

ПРОГНОЗ ТРЕЩИНОВАТОСТИ РАЗНОМАСШТАБНЫМИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Е.Е. Троицкая¹, О.О. Фадеева¹, Т.Ю. Алферова¹, А.А. Трунова¹, Н.Н. Чикина², А.Р. Минязева¹
(¹АО «ИГИРГИ»)
(²ООО «РН-БВК»)

Район работ характеризуется сложным складчато-надвиговым строением, развитием узких ассиметричных складок, ограниченных многочисленными тектоническими нарушениями (Рисунок 1). Геологический разрез территории представлен карбонатными отложениями со сложной структурой емкостного пространства, обусловленной наличием трещин и каверн. Трещиноватость в регионе играет ключевую роль, поскольку именно с ней связаны области максимальной продуктивности мезозойских отложений. Знание и понимание закономерностей трещиноватости является одной из приоритетных задач для оптимизации добычи УВ в регионе.

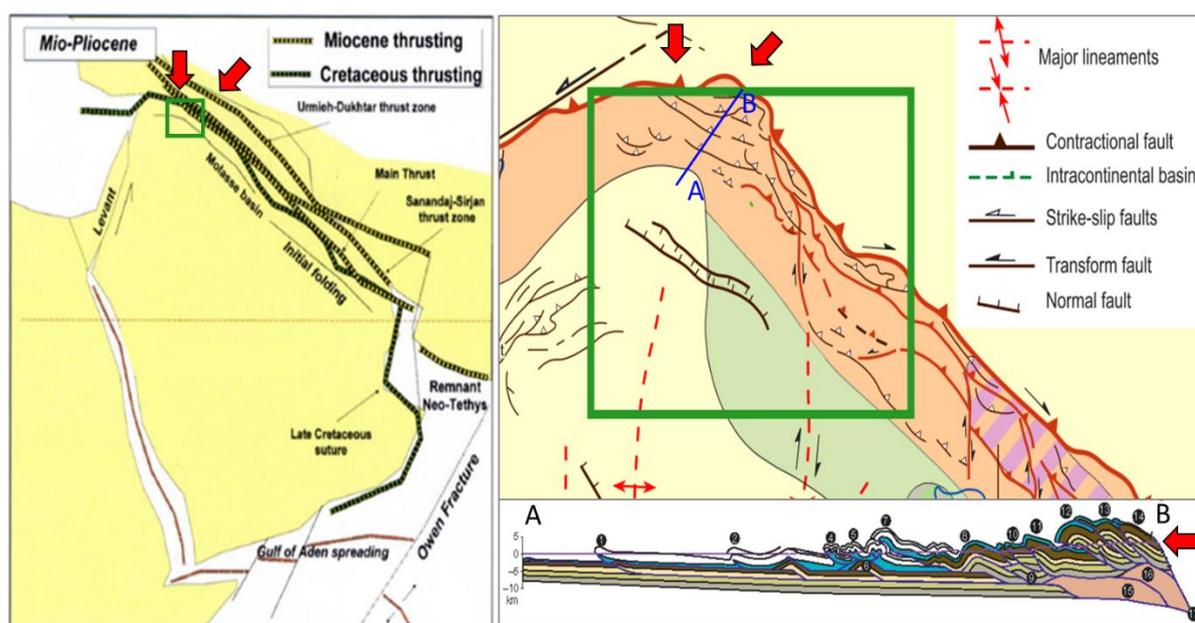


Рисунок 1 Тектоническая карта района работ

В современном мире от геолого-геофизических методов ожидается точное прогнозирование трещиноватых зон. Методическая сложность подобного прогнозирования заключается в сведении разномасштабной информации в одну рабочую модель. Несмотря на широкий спектр методов изучения трещиноватости, до сих пор не существует единого унифицированного подхода в ее прогнозировании. Единственное, что понятно и общепринято на сегодняшний день в научном обществе, это важность комплексного подхода в изучении трещиноватости с использованием всех имеющихся геолого-геофизических данных от макро до микроуровня.

Особенность данной работы заключается в необходимости выборочного комплексирования данных при изучении трещиноватости, поскольку практически все данные, несущие информацию о трещинах, имеют ряд ограничений и погрешностей, а также различный «масштаб наблюдения».

