

# РЕКОНСТРУКЦИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРОНИЦАЕМЫХ СЕЧЕНИЙ ПОРОД ФУНДАМЕНТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БЕЛЫЙ ТИГР (ВЬЕТНАМ)

THE STRESS-STRAIN CONDITION RECONSTRUCTIONS FOR THE FORECAST OF PERMEABLE DIRECTIONS OF THE BASEMENT OF THE WHITE TIGER OILFIELD

УДК 550.8.02

<b>А.И. ТИМУРЗИЕВ</b>	Зам. гл. геофизика ОАО «ЦГЭ»	Москва aitimurziev@cge.ru
<b>A.I. TIMURZIEV</b>	Deputy Chief Geophysicist, CGE JSC ScD (Geol. and Mineral.), Member of Russian Academy of Natural Sciences	Moscow
<b>КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:</b>	Нефть в фундаменте, месторождение Белый Тигр, сдвиги, реконструкции напряженно-деформированного состояния горных пород	
<b>KEYWORDS:</b>	Basement Oil, White Tiger Oilfield, Strike-Slip Faults, the Stress-Strain Condition Reconstructions	

В работе обсуждаются результаты реконструкций напряженно-деформированного состояния (НДС) пород на примере месторождения Белый Тигр для изучения фильтрационной неоднородности трещинных коллекторов. Показано, что проблема геометризации трещинных коллекторов лежит в плоскости возможностей сейсморазведки 3Д по созданию структурно-параметрической модели резервуара и детальных реконструкций НДС горных пород. Выделен особый тип нарушений сдвиговой природы – структуры горизонтального сдвига (СГС), контролирующие широкий спектр структурно-тектонических и флюидодинамических парагенезов нефтегазоносных структур. Методы комплексного морфогенетического и кинематического анализа строения СГС позволяют выполнять реконструкции НДС земной коры. Реконструкции НДС горных пород служат основой геометризации трещинных резервуаров нефти и газа, построения фильтрационных моделей залежей УВ в условиях анизотропной (трещинной) среды осадочного чехла и фундамента и прогнозирования параметров искусственных трещин при проведении мероприятий ГРП и ППД.

The results of the fault systems analysis and stress-deformed state of rocks by example of White Tiger are discussed for the purposes of studying filtration heterogeneity of fractured reservoirs. It is shown that the problem of geometrization of fractured reservoirs lies in the sphere of 3D seismic opportunities on creation of structural model of the fractured reservoirs and detailed reconstructions of stress-deformed state of rocks. The special type of the shift-nature faults – the horizontal Strike-Slip Faults Structures (SSFS) controlling a wide spectrum of structural, tectonic and hydrodynamic anomalies of oil and gas content structures is identified. The study of spatial-azimuthally and kinematic characteristics of Strike-Slip Faults allows restoring orientation of stress axes for shear deformation field. Reconstruction of the stress-deformed state is the basis for hydrodynamic modeling for the anisotropic rocks (for the fractured reservoirs) and the basis for predicting quantitative parameters of hydrofrac fractures and artificial fractures of reservoir pressure maintenance.

## Введение.

Приводятся результаты реконструкций напряженно-деформированного состояния (НДС) пород фундамента и осадочного чехла месторождения Белый Тигр (МБТ). Выполненные на основе структурно-кинематического анализа трещинных систем МБТ, реконструкции НДС горных пород позволили обосновать их природу, восстановить историю развития, дать генетическую классификацию основных типов и подойти к дифференциации по характеру проводимости трещинных систем. Анализ трещинных систем, выполненный по данным интерпретации сейсморазведки 3Д, служил основой для реконструкций НДС горных пород и для прогноза параметров анизотропии проницаемости трещинного коллектора в отношении его фильтрационных свойств. Исследования позволили оценить роль трещинных систем различного масштаба, возраста и генезиса в формировании фильтрационной неоднородности пород фундамента. По результатам комплексного морфокинематического и динамического (тектофизического) анализа удалось разделить системы трещин на: а) закрытые (непроницаемые) системы, не имеющие промышленного значения в процессе эксплуатации залежи и; б) открытые (проницаемые) системы, обеспечивающие миграцию и насыщение коллекторов в процессе формирования залежи и фильтрацию нефти к забоям скважин в процессе эксплуатации залежи и имеющие, таким

образом промышленное значение.

Реконструкции НДС в условиях анизотропной (трещинной) среды горных пород являются элементом авторской «технологии управления трещиноватостью» [3-7] и могут использоваться для геометризации резервуаров, построения фильтрационной моделей, проектирования разработки, дизайна эксплуатационных скважин, прогнозирования параметров искусственных трещин при проведении гидроразрыва пластов (ГРП) и осуществлении других геолого-технических мероприятий (ГТМ) на месторождениях с трещинными коллекторами.

## Кинематический анализ разломов.

Изучение геометрических и кинематических характеристик разломов и результаты их тектонофизической интерпретации позволили выделить в фундаменте (Рис.1) и осадочном чехле (Рис.3-4 из статьи [9]) МБТ устойчивое долгоживущее сечение, связанное с проявлением горизонтальных сдвигов фундамента северо-северо-восточного (ССВ 20-40°) простирания (Рис.2), и двух разновозрастных сечений оперяющих кулисных сбросов фундамента (восток-северо-восток ВСВ 60-80°) и осадочного чехла (северо-северо-запад ССЗ 340-350°).

