

АНАЛИЗ ТРЕЩИННЫХ СИСТЕМ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА И ФУНДАМЕНТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕЛЫЙ ТИГР (ВЬЕТНАМ)

WHITE TIGER FIELD FRACTURE SYSTEM ANALYSIS

УДК 550.8.02

А.И. ТИМУРЗИЕВ	Зам. гл. геофизика ОАО «ЦГЭ»	Москва aitimurziev@cge.ru
A.I. TIMURZIEV	Deputy Chief Geophysicist ,CGE JSC ScD (Geol. and Mineral.), Member of Russian Academy of Natural Sciences	Moscow
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: KEYWORDS:	месторождение Белый Тигр, анализ трещинных систем, проницаемость земной коры the White Tiger oilfield, the fault systems analysis, permeability of an earth's crust	

Работа посвящена анализу трещинных систем (трещиноватости и разломов), развитых в породах фундамента и осадочного чехла на месторождении Белый Тигр. Под трещинными системами мы понимаем всю совокупность разноранговых нарушений сплошности пород (от микротрещин до разломов), фиксируемых различными методами исследований и, имеющих различный, но типичный для отдельного метода исследований масштаб. Задача исследований состояла в дифференциации всего многообразия трещинных систем, развитых в породах фундамента на месторождении Белый Тигр, по признаку их проницаемости для фильтрации флюидов при эксплуатации залежи. Графическая иллюстрация результатов анализа позволяет наглядно представить закономерности распределения трещинных систем в осадочном чехле и в фундаменте месторождения Белый Тигр.

The paper discusses analysis of fracture systems (fractured condition and faults) developed in the basement and sedimentary cover of the White Tiger field area. The fracture systems are understood here to be all variety of different-rank disturbances in the solidity of rocks (ranging from micro-cracks to faults) detected by different survey methods of varying but typical (for each method) scale. The research problem has consisted in differentiation of all variety трещинных the systems advanced in breeds of the base on a deposit the White Tiger, on the basis of their permeability for a filtration of fluids at operation of a deposit. Graphic illustrations of the performed analysis provide good visual aid for understanding regularities in the distribution of fracture systems in the basement and sedimentary cover of the White Tiger field.

Введение. Учитывая важное научно-практическое значение, придаваемое изучению геологии и нефтегазоносности месторождения Белый Тигр (МБТ), которое в силу своей уникальности и детальной изученности является полигоном по внедрению новых технологий и методов исследований трещинных коллекторов, в трех статьях приводятся результаты авторского анализа и интерпретации трещинных систем и прогноза модели строения и формирования залежи нефти в гранитах фундамента МБТ.

Статья посвящена комплексному анализу трещинных систем, развитых в породах фундамента и осадочного чехла МБТ. Под трещинными системами будем понимать всю совокупность разноранговых нарушений сплошности пород (от микротрещин до разломов), фиксируемых различными методами исследований и, имеющих различный, но типичный для отдельного метода масштаб. Анализ трещинных систем МБТ выполнен по результатам: 1) описания обнажений горных пород на суше Южного Вьетнама; 2) интерпретации сейсморазведки 3D; 3) данных FMI; 4) исследований ThermoChannel; 5) описания керн и изучения больших шлифов.

Выполненный анализ соотношений трещинных систем служил основой для изучения возможностей реконструкции напряженно-деформированного состояния путем решения обратной задачи и определения параметров анизотропии трещинного коллектора (азимут простираения, простираение и угол падения эффективных трещин, соотношение осей тензора проницаемости) МБТ. Исследования позволили оценить роль трещинных систем различного масштаба, генезиса и возраста в

формировании пористо-проницаемой среды.

По совокупности частных выводов удалось разделить все многообразие фиксируемых различными методами исследований трещинных систем:

- а) на закрытые и залеченные, неэффективные и непроницаемые системы, не имеющие промыслового значения в процессе эксплуатации залежи и;
- б) на открытые эффективные системы, обеспечивающие миграцию и нефтенасыщение коллектора в процессе формирования залежи и фильтрацию к забоям скважин в процессе эксплуатации залежи и имеющие, таким образом промысловое значение.

Для анализа и систематизации данных использовались результаты собственных исследований, полученные при участии в построении геологической модели МБТ (ЦГЭ 2004, 2006), а также отчетные и опубликованные работы, выполненные различными организациями (СП «Вьетсовпетро», НИПИморнефтегаз, РВО «Зарубежнефть», РГУ им. Губкина, АОЗТ «Нефтегазэкспертиза», ОАО «ЦГЭ» и др.) и авторами (А.Г. АВЕРБУХ, Е.Г. АРЕШЕВ, В.П. ГАВРИЛОВ, Ч.Д. ДОНГ, КОШЛЯК В.А., В.Б. ЛЕВЯНТ, В.В. ПЛЫНИН, В.В. ПОСПЕЛОВ, О.А. ШНИП, В.Ф. ШТЫРЛИН и др.), участвовавшими в исследованиях пород фундамента, изучении геологического строения и нефтегазоносности МБТ.

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТРОЕНИЯ МБТ

МБТ расположено в пределах Меконгской (Кыулонгской) впадины Зондского шельфа. В тектоническом плане Зондский шельф входит в состав Индосинийско-Зондской межматериковой области, формирование которой

прослеживается с конца палеозойской эры.

Геологический разрез МБТ представлен докайнозойскими кристаллическими породами фундамента и терригенными породами осадочного чехла. Максимальная вскрытая мощность фундамента достигает 1700 м, мощность осадочного чехла превышает 4300 м.

Фундамент месторождения сложен гранитоидными образованиями (граниты, гранодиориты, диориты) позднемел-раннеюрского возраста, прорванными дайками диабазовых и андезито-базальтовых порфириров. Гранитоидные породы представлены практически всеми переходными разновидностями – плагиограниты, адамеллиты, разнообразные гранодиориты, лейкодиориты, монцодиориты.

Породы фундамента в различной степени изменены вторичными процессами. Среди вторичных минералов наиболее широко распространены цеолит и кальцит. По данным радиологических определений абсолютный возраст кристаллических пород фундамента колеблется от 245 (поздний триас) до 89 (поздний мел) млн. лет.

В гранитоидах МБТ содержится гигантскую залежь нефти.

Осадочный чехол МБТ представлен терригенными породами палеогеновой (олигоцен), неогеновой (миоцен, плиоцен) и четвертичной систем. С олигоценовыми и нижнемиоценовыми пластами связаны промышленные залежи нефти п.

Структура МБТ в тектоническом отношении представляет собой горстообразный выступ фундамента СВ простираения (Рис.1). Поверхность фундамента сформировалась под воздействием тектонических и эрозийных процессов. Выступ со всех сторон ограничен разломами. Наиболее ►

важными (структурообразующими) считаются сквозные нарушения, трассируемые не только в осадочном чехле, но и в фундаменте, предположительно олигоценного возраста. Им отводятся ведущую роль в формировании как самой структуры, так и трещиноватости в породах фундамента. Основные разломы имеют СВ простирание, значительную протяженность и большую амплитуду (1,0-1,5 км). В плане они расположены субпараллельно и кулисообразно, некоторые сочленяются друг с другом и, в свою очередь, осложнены оперяющими нарушениями. Неогеновые разломы немногочисленны, имеют субмеридиональное простирание, их амплитуда не превышает 100 м, протяженность – 3-5 км. В разрезе чехла разломы формируют тектонически-экранированные залежи.

Особенности строения разломов МБТ. Из достоверно картируемых в волновом сейсмическом поле и атрибутах сейсмических полей разломов, четверть не имеют проникновения выше кровли фундамента и являются внутренними неоднородностями фундамента. Большинство разломов проникает в осадочный чехол на различную стратиграфическую высоту (олигоцен-плиоцен), часть из них прослеживается до дневной поверхности (дна моря). Разломы фундамента имеют различный генетический тип и кинематику. Преобладают сбросы, взбросы и надвиги также широко распространены, хотя имеют подчиненное значение (сводовая и западная крыльевая части Центрального блока). Разломы имеют горизонтальную компоненту и сдвиговую кинематику, комбинации их образуют сложные сочетания сбросо-сдвигов (геодинамические условия трансенсии) и взбросо-сдвигов (условия транспрессии). Анализ углов отклонений разломов от вертикали показал, что в среднем этот параметр составляет 55-60 градусов.

Разломы осадочного чехла, связанные с проявлением новейших тектонических деформаций земной коры, выделялись на вертикальных сейсмических профилях по признакам смещения осей синфазности, прекращения прослеживаемости горизонтов в районе тектонического нарушения, наличия следов дифрагированных волн от зоны разлома и др. признакам нарушения сплошности пород (Рис.2.). Дополнительная важная информация по признакам проявления и характеру строения разломов осадочного чехла и фундамента МБТ получена по результатам анализа куба когерентности (Рис.3).

Отличительная особенность разломов МБТ по данным сейсморазведки 3D, заключается в том, что по простиранию сместителя происходит одновременное смещение пород в вертикальном и горизонтальном направлениях. Картируемые сейсморазведкой разломы фундамента идентифицируются как сдвиги по ряду характерных признаков их строения в осадочном чехле: кулисообразному расположению и встречному падению оперяющих разрывов, эшелонированным гирляндам приразломных складок, наличию впадин присдвигового растяжения, характерному рисунку «конский хвост» на окончаниях.

