

УДК 550.34

Выделение деструктивных зон в карбонатных венд-рифейских отложениях Восточной Сибири

В.А. Поздняков, А.С. Мерзликina
*Сибирский федеральный университет
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹*

Received 5.08.2011, received in revised form 12.08.2011, accepted 19.08.2011

В карбонатных венд-рифейских отложениях Восточной Сибири зоны повышенной трещиноватости представляют особый поисковый интерес как возможные ловушки углеводородов. Применение традиционных методов обработки данных сейсморазведки часто не позволяет решить задачу уверенной идентификации таких геологических объектов. С зонами повышенной трещиноватости часто связаны слабо выраженные энергетические аномалии волнового поля. Эти энергетические аномалии возможно выделять по изменению сейсмоакустических свойств и интерпретировать как локальные геологические объекты. В работе представлен один из подходов к выделению локальных геологических объектов в поле рассеянных сейсмических волн. Даны результаты использования метода фокусирования для получения изображений среды в рассеянных волнах.

Ключевые слова: зоны деструкции, трещиноватость, рассеяние, сейсморазведка.

Введение

На временных сейсмических разрезах, полученных в результате традиционной обработки данных по методу общей средней точки (ОСТ), не всегда удается однозначно идентифицировать локальные изменения волновой картины с геологическими объектами субсейсмического масштаба. Часто это связано с наличием в геологической среде малоамплитудных разломов, зон литологического замещения пород, иными деструкциями, например зонами повышенной трещиноватости. Еще большую сложность представляет задача установления связи между фильтрационно-емкостными свойствами пород и волновой картиной на сейсмических изображениях локальных объектов геологической среды.

Известно, что обладающие улучшенными первичными коллекторскими свойствами карбонатные осадочные породы, в основном, «прозрачны» для сейсмических волн. Вместе с тем, зоны повышенной трещиноватости формируют интенсивный фон рассеянных волн со сложной интерференционной картиной. В то же время более плотные слоистые глинистые разности горных пород обладают худшими коллекторскими свойствами и в сейсмическом волновом поле формируют регулярные зеркальные отражения, то есть «гладкую» компоненту. Контрастные

* Corresponding author E-mail address: vap@kgf.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

изменения энергии рассеянных волн позволяют с помощью предлагаемой методики фиксировать энергетические аномалии, связанные с изменением сейсмоакустических свойств геологической среды (Гольдин и др., 2004; Поздняков, 2005; Чеверда и др., 2003). Для поиска нефтяных и газовых месторождений Восточной Сибири нами предпринята попытка применить методику формирования изображений локальных геологических объектов с аномальными фильтрационно-емкостными свойствами в рассеянных волнах.

Метод

Идея использовать незеркальную (рассеянную) компоненту волнового поля для изучения зон аномальной трещиноватости на основе фокусирующих преобразований (F-преобразований) возникла более 20 лет назад (Кузнецов и др., 2004; Шленкин и др., 1992). В работах (Гольдин и др., 2004; Поздняков, 2005; Pozdnyakov, 2007) показано, что для выделения зон деструкций в последнее время активно применяется и развивается объектно-ориентированная технология с использованием методики фокусирующих преобразований. Это позволяет повысить общую информативность волновых изображений геологической среды. В качестве исходных данных для реализации методов обработки требуются полевые сейсмограммы, зарегистрированные по методу многократных перекрытий (ММП) либо стационарными сейсморегистрирующими системами (Кузнецов и др., 2004; Pozdnyakov et al., 1997; Pozdnyakov, Tcheverda, 1998) в форматах SEG-Y, SEG-D.