Полноценный кинематический анализ разломов, включающий определения угловых и линейных параметров сдвигов фундамента и оперяющих их трещин скولا и

отрыва (амплитуда горизонтального перемещения кулис, амплитуда вертикального смещения сброса и присдвиговых складок, горизонтальная амплитуда смещения кулис, амплитуда горизонтального раздвига (горизонтальный крип) плоскости кулис от плоскости материнского сдвига, полная горизонтальная амплитуда материнского сдвига и др.), выполняется по эпюрам деформаций на основе геометрического анализа трещинных систем, структурных индикаторов и связей складчатости с различными генетическими типами разломов при интерпретации сейсморазведки 3Д в слоистой среде [5]. В изотропной среде фундамента для количественной оценки доступны только некоторые параметры разломов.

**Вертикальная амплитуда оперяющих сбросов** (сбросовая составляющая суммарных деформаций) материнского сдвига. Для фундамента определения вертикальной амплитуды перемещений возможны лишь по величине смещений его кровли. Учитывая эрозионную природу кровли фундамента, любые определения являются минимальными по величине. Абсолютная величина видимой вертикальной амплитуды для основных систем разломов ССВ простирания превышает 1,0 км для краевых восточных сбросов и достигает 1,5-2,0 км для краевых западных взбросов.

**Углы падения разломов.** Преобладающие углы падения плоскости сместителя разломов составляют 70-90° ►

(субвертикальные) в центральной части свода и в верхней части чехла, достигая 50-60° (полого-наклонные) для взбросов и сбросов краевых частей выступа фундамента и в подошвенной части осадочного чехла.

**Амплитуда горизонтального перемещения кулис** (сдвиговая составляющая суммарных деформаций) изменяется от нуля на замыканиях ССВ разломов до максимальных величин в осевой части сдвига. О величине горизонтальных сдвигов фундамента можно строить только предположения на основании косвенных структурных признаков. Максимальная величина горизонтального правого сдвига для ССВ взбросо-сдвига западной краевой части выступа фундамента в домиоценовое время может быть оценена в половину длины сейсмического куба 3D (25 км) на том основании, что СЗ разломы, упирающиеся в центральной части куба во взбросо-сдвиги фундамента не находят продолжения в восточной части структуры. По величине смещения осевых частей депрессий восточной и западной крыльевых частей структуры МБТ левосторонняя интегральная величина сдвига может составлять 10-15 км за миоцен-плиоценовое время.

Наблюдаемые различия в деформациях пород вдоль и поперек плоскости сдвигов на различных этапах развития структуры МБТ связаны со сменой ориентировки тектонических напряжений и различным характером воздействия тангенциальных напряжений на геометрию и кинематику вторичных оперяющих структур горизонтальных сдвигов фундамента. Как будет показано ниже, ориентировка ССВ сдвигов фундамента в позднекайнозойское время имела то же простирание, что и в мезозое, но обратную кинематику, а сами сдвиги являются реверсивными по природе. Горизонтальные сдвиги фундамента ССВ простирания характеризуются по результатам кинематического анализа разнонаправленными во времени движениями: правосторонними в мезозое – раннем кайнозое (широтная палеотранспрессия) и левосторонними в позднем кайнозое меридиональная транспрессия). В этой связи кинематику разломов необходимо рассматривать во временном аспекте, в динамике изменения НДС земной коры, а не как статическое явление.

### Разрывные нарушения и реконструкции НДС земной коры.

Наблюдаемый каркас разломов фундамента МБТ (Рис.1) является следствием разрядки тектонических деформаций, обусловленных определенным типом НДС земной коры. В соответствии с этим решалась обратная динамическая задача восстановления типа НДС и ориентировки осей напряжений по известному рисунку каркаса разломов. При этом мы исходили из следующих положений: а) разломы фундамента и осадочного чехла имеют тектоническую природу и служат структурными индикаторами разрядки напряжений на различных глубинных уровнях; б) реконструкции типа НДС и простираний осей напряжений по кинематическому анализу

разломов чехла можно экстраполировать на глубины залегания фундамента.

Знание кинематики разломов в вертикальных сечениях сейсмических профилей позволяет судить о действующих напряжениях в горизонтальной плоскости (x, y), а кинематики разломов на горизонтальных срезах – о действующих напряжениях в вертикальной плоскости (xz, yz), что в совокупности позволяет воссоздать объемную картину НДС земной коры.

В основе реконструкций напряжений – рисунок каркаса разломов и различные структурные парагенезисы, служащие индикаторами разрядки тектонических напряжений через деформации пород. Важнейший признак сдвиговых деформаций – направление смещения относительно плоскости сдвига определялся по следующим признакам. Аксиома и генетический признак – в динамопаре разломов всегда один сдвиг имеет правую, а другой – левую компоненту смещения. Признаки левосторонности ССВ сдвигов МБТ в миоцен-плиоценовое время: смещение северных частей структурных линий и блоков на юго-запад, запрокидывание складок и плоскости сбросов по направлению движения на ЮЗ, расклинивание кулис и их разворот на СВ. В мезозойское и раннекайнозойское время структурные индикаторы характеризуют правостороннюю кинематику для ССВ сдвигов фундамента МБТ.

Кинематика разломов с учетом их странственно-азимутальной ориентировки позволяет восстановить оси нормальных (сжимающих и растягивающих) и тангенциальных (касательных) напряжений, действовавших в течение мезозоя и кайнозоя в пределах МБТ. Нами выполнены реконструкции палеонапряжений для основных типов НДС земной коры, характеризующих различные этапы развития и стиль деформации тектонических структур бассейна Кыу-Лонг. В истории развития МБТ идентифицируется три типа НДС земной коры, по-следовательно повторяющиеся для киммерийского, альпийского и новейшего этапов тектогенеза: сбросовый (рифтовый), надвиговый и сдвиговый.