На участках кулисного перекрытия сдвигов образовались зоны сжатия и растяжения, положительные (горсты) и отрицательные (грабены) структуры, присдвиговые складки волочения.

Проявление сдвиговых деформаций фундамента, связанное с появлением в чехле МБТ вдоль длинной оси структуры линейных кулисных разрывов, надежно идентифицируется, начиная с глубины 1000 м вплоть до кровли фундамента. Картина эта закономерно повторяется для всех горизонтов, начиная от кровли миоцена и заканчивая кровлей фундамента. Сдвиги МБТ характеризуются следующими особенностями. Простирание оперяющих кулис в чехле – субмеридиональное (ССЗ 340-350°). Последние группируются в линейные зоны, с которыми по фундаменту связаны главные структуроформирующие сдвиги СВ простирания (СВ 20-40°). По простиранию зоны сдвиговых деформаций выполнены грабенами и впадинами присдвигового растяжения.

Характерно чередование в крест кулис шовной зоны опущенных (грабены) и приподнятых (присдвиговые складки) блоков, а также встречные углы падения оперяющих сбросов по разные стороны от плоскости сдвига. На уровне фундамента положение центральных горстов и окраинных грабенов идентифицирует структуры сжатия и растяжения вдоль систем кулисных нарушений. Наличие грабен-депрессий над зонами сдвигов по фундаменту говорит о смещении с трансенсионной составляющей (сдвиг с элементами растяжения) в субмеридиональном сечении, наличие горстовых поднятий – о смещении с трансенсионной составляющей (сдвиг с элементами сжатия) в субширотном сечении. Направления падения сместителей и генетический тип разломов фундамента позволяют идентифицировать обстановку сжатия для западного крыла гранитного массива (взбросо-сдвиги и надвиги) и обстановку растяжения для восточного крыла гранитного массива (сбросы и сбросо-сдвиги).

Разломы фундамента имеют на новейшем этапе развития две компоненты смещения по плоскостям нарушения и представляют собой комбинированный тип сбросо-сдвигов и взбросо-сдвигов. Сдвиговый характер деформаций по плоскости разломов в миоцен-плиоценовое время подчеркивают элементы смещения южных блоков фундамента МБТ в северо-восточном направлении, а северных блоков фундамента в юго-западном направлении вдоль шовных зон сдвиговых нарушений с формированием характерного кулисного рисунка строения структуры по кровле фундамента. Амплитуда внутриблоковых смещения – первые км, тип смещения – левосторонние сдвиги для разломов фундамента ССВ и СВ простирания. Сбросовый характер разломов подчеркивается элементами грабенообразного строения сводовой и крыльевых частей структуры по всему разрезу от кровли фундамента до верхних горизонтов осадочного чехла. Амплитуда смещения – до 100 м и увеличивается вниз по разрезу. На границе кровли фундамента происходит резкое (на

порядок) увеличение амплитуды разломов, имеющих унаследованное развитие от разломов фундамента.

Для кулис сдвиговых зон осадочного чехла МБТ характерно встречное падение (различная полярность) и винтовое строение плоскости разломов. Угол скола ($\alpha \leq 45^\circ$), образуемый системами кулис с плоскостью сдвига по фундаменту, уменьшается вниз по разрезу и на уровне фундамента стремится к нулю, в связи с чем оперяющие разломы (кулисы) собираются и складываются как веер в плоскость сдвига по фундаменту. Такое строение характерно для неотектонически активных сдвигов фундамента (западное крыло Северного блока, западное крыло и свод Центрального блока, северная (район скв. 8, 458, 460, 465, 8001) и южная (район скв. 7001) часть Южного блока) и позволяет объяснить азимутальные, пространственные и возрастные соотношения разломов фундамента и осадочного чехла как единых геологических тел. Разломы фундамента не испытывали новейшей активизации (разломы в пределах юго-западной и северо-восточной части площади) не находят проявления в осадочном чехле и интерпретируются как внутренние сейсмические неоднородности фундамента.

Плоскости разломов в чехле образуют крутые к вертикали углы падения (70-90°), выходящие к кровле фундамента, что свидетельствует о проявлении при их формировании тектонического режима растяжения, запечатленного элементами сбросовой тектоники. Проседание блоков по системе этих сбросов фиксируется повсеместно в присводовых частях как Центрального, так и Южного и Северного блоков МБТ в интервале от кровли фундамента до самых верхних горизонтов осадочного чехла (Рис.4). Положение депрессионных впадин, связанных с молодыми сбросами и осложняющих присводовую осевую часть фундамента МБТ, свидетельствует о молодом позднеплиоцен-четвертичном времени формирования и наложенном постседиментационном характере этих вторичных структур обрушения. В отличие от бортовых впадин и глубоких депрессий фундамента, которые были скомпенсированы олигоцен-раннемиоценовым осадконакоплением и, которые с формированием присводовых грабен-структур проседания по позднемиоцен-четвертичным отложениям не связаны. Морфология и положение депрессионных впадин осадочного чехла совпадает с проявлением кулисных нарушений и подчеркивает их генетическую связь с разломами и сдвиговую природу (Рис.4).

ТРЕЩИНЫЕ СИСТЕМЫ ПО ОПИСАНИЮ ОБНАЖЕНИЙ ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА

Известно, что без идентификации генезиса трещин их интерпретация может привести к грубым ошибкам. Поэтому авторы полевых исследований (Sung Jin Chang, Nguyen Tien Long; 2000) пытались идентифицировать генезис трещин в первую очередь на основе сетки их развития, а затем через описание характеристик и ориентации. По результатам исследований в обнажениях побережья Южного Вьетнама ►

выделено три группы трещинных систем на основе их генерации: (1) охлажденные или первичные трещины; (2) трещины, связанные с тектоническими деформациями; (3) трещины расслоения и выветривания.

Охлажденные или первичные трещины наблюдаются во всех магматических породах и широко распространены в обнажениях интрузивных и экструзивных пород Южного Вьетнама, но обладают низкими коллекторскими свойствами в связи с низкой пористостью и узкой апертурой (раскрытостью). Из-за малой апертуры и относительно больших расстояний между охлажденными трещинами, они создают небольшую суммарную пористость в объеме породы и не имеют потенциала для образования коллектора.

Трещины, связанные с деформациями или трещины в приразломных зонах, считаются наиболее значимыми для формирования коллекторов в трещиноватых породах фундамента. Авторы (Sung Jin Chang, Nguyen Tien Long; 2000) разделяют приразломные зоны разрушений на: а) катаклазиты и милониты и б) приразломные брекчии.

Трещины, связанные с деформациями или приразломные зоны разрушений в целом обладают высоким коллекторским потенциалом, зависящим от типа породы, который в свою очередь связан с процессом деформаций. Так приразломная брекчия (хрупкое разрушение в холодных интервалах коры) представляет собой прекрасный коллектор, в то время как катаклазиты и милониты (хрупкое разрушение при высоких температурах и менее сильных деформациях) не создают поровой среды (сохраняется первичная структура породы) и представляют собой очень плохие коллектора.

Все обнаруженные деформации в обнажениях оказались в основном связаны с хрупким разрушением пород, ассоциированным с приразломными брекчиями. Как результат, главные региональные разломы представляют качественные потенциальные коллектора (Sung Jin Chang, Nguyen Tien Long; 2000). Большинство крупных разломов, формирующих бассейн Кыу-Лонг, интерпретируются как нормальные листрические разломы.

Трещины расслоения и выветривания. Обнаруженные в обнажениях трещины расслоения и выветривания являются последними из образованных в породе трещин и располагаются в верхних десятках метров фундамента. Ограниченное распространение трещин расслоения и выветривания незначительно влияет на величину общей пористости, проницаемости и поэтому имеет малое значение для разведочных работ. В процессе выветривания пористость увеличивается до 37% (анализ образцов), однако проницаемость улучшается незначительно. Большинство образцов показали низкую проницаемость, независимо от высокой пористости и низкой плотности, в связи с заполнением пустот глинистыми минералами, образовавшимися за счет выветривания полевых шпатов.

Таким образом, трещины, связанные с деформациями, особенно приразломные

зоны разрушений и висячие крылья, считаются наиболее качественными и значимыми коллекторами в породах фундамента. Пустоты (пористость), образованные интенсивным образованием трещин, и дислокационные брекчии вдоль мелких разломов считаются основными зонами притоков на действующих месторождениях бассейна Кыу-Лонг.

Характеристика трещинных систем, наблюдаемые в обнажениях. Ниже приводятся сводные данные о трещинных системах приразломных зон, наблюдаемые в обнажениях и характеризующие их взаимоотношения со структурой фундамента и залежью нефти МБТ.

Трещины в приразломной зоне разрушений расположены параллельно основному разлому, густота их увеличивается с приближением к плоскости нарушения.

