о направлениях развития областей трещиноватости кислотного разрыва в районе разработки продуктивного пласта и на их основе совершенствовать систему разработки месторождения, а также повысить точность прогноза зон распространения коллекторов, приуроченных к зонам трещиноватости, и эффективность поискового бурения (Anokhina et al., 2016).

Помимо технологий CSPD и MSPRM в НИИ прикладной информатики и математической геофизики Балтийского Федерального Университета им. И. Канта создан и развивается новый подход визуализации среды, основанный на использовании взаимозависимого условия визуализации парных изображений (IVP IC). Метод, основанный на таком подходе, называется миграцией в обратном времени с векторными парами (VPRM).

Состояние обработки изображений является ключевым моментом для метода RTM. Традиционные RTM-изображения имеют оригинальные артефакты, потому что метод основан на волновом уравнении. Для преодоления таких помех регуляризация изображения выполняется на основе фильтрации сейсмических данных в расширенном

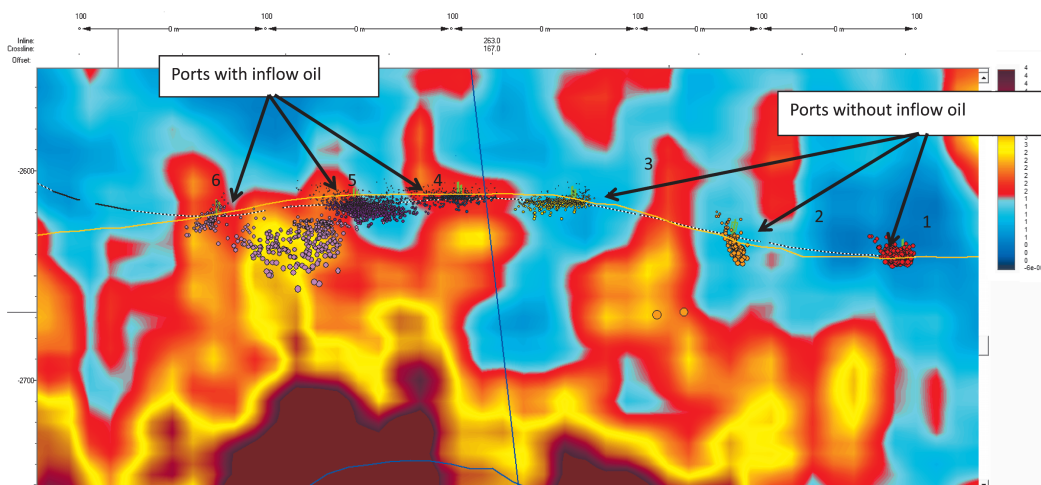


Рис. 13. Фрагмент временного разреза куба рассеянных волн с проекцией облака микросейсмических событий

пространстве параметров общей точки изображения (Vector Dimension Common Image Gatherers).

В настоящей работе представлены результаты развития метода VPRTM, в частности, на примере обнаружения сверхслабых дифракторов на фоне сильных отражений для месторождения нефти Западной Сибири. Отражение или рассеяние акустической волны на препятствии в любой момент времени можно рассматривать как взаимодействие двух взаимосвязанных векторов: вектора скорости частиц падающей волны и вектора генерации отраженной или рассеянной волны. Нами предложен точный статистический анализ амплитуд и фаз взаимосвязанных векторов для всех временных выборок и источников, а также разработаны условия изображения взаимосвязанных векторных пар, которые позволяют по новому взглянуть на визуализацию акустических сред (Erokhin et al., 2017). На рисунке 14

приведен пример разреза отраженных волн, с выделенным объектом «улыбка».

Решения прямой и сопряженной задач основаны на уравнениях первого порядка. Это позволяет работать в каждой точке пространства в зоне первых вступлений с парами взаимосвязанных векторов зависящих от времени и источников. Фильтрация взаимосвязанных векторных пар в амплитудной и фазовой областях определяет допустимый набор пар. Применение этого набора векторных пар позволяет генерировать изображения среды, которые являются более информативными, чем обычные изображения RTM (Рис. 15).