Наиболее спорными выглядят реконструкции раннего рифтового типа НДС земной коры, структурные индикаторы которого заметно искажены последующими надвиговыми и сдвиговыми деформациями. Главным структурным индикатором для реконструкции рифтового типа НДС земной коры (помимо знания закономерностей азимутального распределения разломов), служила морфология выходов на эрозионную поверхность фундамента различных по возрасту и составу петролитов пород (Рис.3) и закономерности распространения дайкового комплекса малых интрузий [1]. Интерпретация этих данных свидетельствует об устойчивой повторяемости для разновременных тектонических циклов основных типов НДС и ориентировки осей напряжений.

Интерпретация надвигового типа НДС не вызывала сложностей, поскольку на МБТ существуют прямые индикаторы структур горизонтального сжатия (надвиги и взбросы).

Для сдвигового поля напряжений сложность состояла в объяснении одновременного существования в пределах МБТ разновозрастных и разноориентированных оперяющих разломов (ССЗ в осадочном чехле и ВСВ в фундаменте) к плоскости ССВ сдвигов при анализе углов скола в системе сдвиг – оперяющие сбросы. Анализ кинематики горизонтальных движений для этих структурных парагенезисов позволил обосновать существование двух типов сдвигового поля напряжений со встречно ориентированным положением нормальных осей сжатия-растяжения и знакопеременными (реверсными) касательными напряжениями.

**1. Сбросовый (рифтовый) тип НДС земной коры** характеризуется субгоризонтальным положением осей минимальных  $\sigma_3$  и средних  $\sigma_2$  главных нормальных сжимающих напряжений. Ось максимальных главных нормальных сжимающих напряжений  $\sigma_1$  субвертикальна. Ось средних нормальных напряжений  $\sigma_2$  параллельна осям тектонических структур растяжения и является средней по абсолютной величине. Ось минимальных сжимающих напряжений  $\sigma_3$  ориентирована вкрест простирания структур растяжения и минимальна по абсолютной величине. Динамическая обстановка, отвечающая НДС земной коры этого типа, благоприятствует образованию рифтовых и грабен-структур растяжения.

Реконструкции дают следующие сечения главных нормальных и касательных напряжений мезозойского и раннекайнозойского времени, связанного с палеорифтовым режимом растяжения земной коры в пределах бассейна Кыу-Лонг (Рис.4а):

$\sigma_1$  – максимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субвертикальное сжатие, максимальное по абсолютной величине);

$\sigma_2$  – средние нормальные напряжения (субгоризонтальное меридиональное сжатие, среднее по абсолютной величине), азимут простирания ССЗ 340-350°;

$\sigma_3$  – минимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное широтное сжатие, минимальное по абсолютной величине), азимут простирания СВ 60-80°;

t – динамопара главных касательных напряжений: СЗ 290-310° и ССВ 10-30°.

Преобладавшие на этом этапе ранние сдвиги оказались завуалированы фрагментами разорванных поздними деформациями разломов ССВ простирания, развитых на бортах и в южной части выступа фундамента. В соответствии с таким распределением осей напряжений происходило зарождение и развитие палеорифтовых долин субмеридионального простирания, как региональных структур растяжения земной коры в течение повторяющихся тектонофаз мезозоя и кайнозоя.

**2. Надвиговый тип НДС земной коры** характеризуется горизонтальным положением оси максимальных главных нормальных сжимающих напряжений  $\sigma_1$ . Эта ось напряжений имеет горизонтальное и нормальное к осевой плоскости складчатости направление. Ось  $\sigma_2$  средних нормальных напряжений субгоризонтальна и ►

<sup>1</sup> Для условия положительного знака у сжимающих напряжений,  $\sigma_1$  является алгебраически максимальной величиной ( $\sigma_{max}$ );  $\sigma_3$  – алгебраически минимальной величиной ( $\sigma_{min}$ );  $\sigma_2$  – алгебраически средней величиной ( $\sigma_{avg}$ ).

параллельна оси складчатости. Ось минимальных  $\sigma_3$  главных нормальных сжимающих напряжений субвертикальна. Динамическая обстановка, отвечающая напряженному состоянию второго типа, приводит к сокращению объема, образованию разломов взбросо-надвигового типа и покровной складчатости. Реконструкции дают следующие сечения действия главных нормальных и касательных напряжений в течение мезозоя и кайнозоя, связанного с надвиговым типом НДС земной коры бассейна Кыу-Лонг (Рис.4б):

$\sigma_1$  – максимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное сжатие, максимальное по абсолютной величине), азимут простирания СЗ 290-310°;

$\sigma_2$  – средние нормальные напряжения (субгоризонтальное сжатие, среднее по абсолютной величине), азимут простирания ССВ 20-40°;

$\sigma_3$  – минимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субвертикальное сжатие, минимальное по абсолютной величине);

$\tau$  – главные тангенциальные напряжения: ВСВ 60-80° и ССЗ 340-350°. Динамопара сдвигов ортогональной системы имеет ограниченное развитие и на этом этапе практически не проявлена. Основной стиль деформаций этого этапа взбросо- и надвигообразование вдоль плоскостей нарушений поперечных основному стрессу горизонтального сжатия. При направлении стресса ЮВ-СЗ в послепалеогеновое время происходило надвигание, запрокидывание и заваливание западного крыла выступа фундамента с формированием козырька гранитов над толщей осадочных пород олигоцена.