В настоящей работе при изучении трещиноватости применялся итерационный подход с одновременной интерпретацией разномасштабных данных, основанный на первоначальном изучении трещиноватости на макроуровне (обнажения, сейсмические данные), затем на микроуровне (ФМТ, керн) (Рисунок 2). Следует отметить, что унифицированного подхода к анализу трещиноватости на различных месторождениях на текущий момент не существует. Каждый регион характеризуется своими особенностями геологического развития, предполагающими индивидуальный подход.

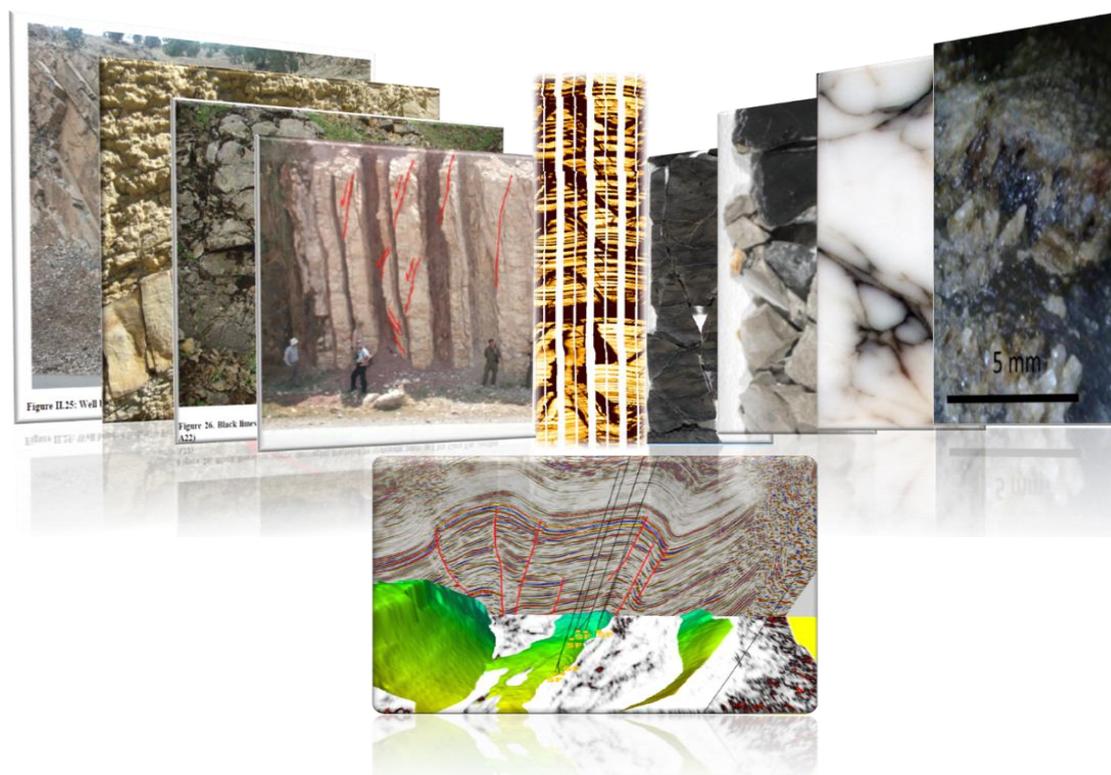


Рисунок 2 Комплексирование разномасштабной информации при изучении трещиноватости

Направление регионального стресса на большей части территории региона северо-восточного-западное, местами отмечается изменение направления стресса на субмеридиональное, связанное с более поздними этапами развития территории. Таким образом, судя по региональным данным, предполагается, что ожидаемое простирание открытых трещин должно соответствовать направлению регионального стресса (критического напряжения).

По результатам изучения обнажений установлено, что среди естественных трещин в районе работ преобладают трещины растяжения и сдвига. Наблюдаемые в обнажениях трещины являются достаточно протяженными и образуют сеть пересекающихся трещин. Общее направление естественных открытых трещин совпадает с направлением современного максимального регионального стресса. Залеченные трещины, напротив, как правило, ориентированы вкрест критическому напряжению. Стоит отметить, что при комплексировании геолого-геофизической информации напрямую использовать характеристики трещин только из обнажений нельзя. Например, такой параметр трещин, как апертура, в обнажениях, как правило, завышен. В поверхностных условиях трещины с течением времени неоднократно подвергались дополнительным факторам поверхностного выщелачивания (гипергенезу), поэтому значения апертур трещин в геологической среде могут существенно отличаться от данных по обнажениям. Из обнажений с небольшим допущением полезно использовать такие параметры, как длина, высота трещин, расстояние между трещинами, а также пространственные характеристики. Как правило, эти параметры слабо или вовсе не диагностируются другими методами.