Хорошо видно, что на временном разрезе отраженных волн MULTI BackRTM существенно улучшается прослеживание отражающих горизонтов, несмотря на потерю высоких частот в разрезе. В случае с рассеянными волнами можно выделить зоны разуплотнений – soft diffractor, и уплотнений – hard diffractor (Рис. 16).

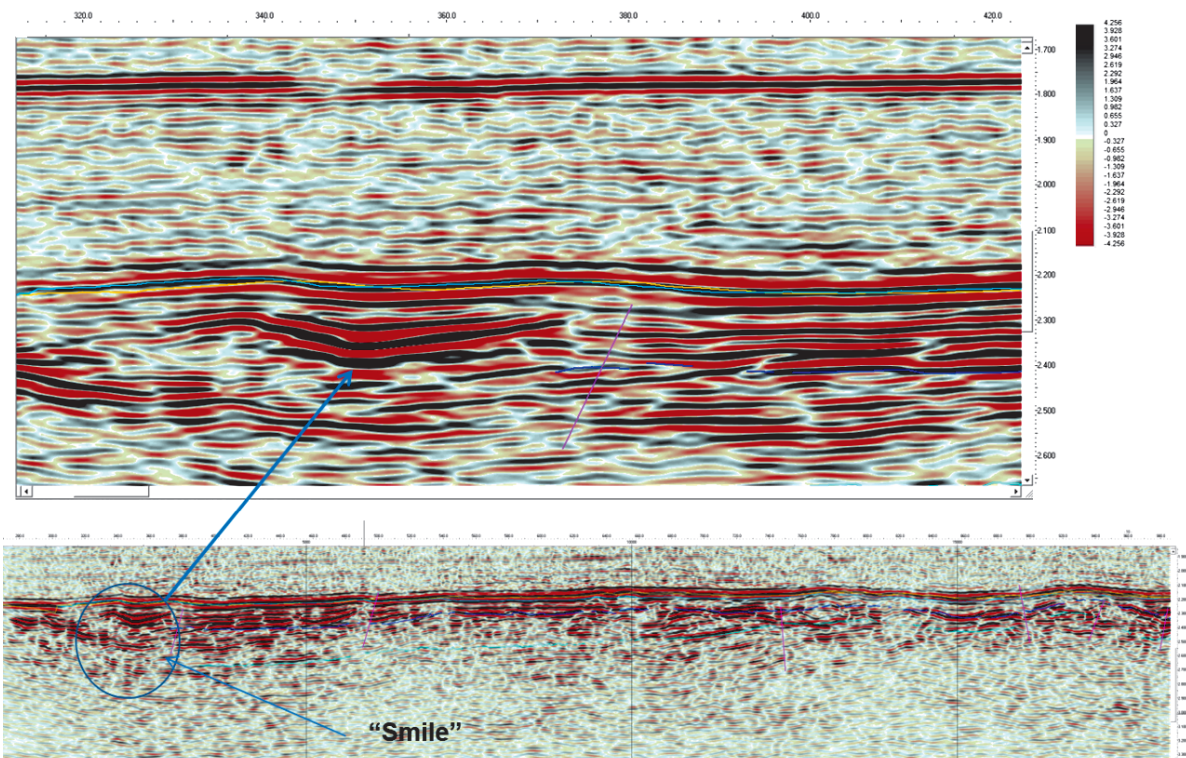


Рис. 14. Вертикальный срез куба отраженных волн с выделенным объектом «улыбка»