**3. Сдвиговый тип НДС земной коры** является господствующим на заключительных этапах формирования структур и характеризуется субгоризонтальным положением осей максимальных  $\sigma_1$  и минимальных  $\sigma_3$  главных нормальных сжимающих напряжений. Ось  $\sigma_2$  средних нормальных напряжений субвертикальна. Совместный учет структурных индикаторов и выполненных реконструкций НДС земной коры в пределах МБТ позволил восстановить региональное поле палеонапряжений в период досреднемиоценовых и послесреднемиоценовых напряжений (Рис.4в). Реконструкции дают ортогональные сечения действия главных нормальных напряжений и встречные (реверсные) направления действия касательных напряжений на завершающих фазах складчатости альпийского и неотектонического этапов тектогенеза, связанных со сдвиговым типом НДС земной коры МБТ.

**I. Палеонапряжения (досреднемиоценовое поле напряжений):**

$\sigma_1$  – максимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное широтное сжатие, алгебраически максимальная величина), азимут простирания ВСВ 60-80°;

$\sigma_3$  – минимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное меридиональное сжатие, алгебраически минимальная величина), азимут

простирания ССЗ 340-350°;

$\sigma_2$  – средние нормальные напряжения (субвертикальное сжатие, алгебраически средняя величина);

$\tau_{\max}$  – максимальные главные тангенциальные напряжения (ССВ 20-40°), правосторонняя широтная палеотранспрессия. Динамопара главного сдвигового сечения находится в азимутальном створе СЗ 290-310°, имеет подчиненное значение и левую кинематику. В соответствии с таким распределением осей палеонапряжений происходило развитие горизонтальных сдвигов диагональной системы на завершающих этапах тектонофаза мезо-кайнозоя.

**II. Неонапряжения (послесреднемиоценовое поле напряжений):**

$\sigma_1$  – максимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное меридиональное сжатие, алгебраически максимальная величина), азимут простирания ССЗ 340-350°;

$\sigma_3$  – минимальные главные нормальные сжимающие напряжения (субгоризонтальное широтное сжатие, алгебраически минимальная величина), азимут простирания СВ 60-80°;

$\sigma_2$  – средние нормальные напряжения (субвертикальное сжатие, алгебраически средняя величина);

$\tau_{\max}$  – максимальные главные тангенциальные напряжения (ССВ 20-40°) левосторонняя меридиональная транспрессия. Динамопара главного сдвигового сечения находится в азимутальном створе СВ 290-310°, имеет правую кинематику и завалирована фрагментами сбросов, разорванных сдвигами ССВ простирания.

Для всех реконструкций, учитывая ошибку замеров азимутов простирания разломов ( $\pm 10^\circ$ ), допустима такая же ошибка и в определении положения осей напряжений. Более того, все выраженные максимумы простирания основных систем разломов имеют закономерный секторальный разброс в диапазоне  $\pm 15^\circ$ , связанный со структурной неоднородностью деформируемого объема геосреды. Это означает, что плоскость разломов одной системы никогда не бывает строго ориентирована на большом пространстве, она имеет интервальное распределение вокруг оси азимутального максимума.

В соответствии с выполненными реконструкциями, НДС земной коры первого типа связано с расширением земной коры (объемной деформацией), второго и третьего типов связаны с преобладающим проявлением горизонтальных сжимающих напряжений, объемным сокращением (второй тип) и геометрической деформацией (третий тип) геосреды. Напряженное состояние первого типа связано с формированием структур растяжения земной коры (грабен-рифты). Второй тип НДС характерен для формирования взбросо-надвиговых структур и покровной складчатости, третий тип – для складчатых структур продольного (тангенциального) сжатия. Последние два типа НДС земной коры типичны для структурообразования Альпийского складчатого пояса и других складчатых аналогов, включая обстановку завершающих фаз складчатости киммерийского,

альпийского и новейшего этапов тектонического развития бассейна Кыу-Лонг.

Миграция осей напряжений в процессе структурообразования, установленная для МБТ, явление известное и может быть интерпретировано сменой геодинамических обстановок эволюции и типов НДС земной коры бассейна Кыу-Лонг в мезо-кайнозойское время.

По результатам выполненных палеотектонических реконструкций (метод анализа мощностей) и реконструкций НДС земной коры в плиоцен-четвертичное время, подтверждается существование и формирование в пределах МБТ регионального поля сдвиговых напряжений. Совместный учет проявления структурных индикаторов и кинематики разломов различных систем позволил восстановить ориентировку осей досреднемиоценовых палеонапряжений и неотектонических напряжений сдвигового поля самой поздней (плиоцен-четвертичной) генерации. Восстановлено два положения оси  $\sigma_1$  максимальных главных нормальных сжимающих напряжений: субгоризонтальное широтное сжатие ВСВ 60-80° (досреднемиоценовая широтная палеотранспрессия) и субгоризонтальное меридиональное сжатие ССЗ 340-350° (плиоцен-четвертичная меридиональная транспрессия). Направления простирания осей максимальных ( $\sigma_1$ ) и минимальных ( $\sigma_3$ ) главных сжимающих напряжений в пределах МБТ взаимно ортогональны и ориентированы в створе меридиональных и широтных азимутов.