Особенность алгоритма фокусирующего преобразования заключается в построении изображения $M(\vec{r})$ в текущей точке \vec{r} с помощью модифицированного интегрального преобразования Кирхгофа:

$$M(\vec{r}) = \int_I d\omega \int \bar{G}(\vec{r}, \vec{r}_s; \omega) d\vec{r}_s \int_J \left. \frac{\partial \bar{G}}{\partial z_g} \right|_{z_g=0} F[D](\vec{r}_g, r_s, \omega) d\vec{r}_g$$

Здесь $G(\vec{r}, \vec{r}_s; \omega)$ есть функция Грина, вычисляемая на частоте ω в текущей точке \vec{r} для источника, расположенного в точке \vec{r}_s . Ключевым моментом является выполнение суммирования не по всем источникам и приемникам, а только лишь для их некоторых движущихся подсистем $I_{loc}(\vec{r}) \subset I$ и $J_{loc}(\vec{r}) \subset J$, выбираемых по специальному правилу. Для того чтобы понять, каким должно быть это правило, рассмотрим отображение одного рассеивающего объекта, расположенного в некоторой точке \vec{R}_0 однородной вмещающей среды со скоростью распространения волн V . После ряда упрощений (использование асимптотического представления функции Грина, применения Борновского приближения для описания рассеянных волн и замены интегрирования суммированием) это изображение задается следующим соотношением:

$$M(\vec{r}, \vec{n}) = \sum_{(i,j) \in I_{loc} \times J_{loc}} f \left[\frac{\left(\vec{e}_s^i + \vec{e}_g^j, \vec{R}_0 - \vec{r} \right)}{V} \right]$$

где единичные векторы \vec{e}_s^i и \vec{e}_g^j направлены из текущей точки \vec{r} в некоторый источник и приемник соответственно. Импульс $f(t)$ отличен от нуля только лишь для малых значений времени t , следовательно, в сумме останутся только слагаемые, для которых $\left(\vec{e}_s^i + \vec{e}_g^j, \vec{R}_0 - \vec{r} \right) \approx 0$. Таким образом, на полученном изображении самыми яркими будут элементарные отражающие

площадки, ортогональные вектору рассеяния $\vec{n} = \vec{e}_s^i + \vec{e}_g^j$. Этот вектор однозначно определен скользящей системой возбуждения/регистрации $I_{loc}(\vec{r}) \times J_{loc}(\vec{r})$, и, следовательно, для ее различных конфигураций наибольшую интенсивность будут иметь различным образом ориентированные элементарные отражающие площадки. В то же время любой сингулярный сейсмогеологический объект может быть представлен в виде суперпозиции элементарных отражающих площадок и, следовательно, появится на изображениях для ряда различных конфигураций системы возбуждения/регистрации. Таким образом, используя априорную информацию о геометрии регулярных отражающих границ, можно выбрать такую систему наблюдения, которая будет формировать изображения только сингулярных сейсмогеологических объектов и тем самым позволит оценить энергию рассеянных волн.

Численные эксперименты с синтетическими и реальными данными

Рассмотрим далее примеры использования метода применительно к модельным и реальным полевым данным. Учитывая имеющийся опыт применения фокусирующих преобразований реальных 2D, 3D-сейсмических данных, проводится постоянная работа по усовершенствованию имеющихся методики и технологии обработки информации с использованием методов решения как прямых, так и обратных задач. Для этого все чаще применяется численное моделирование полного волнового поля для изучения трещинно-кавернозных коллекторов (Гилбо и др., 2008; Pozdniakov, 2007; Cheverda et al., 2010). Одним из примеров такого подхода к поиску трещинно-кавернозных коллекторов являются исследования по определению зависимости энергии рассеянных волн от процентного содержания микротрещин в локально-неоднородном пласте. В работе (Pozdniakov, 2007) приведено описание схемы численного расчета на параллельном компьютере синтетических сейсмограмм полного волнового поля. При выборе модели, описывающей распределение мелкомасштабных неоднородностей, учитывали результаты изучения трещинно-кавернозных коллекторов Юрубчено-Тохомской зоны (ЮТЗ) (Поздняков и др., 2009). На рис. 1 представлен фрагмент изображения трещиноватых пород венд-рифейского комплекса на примере одной из скважин ЮТЗ. Исследования проводились в интервале 2356 – 2362 м от границы катангской свиты до кровли венда. Результаты обработки данных наклономеров НИД-2 показаны на рис. 1а. Собственно керн с преимущественно вертикальными трещинами изображен на рис. 1б. Фрагмент сейсмической энергии на одной из трасс (атрибута «энергии рассеянных волн») приведен на рис. 1в, на котором видно, что в трещиноватой зоне повышается уровень энергии рассеянных волн.

