

УДК 550.8

Л. Е. Стариков, А. В. Киричек, А. Н. Кремлев, Г. Н. Ерохин

**ОСНОВЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПОЛЯ
РАССЕЯННЫХ ВОЛН**

124

Представлены основные принципы геологической интерпретации поля рассеянных волн. На основе анализа разрезов и карт рассеянных волн выполняется прогноз зон распространения трещинно-кавернозных коллекторов. Коллекторы такого типа являются перспективными объектами для поиска залежей нефти. Исследования базировались на оригинальном методе престековой миграции Common Scattering Point (CSP). Метод CSP позволяет получать по данным 3D МОГТ два независимых куба: куб отраженных волн и куб рассеянных волн. Формирование последних происходит в зонах трещиноватости.

The basic principles of geological interpretation of the scattered waves field are represented. On the basis of scattered waves sections and map analysis had made the forecast of fracture cavernous reservoirs. These reservoirs are very perspective object for oil deposits exploration. The researchers are based on original prestack migration method – Common Scattering Point, which makes it possible to get two independent time cubes: reflected waves cube and scattered waves cube. The last are generated in fractured zones.

Ключевые слова: трещинно-кавернозный коллектор, порово-трещинный коллектор, зона трещиноватости, рассеянная волна, отраженная волна, акустическая неоднородность.

Key words: fracture cavernous reservoir, porous fractured reservoir, fractured zone, scattered wave, reflected wave, acoustic heterogeneity.

Введение

В последние годы в мировой практике нефтедобычи все большее внимание уделяется проблеме неравномерного латерального распространения зон повышенной проницаемости коллекторов, обусловленных наличием трещиноватости отложений. Особенно значимой эта проблема становится при освоении залежей углеводородов со сложно построенными коллекторами, где неравномерность распределения трещиноватости в продуктивной толще оказывает решающее влияние на фильтрационно-емкостные свойства резервуаров и размеры области дренирования скважин. Открыто много месторождений, где трещинный тип коллектора – практически единственный. В качестве примера можно привести гигантское Юрубченское месторождение Восточной Сибири, где резервуаром являются доломиты рифейского возраста с открытой пористостью матрицы в среднем 1,5 %. Аналогичные, но более мелкие по размерам месторождения нефти в верхнеюрском про-



дуктивным комплексе открыты и в Западной Сибири (Салымское, Верхне-Салымское, Малоичское, Ханты-Мансийское, Галяновское, Средне-Назымское и многие другие месторождения).

Наряду с исследованиями керна и методами ГИС сейсморазведка — один из основных методов изучения трещиноватости нефтегазоносных резервуаров. Поскольку открытые трещины заполнены газом или жидкостью, они представляют собой объекты, резко отличающиеся от вмещающей матрицы по акустическим свойствам. Это свойство лежит в основе группы *прямых* методов картирования трещиноватости по данным сейсморазведки. В настоящее время группа прямых методов картирования зон трещиноватости включает в себя следующие подгруппы:

- динамических методов;
- азимутальных методов;
- дифракционных методов;
- методов ВСП.

Комплексная интерпретация поля рассеянных волн

Метод Common Scattering Point, разработанный А.Н. Кремлевым и Г.Н. Ерохиным для прогноза зон развития трещинно-кавернозных коллекторов, основан на дифракционном методе. Метод CSP базируется на математически точном решении обратной задачи рассеяния в акустическом приближении по данным многократных перекрытий. Как и для других методов преломленной миграции, элементарным объектом для метода CSP является точечный рассеиватель. При этом метод CSP полностью учитывает все волновые особенности процесса рассеяния и переопределенность данных МОГТ. Благодаря этому достигается высокое качество фокусировки рассеянных и отраженных волн и реализуется процедура накопления полезного сигнала, которая является наиболее сильной стороной всех методов обработки данных многократных перекрытий. Это накопление увеличивает отношение сигнал/помеха и повышает статистическую достоверность получаемых разрезов.

Главная отличительная особенность метода CSP от всех других методов преломленной миграции, применяемых для исследования рассеянных волн, — то, что в методе CSP дополнительные весовые множители, применяемые для подавления отраженных волн, получены методами математической физики, в результате строгого решения задачи разделения полного волнового поля на отраженную и рассеянную компоненты. Благодаря этому данные весовые множители являются оптимальными. Это позволяет реализовать математически корректное вычитание из полного волнового поля отраженных волн.