Расстояние между трещинами (для деформаций висячего блока разлома) достаточно плотное, они часто перемежаются с мелкими зонами разломов шириной до 2 м, расстояние между которыми достигает нескольких метров.

Пористость и проницаемость трещинного фундамента уменьшаются с глубиной, открытые разломы и трещины встречаются и на больших глубинах, но их количество невелико и с глубиной резко уменьшается.

Самые напряженные и трещиноватые зоны располагаются на куполах структур. Считается, что плотность трещин уменьшается с глубиной и вдоль флангов структуры.

Установлено, что разломы по периферии залежи не допускали выхода нефти из фундамента, поэтому они считаются эффективным флюидоупором. Один и тот же разлом не может быть одновременно проводящим и экранирующим, и факт экранирования залежи нефти периферийными разломами, является следствием их непроницаемости.

Влияние магматизма, гидротермальных изменений и цеолитизации на характеристики трещинных систем. Приведем некоторые наблюдения, характеризующие влияние магматизма и гидротермальных изменений на характеристики трещинных систем, взаимоотношения и связи гидротермальных и метасоматических преобразований пород с приходом нефти в коллектор. Покажем также место УВ включений в общем цикле магматического и осадочного породообразования, что в совокупности позволяет вынести суждения о процессах заполнения нефтью порово-трещинной среды фундамента.

В структуре МБТ выделяется несколько типов кислых пород, формирующих телескопически вложенные друг в друга разновременные тела, одинаково ориентированных в пространстве батолитов. Это доказывает взаимопроницаемость этих интрузий, а также наличие длительное время действующей дифференцирующей магматической камеры.

Полифазные интрузивные и гидротермальные явления вызвали существенные изменения гранитных комплексов и осложняющих их трещинных систем.

Характер и последовательность

чередования минеральных ассоциаций различного температурного ряда позволяет выделить несколько фаз деформаций и трещинообразования:

а) высокотемпературные минералы (цеолиты, анальцит, лемонцит, железо, цинк и сульфиды меди) свидетельствуют о высоких температурах (мезотермическая фаза) гидротермального минералообразования и образуют выполнение ранних трещинных систем;

б) следующие гидротермальные изменения, включающие кальцит, кварц, хлорит, альбит, фистацит и серицит, предполагают немного меньшие температуры гидротермального минералообразования, или другими словами наблюдается телетермическая гидротермальная активность, связанная с остыванием источника глубинных эманаций во времени;

в) последняя тектоническая активизация бассейна Кыу-Лонг была бала связана с фазой сжатия, действующей в сечении ССЗ – ЮЮВ. Одно из знаковых различий этого явления от предыдущих связано с накоплением нефти в структурах в период миоцена. Нефть прекратила образование аутигенных минералов, она эффективно сохранила коллектор от дальнейшей деградации, происходящей в результате воздействия термальных вод.

По результатам полевых наблюдений на суше не обнаружено ни одного свидетельства обширных гидротермальных изменений. На этом основании сделан вывод – гидротермальные изменения получили широкое распространение на шельфе, но не на суше.

Во всем бассейне Кыу-Лонг цеолиты известны своим распространением по фундаменту и обратно пропорциональной взаимосвязью с дебитами скважин: чем выше содержание цеолита, тем ниже дебит скважин.

Из общих закономерностей распространения цеолитов сделаны следующие выводы. Граниты КаНа с высоким содержанием плагиоклазов чрезвычайно активно накапливают цеолиты, вулканические породы с высоким содержанием плагиоклазов могут являться источником цеолитов для пород фундамента.

Выводы:

1. Из всего многообразия развитых в обнажениях побережья Южного Вьетнама трещинных систем (охлажденные или первичные трещины, трещины, связанные с тектоническими деформациями, трещины расслоения и выветривания), практический интерес для изучения влияния и оценки роли трещиноватости на фильтрационно-емкостные свойства пород фундамента представляют только трещины, связанные с тектоническими деформациями или приразломными зонами разрушений.
2. Охлажденные или первичные трещины и трещины расслоения и выветривания не имеют потенциал для образования коллектора. Сильно выветренная часть насыщенных плагиоклазами гранитных порфиритов или диоритов ►

обладает хорошими запечатывающими свойствами. В связи с этим, представления о связи высокой продуктивности кровельной части гранитов МБТ с корой выветривания, могут оказаться сильно преувеличенными.

3. Из категории трещин приразломных зон разрушений, в целом обладающих высоким коллекторским потенциалом, очень плохие коллектора формируют трещины, связанные с катаклазитами и милонитами.
4. Так как все деформации в обнажениях в основном связаны с хрупким разрушением пород (приразломные брекчи), представляющими собой прекрасные коллектора, мы приходим к выводу о трещинах приразломных зон разрушений, как основном типе трещин, формирующих пористо-проницаемую среду в обнажениях интрузивных и эктрузивных пород Южного Вьетнама. По аналогии мы вправе распространить этот вывод и на погруженные породы шельфа Вьетнама и фундамента МБТ.
5. Как будет показано ниже, интенсивность вторичных минеральных новообразований (цеолитизация) находится в прямой связи с интенсивностью трещиноватости приразломных зон и способна свести на нет их потенциально высокие коллекторские свойства. Следствием этого наблюдения является вывод о том, что не все трещины приразломных зон являются проницаемыми и требуются дополнительные признаки, позволяющие дифференцировать трещины приразломных зон по степени их раскрытости и проницаемости.
6. Согласно стадийности гидротермальных и метасоматических процессов аутигенного минералообразования,

последняя низкотемпературная фаза гидротермальной активности МБТ связана с приходом нефти в самые поздние открытые трещины с их последующей консервацией.

7. Трещины всех систем домиоценового происхождения (сформированные до прихода нефти) залечены вторичными минеральными новообразованиями и непроницаемы, и только самые молодые генерации трещин, заполненные нефтью, сохраняют эффективную раскрытость и проницаемость.
8. Следствием последнего наблюдения является практически важный вывод о том, что только изучение новейшей и современной активизации разломов и трещиноватости позволяет прогнозировать параметры открытой трещиноватости и геометрию эффективных нефтенасыщенных (не залеченных) трещинных зон и резервуаров нефти фундамента.
10. В связи с поздним приходом нефти в порово-трещинную среду гранитных коллекторов МБТ, следует признать, что все геологические процессы и явления, до миоценового времени не влияют на процессы нефтегазоаккумуляции.

ТРЕЩИННЫЕ СИСТЕМЫ МБТ ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ 3D

Из картируемых в волновом сейсмическом поле и атрибутах сейсмического поля разломов, четверть не проникают выше кровли фундамента и являются внутренними неоднородностями фундамента. Наибольшую суммарную протяженность (45%) имеют нарушения северо-восточного простирания (СВ 22,5-45°). Анализ углов отклонений разломов от вертикали показал, что этот параметр не зависит от

простираения разломов и составляет в среднем 55-60° (ЦГЭ, 2006).

Большинство разломов фундамента проникает в осадочный чехол на различную стратиграфическую высоту (олигоцен-плиоцен), часть из них прослеживается до дневной поверхности (дна моря). Разломы МБТ имеют различный генетический тип и кинематику. Преобладают сбросы, взбросы и надвиги также широко распространены, хотя имеют подчиненное значение (сводовая и западная крыльевая части Центрального блока). Разломы фундамента имеют горизонтальную компоненту и сдвиговую кинематику, комбинации их образуют сложные сочетания сбросо-сдвигов (геодинамические условия трансенсии) и взбросо-сдвигов (условия транспрессии), вертикальная амплитуда их по кровле фундамента достигает 2,0 км, горизонтальная амплитуда оценивается первыми километрами.

Геометрический анализ включал изучение параметров пространственного (азимуты простирания) и количественного (густота) распределения разломов фундамента и осадочного чехла МБТ, выделенных по сейсморазведке 3D по результатам интерпретации куба сейсмических атрибутов (куб когерентности). Метод изучения – построение роз-диаграмм простирания разломов для различных глубинных срезов.

Глубинный сейсмический куб. Для анализа использовались глубинные срезы: 3500 м, 4000 м, 4500 м и 4800 м, наиболее полно характеризующие продуктивную часть фундамента МБТ. Масштаб построений – от 0 (min) до 60 (max) условных единиц (делений лепестковой диаграммы), выраженных величиной суммарной длины следов разломов на глубинном срезе. ►

Глубинный интервал	Азимутальный тренд простирания разломов	Региональный максимум простирания разломов	Локальный максимум простирания разломов	Густота регионального максимума	Густота локального максимума	Соотношение максимумов густоты
3500 м	СВ 10-50° – ЮЗ 190-230°	СВ 20-30° – ЮЗ 200-210°	В 70-80° – З 250-260°	30	15	2:1
4000 м	СВ 20-50° – ЮЗ 200-230°	СВ 20-30° – ЮЗ 200-210°	С 0-10° – Ю 18°-190°	56	28	2:1
4500 м	СВ 0-60° – ЮЗ 180-230°	СВ 20-30° – ЮЗ 200-210°	В 80-90° – З 260-270°	60	5	12:1
4800 м	СВ 20-50° – ЮЗ 20°-230°	СВ 30-40° – ЮЗ 210-220°	С 0-10° – Ю 180-190°	38	22	1,7:1

Таб. 1.