**Анализ истории развития разломов.**

Для изучения истории развития разломов фундамента привлекались генетические и кинематические характеристики и данные по азимутальному распределению разломов. История развития разломов фундамента изучалась путем восстановления кинематики вертикальных и горизонтальных движений, выраженных в углах встречи оперяющихся разломов к плоскости сдвига и анализа углов скола в системе материнский сдвиг – оперяющий сброс.

В строении разломов фундамента МБТ и осадочного чехла, имеющих комбинированную сбросо-сдвиговую и взбросо-сдвиговую кинематику, проглядывает ромбическая сеть первичной делимости земной коры ортогональной и диагональной систем. На примере главных структуроформирующих разломов фундамента рассмотрим трансформации кинематики и стиля деформаций земной коры на различных этапах развития МБТ. Будучи элементами системы нормальных сбросов палеорифтовых структур растяжения (рифтовый тип НДС), ССЗ сбросы зарождались на теле раскальвающих блоков раннемезозойских и раннекайнозойских палеоподнятий как отрывы для пары диагональных сколов. Для пары сколов (ССВ 20° и СЗ 300°) главную роль играли правые сдвиги СЗ простирания, сечение ССВ было подавлено и играло второстепенную роль.

На ранних этапах развития мезозойского (киммерийский), кайнозойского (альпийского) и новейшего тектонического ►

этапа инверсия режима развития, связанная со сменой типа НДС и ориентировкой осей напряжений, вызвала закрытие палеорифтовых структур и надрифтовых осадочных бассейнов и последующую складчатость (сокращение объема и надвигообразование). Система разломов ССВ простирается по характеру запрокидывания блоков фундамента на западном крыле характеризуется взбросо-надвиговой кинематикой, обусловленной субширотным простираемостью оси сжатия регионального надвигового поля деформаций пострифтовых этапов развития. На завершающем этапе альпийского тектоногенеза разломы ССВ простираются по характеру кулисного смещения локальных блоков фундамента характеризовались правосторонней широтной транспрессией. На завершающем этапе новейшего тектонического этапа разломы ССВ простираются развивались как левосторонние сбросо-сдвиги меридиональной транспрессии. В современном структурном плане, сформированном на неотектоническом этапе, разломы фундамента МБТ имеют кинематику, противоположную их ранним этапам развития. Они являются реверсивными по природе и окончательный их облик сформирован в результате суперпозиции разнонаправленных движений в силовом поле сдвиговых деформаций новейшего тектонического этапа.

Таким образом, при стабильном положении и активности сдвигов фундамента I-III квадрантов (сечение ССВ-ЮОЗ), формирование оперяющих систем кулисных сбросов в фундаменте объясняется субширотной правосторонней палеотранспрессией (киммерийский и альпийский этапы), а в чехле – субмеридиональной левосторонней транспрессией (альпийский и неотектонический этапы). Для сопряженной динамопары сдвигов II-IV квадрантов (сечение ЮВ-СЗ) формирование оперяющих разломов в фундаменте объясняется субширотной левосторонней палеотранспрессией, а в чехле – субмеридиональной правосторонней транспрессией. Диагональные сдвиги характеризуются разнонаправленными во времени движениями. Реверсная природа сдвигов фундамента и миграция осей напряжений, установленная для МБТ, объясняется сменой геодинамических обстановок и ориентировки осей напряжений в процессе структурообразования. В этой связи кинематика разломов рассматривается во временном аспекте, в динамике изменения НДС земной коры, а не как статическое явление [8]. В таком представлении постановка вопроса, является разлом правосторонним или левосторонним сдвигом, не правомерна и требуется конкретизация временного интервала его развития.

#### Классификация и типы разломов.

По результатам реконструкций НДС земной коры построены трехмерные кинематические модели деформаций фундамента, позволяющие интерпретировать разломы различного генезиса и кинематики. Классификация разломов МБТ выполнена на генетической (тектонофизической) основе, а также по раскрытости и характеру гидродинамической связанности трещин,

определяющей анизотропию проницаемости трещинных коллекторов в фундаменте для новейшего сдвигового поля НДС земной коры.

#### I. По генетическому типу выделяются:

- а) региональные структуроформирующие сдвиги (сбросо-сдвиги и взбросо-сдвиги) фундамента с левосторонней для ССВ (20-30°) сдвигов кинематикой, совпадающей с сечением максимальных главных тангенциальных напряжений;
- б) оперяющие разломы горизонтальных сдвигов фундамента – ранние сколовые нарушения фундамента (BCB 60-80°), выраженные в чехле системой оперяющих кулис с комбинированной сдвиговой и сбросовой компонентой (меридиональная транспрессия);
- в) трещины отрыва и сбросы поздней генерации (ССЗ 330-350°) – безамплитудные (малоамплитудные) открытые системы трещин, локализованные на выступах фундамента в створе максимальных сжимающих напряжений.

#### II. По раскрытости и характеру гидродинамической связанности выделяются:

- а) открытые субвертикальные трещины отрыва (растяжения), находящиеся в меридиональном створе вектора максимальных главных нормальных сжимающих напряжений (СЗ 330-350°);
- б) закрытые трещины всех генетических типов в условиях нормального сжатия, находящиеся в широтном створе минимальных главных нормальных сжимающих напряжений (BCB 60-80°);
- в) закрытые трещины скола и другие генетические типы трещин со сдвиговой компонентой в условиях тангенциального сжатия, находящиеся в диагональной паре максимальных тангенциальных напряжений (ССВ 20-30°).