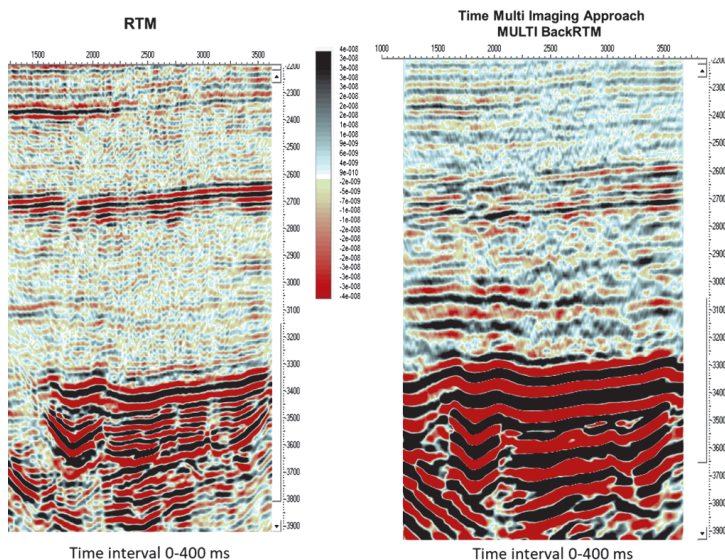


Рис. 15. Пример временных разрезов RTM и MULTI BackRTM

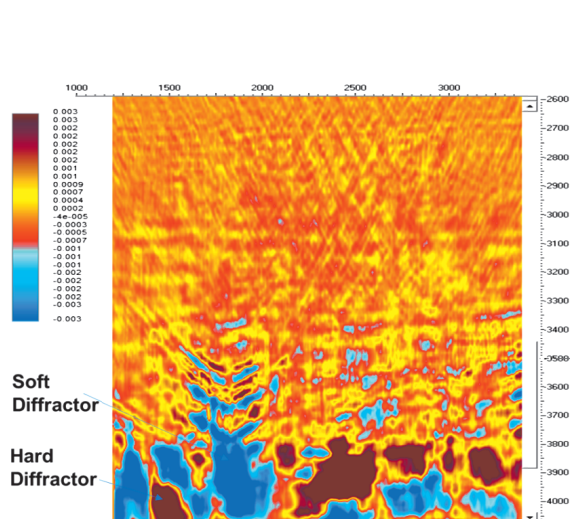


Рис. 16. Временной разрез DIFFRACTOR BackRTM



Метод VPRM с фазовой фильтрацией демонстрирует высокую чувствительность к колебаниям скорости. Метод перспективен для проведения анализа в процедурах AVO, Dip, Frequency, Impedance, Reflectivity и Diffractivity.

На рисунках 17-19 приведены примеры разрезов VPRM: атрибуты Impedance, DIP и Fluid Factor.

Результат обработки по методу VPRM для одного из месторождений Западной Сибири представлен на рисунке 20. Нефтеносность месторождения связана с отложениями Баженовской свиты (зеленая линия) и фундамента (красная линия). Видно, что наиболее сильные зоны рассеяния расположены в верхней части фундамента. Бурение нефтяных скважин в этих зонах дало дебиты нефти почти на порядок больше, чем в баженовской свите.