Метод CSP прошел широкую проверку на синтетических и полевых материалах и показал свою эффективность. Результаты применения метода CSP для выявления трещинных и трещинно-кавернозных коллекторов в карбонатных, глинистых и магматических породах по рассеянным волнам опубликованы в работах [1–5].

При обработке материалов по методу CSP мы получаем два временных куба: стандартный временной куб — куб рефлекторов и вре-



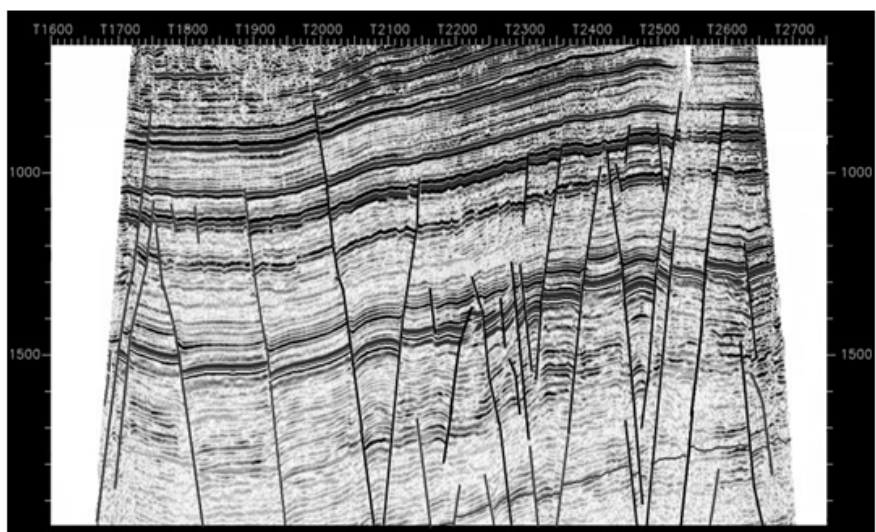
менной куб, характеризующий акустическую неоднородность геологической среды, — куб дифракторов.

Куб рефлекторов служит основой для построения разломно-блоковой модели изучаемого месторождения. По временным разрезам куба рефлекторов проводится привязка и прослеживание целевых отражающих горизонтов, построение разломно-блоковой модели. При картировании разломов необходимо использовать одновременно куб рефлекторов и куб дифракторов. Так как разломы — это основные источники трещиноватости, то принципиально важно составить максимально полную картину разломной тектоники изучаемого месторождения. Такую картину и позволяет составить совместная интерпретация. Совместная интерпретация куба рефлекторов и куба дифракторов также дает возможность разделять разломы на флюидопроницаемые и флюидонепроницаемые (рис. 1). Также при совместной интерпретации появляется возможность картирования проницаемых разломов без вертикальных смещений, выделение которых на разрезах отраженных волн вызывает большие сомнения. Созданная разломно-блоковая модель и все геолого-промысловые данные импортируются в куб дифракторов. И этот финальный куб данных может быть базовым для построения емкостно-фильтрационной модели резервуара с трещинно-кавернозным коллектором.

