

A043

Study of Sub-vertical Zone of Fracturing by Seismic Data

I.U. Khromova* (LUKOIL), N.J. Marmalevskyi (Ukrainian State Geological Prospecting Institute), Z.V. Gornyak (Ukrainian State Geological Prospecting Institute), Y.V. Roganov (Ukrainian State Geological Prospecting Institute) & A.S. Kostyukevych (Tetra Seis Inc.)

SUMMARY

В ходе разработки одного из месторождений Тимано-Печорской провинции было выявлено существенное (кратное) различие продуктивности скважин на фоне выдержанного по литологическим и емкостным свойствам карбонатного резервуара. Задача выделения зон трещиноватости по сейсмическим данным решалась в рамках различных подходов: по геометрическим атрибутам, по когерентности, спектральным разложением волнового поля. На последнем этапе была применена миграция дуплексных волн, которая не только подтвердила полученные ранее результаты, но и позволила наиболее четко выделить отдельные линейные аномалии и ранжировать их по проницаемости/экранируемости. Дуплексные волны — это один из типов волн, которые в ходе обработки сейсмических данных, направленной на выделение однократно отраженных волн, воспринимаются как помехи и устраняются. В то же время дуплексные волны содержат информацию о свойствах вертикальных границ и могут быть использованы для построения их изображений. В процессе распространения дуплексные волны имеют два отражения: одно от некоторой базовой границы, другое — от целевой субвертикальной границы. В статье показывается пример использования этих волн для выделения и прослеживания субвертикальных зон трещиноватости в карбонатных коллекторах из месторождений Тимано-Печорской нефтяной провинции.

ИЗУЧЕНИЕ СУБВЕРТИКАЛЬНЫХ ЗОН ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ.

И. Ю. Хромова, ОАО «ЛУКОЙЛ», Москва, Россия

Н.Я. Мармалевский, З.В. Горняк, Ю.В. Роганов, УкрГГРИ, Киев, Украина

А. С. Костюкевич, Tetra Seis Inc., Калгари, Альберта, Канада

Введение. Изучаемое месторождение расположено в пределах крупной валообразной структуры, образование которой было связано с активными постседиментационными тектоническими движениями. На протяжении с ордовика по триас изучаемый участок располагался в пределах пассивной окраины Печорской плиты. Воздымание Пай-Хойского орогена в предюрское время способствовало передаче сжимающих напряжений на запад и формированию гребневидных приразломных валов. Ундулирующий шарнир вала образует цепочку куполов, в одном из которых расположено изучаемое месторождение. Залежь нефти размещается в нижнепермском карбонатном резервуаре. Покрышкой служит стометровая глинистая толща кунгурского возраста. В процессе формирования вала изгибание толщ пород, сопровождающееся сдвиговыми деформациями, привело к дроблению перекрывающей терригенной триасовой толщи с образованием сигмовидных тектонических нарушений, разделяющих горсты и грабены на своде вала. Вниз по разрезу амплитуда смещения по этим тектоническим нарушениям ослабевает, и они полностью затухают в глинистой кунгурской пачке. В нижележащем однородном карбонатном резервуаре залежи корни тектонических нарушений проявляются в виде линейных зон трещиноватости, с которыми связаны повышенные дебиты нефти и, в зависимости от высоты над уровнем водонефтяного контакта, – быстрое обводнение в ходе разработки. Таким образом, для эффективной эксплуатации данного месторождения первоочередной задачей является картирование зон трещиноватости.

Методы. На изучаемой площади были проведены площадные сейсморазведочные работы МОГТ и в многоволновые акустические исследования в семи из двадцати пробуренных скважин.