С сейсмической точки зрения объект рассматривался на макроуровне. Сейсмическая запись волнового поля несет в себе отклик об изменении связанной с трещиноватостью анизотропии. В производственных условиях, при ограниченном количестве скважин стандартный инструментальный интерпретатора позволяет подобрать набор косвенных характеристик объекта для учета распределения геологических свойств.

Как правило, интерпретируемые разломы представляют собой упрощенную плоскость определенного направления мелких разрывных нарушений, но на исследуемой территории визуальный анализ сейсморазведочных данных позволил отметить крупномасштабные плоскости сдвигово-надвиговой тектоники. Структурная интерпретация представляла собой сложный процесс выделения висячего и лежащего блока. В связи с непростым картированием протяженных

тектонических нарушений и ограничений разрешающей способности сейсморазведки, очевидно, что в качестве тренда трещиноватости мы ищем не конкретные плоскости трещин, а стараемся локализовать области потенциальной трещиноватости. Извлекая большое количество атрибутов, мы увеличиваем выборку для определения общего тренда анизотропии свойств среды, связанной с трещиноватостью, увеличивая надежность прогноза. Для детальной настройки атрибутов следует понимать разницу между разрешающей способностью сейсмических данных, данных пластовых микросканеров и керна. Далеко не любая система трещин по скважинным данным найдет свое отражение в сеймике и наоборот. При этом параметризация атрибутов не имеет унифицированного подхода и полагается лишь на субъективный взгляд интерпретатора, ориентирующегося на априорное представление о распространении трещиноватости в районе работ по данным пластовых микросканеров и керна.

Выделение трендов трещиноватости проводилось по качественным признакам на основе извлечения атрибутов из суммарного сейсмического куба и использования рассчитанных в процессе обработки азимутальных атрибутов. В работе выполнено комплексирование нескольких массивов сейсмических атрибутов, создающих хорошую зависимость с петрофизическими данными. Полученные кубы отражают разные характеристики волнового поля, при этом с разных сторон подсвечивают один и тот же тренд в межскважинном пространстве, несмотря на существенные различия входных параметров расчётов. Для успешного геологического моделирования использование сейсмических атрибутов в качестве трендов возможно только при условии контроля интенсивности и распределения трещинных систем в точках скважин. Выбранные атрибуты AVAZ Anisotropic Intensity, Chaos показали хорошие корреляционные связи ($R > 0.7$) с количественными характеристиками трещин в скважинах. Оценить достоверность рассчитанных сейсмических атрибутов можно только путем калибровки их на более мелкомасштабные измерения, такие как керн и пластовые микросканеры.

В трещиноватых интервалах вынос и состояние керна бывает неоптимальным. Часто керн существенно растрескивается, снижая возможность изучения характеристик трещин. Кроме того, как правило, интервалы извлечения керна непротяженные по сравнению с записью высокоразрешающих пластовых микросканеров. Анализ данных пластовых микросканеров позволяет детально изучить разрез, отследить основные геологические элементы: пласты, трещины, текстурные особенности и определить их пространственные и количественные характеристики без извлечения керна.

Интерпретация имиджей пластовых микросканеров проводится компаниями-подрядчиками часто в оперативном режиме без детального погружения в особенности и характеристики изучаемого разреза. Такой подход приводит к потере важной геологической информации.

В данной работе кроме стандартного определения количественных и пространственных характеристик трещин по данным пластовых микросканеров, керна и обнажений для изучаемого региона была разработана классификация трещин. Такой подход позволяет оценить влияние отдельных типов трещин на фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов, а также более корректно выполнить анализ количественных характеристик трещин.

Детальная типизация трещин необходима для создания надежной выборки данных для расчета и калибровки сейсмических атрибутов. Сейсмические и детальные скважинные данные имеют несопоставимую разрешающую способность, в связи с чем, калибровать сейсмические исследования стоит в первую очередь на кластеры наиболее выраженных секущих трещин и мелкие тектонические нарушения. Данный подход повышает информативность геологической модели и позволяет гибко настраивать характеристики трещиноватых пород в модели с целью дальнейшего гидродинамического моделирования.