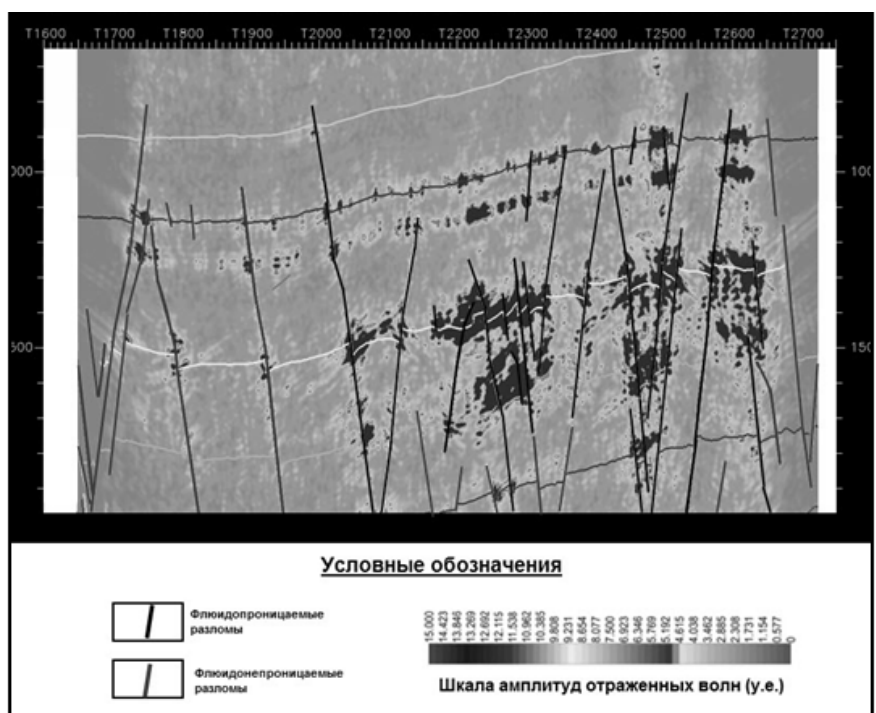
Для построения емкостно-фильтрационной модели резервуара с трещинно-кавернозным коллектором по материалам интерпретации сейсморазведки необходимо использование данных аналитических исследований керна и количественной интерпретации ГИС для нахождения зависимостей керн-ГИС, ГИС-поле рассеянных волн.

К настоящему времени еще не разработана технология построения емкостно-фильтрационной модели резервуара с трещинно-кавернозным коллектором. Для этого имеются объективные причины. Во-первых, для пластов с трещинно-кавернозным коллектором, как правило, отсутствуют петрофизические характеристики. Это вызвано отсутствием керна из продуктивного интервала разреза. Как правило, керн в этих интервалах разрушается при бурении. Во-вторых, отсутствуют надежные методы геофизических исследований скважин, которые дают количественную характеристику ФЕС резервуара с трещинно-кавернозным коллектором. Такие пробелы в исследованиях трещинно-кавернозных коллекторов не позволяют установить корреляционные связи ФЕС, измеренными по керну и рассчитанными по ГИС, а также получить надежные связи ФЕС с параметрами поля рассеянных волн.

При интерпретации поля рассеянных волн из-за отсутствия данных о коллекторах не строится карта качества коллектора целевого горизонта, а выполняются построения карты прогнозных дебитов нефти из трещинно-кавернозных резервуаров. Параметрами для построения такой карты служат амплитуды рассеянных волн, характеризующие качество трещинно-кавернозного коллектора и начальные дебиты углеводородов из продуктивных пластов (рис. 2). Для построения карты прогнозных дебитов находится количественная связь между значениями амплитуд рассеянных волн и значениями дебитов углеводородов (рис. 3).



а



б

Рис. 1. Проявление проницаемых и непроницаемых разломов на временных разрезах отраженных (а) и рассеянных волн (б)

Конечно же, по объективным причинам, как показала практика работ, точность прогноза дебитов составляет около 70 %. Тем не менее такие карты в сочетании с временными разрезами рассеянных волн могут



служить основой при определении местоположения как поисково-разведочных, так и эксплуатационных скважин в зонах развития трещинно-кавернозных коллекторов (рис. 4).