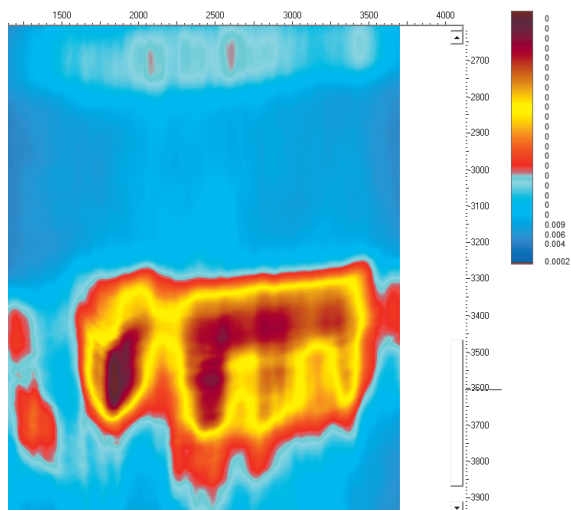


Рис. 17. VPRM: Impedance

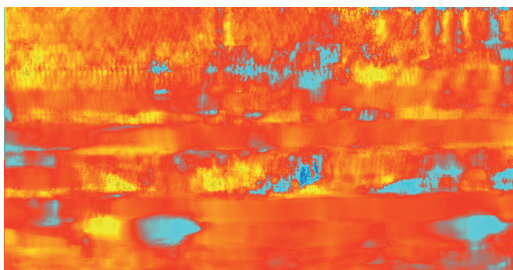


Рис. 18. VPRM: DIP +/- 25 градусов

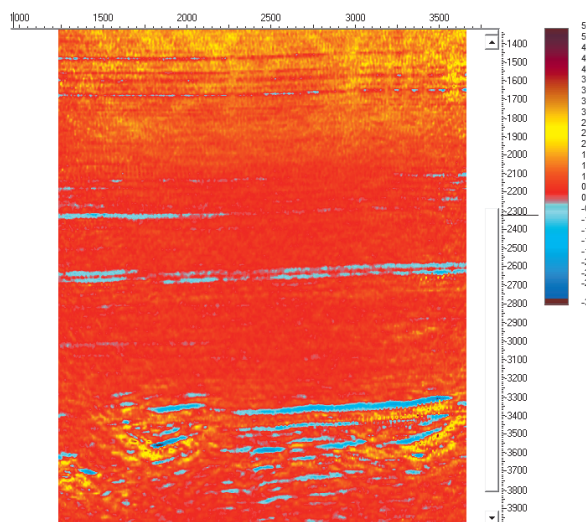


Рис. 19. VPRM AVO: Fluid Factor

### Выводы

1. Разработан единый математический подход к решению задач активной и пассивной сейсморазведки. Подход основан на теории обратных задач геофизики.
2. Разработан метод многоспектральной сейсмической волновой фильтрации CSPD для обнаружения рассеянной сейсмической компоненты. Метод верифицирован на модельных и реальных данных. Метод показал высокую точность для сверхслабых рассеивателей.
3. Предложен и реализован новый метод миграции в обратном времени с векторными парами (VPRM). Метод эффективен не только для построения дифракционных изображений, но и для AVO, скоростной томографии, импеданса, углов и др.

### Литература

Анохина Е.В., Демидова Е.В., Ерохин Г.Н., Кремлев А.Н., Жегалина Л.Ф. (2017). Комплексная интерпретация отраженных и рассеянных волн в условиях сложного геологического разреза древней платформы. *EAGE V научно-практ. конф. «Тюмень-2017: Геонаука – ключ к рациональному освоению недр»*, Тюмень. DOI: 10.3997/2214-4609.201700097

Анохина Е.В., Жегалина Л.Ф., Ерохин Г.Н., Назарова М.Н. (2017). Трещиноватость как один из факторов, влияющих на эффективность горизонтального бурения. *EAGE II научно-практ. конф. «Горизонтальные скважины 2017. Проблемы и перспективы»*, Казань. DOI: 10.3997/2214-4609.201700463