Глубинный интервал	Азимутальный тренд простирания разломов	Региональный максимум простирания разломов	Локальный максимум простирания разломов	Густота регионального максимума	Густота локального максимума	Соотношение максимумов густоты
2000 м	СЗ 320-360° – ЮВ 140-180°	СЗ 340-350° – ЮВ 160-170°	В 80-90° – З 260-270°	78	34	2,3:1
2500 м	СЗ 320-360° – ЮВ 140-180°	СЗ 340-350° – ЮВ 160-170°	В 60-70° – З 240-250°	118	29	4:1
3000 м	СЗ 320-360° – ЮВ 140-180°	СЗ 340-350° – ЮВ 160-170°	В 60-70° – З 240-250°	92	37	2,5:1
3500 м	СЗ 330-360° – ЮВ 150-180°	СЗ 350-360° – ЮВ 170-180°	В 50-60° – З 230-240°	52	35	1,5:1

Таб. 2.

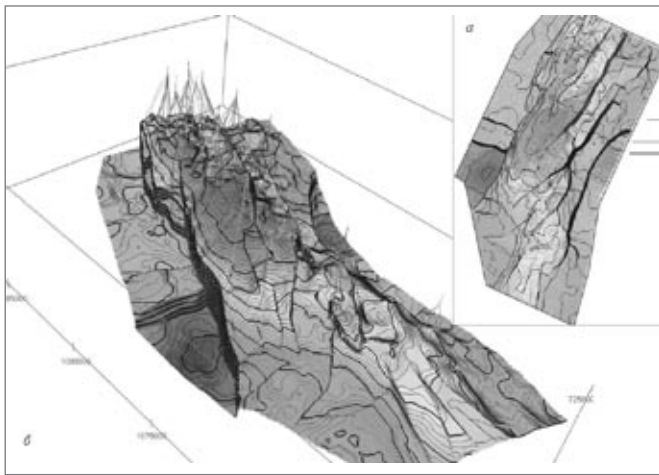


Рис.1. Месторождение Белый Тигр. Структурная модель поверхности фундамента: план (а) и трехмерная визуализация (б) по данным интерпретации сейсморазведки 3D (ЦГЭ, 2006)

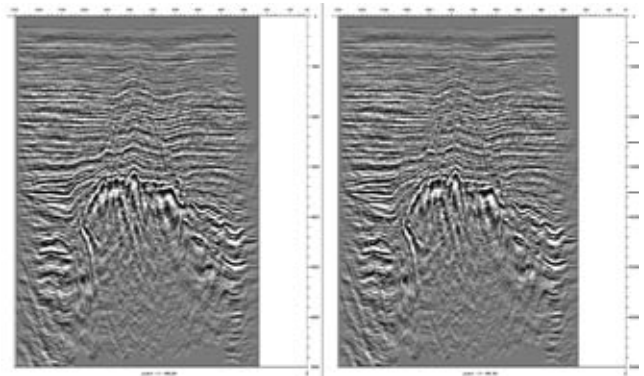


Рис.2. Месторождение Белый Тигр. Характер проявления и пример интерпретации разломов осадочного чехла на сейсмических разрезах

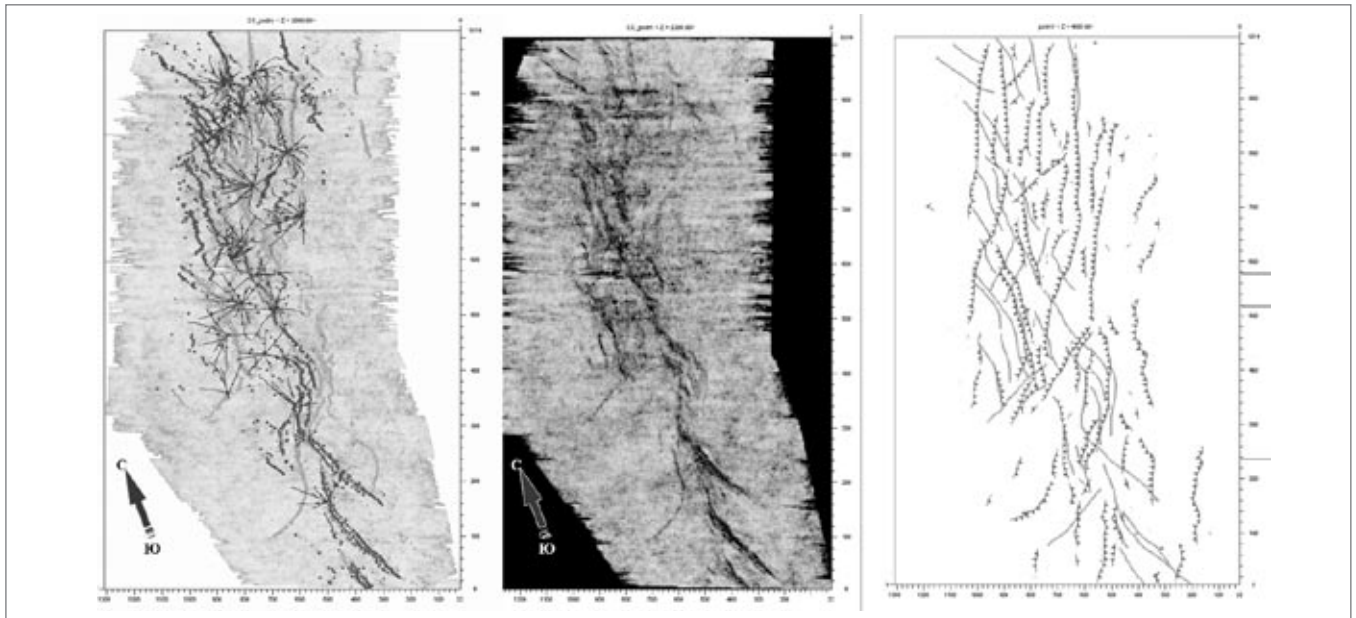


Рис.3. Месторождение Белый Тигр. Характер проявления и пример выделения оперяющих кулис горизонтальных сдвигов фундамента на кубе когерентности в интервале осадочного чехла кайнозойских отложений (глубинный срез 2000 м и 2200 м). Слева цветом показаны различные (встречные) углы падения сбросов. На правом рисунке показано косое соотношение разломов фундамента на глубинном срезе 4000 м (красный цвет) и осадочного чехла на глубинном срезе 1500 м (зеленый цвет).

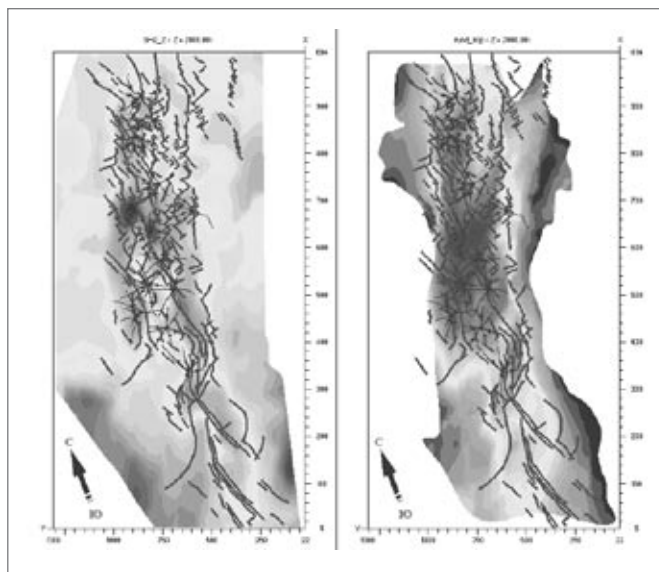


Рис.4. Месторождение Белый Тигр. Соотношение структурного плана по кровле горизонта SH2 среднего миоцена (а) и фундамента (б) со следами разломов осадочного чехла на глубинном срезе 2000 м.

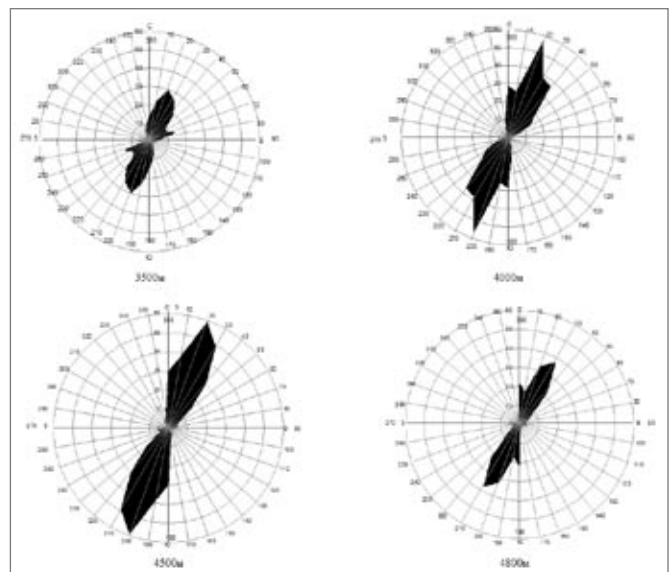


Рис.5. Месторождение Белый Тигр. Розы-диаграммы простирания разломов фундамента на различных глубинных срезах (3500м, 4000м, 4500м, 4800м) по данным сейсморазведки 3D

Куб когерентности. Для анализа использовались глубинные срезы: 2000 м, 2500 м, 3000 м, 3500 м, наиболее полно характеризующие продуктивную часть осадочного чехла. Масштаб построений – от 0 (min) до 120 (max) условных единиц (делений лепестковой диаграммы), выраженных величиной суммарной длины следов разломов на данном глубинном срезе. Двукратное увеличение масштаба построений свидетельствует о двукратном

превышении густоты картируемых разломов в разрезе осадочного чехла МБТ.