Первоначально в ходе изучения месторождения для решения поставленной цели использовались традиционные для выделения тектонических нарушений подходы: геометрические атрибуты поверхности, расчет кубов когерентности (рис. 1). Для сопоставления с сейсмическими данными в скважинах были выбраны два основных численных критерия, зависящих от трещиноватости: продуктивность и проницаемость, которые рассчитываются по кривым падения давления в ходе гидродинамических исследований в стволе скважин. Не смотря на то, что при визуальном анализе полученных карт можно было зафиксировать положение отдельных линейных аномалий, количественное сопоставление со скважинными данными показывало низкую сходимость прогноза (рис. 2). Лучшим на тот момент результатом была карта амплитуд на частоте 42Гц, полученная в результате спектрального разложения волнового поля (рис. 3, 4). Затухание амплитуд, связанное с зонами дробления, показывало аномалии различной интенсивности на различных частотах.

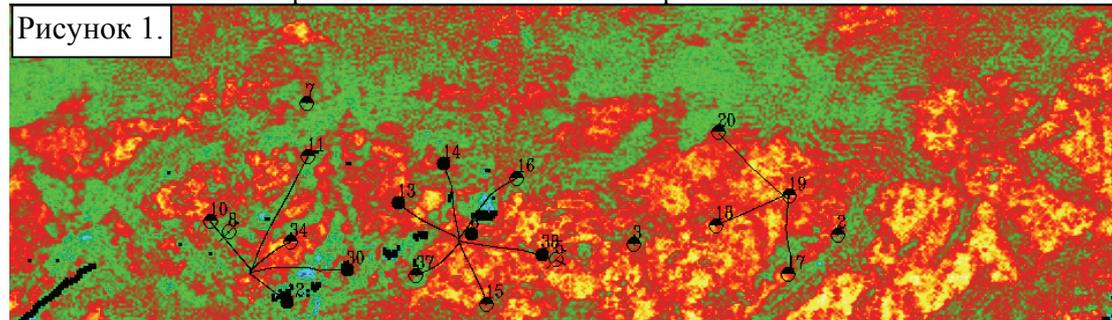


Рисунок 2.

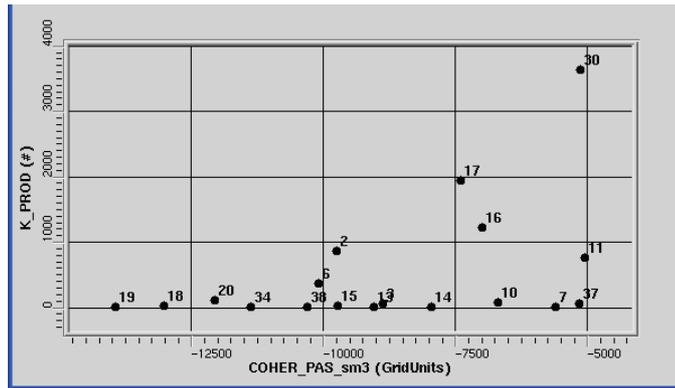


Рисунок 3.