Для расчета синтетических сейсмограмм была задана трехслойная модель с наклонно-залегающей границей (рис. 2). В качестве пласта-коллектора был выбран третий слой толщины 32 м, содержащий в себе случайным образом распределенные неоднородности (трещины и каверны). Внутри этого слоя располагались три кластера, «заполненные» микрон неоднородностями с концентрацией трещин 1 %, 3 %, 9 % на единицу объема (рис. 2). Прямая задача в пределах данной модели решалась для полного волнового поля путем численного расчета синтетических сейсмограмм по профилю с шагом 25 м. Обратная задача сейсморазведки решалась следующим образом. Синтетические сейсмограммы были обработаны по методике фокусирующих преобразований. В результате такой обработки отчетливо проявились аномальные зоны

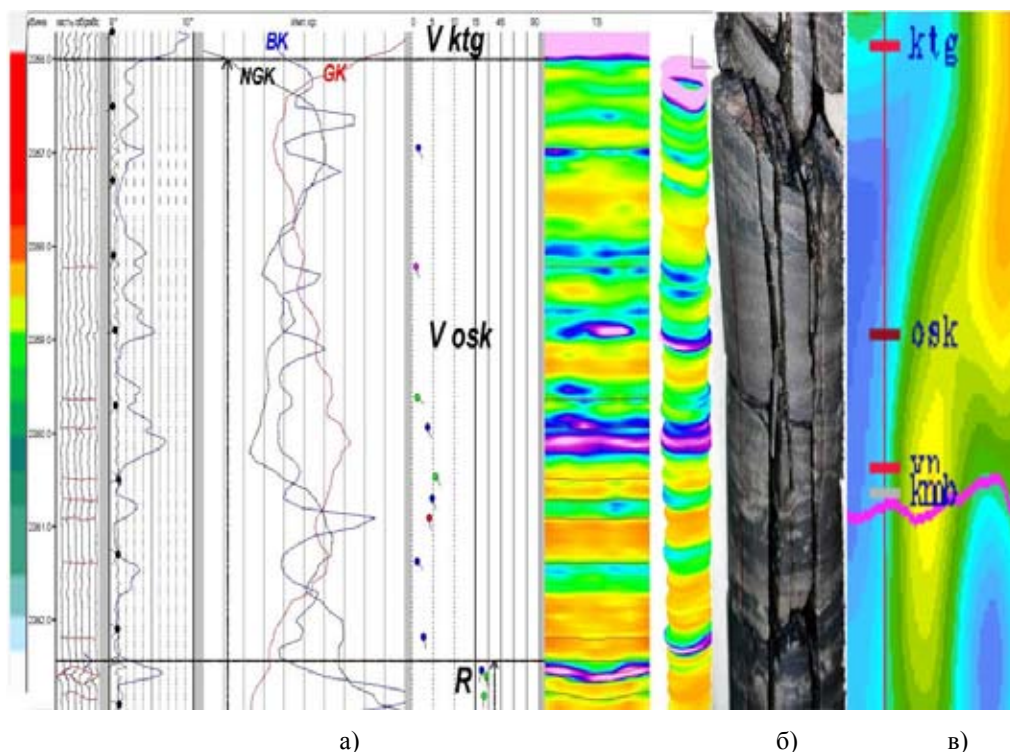


Рис. 1. Фрагмент изображения трещиноватых пород по данным накломера НИД-2 (а), керна (б) и атрибута «энергии рассеянных волн» (в)

(кластеры) с повышенной энергией волнового поля (на рис. 2 показаны цветом). После этого был выполнен анализ полученного волнового изображения с целью выявления связи между энергией рассеянных волн и концентрацией мелкомасштабных включений в целевом пласте – коллекторе. Сверху представлен график суммарной энергии рассеянных волн, рассчитанный в постоянном окне вдоль модельного профиля. Результаты анализа полученных волновых изображений показывают, что предложенная методика обработки позволяет не только выделить на качественном уровне различные по сейсмоакустическим свойствам локальные объекты, но и дифференцировать уровень энергии рассеянных волн в зависимости от концентраций трещин в единице объема. Это позволяет использовать параметр «рассеянная энергия» в качестве поискового признака для выявления на волновых изображениях деструктивных зон в геологических формациях, повышая тем самым общую геологическую информативность метода.