Розы-диаграммы простираения разломов на глубинных срезах сейсмического куба и куба когерентности, построенные для фундамента (Рис.5) и осадочного чехла (Рис.6) демонстрируют особенности пространственного соотношения основных систем разломов.

С целью визуализации сводных данных по закономерностям пространственного

и относительного количественного распределения разломов, выделенных по результатам интерпретации сейсморазведки 3D в фундаменте и осадочном чехле МБТ, построены суммарные розы-диаграммы простираения разломов фундамента для глубинного интервала 3500-4800 м; осадочного чехла для интервала 2000-3500 м; и сводная диаграмма простираения разломов фундамента и осадочного чехла для интервала 2000-4800 м (Рис.7). ►

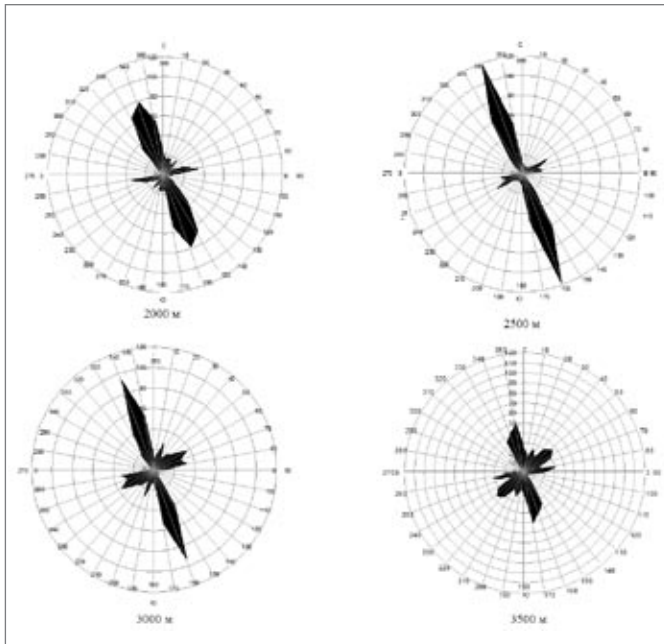


Рис.6. Месторождение Белый Тигр. Розы-диаграммы простираения разломов осадочного чехла на различных глубинных срезах (2000м, 2500м, 3000м, 3500м) по данным сейсморазведки 3D

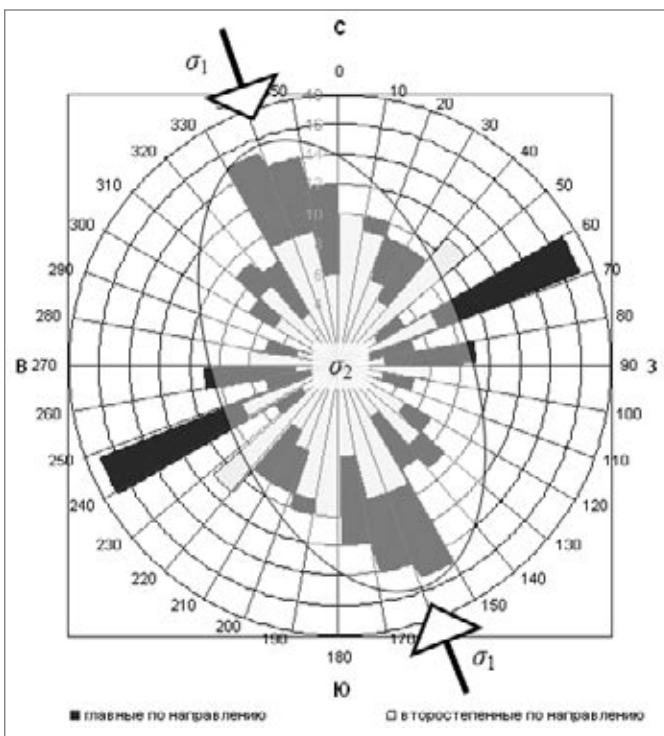


Рис.8. Месторождение Белый Тигр. Суммарная роза-диаграмма простираения трещин в фундаменте по скважинным данным (метод FMI). Длинная ось эллипса совпадает с плоскостью σ_1 , образуемой осями средних (σ_2) и максимальных (σ_1) главных нормальных сжимающих напряжений и направлением главных систем проницаемых трещин в фундаменте.

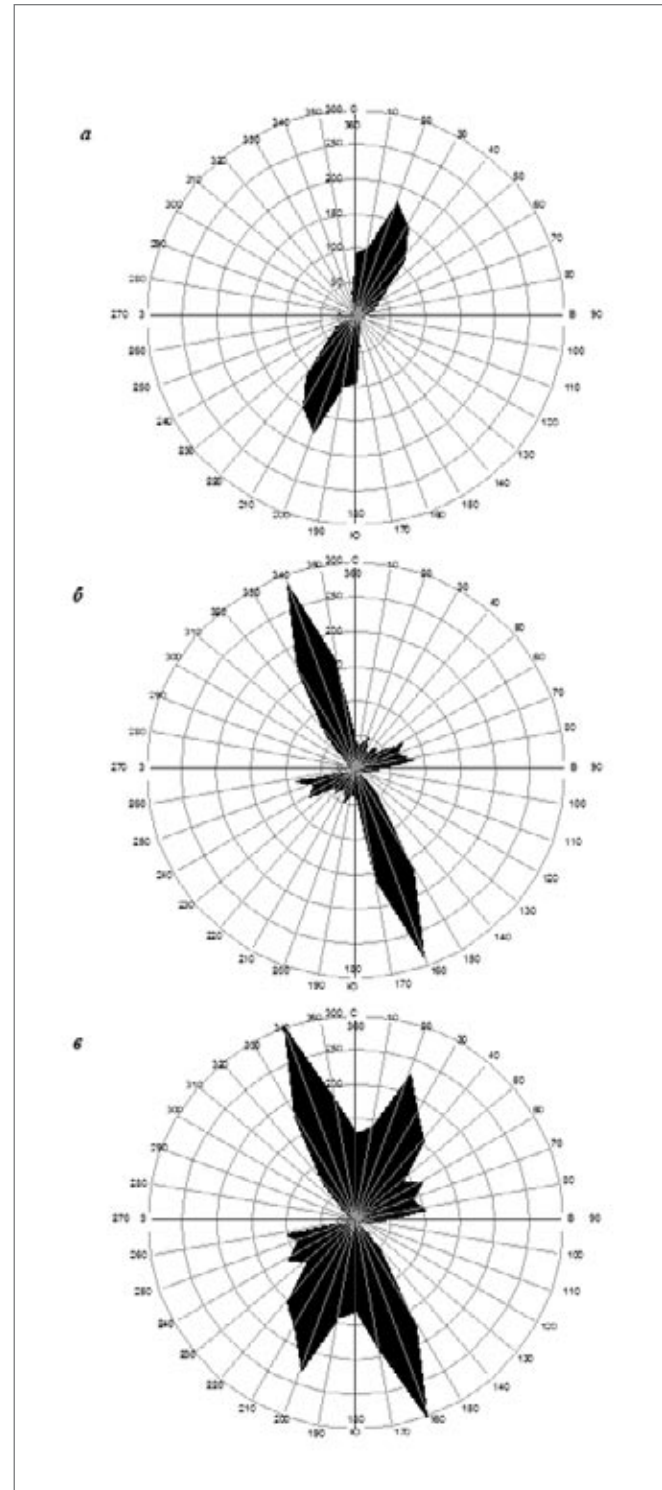


Рис.7. Месторождение Белый Тигр. Суммарные розы-диаграммы простираения разломов: а – фундамента для глубинного интервала 3500-4800 м; б – осадочного чехла для глубинного интервала 2000-3500 м; в – сводная диаграмма простираения разломов фундамента и осадочного чехла для глубинного интервала 2000-4800 м по данным сейсморазведки 3D.

Сводные розы-диаграммы простира-ния разломов показывают преобладающие простира-ния для систем разломов фунда-мента (ССВ 20-40°) и осадочного чехла (ССЗ 340-350°), а также количественное распределение (густота) разломов различ-ных систем. Сводные данные по параме-трам пространственного и количественно-го распределения разломов, выделенных по сейсморазведке 3D в фундаменте (глу-бинный сейсмический куб) и в осадоч-ном чехле (куб когерентности) сведены в таблицы 1 и 2.