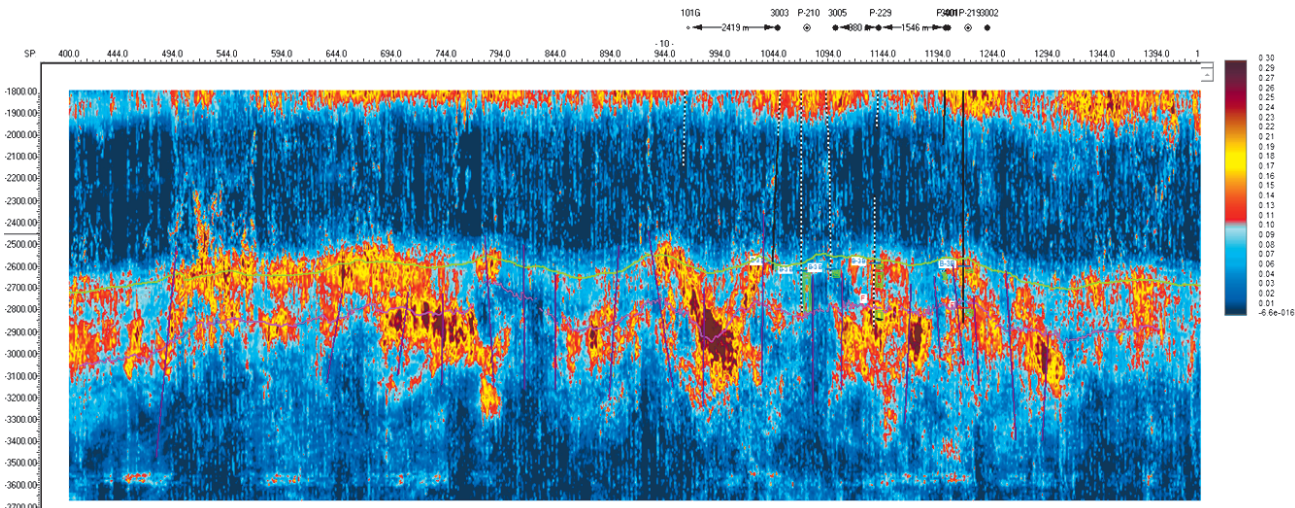


Рис. 20. DIFFRACTOR AFTER VPRM

Анохина Е.В., Стариков Л.Е., Киричек А.В., Назарова М.Н., Жегалина Л.Ф., Сисембаев К.Д., Досмухамбетов М.Д., Исмаилов К. (2014). Использование результатов интерпретации рассеянных волн по методу CSP при оценке ресурсов месторождения УВ с коллекторами трещинного типа. *Вестник БФУ*, 10, с. 134-140.

Киричек А.В., Стариков Л.Е., Назарова М.Н., Сисембаев К.Д., Досмухамбетов М.Д., Исмаилов К. (2013). Эффективность применения технологии CSP в Каспийском регионе. *Вестник БФУ*, 10, с. 138-143.

Anokhina, E., Erokhin, G., Kirichek A., Nazarova M. (2016). Using the Scattered Waves for Detecting the Fractured Zones in Cambrian Sediments in the Southern Part of the Siberian Platform. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/182080-MS

Erokhin G.N., Kremlev A.N., Anokhina E.V., Gapeev D.N., Kirichek A.V. (2016). CSP as a Complex Approach to Exploration and Exploitation of Hard-To-Extract Hydrocarbon Deposits. *7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition: Understanding The Harmony of The Earth's Resources Through Integration of Geosciences*, Saint Petersburg. DOI: 10.3997/2214-4609.201600182

Erokhin Gennady, Pestov Leonid, Danilin Aleksandr and Kozlov Maksim, Ponomarenko Dmitrii. (2017). Interconnected vector pairs image conditions: new possibilities for visualization of acoustical media. *SEG International Exposition and 87th Annual Meeting 2017*, pp. 4624-4629. <https://doi.org/10.1190/segam2017-17587902.1>

## Сведения об авторах

*Екатерина Валерьевна Анохина* – зав. лабораторией геологического моделирования Отделения геофизики НИИ прикладной информатики и математической геофизики, Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта

Россия, 236029, Калининград, ул. Пролетарская, 131  
E-mail: EAnokhina@kantiana.ru

*Геннадий Николаевич Ерохин* – доктор физ.-мат. наук, профессор, директор

НИИ прикладной информатики и математической геофизики, Балтийский Федеральный Университет им. И. Канта

Россия, 236029, Калининград, ул. Пролетарская, 131

Статья поступила в редакцию 09.07.2018;

Принята к публикации 31.07.2018;

Опубликована 30.08.2018

IN ENGLISH

# Method for constructing diffraction images of fractured-cavernous zones on the basis of multidimensional spectral filtration and new possibilities for studying the properties of geological media on the basis of multidimensional seismic data analysis of a common image point

*E.V. Anokhina\**, *G.N. Erokhin*

*Research Institute of Applied Informatics and Mathematical Geophysics, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation*

*\*Corresponding author: Ekaterina V. Anokhina, e-mail: EAnokhina@kantiana.ru*

**Abstract.** The article describes the results of applying the original seismic data processing methods: Common Scattering Point Dip (CSPD) and Vector Pair Reverse Time Migration (VPRTM). Specific examples show that the CSPD method allows to effectively solve a wide range of tasks at various stages of geological exploration: search for fractured-cavernous zones, isolation of the cured faults, contouring of granite intrusion, identification of hazardous drilling zones and geonavigation of horizontal drilling. The VPRTM method is effective not only for detecting weak diffractors but also promising for simultaneous accurate analysis in various procedures.