При изучении венд-рифейского комплекса отложений Восточной Сибири 2D/3D-сейсморазведкой по результатам традиционной обработки в отраженных волнах не всегда удастся однозначно идентифицировать локальные изменения волновой картины с аномальными зонами кавернозно-трещиноватых пород. Опыт изучения карбонатных коллекторов на территории Восточной Сибири показывает, что все большую актуальность приобретает задача изучения сейсморазведкой аномалий нерегулярной (незеркальной) компоненты волнового поля. Использование нестандартных подходов к обработке данных на основе выделения и анализа рассеянной компоненты в пределах карбонатного комплекса позволило закартировать

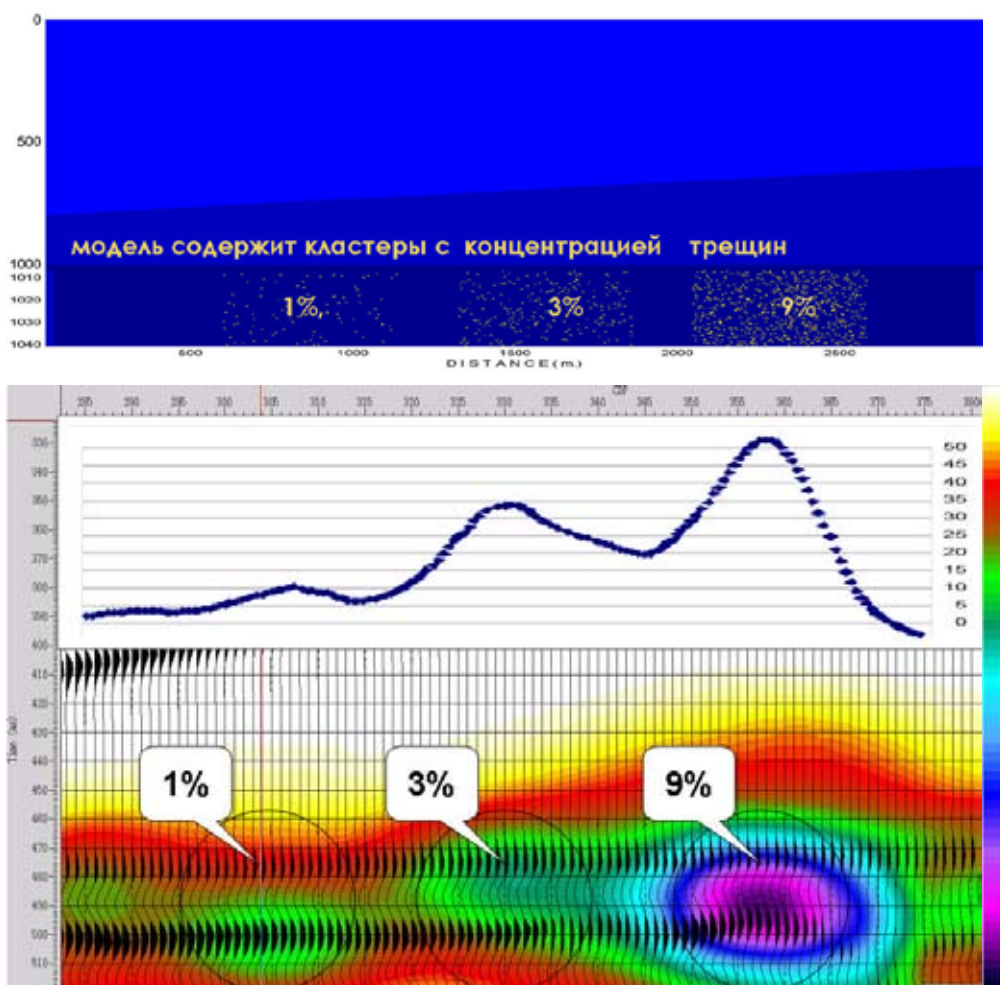


Рис. 2. Результаты отработки модельного профиля

ряд локальных нефтегазоперспективных объектов. К настоящему времени по методике фокусирующих преобразований обработан достаточно большой объем сейсмических материалов (Поздняков и др., 2009). С целью дальнейшего развития и внедрения методики в сложных сейсмогеологических условиях проведена опытно–производственная обработка реальных (полевых) позиционных сейсмограмм, полученных по системам многократных перекрытий 2D и 3D. На рис. 3 представлены результаты специальной 3D-обработки.

Для уточнения пространственного положения деструктивных, в геологическом отношении, аномальных зон рассмотрим изображение на рис. 3 временные разрезы и срез (слайс расположен в центре рисунка) волнового поля. Эти разрезы являются суперпозицией гладкой и рассеянной (аномалии показаны цветом) компонент волнового поля. На горизонтальном слайсе и вертикальных срезах (разрезах) куба данных отчетливо видны зоны повышенной энергии рассеянных волн, связанные с деструкциями, преимущественно разломного типа. На временных разрезах локальные зоны выделяются в виде контрастных «столбов» с повышенной энергией рассеянных волн. Однако подобного вида аномалии могут быть связаны