В работе в отличие от типичного односкважинного подхода к интерпретации данных микросканеров использовался синхронный анализ всех скважин месторождения совместно с данными керна по проектному и соседним месторождениям. То есть, до окончания работы с последней скважиной классификация трещин менялась в зависимости от наблюдений. После чего производилась ревизия типов трещин в ранее выполненных скважинах с целью учета изменчивости трещинных систем по месторождению в целом.

Каждый класс трещин подтверждался керном и имел четкие отличительные особенности на имиджах пластовых микросканеров. Далеко не в каждой скважине были представлены все классы трещин, также варьировалась их интенсивность, что позволило оценить латеральную изменчивость трещиноватости на месторождении и в дальнейшем сопоставить скважинные данные со структурно-тектонической моделью и сейсмическими атрибутами. Полученная в результате работы классификация трещин представлена в таблице 1.

FRACTURE CLASSES	КЛАССИФИКАЦИЯ ТРЕЩИН	Colour Code Цветовой Код
Естественные трещины КЛАСС 1: Крупные секущие трещины		
Conductive Tectonic Through-going Fractures	Крупные секущие тектонические трещины	
Естественные трещины КЛАСС 2: Внутрипластовые трещины		
Conductive Bed Confined Fractures Conductive Cleavage	Внутрипластовые трещины	
Conductive Vuggy Fractures	Трещины с равитием кавернозности	
Естественные трещины КЛАСС 3: Малые трещины низкой раскрытости		
Conductive Pressure Solutions Fractures	Трещины стилолитизации и растворения	
Conductive Partly Sealed Fractures	Частично залеченные трещины	
Conductive Discontinous Fractures	Хаотичные фрагментарные трещины	

Таблица 1 Классификация трещин по результатам интерпретации пластовых микросканеров

При отсутствии записи микроимиджей определение таких параметров трещин, как апертура, интенсивность и ориентация возможно и на керновом материале. Одним из условий правильного определения характеристик керна, в частности, направления трещин, является правильное ориентирование керна. Также немаловажным критерием корректности диагностируемых параметров является вынос керна и его представительность. Как правило, в интенсивно трещиноватых интервалах, представляющий наибольший интерес, керн разбит на отдельные фрагменты.

В настоящей работе по некоторым скважинам проводилась гониометрия керна, включающая уточнение ориентации керна и оцифровку его трещиноватости (определение типа трещин, их направления, угла падения, интенсивности и раскрытости). Стоит отметить, что в отличие от микроимиджей, масштаб керновых исследований позволяет более детально определить тип трещин, их связь с структурно-текстурными характеристиками пород, а также идентифицировать трещины протяженностью менее 1 мм. Таким образом, диагностируемая в керне плотность (интенсивность) трещин зачастую выше, чем на микроимиджах. При комплексировании геолого-геофизической информации стоит с осторожностью относиться к такому параметру трещиноватости, замеренному по керну, как раскрытость (апертура). Дело в том, что при подъеме керна на дневную поверхность происходит снятие напряжения, действующего на породу в глубинных условиях, что приводит к увеличению естественной раскрытости трещин под действием разгрузки напряжений.

В результате обобщения всей имеющейся геолого-геофизической информации по исследованию трещиноватости в районе работ была разработана концептуальная модель, отражающая основные характеристики систем трещин внутри целевого объекта, диагностируемые по обнажениям, сейсмическим атрибутам, микроимиджам и данным керна (Рисунок 3). Основная цель построения модели заключалась в комплексировании всех имеющихся результатов, концептуальном понимании систем трещин и прогнозировании максимально точных их свойств.

В разработке концептуальной модели использовались как результаты проделанных работ, так и общегеологическое представление о складкообразовании в регионе. Наибольший интерес с точки зрения фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов представляли крупные секущие

крутопадающие тектонические трещины север-северо-восточного простирания, выявленные почти во всех скважинах. Интенсивность их изменяется в зависимости от положения скважины на структуре при почти неизменном азимуте простирания, соосном максимальному горизонтальному напряжению. Механизмом формирования выделенных трещин является горизонтальный правосторонний сдвиг в вертикальной плоскости, порождающий трещины отрыва и эшелонные трещины, имеющие диагональную ориентировку. Структурный парагенез, формирующийся в данной обстановке, обусловлен характерным полем напряжений, а именно, оси главных нормальных напряжений, ориентированной по диагонали (под углом 35 - 45°) к направлению сдвига. Поэтому соответствующие им структурные элементы - трещины отрыва и эшелонные трещины - также ориентированы диагонально (первые ориентированы против направления сдвига, а вторые - по направлению). Эшелонные трещины отрыва, сформированные в режиме сдвига, наиболее интенсивно развиты на северо-восточном крутопадающем крыле складки.