Изучение динамики НДС земной коры необходимо условие исследований процессов фильтрации при формировании и разработке месторождений УВ. Это обусловлено, как было показано генетической связью типов (и интенсивности) трещин и разрывов различных генераций (сколы, отрывы) с ориентировкой осей напряжений. В зависимости от типа НДС земной коры максимальное число трещин в условиях растяжения (трещины отрыва) образуется в сечении, параллельном площадкам действия максимальных главных сжимающих  $\sigma_1$  и средних  $\sigma_2$  напряжений, минимальное число трещин в ортогональном сечении (в условиях сжатия). Таким образом, результаты реконструкций НДС земной коры МБТ и выполненные классификации позволили дифференцировать трещинные системы по раскрытости и относительной проницаемости для фильтрации нефти к забоям скважин. Ниже приводятся практические следствия выполненных реконструкций, визуализированные на рис.5.

Разломы и трещины широтного простираения ориентированы ортогонально максимальным напряжениям сжатия, максимально нагружены и закрыты. Разломы и трещины субмеридионального простираения ориентированы ортогонально минимальным напряжениям сжатия (максимальным напряжениям растяжения),

максимально раскрыты и проницаемы для фильтрации нефти. Разломы и трещины диагональной ориентировки находятся в условиях тангенциального сжатия (по абсолютной величине меньше нормальной составляющей сжатия) и характеризуются промежуточными значениями раскрытости. Учитывая, что по диагональным разломам происходят горизонтальные движения, они сильно деформированы, возможно кальцированы и вероятно залечены.

С учетом выполненных реконструкций ориентировка преимущественно открытых и эффективных для фильтрации трещинных систем связана с субмеридиональным сечением вектора максимальных нормальных сжимающих напряжений. В этот азимутальный створ попадают трещины скола ранней генерации и трещины отрыва поздней генерации. Трещины скола ранней генерации представлены кулисами оперения сдвигов фундамента и на этапе формирования сбросовой компоненты (в условиях проявления синхронных восходящих движений блоков фундамента) находились в условиях раскрытия и служили основными каналами вертикальной миграции УВ при формировании залежей нефти. Сегодня в условиях релаксации начальных сверхгидростатических давлений эти разломы непроницаемы и служат экранами для залежей олигоцена и миоцена.

Трещины отрыва поздней генерации, открытые и эффективные для фильтрации флюидов, находятся в том же меридиональном створе, что и ранние трещины скола, но плохо идентифицируются сейсморазведкой 3D. Трещины отрыва представлены непротяженными безамплитудными (малоамплитудными) и открытыми вертикальными трещинами, группирующимися в линейные зоны на участках ундуляции осей складок и выступах блоков фундамента на участках проявления максимальных растягивающих напряжений. Их прогнозирование возможно по ряду косвенных структурных признаков на основе изучения трещиноватости новейшей генерации и моделирования НДС горных пород.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИЙ НДС

Приведем некоторые данные, подтверждающие наши выводы по генезису и строению трещинных систем в фундаменте МБТ.

#### О простираении дайкового пояса МБТ.

Для интрузивных массивов шельфа Южного Вьетнама характерно наличие даек эффузивных пород. По данным [1] на МБТ отдельными скважинами вскрыты дайки толщиной до 10 м и более, или системы даек. Такие мощные дайки, вероятнее всего, являются корнями олигоценых вулканов, образовавших лавовые покровы на поверхности фундамента и в разрезе терригенной толщи олигоцена. Более мелкие дайки могут быть связаны с проявлением трещинного вулканизма. Для изучения площадного развития трещинного вулканизма, ►

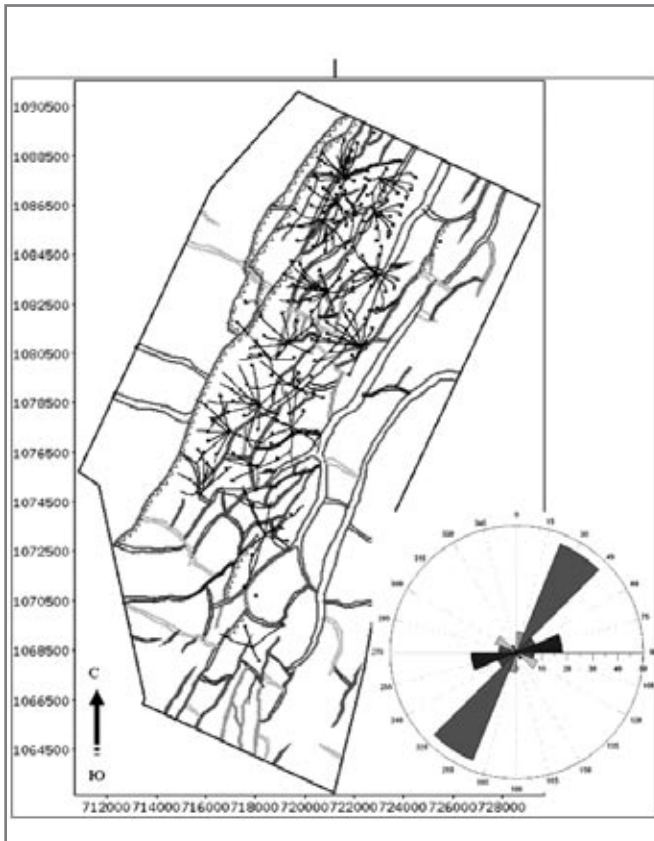


Рис.1. Месторождение Белый Тигр. Систематизация разломов фундамента по простиранию и роза-диаграмма простирания разломов фундамента по данным интерпретации глубинного сейсмического куба 3D (ЦГЭ, А.Г.Авербух, 2006).