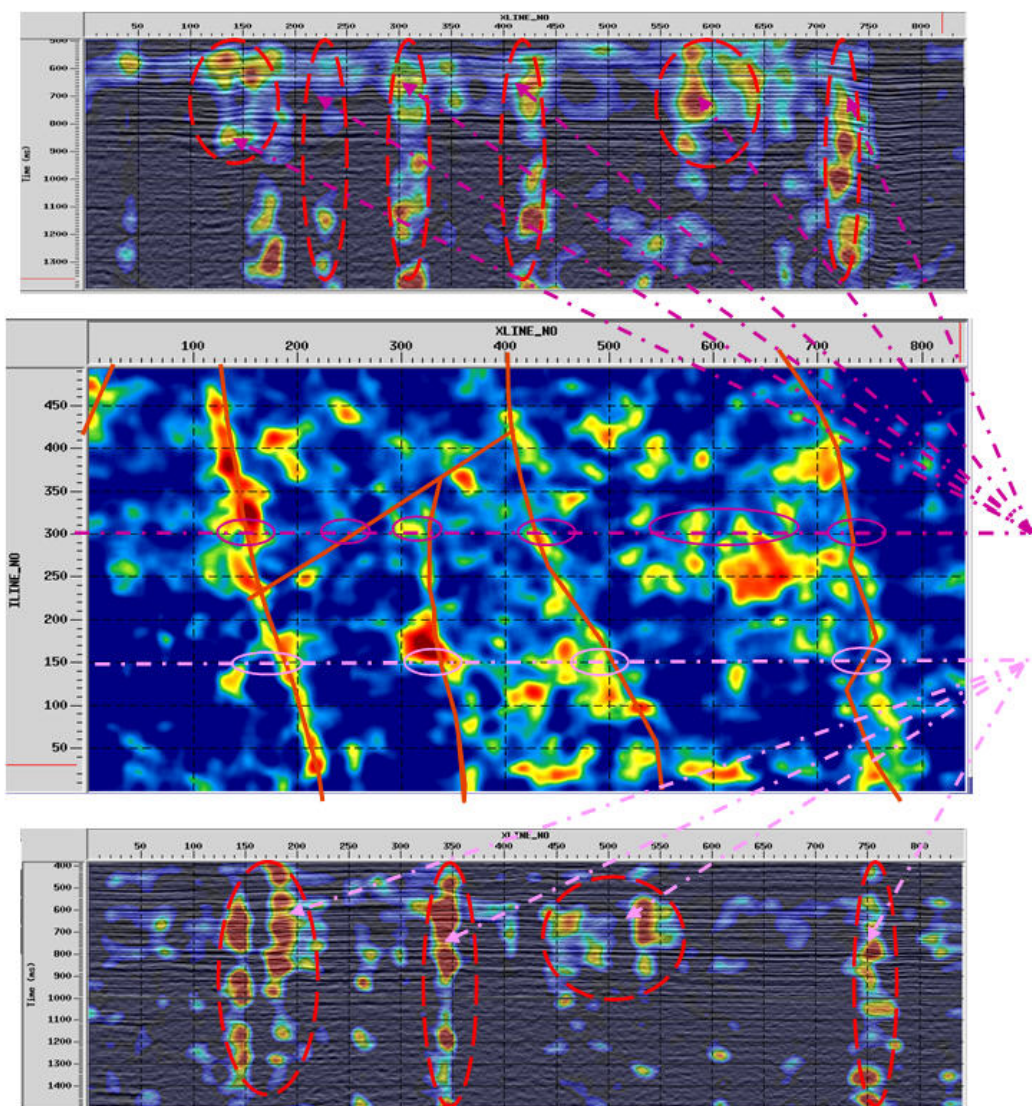


Рис. 3. Суперпозиция отраженных и рассеянных волн на слайсе (в центре) и на временных разрезах

с другими природными объектами, например с геосолитонами. Поэтому для разбраковки локальных объектов необходимо выполнять пространственный анализ полученных данных, например, с целью трассирования линейно вытянутых объектов, картирования клиноформ и других геологических тел. Вполне вероятно, что на изучаемой территории существуют нарушения более мелкого ранга, не выявленные на незеркальной (рассеянной) компоненте волнового поля.

Весьма важные методические результаты были получены при тестировании параметров интерференционных фокусирующих систем и их влияния на разрешающую способность метода. На рис. 4 представлены горизонтальные слайсы с различными параметрами и пространственной ориентацией фокусирующих интерференционных систем. Показано, что выбор параметров фокусирующих систем и синтезированных апертур может существенно влиять на