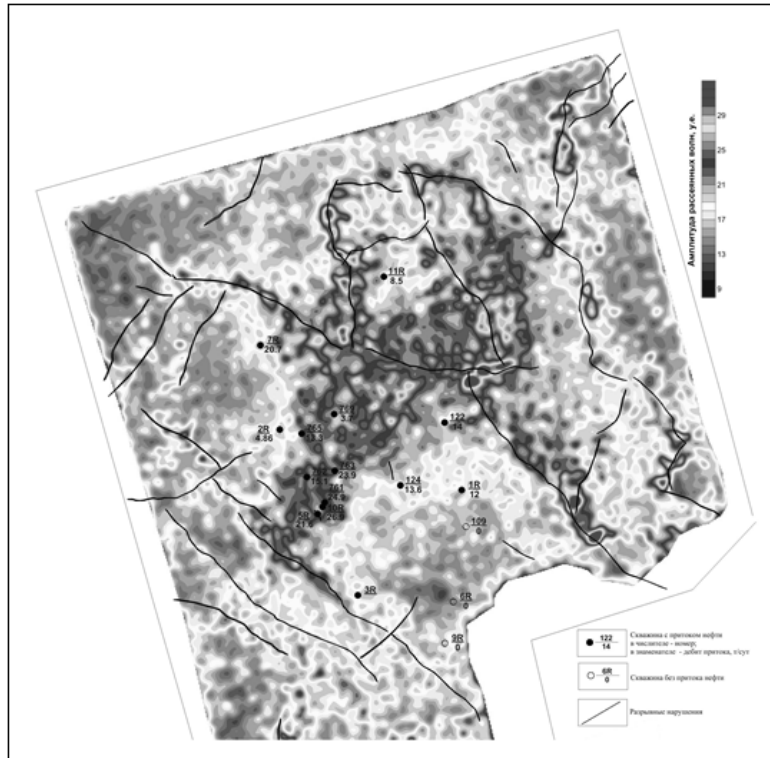


Рис. 2. Карта амплитуд рассеянных волн

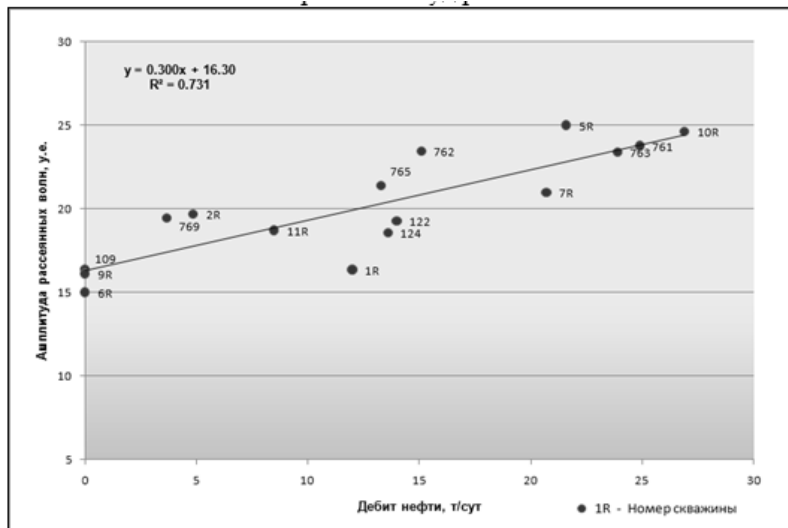


Рис. 3. Зависимость между дебитом нефти и амплитудой рассеянных волн

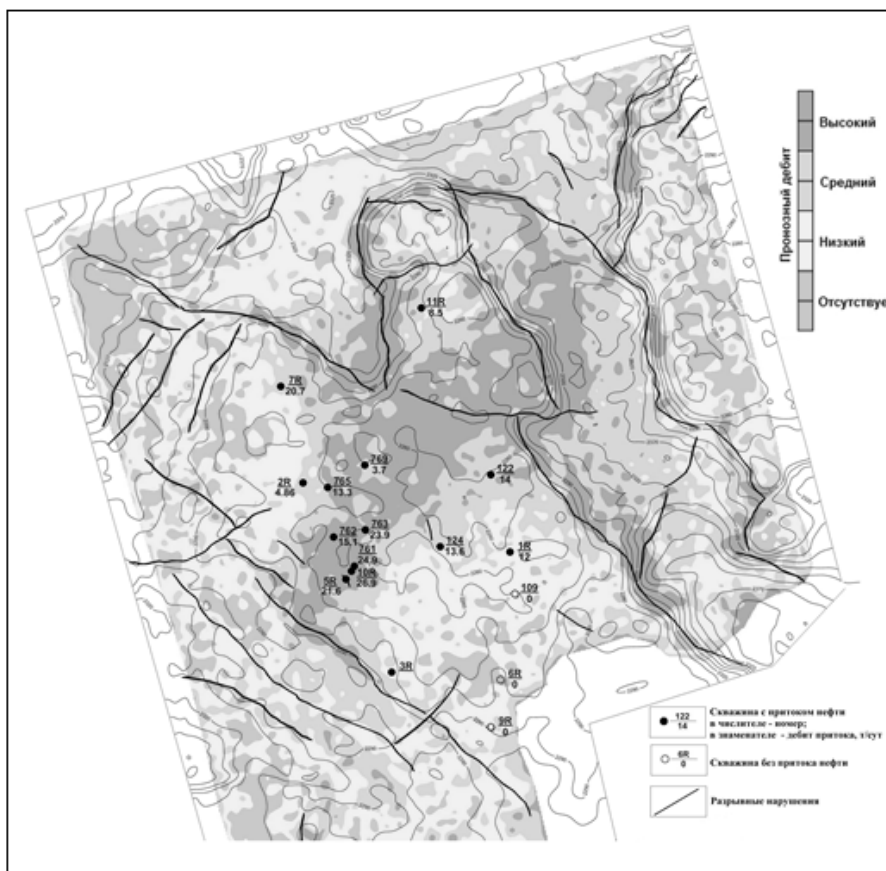


Рис. 4. Карта прогнозных дебитов нефти из трещинно-кавернозных резервуаров

Заключение

Использование рассеянных волн (метод CSP) открывает новые горизонты эффективного использования сейсморазведки при поисках, разведке и эксплуатации месторождений углеводородов. Картирование трещинно-кавернозных коллекторов на основе метода CSP кардинально меняет подходы к оценке запасов и ресурсов. Метод обладает большим потенциалом выявления слабых акустических неоднородностей на больших глубинах и позволяет проводить прогноз резервуаров с трещинным типом коллектора как по редкой сети сейсмических профилей, так и по материалам 3D сейсморазведки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы «Исследования и разработки научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы», госконтракт № 07.524.11.4009 от 20.10.2011 г.



Список литературы

1. Кремлев А.Н., Ерохин Г.Н., Зверев М.А. и др. Волновое ОГТ — новый метод исследования геологических сред по рассеянным волнам // Сборник трудов международной конференции геофизиков и геологов, 4–7 декабря 2007. Тюмень, 2007. С. 23–25.
2. Кремлев А.Н., Ерохин Г.Н., Стариков Л.Е. и др. Прогноз коллекторов трещинно-кавернозного типа по рассеянным сейсмическим волнам // Технологии сейсморазведки. 2008. № 3. С. 36–39.
3. Ерохин Г.Н., Кремлев А.Н., Стариков Л.Е. и др. Прогноз трещинно-кавернозных коллекторов в верхнеюрских отложениях Западной Сибири по рассеянным волнам // Бурение и нефть. 2010. № 7–8.