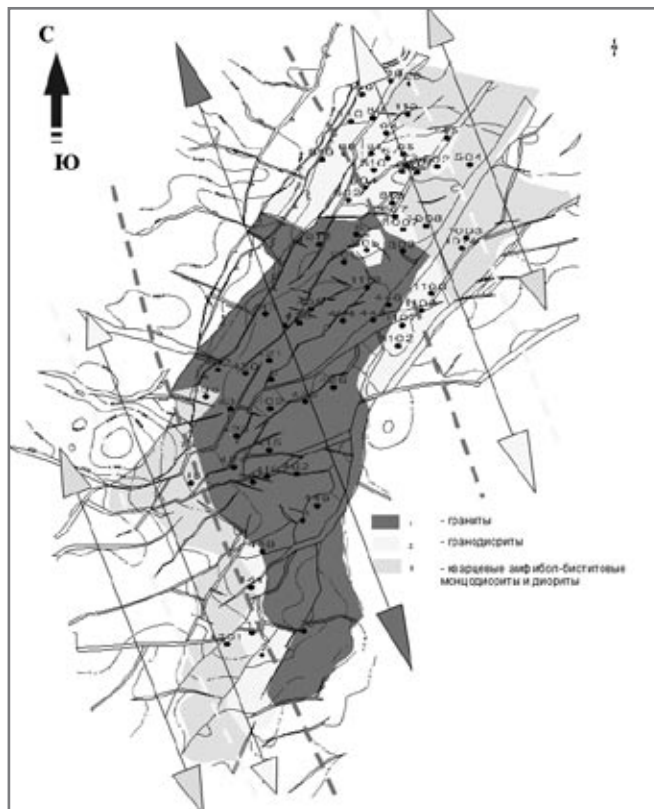


Рис.3. Месторождение Белый Тигр. Субмеридиональная (ССЗ 340-350°) зональность внутренней структуры (распределения петротипов пород) и телескопическая вложенность молодых интрузий (граниты и гранодиориты) в более древние интрузии (диориты) на уровне среза эрозионной поверхности кровли фундамента. Цветной штриховкой показаны восстановленные на уровне среза границы распространения первично ненарушенных (не эродированных) гранитных батолитов различного состава и возраста. В аксонометрии (справа) видно косое сечение между простиранием структуры (ССВ 20°) и интрузивных тел (ССЗ 340°), образующий угол скола ( $\alpha \leq 45^\circ$ ).

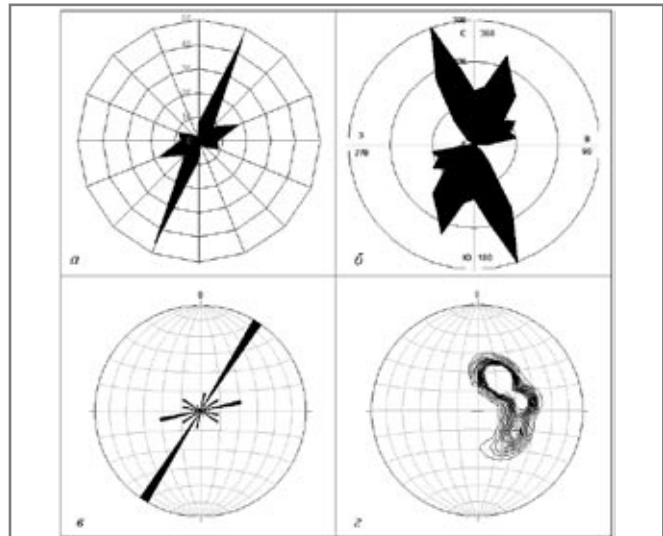


Рис.2. Месторождение Белый Тигр. Розы-диаграммы простирания (а, в) и стереограмма плотности полюсов (г) для разломов фундамента по данным интерпретации глубинного сейсмического куба 3D (ЦГЭ, 2006); б – сводная роза-диаграмма простирания разломов фундамента и осадочного чехла для глубинного интервала 2,0-4,8 км по данным интерпретации сейсморазведки 3D (ЦГЭ, 2004).

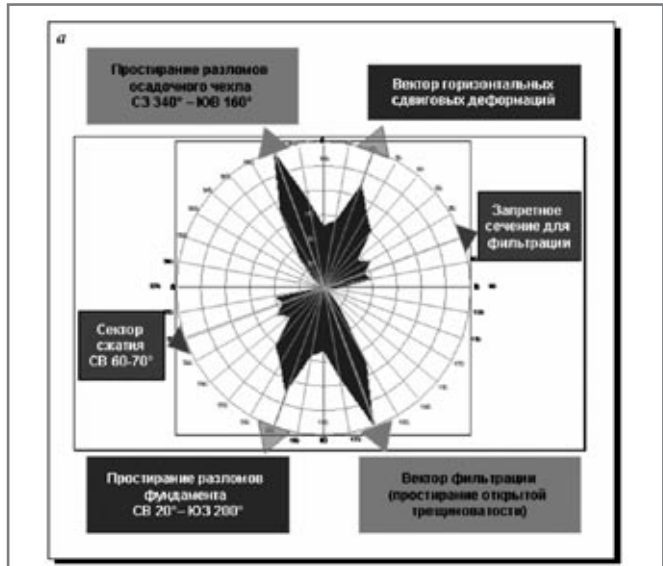
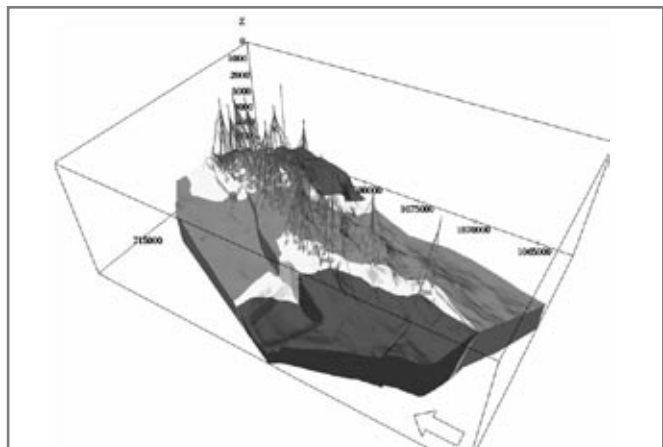