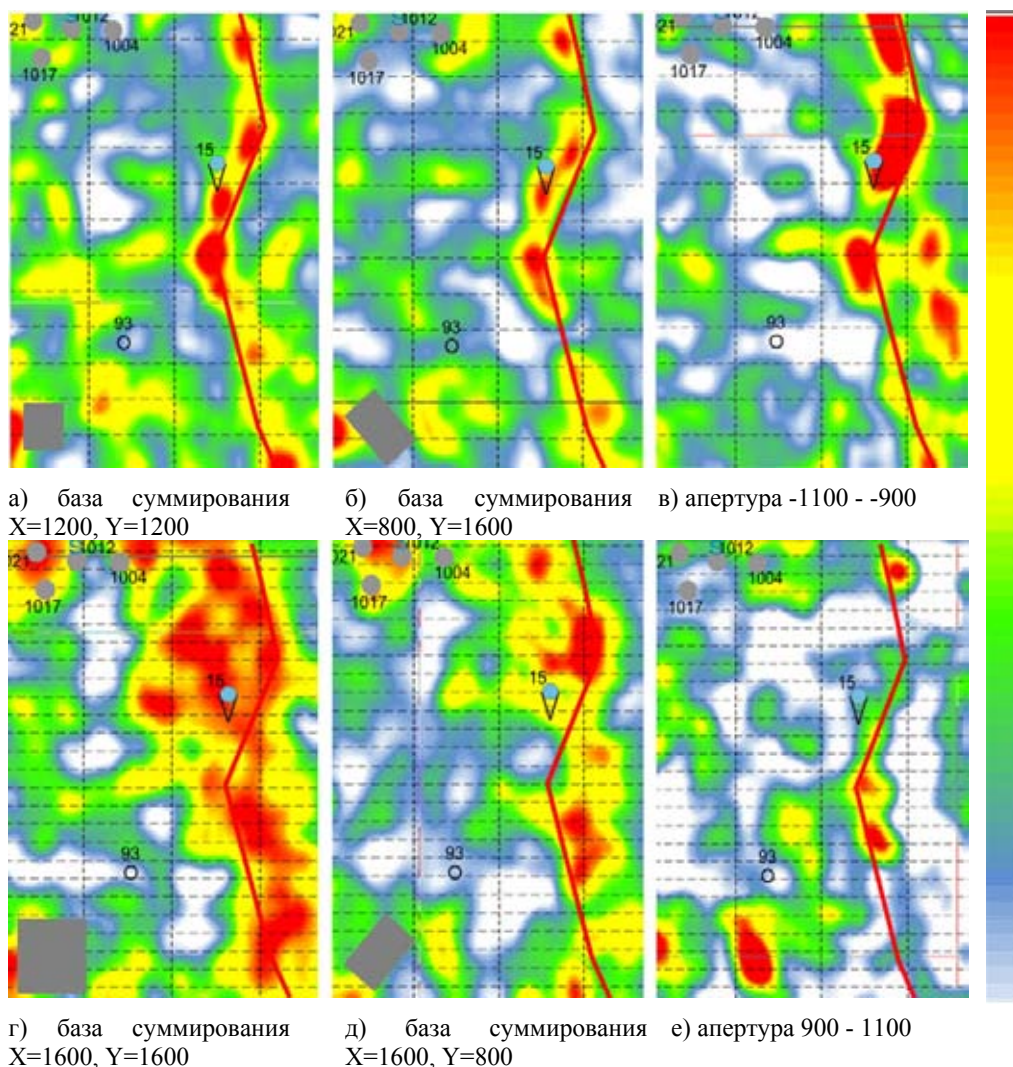


Рис. 4. Горизонтальные слайсы с различными параметрами и пространственной ориентацией фокусирующих интерференционных систем

форму, яркость и контрастность изображений, то есть, в конечном итоге, на поисковые признаки при изучении трещинно-кавернозных коллекторов и прогнозировании нефтегазоносности на локальных участках. Анализ взаимного расположения и формы интерференционных фокусирующих систем (на рис. 4 а-е выделены серым цветом) показал, что увеличение размера базы суммирования с 1200 до 1600 м (рис. 4а, 4г) приводит к «размазыванию» изображения в зоне, контролируемой венд-рифейским разломом. На слайсе рис. 4а видно, что при меньшей базе формируется более четкое изображение в рассеянных волнах, отображая контур разлома. Очевидно, разлом играет роль большой квазивертикальной трещины и «генерирует» максимум рассеянной энергии. Использование базы большего размера (рис. 4г) «затушевывает» локальные энергетические особенности в зоне разлома. Таким образом, изменение размеров баз суммирования фокусирующей системы приводит к дифференциации и локализации энергии

рассеянных волн вдоль зоны разлома. На рис. 4б, д видно, что направленность на объект интерференционной фокусирующей системы влияет на разрешающую способность и интенсивность энергии вдоль оси разлома.

Представленные на рис. 4в, е изображения сформированы с интерференционными базами приемников и источников равного размера – 1600 м. Исследуемый объект «подсвечивался» с использованием разно ориентированных апертур сейсмического сноса. Величина апертур варьировалась