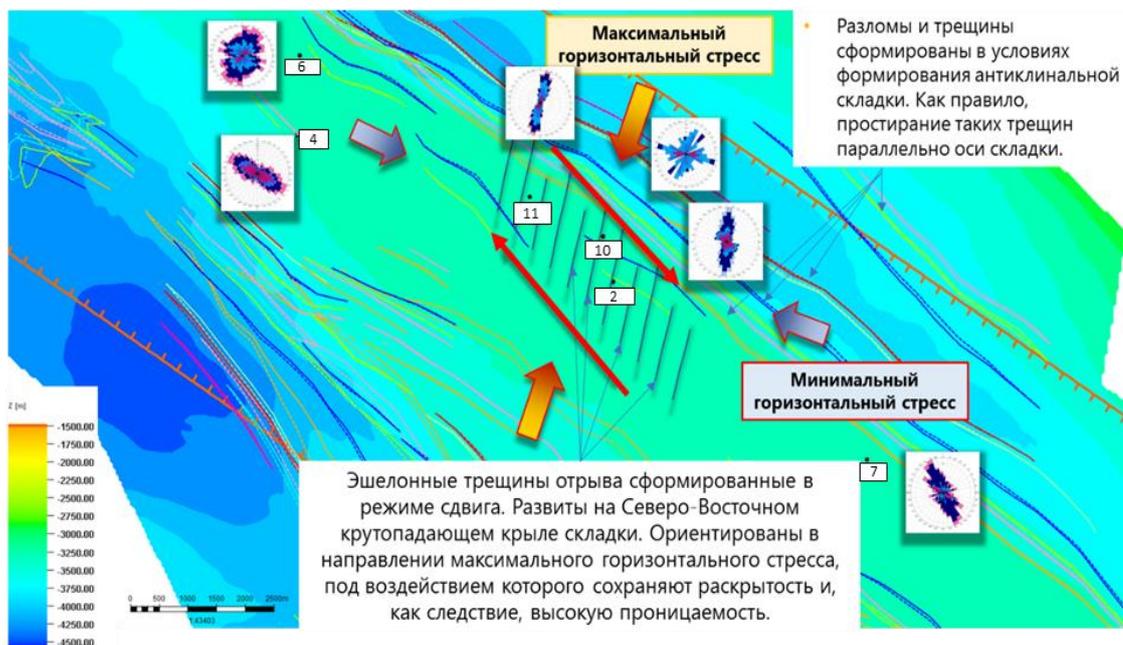


Рисунок 3 Концептуальное представление о формировании трещиноватости в районе работ

Важным фактором является формирование и вторичные изменения систем трещин. С уверенностью было отмечено, что минерализованные трещины в большинстве своем простираются параллельно оси складки и основным крупным дизъюнктивным нарушениям, что свидетельствует об их синхронном со складкообразованием формированием. Трещины, осложненные кавернозностью, наблюдались в максимально поднятых областях структуры, в различной степени прошедших этапы выщелачивания, приведшие к изменению их начальных динамических свойств, а именно увеличению емкости и некоторому снижению проницаемости. Подобная информация служит достоверным ресурсом для изучения вторичных диагенетических процессов и оценки их влияния на фильтрационно-емкостные и динамические свойства пород-коллекторов.

Каждый из косвенных геолого-геофизических методов имеет свои достоинства и ограничения, которые необходимо учитывать. Изучение трещиноватости на месторождении - комплексная задача, требующая глубокого понимания как геологической обстановки формирования систем трещин на месторождении, так и разрешающей способности методов, используемых при ее прогнозировании. В связи с этим командный итерационный подход к анализу трещиноватости является наиболее эффективным и позволяет извлечь максимум как из достоинств, так и из недостатков различных методов.

Результаты проведенных работ позволили сформировать концептуальное представление о развитии трещиноватости в районе работ: оценить латеральную изменчивость, разработать тренды интенсивности трещин в межскважинном пространстве, рассчитать основные количественные характеристики трещин для дальнейшего геологического моделирования.