4. Кремлев А.Н., Зверев М.А., Булкин Ю.А. и др. Выделение зон повышенной трещиноватости, генерирующих дифрагированные волны, путем их выборки из волнового поля МОГТ // Труды X научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры». Ханты-Мансийск, 2007. Т. 1.
5. Kremlev A.N., Erokhin G.N., Starikov L.E. et al. Forecast of crack and cavernous reservoirs in carbonate, clay and magmatic rocks based on scattered seismic waves. Abstracts of 3-rd Saint Petersburg International Conference & Exhibition 7–10 April 2008. P. 1–5 (in russian), Lenexpo, Saint Petersburg, Russia.
6. Kremlev A.N., Erokhin G.N., Starikov L.E. et al. Fracture and cavernous reservoirs prospecting by the CSP prestack migration method. Abstracts of 73 EAGE Conference & Exhibition, 23–26 may 2011, Vienna.

130

Об авторах

Леонид Евгеньевич Стариков — канд. геол.-минерал. наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: LStarikov@kantiana.ru

Антон Владимирович Киричек — канд. геол.-минерал. наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: Akirichek@kantiana.ru

Андрей Николаевич Кремлев — канд. физ.-мат. наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: Akremlev@kantiana.ru

Геннадий Николаевич Ерохин — д-р физ.-мат. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: GErokhin@kantiana.ru

About authors

Leonid Starikov — PhD, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: LStarikov@kantiana.ru

Anton Kirichek — PhD, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: Akirichek@kantiana.ru

Andrey Kremlev — PhD, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: Akremlev@kantiana.ru

Dr Gennadiy Yerokhin — prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: GErokhin@kantiana.ru