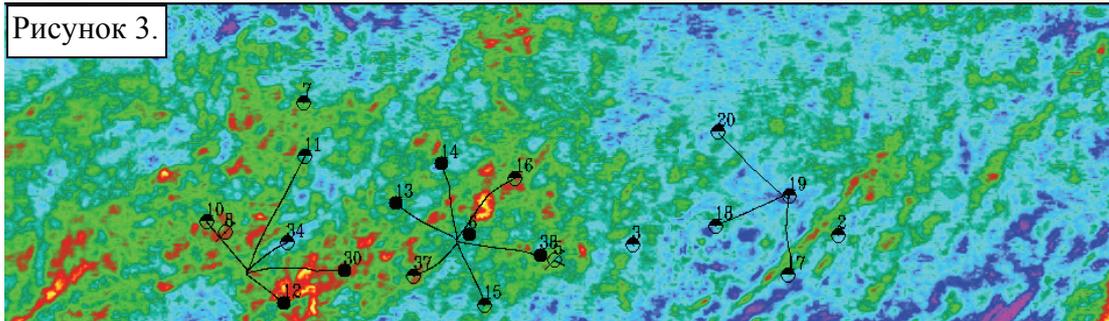
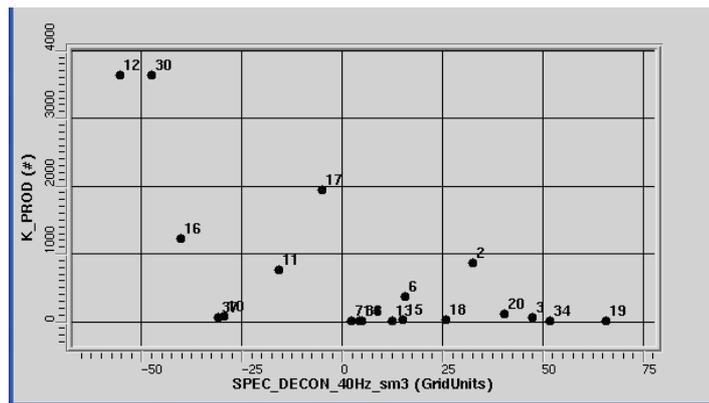


Рисунок 4.



На следующей стадии изучения была опробована новая для нефтяной компании «ЛУКОЙЛ» технология миграции дуплексных волн (МДВ). Дуплексными называются волны, которые двукратно отражаются: сначала от субгоризонтальной границы, а потом от субвертикальной (или в обратном порядке), и благодаря этому достигают поверхности наблюдений. Свойства дуплексных волн были исследованы в работах [1, 2 и др.], в которых показано, что их энергия вполне достаточна для использования в геологических целях.

Рассматриваемая миграция дуплексных волн основывается на преобразовании Кирхгофа [3], в котором функция Грина изменена в соответствии с кинематикой дуплексных волн. МДВ может быть также реализована на основе любых других видов миграционных преобразований – конечно-разностных, спектральных и т. д. Для реализации МДВ Кирхгофа используется та же объемная скоростная модель среды, что и для обычной миграционной процедуры и дополнительно задается опорная субгоризонтальная граница.

Необходимость задания опорных границ не является сколько-нибудь ограничивающим фактором в процессе формирования сейсмических изображений субвертикальных границ, так как к этому этапу обработки сейсмические изображения субгоризонтальных границ уже построены.

Результаты. Полученный в результате миграции дуплексных волн куб вертикальных отражений был загружен в рабочую станцию для последующей интерпретации. Визуальный анализ и количественное сопоставление со скважинными данными показали, что куб требует дополнительных процедур интерпретационной обработки для устранения помех, которые сопоставимы по интенсивности с самими дуплексными волнами. Такими помехами являются амплитуды субгоризонтальной опорной границы и следы расстановки. Вычитание низкочастотной составляющей позволило избавиться от влияния амплитуд опорной границы, а ФК-фильтрация с узким окном отсеяла часть строго вертикальных отражений, связанных со следами расстановки.

Результирующий куб был далек от идеала, но полезные отражения от нескольких линейных зон проявились на горизонтальных и стратиграфических срезах куба четко и однозначно. Более того, поскольку эти отражения формируются на границе сред с различной акустической жесткостью (монокристаллическая порода - раздробленный меланж), то в случае открытой проницаемой трещиноватости на границах зоны дробления наблюдается трёхфазное отражение (положительное-отрицательное-положительное). С известной долей допущения о латеральной разрешенности сейсморазведки можно утверждать, что центральное отрицательное отражение совпадает с самой зоной дробления, а её границы с монокристаллической породой можно отождествить с положительными боковыми отражениями. О том же свидетельствует анализ значений амплитуд в точках пластопересечений: наиболее продуктивные скважины расположены на центральной отрицательной фазе (например, скважины 12, 30, 2, 17 на рис.5).