Выводы:

1. Сейсморазведка 3D картирует высо-коамплитудные разломы фундамента преимущественно северо-восточного простира-ния в азимутальном створе СВ 20-40°. Статистически преоблада-ют разломы фундамента ССВ 20-30°, максимум значений ССВ 20°.
2. Второстепенные максимумы прости-ра-ния разломов фундамента пред-ставлены двумя системами разломов в узком азимутальном створе С 0-10° и В 70-80°.
3. Относительная густота распростра-нения разломов фундамента подчерки-вает установленные закономерности простира-ния систем разломов. Соот-ношение максимумов густоты разло-мов (для 10-ти градусных секторов) на глубинных срезах 3500 м, 4000 м, 4800 м находится в соотношении 2:1; на глубинном срезе 4500 м она резко аномальна – 12:1.
4. По результатам интерпретации куба когерентности выделены разломы осадочного чехла преимущественно северо-северо-западного простира-ния в азимутальном створе ССЗ 330-360°. Статистически преобладают разломы осадочного чехла СЗ 340-350° с мак-симумом значения ССЗ 340°.
5. Второстепенные максимумы прости-ра-ния разломов осадочного чехла представлены двумя системами раз-ломов СВ 50-70° и В 80-90°.
6. Для глубинного среза 3500 м выде-ляются разломы осадочного чехла и фундамента двух равнозначных мак-симумов ССЗ (350-360°) и СВ (50-60°) простира-ния. Этот факт свидетель-ствует о проникновении разломов оса-дочного чехла (преимущественно ССЗ простира-ния) в фундамент, где преоб-ладают разломы преимущественно СВ простира-ния.
7. Относительная густота распростра-нения разломов осадочного чехла подчеркивает установленные азиму-тальные закономерности простира-ния основных систем разломов. Соотно-шение максимумов густоты разломов (для 10-ти градусных секторов) на глу-бинных срезах 2000 м, 2500 м, 3000 м и 3500 м находится в соотношении от 1,5:1 до 4:1 с максимумом на глубин-ном срезе 2500 м (4:1).
8. Среднее значение густоты систем разломов региональных и локальных максимумов для СЗ (осадочный че-хол) и СВ (фундамент) простира-ний

находится в соотношении 96:33,3 (2,9) и 46:17,5 (2,6). Налицо почти двукрат-ное превышение густоты разломов, выделяемых в осадочном чехле, на фоне равного и более чем двукратно-го (2,6-2,9) преобладания региональ-ных максимумов над локальными максимумами последних.

9. Системы разломов фундамента (ССВ 20-30°) и осадочного чехла (СЗ 340-350°) косо ортогональны друг к другу и образуют угол в 40°, равный углу скола ($\alpha \leq 45^\circ$). Выявленные две системы разломов являются след-ствием проявления и идентифициру-ют два различно ориентированных региональных поля напряжений в истории развития МБТ.
10. Система разломов осадочного чехла является наиболее поздней (картиру-ется в миоцен-плиоценовых породах) и связана с общим ССЗ региональным стрессом (сжатием) сдвигового поля напряжений завершающей фазы аль-пийского тектогенеза.

ТРЕЩИННЫЕ СИСТЕМЫ МБТ ПО ДАННЫМ FMI

Данные по трещиноватости анали-зировались по всем скважинам, где про-водились измерения FMI (в основном на Центральном блоке и лишь частично на Северном блоке).

Анализировались в основном азимуты трещин, раскрытость (апертура) и трещин-ная пористость. В отчетах по исследова-ниям методом FMI в породах фундамента выделяются следующие основные типы трещин: непрерывные (Continuous), пре-рывистые (Discontinuous), кавернозные (Vuggy), брекчиевидные (Brecciated), залеченные (Healed).

По азимутам простира-ния трещин по-строено 20 карт ориентировки трещин в виде роз-диаграмм для глубинных срезов в диапазоне 3300-5300 м с шагом 100 м. По данным FMI была построена таблица азимутов простира-ния и сводная роза-ди-аграмма простира-ния трещин (Рис.8). По результатам построений выделяется не-сколько преобладающих систем трещин, среди которых господствующими являют-ся: СЗ 330-350° и СВ 60-70°, подчиненны-ми - СВ 0-20° и СВ 40-50°. Всего идентифи-цируется до восьми систем трещин.

Отмечается постоянно простира-ний трещин для отдельных скважин на всем интервале глубин: скв.465 (СВ 70-80°), скв.484 (ССВ 20-30° и СВ 60-80°), скв.485 (ССВ 20-30° и СВ 45°), скв.479 (СВ 60-80°), свидетельствующее о том, что скважина вскрывает систему трещин одного генезиса и возрастного диапазона. По скважинам Центрального блока преобладают трещи-ны северо-восточного простира-ния, в то время как по скважинам Северного блока преобладают трещины северо-западного простира-ния.

Анализ данных FMI показал, что апер-тура трещин сама по себе не может яв-ляться характеристикой коллекторских свойств пород, так как залеченность трещин цеолитами и глинами сильно влияет на их коллекторские свойства. В скважинах Северного блока сильнее развиты процес-сы цеолитизации и каолинитизации пород, приводящие к закупорке трещин и ухуд-шающие ФЕС пород, что является глав-ной причиной меньшей продуктивности скважин Северного блока по сравнению с Центральным блоком. Наиболее пер-спективными с точки зрения сохранности коллекторских свойств являются породы фундамента с кавернозным или брекчие-видным строением трещин, мало затрону-тые процессами залечивания.

Выводы:

1. Азимутальное распределение трещин по данным FMI подтверждает установ-ленные сейсморазведкой связи по про-стира-нию основных систем разломов.
2. В фундаменте МБТ преобладают систе-мы трещин СЗ и субмеридионального простира-ния (~60%), характерные для разломов осадочного чехла (молодые открытые трещины), на втором месте по распространенности трещины СВ и субширотного простира-ния (~40%), ха-рактерные для разломов фундамента (древние залеченные трещины).
3. Установленные связи свидетельствуют о единой природе физических процес-сов и деформаций, определивших об-разование разломов и трещиноватости в единых силовых полях тектонических напряжений. Направление СВ 20-40° совпадает с простира-нием структуро-формирующих разломов фундамента, направление СЗ 330-350° соответству-ет ориентировке региональной транс-прессии альпийской фазы тектогенеза и простира-нию молодых разломов и от-крытых трещин осадочного чехла и фун-дамента.

ТРЕЩИННЫЕ СИСТЕМЫ МБТ ПО ИССЛЕДОВАНИЯМ TERMOCHANNEL

Метод TermoChannel использует тер-модинамические исследования для опре-деления геометрических характеристик значительных по размерам супертрещин. Предполагается, что по этим супертрещинам осуществляется приток флюида в скважину из областей питания (ПЛЫНИН и ШТЫРЛИН, 2006). Анализировались дан-ные по всем скважинам (всего 25) в преде-лах Центрального и Северного блоков фун-дамента (на Южном блоке исследовалась одна скважина). По технологии метода Ter-моChannel определяются следующие пара-метры трещин: глубинная отметка пересече-ния со стволом скважины, глубинная отметка зоны питания, отход зоны питания от ствола, длина, угол падения, раскрытость, ширина, расход флюида в зоне притока. ►

	Поры, %	Каверны, %	Трещины, %	Сумма, %
Северный блок	0,97	0,34	1,07	2,38
Центральный блок	0,56	0,06	0,90	1,52

Таб. 3.

Изучалась зависимость расхода флюида в зоне притока от раскрытости трещин. По ряду скважин при одинаковой раскрытости трещин приток был различным. В этих случаях бралось среднее значение раскрытости трещин. Расчетный коэффициент корреляции составил 0,51. График регрессии показывает, что с увеличением раскрытости увеличивается и приток флюида. Однако при значениях раскрытости больше 1,5 мм наблюдается сильный разброс значений притока, что может свидетельствовать о залеченности трещин с раскрытостью более 1,5 мм. Анализ показал, что раскрытость трещин Северного блока меньше, чем Центрального блока. В скважинах Северного блока максимальная раскрытость трещин равна 1,022 мм, в скважинах Центрального блока она достигает 2,679 мм.

Для анализа падения трещин по методу ThermoChannel строилась гистограмма углов падения трещин. Преобладают субвертикальные (60-70°), редки крутонаклонные (40°) и вертикальные (80-90°) макротрещины. По методу ThermoChannel (Плынин и Штырлин, 2006) преобладающий угол падения макротрещин составляет 79,5-81,0° относительно горизонта (субвертикальные).

Углы падения макротрещин анализировались также в несколько ином представлении, как углы отклонения от вертикали. В этом случае не учитывается информация о местонахождении зоны питания, поскольку нами решалась задача по выяснению геометрии систем макротрещин, а не гидродинамики. На гистограмме распределения углов отклонения макротрещин от вертикали уверенно выделяется диапазон 20-30° (частота встречаемости около 50%), на втором месте диапазон 10-20° (частота встречаемости около 25%). Следующие по значимости углы отклонения макротрещин от вертикали – 80-90° (близвертикальные). Присутствует класс пологонаклонных макротрещин с углами отклонения больше 50°. В таком варианте представления данных ThermoChannel более 75% трещин имеют углы отклонения макротрещин от вертикали в диапазоне 10-30°.