в пределах положительных и отрицательных значений апертур (в диапазоне удалений 900-1100 м). Обработка проводилась слева направо по направлению инлайн с использованием площадной фокусирующей системы. При положительных апертурах объект «подсвечивался» слева (рис. 4в), а при отрицательных – справа (рис. 4е). При этом видно, что энергия вдоль разломной зоны во втором случае заметно ниже, чем в первом. Это можно объяснить дифференциацией пространственных сейсмоакустических свойств геологической среды в пределах разломной зоны. Очевидно, в первом случае «плоскость разлома» имеет большую отражающую способность, чем во втором, где преобладает эффект рассеяния (то есть эффект незеркальности, шероховатости). Исходя из этих соображений, рассматривая отдельно изображения, полученные при положительных и отрицательных апертурах селективных разрезов, можно получать дополнительную геологическую информацию о строении среды, в частности прогнозировать пространственную структуру деструктивных зон. Кроме того, можно вычислить преимущественное направление трещин путем проведения специального сканирования с применением азимутального оператора в заданных временном и пространственном диапазонах волнового поля.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы. Форма, размеры и взаимное расположение фокусирующих интерференционных систем влияют на контрастность и яркость изображений в отраженных и рассеянных волнах. Методика обработки может послужить достаточно надежным инструментом геофизика-интерпретатора при формировании сейсмогеологических моделей сложнопостроенных сред.