На четком изображении горизонтального среза куба дуплексных волн проявились морфологические особенности зон дробления – линейные зоны в некоторых случаях разбиты поперечными непроницаемыми нарушениями на отдельные фрагменты, кулисообразно смещенные относительно друг друга. Скважины, расположенные на визуальном продолжении, но уже за пределами зоны, ограниченной поперечным нарушением, характеризуются низкой продуктивностью (например, скважины 7, 34). Таким образом, зоны дробления ограничены не только боковыми стенками, но и по простиранию.

Перед проведением количественного сопоставления со скважинными данными карта амплитуд дуплексных волн была подвергнута дополнительной фильтрации для устранения регулярного высокочастотного шума. Несколько карт, полученных в результате применения различных алгоритмов и параметров фильтрации, участвовали в процессе математической классификации (рис. 5). Сопоставление со скважинными данными показало, что все низкодебитные скважины расположены в классах 1-6, описывающих резервуар с матричной пористостью, в то время как классы 8-15 связаны с зонами трещиноватости, в пределах которых продуктивность скважин возрастает в сотни раз (рис. 6).

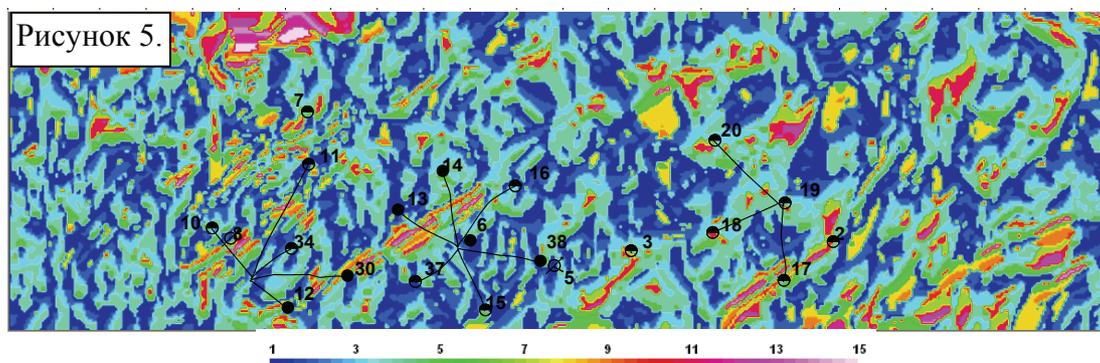


Рисунок 6.



Выводы.

1. Миграция дуплексных волн является прямым методом выделения зон трещиноватости.
2. Качество выделения полезных отражений требует как тщательной подготовки исходных сейсмограмм (устранения влияния расстановки), так и постпроцессинговой обработки (устранения влияния опорной границы).
3. Зоны открытой трещиноватости проявляются на горизонтальных и стратиграфических срезах куба как трёхфазное отражение, где зона дробления описывается центральным отрицательным отражением, а боковые стенки отождествляются с сопредельными положительными отражениями.
4. Зоны дробления могут быть разбиты непроницаемыми поперечными безамплитудными нарушениями, ограничивающими фрагменты зон дробления по простиранию, и смещающими их кулисно относительно друг друга.
5. Выделенные по полю дуплексных волн зоны дробления подтверждаются гидродинамическими исследованиями скважин и могут быть рекомендованы для последующего эксплуатационного бурения.

Список литературы

1. Костюкевич А.С., Мармалевский Н.Я., Горняк З.В., Роганов Ю.В., Мерщий В.В. Конечно-разностное моделирование дуплексных волн, отраженных от субвертикальных границ. – Геофизический журнал, 2001, **23**, 3. – 110-114.
2. Луценко Б.Н., 1987, Интерпретация сейсмических волн в сложных средах: М., Недра.
3. Marmalyevskyy, N., Gornyyak, Z., Kostyukevych, A., Mershchiy, V., Roganov, Y., 2006, Method, system and apparatus for interpreting seismic data using duplex waves, Patent US 7,110,323 B2.