В рамках изучения количественных параметров трещин по данным ThermoChannel был построен график зависимости углов падения от абсолютной глубины вскрытия макротрещин стволом скважины. Анализ графика показывает, что во всем диапазоне глубин вскрытия преобладают крутонаклонные макротрещины со значениями углов падения 60-70°.

Выводы. Метод ThermoChannel использовался для количественной оценки распределения углов падения трещин.

1. По данным FMI падение трещин носит хаотичный характер, что связано с разнообразием типов трещин, выделяемых FMI (согласные, брекчиевидные и др.), в то время как метод ThermoChannel связывает приток флюида в скважину с определенным типом – отдельными фильтрующими макротрещинами значительной протяженности, которые являются каналами, идущими от зон питания.
2. Важнейший вывод по результатам анализа методом ThermoHydroChannel

сводится к установлению убедительной закономерности, согласно которой наиболее представительная выборка среди классов трещин по углам падения (субвертикальные – 90-60°, наклонные – 60-30°, субгоризонтальные – 30-0°) связана с субвертикальными (60-70°) и вертикальными (~80°) трещинами.

3. Значимость этого вывода усиливается тем обстоятельством, что метод ThermoChannel фиксирует не валовую трещиноватость, а открытые фильтрующие трещины.

ТРЕЩИННЫЕ СИСТЕМЫ МБТ ПО ОПИСАНИЮ КЕРНА СКВАЖИН И ШЛИФОВ

По результатам макроописания керна и изучения больших шлифов (Гаврилов, 2001) изучались особенности пустотного пространства на микроуровне. Изучение параметров единичных микротрещин и микротрещиноватости, как поля пространственной организации микротрещин, является конечным этапом в ряду наших системных наблюдений линейных дислокаций горных пород различного масштаба. Особенности структуры порово-трещинной среды во взаимоотношении со стадийными эпигенетическими процессами и характером заполнения ее природными минеральными ассоциациями способны пролить свет на место и роль разновозрастных трещинных систем различной природы и генезиса при формировании коллектора, резервуара и залежи нефти МБТ.

Петротипы и морфология интрузивного тела. Породы фундамента МБТ характеризуются значительной петрографической неоднородностью (Арешев, Донг, Киреев, 1996; Гаврилов, 2001). Особенно большой пестротой состава отличается Северный блок, включающий граниты, гранодиориты, адамеллиты, кварцевые монцодиориты, кварцевые диориты и диориты. Центральный блок сложен преимущественно гранитами и в петрографическом отношении представляет собой достаточно однородное образование. Южный свод представлен гранитами, гранодиоритами и кварцевыми монцодиоритами. По результатам петрографического изучения выделяются три группы плутонических пород с преимущественным развитием: 1) гранитов; 2) гранодиоритов; 3) кварцевых амфибол-биотитовых монцодиоритов и диоритов. Согласно описанию пород фундамента, распространение выделенных трех групп плутонических пород связывается с Центральным, Южным и Северным блоками общепринятого районирования фундамента МБТ.

По результатам радиологических определений и петрографического анализа (Гаврилов, 2001) в составе пород фундамента различают три разновозрастных интрузивных магматических комплекса: комплекс Хон-Хоай (триасового возраста), комплекс Дин-Куан (юрского возраста) и комплекс Ка-На (мелового возраста). Комплекс Ка-На (граниты) слагает Центральный блок и лишь фрагментами Северный блок. Комплекс Дин-Куан (гранодиориты) распространен в западной части Северного блока, а комплекс Хон-Хоай (кварцевые

амфибол-биотитовые монцодиориты и амфибол-биотитовые диориты) занимает восточную часть Северного блока.

Распространение интрузивных комплексов совпадает с полями развития различных групп пород по содержанию кремнезема – главного петрохимического классификационного параметра. Комплекс Ка-На совпадает с кислыми породами, комплекс Дин-Куан – с умеренно-кислыми и комплекс Хон-Хоай – со средними породами.

С учетом закономерностей возрастного и петрографического районирования пород фундамента, очевидно телескопическое строение и вложенность трех временных систем внедрения плутонических тел, имеющих различный петрографический состав. С учетом глубины эрозионного среза наиболее приподнятой центральной части плутонического тела, в пределах Центрального блока вскрывается наиболее молодой комплекс Ка-На (мел), погруженный и последовательно перекрытый на крыльевых и периклинальных погружениях выступа фундамента более древними комплексами Дин-Куан (юра) и Хон-Хоай (триас).

Характеризуясь наименьшей температурой плавления гранитовый комплекс Ка-На завершает плутоно-магматическую фазу функционирования глубинного мантийного очага. На платформенном этапе развития унаследованность в функционировании мантийного очага проявляется главным образом в гидротермальной деятельности, определившей характер строения и нефтенасыщения порово-трещинного пространства пород фундамента МБТ.

Систематизация данных по строению пустотного пространства. В керне и шлифах всех скважин вскрывших фундамент наблюдаются многочисленные трещины.

Интенсивность распределения трещин в породах неравномерная, в одних случаях это редкие трещины, в других порода разбита на многочисленные обломки размером 1-8 см, сцементированные более мелкими обломками того же состава.

Трещины пересекаются или образуют систему параллельных трещин с расстоянием между собой 1-3 см. В большинстве случаев трещины в шлифах имеют кривую форму, пересекаются друг с другом или связаны между собой кавернами.

Трещины разноориентированные, преимущественно вертикальные. Углы падения изменяются от нескольких градусов (субгоризонтальные) до 80-90°, статистически наиболее представлен диапазон в 60-70°. Горизонтальные трещины встречаются в единичных образцах.

По данным статистических характеристик физических свойств пород фундамента данные открытой пористости пород фундамента по керну характеризуют, главным образом, плотную, непроницаемую матрицу или блоковую часть коллектора. Крупные трещины и каверны, играющие главную роль в процессе фильтрации флюидов в породах, практически отсутствуют на образцах малых размеров.

Раскрытость трещин по керну находится в широком диапазоне значений от 0,1 мм до 3-4 мм, иногда доходит до 2-3 см. ►

Практически все трещины в керне с раскрытостью более 1,5 мм являются минерализованными или техногенными.

Преобладающие размеры трещин в шлифах в пределах 0,1-2,25 мм по длине и 0,01-0,1 мм по ширине. Отдельные трещины достигают 7-15 мм по длине и 0,6 мм по ширине. 8. Практика изучения трещин в шлифах, пропитанных смолой под поляризационным микроскопом, показывает, что в подсчет пустотности вовлекаются трещины и поры с поперечными размерами более 0,01 мм.

По результатам изучения шлифов, пропитанных смолами, среднее значение площади пустотного пространства в границах Северного и Центрального блоков составляет таблица 3.

С глубиной пустотное пространство пород сокращается. Для Центрального блока до глубины 500 м от кровли фундамента общая площадь пор, трещин и каверн составляет 2,10-2,43%, а с глубины 500 м общая пустотность резко уменьшается до величин 0,37-0,79%.

Преобладающая часть описанных по керну и шлифам трещин залечена вторичными минералами (кальцит, цеолит, кварц, битум, асфальт и др.).

Даже относительно свежие крепкие породы (скв.431, инт. 4490,0-4492,0 м, скв.813, инт. 4863,1-4864,5 м, скв.903, инт. 4460,6-4460,9 м) разбиты единичными субвертикальными трещинами и подвержены вторичной минерализации (кальцит, цеолит, битум).

Свежие, не нарушенные трещинами и гидротермальными процессами образцы пород фундамента (скв.115, интервал 4000-4005 м), не содержат ни первичных, ни вторичных пустот и являются абсолютно непроницаемыми.

Катаклазированные участки пород и околотрещинные участки сильно изменены гидротермальными процессами. Зоны дробления представлены тектонической брекчией и мелкодробленой массой породы, обломки покрыты слоем цеолита, кальцита, в ряде случаев асфальтита (скв.110, 1106).

Растворение термальными водами пород приводит к уменьшению их объемной плотности. Для свежих малоизмененных / измененных пород она составляет ($\rho/\text{см}^3$): граниты – 2,65 / 2,41; гранодиориты – 2,69 / 2,35; кварцевые монодиориты – 2,66 / 2,39.

Гидротермальный процесс является важным фактором формирования вторичной пустотности. В то же время гидротермальная деятельность существенно ограничивает или даже исключает фильтрацию флюидов из-за постепенного осаждения и залечивания трещин вторичными минералами. По этой причине керны из окрестностей крупных разломов фундамента зачастую кальматированы и служат гидродинамическими экранами.

Выводы:

1. Независимо от типа породы и густоты трещин различных систем характер их заполнения вторичными минералами одинаков: цеолит, кальцит, кварц, битум, асфальт.

2. Из всего ядерного материала почти не встречаются трещины, которые не были бы выполнены кальцитом и цеолитом. Особенно большое содержание цеолита и кальцита наблюдается в зонах катаклаза, где эти минералы цементируют обломки пород.