Представленные результаты численных экспериментов доказывают возможность и перспективность применения методики для выделения участков с высокой интенсивностью рассеянных волн, приуроченных к зонам деструкции. На основе комплексной интерпретации геолого-геофизической информации и полей отраженных и рассеянных волн получены новые данные об особенностях геологического строения локальных нефтегазоперспективных объектов ЮТЗ.

Список литературы

Гилбо Ж., Ланда Е., Решетова Г.В., Хайдуков В.Г., Чеверда В.А. Численное моделирование сейсмических волновых полей в двумерно-неоднородных упругих разномасштабных средах (карстовые включения) // Технологии сейсморазведки. 2008. №3. С.19–28.

Гольдин С. В., Поздняков В. А., Смирнов М. Ю., Чеверда В. А. Построение сейсмических изображений в рассеянных волнах как средство детализации сейсмического разреза // Геофизика. 2004. №2. С. 23–29.

Кузнецов О.Л., Курьянов Ю.А., Чиркин И.А., Шленкин С.И. Сейсмический локатор бокового обзора // Геофизика.-2004. №2. С. 8–20.

Поздняков В.А. Интенсивность рассеянных волн – новый сейсмический атрибут для прогноза фильтрационно-емкостных свойств нефтенасыщенного коллектора // Доклады РАН, сер. Геофизика. 2005. С.34-40.

Поздняков В.А., Сафонов Д.В., Шиликов В.В. Прогноз распространения зон трещиноватости по данным 3D сейсморазведки в пределах ЮТЗ // Технология сейсморазведки.-2009.-№3.-С. 83-86.

Чеверда В.А., Гольдин С.В., Костин В.И., Неклюдов Д.А. Отделение рассеяния/дифракции от регулярного отражения в сейсмических данных // Геология и геофизика. 2003. №8. С. 819-827.

Шленкин С.И., Поздняков В.А., Бусыгин И.Н. Выделение незеркальных компонент волнового поля на основе ФПВ-преобразования. М.: ВИНТИ.-1992. №2834 В92д. 14с.

Pozdnyakov V.A., Tcheverda V.A., Safonov D.V. Focusing Transformation – The Reliable Way To Search For Safe Location For Nuclear Waste Disposal // Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems. USA, Reno: EEGS. 1997. P.33-41.

Pozdnyakov V.A., Tcheverda V.A. Application of Focusing Transformation to Environmental Geophysical Problems // The Netherlands: NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers.-1998.-Vol.18.-P.161-168.

Pozdnyakov V.A. Reliable Imaging of Subseismic Object by Means of Focusing of Seismic Scattering Energy // Abstracts 69th EAGE Conference and Technical Exhibition.- London: EAGE. 2007. O273. 5pp.

Cheverda V.A., Reshetova G.V., Pozdnyakov V.A. Generation of Scattered Waves by Cavernous/Fractured Reservoirs // Proceedings EAGE Conference KazGeo 2010 – Where Geoscience Meets the Silk Road. Almaty: EAGE. 2010. B007. 5pp.

Location of Destructive Zones in Carbonate Vendian – Riphean Deposits in Eastern Siberia

Vladimir A. Pozdnyakov and Anastasiya S. Merzlikina
*Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

In the carbonate Vendian-Riphean deposits in Eastern Siberia zones of increased fracturing are of particular interest as possible traps of hydrocarbon. Application of traditional methods of seismic data processing as a rule does not allow to identify such geological objects confidently. With areas of high fracturing mild energetic anomalies of wave field are associated. These anomalies can be revealed by variations of the seismo-acoustic properties and interpreted as local geological objects. The paper presents an approach to the recovery of local geological objects in the field of scattered seismic waves. The results of application of the Focusing Transformation for imaging in scattered waves.

Keywords: destructive zone, fracturing, scattering, seismic exploration.