**Keywords:** processing, scattered waves, diffractors, vector pairs, fracturing

**Recommended citation:** Anokhina E.V., Erokhin G.N. (2018). Method for constructing diffraction images of fractured-cavernous zones on the basis of multidimensional spectral filtration and new possibilities for studying the properties of geological media on the basis of multidimensional seismic data analysis of a common image point. *Georesursy = Georesources*, 20(3), Part 2, pp. 228-237. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.228-237>

## References

Anokhina E.V., Demidova E.V., Erokhin G.N., Kremlev A.N., Zhegalina L.F. (2017). Complex interpretation of reflected and scattered waves under conditions of a complex geological section of the ancient platform. V EAGE Conf. "Tyumen-2017: Geoscience is the key to rational development of mineral resources", Tyumen. DOI: 10.3997/2214-4609.201700097 (In Russ.)

Anokhina E.V., Starikov L.E., Kirichek A.V., Nazarova M.N., Zhegalina L.F., Sisebaev K.D., Dosmukhambetov M.D., Ismailov K. (2014). Using the results of the interpretation of scattered waves using the CSP method when assessing hydrocarbon resources with hydrocarbon reservoirs. *Vestnik BFU*, 10, pp. 134-140. (In Russ.)

Anokhina E.V., Zhegalina L.F., Erokhin G.N., Nazarova M.N. (2017). Fracture as one of the factors affecting the efficiency of horizontal drilling. II EAGE Conf. "Horizontal Wells 2017. Problems and Prospects", Kazan. DOI: 10.3997/2214-4609.201700463 (In Russ.)

Anokhina, E., Erokhin, G., Kirichek A., Nazarova M. (2016). Using the Scattered Waves for Detecting the Fractured Zones in Cambrian Sediments in the Southern Part of the Siberian Platform. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/182080-MS

Erokhin G.N., Kremlev A.N., Anokhina E.V., Gapeev D.N., Kirichek A.V. (2016). CSP as a Complex Approach to Exploration and Exploitation of Hard-To-Extract Hydrocarbon Deposits. *7th EAGE Saint Petersburg International Conference and Exhibition: Understanding The Harmony of The Earth's Resources Through Integration of Geosciences*, Saint Petersburg. DOI: 10.3997/2214-4609.201600182

Erokhin Gennady, Pestov Leonid, Danilin Aleksandr and Kozlov Maksim, Ponomarenko Dmitrii. (2017). Interconnected vector pairs image conditions: new possibilities for visualization of acoustical media. *SEG International Exposition and 87th Annual Meeting 2017*, pp. 4624-4629. <https://doi.org/10.1190/segam2017-17587902.1>

Kirichek A.V., Starikov L.E., Nazarova M.N., Sisebaev K.D., Dosmukhambetov M.D., Ismailov K. (2013). Efficiency of CSP technology application in the Caspian region. *Vestnik BFU*, 10, pp. 138-143. (In Russ.)

## About the Authors

*Ekaterina V. Anokhina* – Head of the Laboratory of Geological Modeling

Research Institute of Applied Informatics and Mathematical Geophysics, Immanuel Kant Baltic Federal University  
Proletarsky st., 131, Kaliningrad, 236029, Russian Federation

*Gennady N. Erokhin* – DSc (Physics and Mathematics), Professor, Director

Research Institute of Applied Informatics and Mathematical Geophysics, Immanuel Kant Baltic Federal University  
Proletarsky st., 131, Kaliningrad, 236029, Russian Federation

Manuscript received 09 July 2018;

Accepted 31 July 2018; Published 30 August 2018