3. Толщина цеолитовых выполнений трещин обычно составляет 0,2-3 мм, толщина трещин с кальцитом может достигать 2-3 см.

4. Содержание цеолитов в трещиноватых зонах керна составляет в среднем около 5%, в зонах катаклаза содержание цеолитов достигает 30-40%.

5. Гидротермальная деятельность в породах фундамента происходила в широком диапазоне температур, в несколько тектономагматических этапов, создавая различные минеральные парагенезы (наиболее распространенные ломонтин (цеолит) и кальцит).

6. Температура кристаллизации наиболее распространенных минералов-индикаторов гидротермальной деятельности для гранитов фундамента (самородная цинкистая медь – 600 °С, эндогенный ангидрит – 400 °С, барит – 250-350 °С, самородная сера – 120-150 °С) и метасоматические процессы карбонитизации и цеолитизации (80-120 °С) свидетельствуют о средне- и низкотемпературном режиме аутигенного минералообразования на поздней стадии остывания и низкотемпературного флюидного (гидротермального) магматизма.

7. Анализ температурной шкалы гидротермальной минерализации позволяет восстановить последовательность выделения минеральных ассоциаций и заполнения пустотного пространства пород фундамента на самых поздних стадиях тектонической эволюции гранитного резервуара МБТ: а) ангидрит, барит; б) кальцит, кварц; в) карбонаты, цеолит; г) битум, асфальт; д) легкая нефть.

8. Разломы и крупные трещины, обеспечивая циркуляцию растворов, одновременно являлись очагами разгрузки гидротермальных систем. В соответствии с этим, наибольшие изменения, связанные со вторичной минерализацией, происходили в приразломных зонах оперяющих трещин и брекчирования пород, а также в зонах пересечения разломов, образующих тектонические швы и узлы. Этим объясняется сильная минерализация этих зон.

9. В ряду минеральная – битумная – нефтяная – открытая трещина, последняя является наиболее молодой и при отсутствии признаков минерализации или насыщения УВ имеет техногенное происхождение (трещины разгрузки) и не могут служить для определения коллекторских свойств пород и гидродинамических расчетов.

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЙ ТРЕЩИННЫХ СИСТЕМ МБТ

Мы последовательно прошли путь от изучения количественных параметров разломов (полевые наблюдения и метод сейсморазведки 3D), крупных мегатрещин (супертрещин) и макротрещин (методы FMI

и TermoChannel) к изучению мезотрещин и микротрещин по результатам макроописания керна и изучения больших шлифов. Будучи разномасштабными объектами проявления одних и тех же тектонофизических процессов, разноранговые линейные дислокации горных пород являются телескопически вложенными системами, подчиненные единым законам деформации и фрактальности (блоковой делимости) геосреды и повторяющие основные закономерности пространственной организации разноуровневых систем. Наблюдая и вычленив из обилия фактического материала эти закономерности, мы пытались найти причинно-следственные связи генетического характера, которые позволят понять природу тектонических деформаций МБТ и прогнозировать их неоднородность.

Независимо от масштаба изученных трещинных систем, обнаруживается устойчивая повторяемость в количественных параметрах их пространственной организации. Во всех случаях, где представлялось возможным изучение ориентировки трещинных систем, обнаруживается существование двух устойчивых максимумов простирания. Первый наиболее выраженный в густоте распространения трещин максимум простирания связан с северо-западной ориентировкой трещинных систем в азимутальном створе СЗ 340-350°. Второй максимум простирания связан с северо-восточной ориентировкой трещинных систем в азимутальном створе СВ 20-40°. С небольшими отклонениями эти максимумы находят проявление по результатам всех методов исследований и для всех масштабных генераций трещинных систем. Следовательно, эти два максимума простирания трещинных систем связаны с двумя наиболее значимыми тектоническими этапами развития МБТ. Как показывает анализ, максимум северо-восточной (СВ20-40°) ориентировки трещинных систем совпадает с широтной транспрессией завершающей орогенической фазы киммерийского тектогенеза, определившей формирование высокоамплитудных структуроформирующих сбросов с правой кинематикой движений. Максимум СЗ ориентировки трещинных систем совпадает с последним этапом тектонической активизации региона, связанной с завершающей фазой альпийского тектогенеза, охватившей все Тихоокеанское побережье и вызвавшей формирование новых (обновление старых) трещинных систем МБТ, вызвавшей формирование (обновление) комплекса малых интрузий и батолитов бассейна Кыу-Лонг.

В соответствии с временными соотношениями этих двух трещинных систем, значимость второй для раскрытости и проницаемости трещин не вызывает сомнений. По результатам описаний керна и шлифов установлено, что трещинные системы ранних генераций залечены вторичными минералами и, если они не обновлены неотектоническими движениями, промыслового интереса не представляют.

Таким образом, система молодых трещин северо-западной ориентировки (СЗ 340-350°) представляется единственно ►

открытой и проницаемой для фильтрации нефти в пластовых условиях МБТ. Эта трещинная система связана с проявлением сбросов и трещин отрыва поздней генерации в условиях становления горизонтального сдвигового поля напряжений завершающей альпийской фазы тектогенеза.

Во всех случаях, когда изучалась ориентировка трещинных систем в вертикальном сечении, также обнаруживается существование двух устойчивых максимумов углов падения трещин. Первый, наиболее выраженный в густоте распространения максимум в углах падения трещин связан с полого наклонными (60-70°) системами трещин. Второй максимум в углах падения связан с вертикальными (80-90°) системами трещин. С небольшими отклонениями эти максимумы в углах падения трещин находят проявление по результатам всех методов исследований и для всех масштабных генераций трещинных систем. Следовательно, эти два максимума в углах падения трещинных систем связаны с двумя наиболее значимыми генетическими типами трещин МБТ.

Углы падения полого наклонных трещин (60-70°) образуют с вертикальной осью (осью образца керна) угол скола $\alpha \leq 45^\circ$, идентифицируя падение плоскости скалывания и вертикальное положение плоскости $\sigma_2\sigma_1$, образуемой осями средних и максимальных главных нормальных сжимающих напряжений во время структуро-(трещино-) образования. По генетической классификации системы наклонных трещин (60-70°) связаны со сколами

вдоль площадок действия максимальных тангенциальных напряжений (τ_{\max}), а системы вертикальных трещин (80-90°) с отрывами вдоль плоскости ($\sigma_2\sigma_1$) действия средних и максимальных главных нормальных сжимающих напряжений соответственно в условиях сдвигового поля напряжений. Обоснованию этого вывода приводится в следующей статье автора, посвященная реконструкциям напряженно-деформированного состояния пород фундамента МБТ по результатам выполненного анализа трещинных систем.

Заключение. Завершая анализ трещинных систем, констатируем главный фактически обоснованный вывод о существовании преобладающей системы открытых и проницаемых вертикальных трещин (80-90°), генетически связанных с условиями растяжения (трещины отрывы) и совпадающих с плоскостью $\sigma_2\sigma_1$, образуемой осями средних и максимальных главных нормальных сжимающих напряжений субмеридиональной (СЗ 340-350°) транспрессии завершающей фазы альпийского тектогенеза. Пространственно и генетически связанные с горизонтальными сдвигами фундамента и структурами растяжения земной коры эти системы формируются на выступах фундамента, определяя морфологию насыщения вертикальных флюидодинамических (и нефтяных) колонн.

Результаты интерпретации трещинных систем МБТ служили основой реконструкций напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород и обоснования модели строения залежи

нефти в фундаменте МБТ как следствие механизма скрытой взрывной разгрузки глубинных флюидов на структурах растяжения земной коры, связанных с горизонтальными сдвигами фундамента. В соответствии с этими выводами рассчитывались параметры анизотропии проницаемости трещинного коллектора, необходимые для построения фильтрационной модели залежи нефти в фундаменте МБТ. Результаты выполненных исследований будут представлены в следующих публикациях автора. ■

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Аршев Е.Г., Донг Ч.Л., Киреев Ф.А. Нефтегазоносность гранитоидов фундамента на примере месторождения Белый Тигр. Геология и геолого-разведочные работы. 1996.
2. Гаврилов В.П. Влияние петрографической зональности фундамента месторождения Белый Тигр на степень продуктивности и нефтенасыщенности гранитов. Отчет по договору №31-05/85. Нефтегазэкспертиза. М. 2001.
3. Плынин В.В., Штырлин В.Ф. Совершенствование технологии термогидродинамической визуализации трещин в нефтеносных гранитах. Нефтяное хозяйство. №5. 2006. 78-80.
4. Sung Jin Chang, Nguyen Tien Long. An observation of the fracture systems of the Southern onshore Vietnam. PetroVietnam Conference on the oil and gas industry on the eve of 21 century. 2000. Vol.1, pp 524-534.

runeft.ru

отраслевой портал

- Предприятия
- Мероприятия
- Библиотека
- Справочники
- Вакансии
- Объявления
- Каталог СМИ
- Тендеры
- Новости
- Аналитика
- Цены на нефть
- Котировки акций
- Видеорепортажи
- ГОСТы

(8552) 38-51-26
neft@expoz.ru