Рис.5а. Месторождение Белый Тигр. Тектонофизическая и флюидодинамическая (векторная) интерпретация разломов фундамента и осадочного чехла



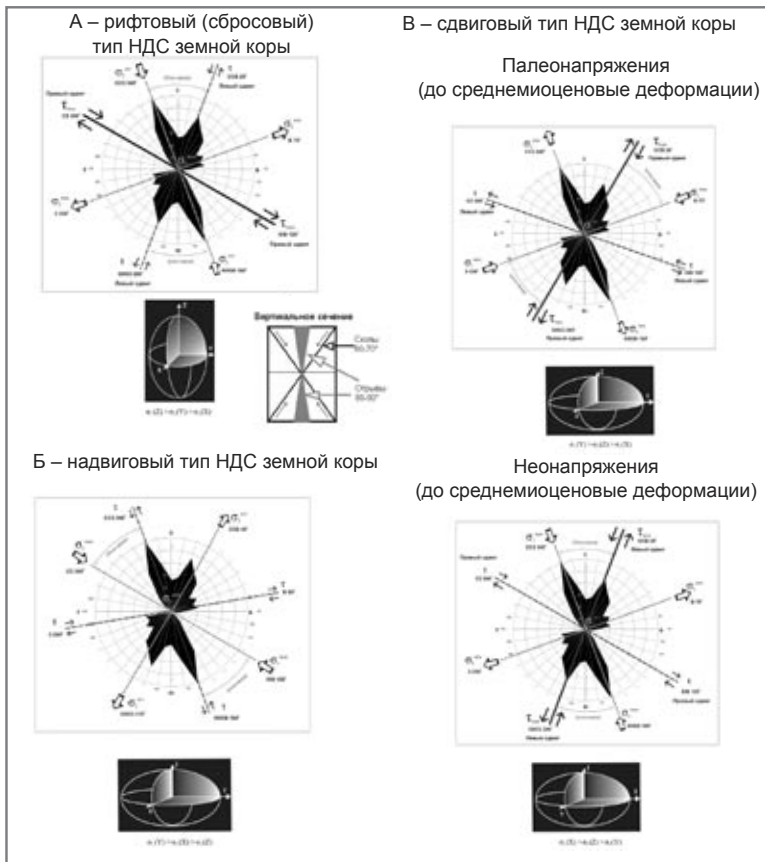


Рис.4. Месторождение Белый Тигр. Тектонофизическая интерпретация 3-х мерной кинематической модели разломов фундамента и реконструкции осей главных нормальных и касательных палеонапряжений для трех этапов и типов (А – рифтовое, Б – надвиговое и В – сдвиговое) НДС земной коры. Во врезках показаны эллипсоиды напряжений и положение трещин скола и отрыва в вертикальном сечении разреза.

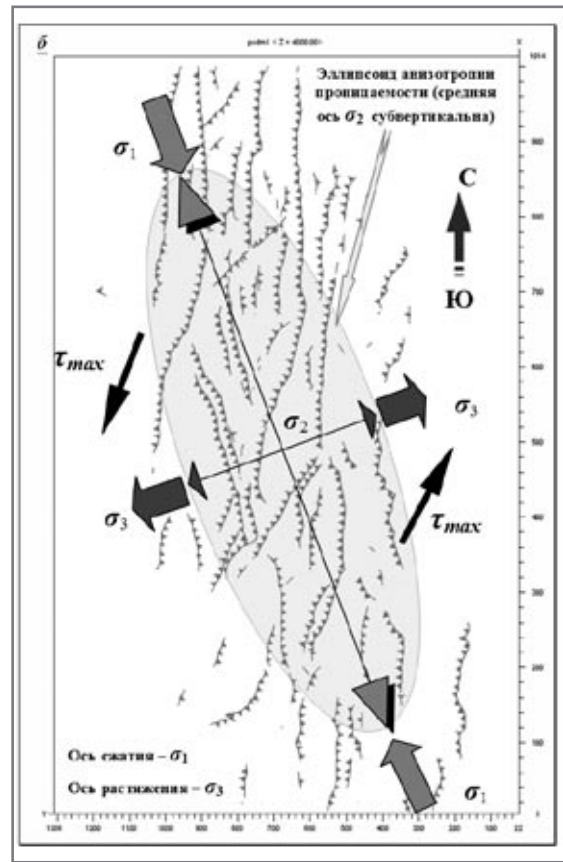


Рис.5б. Месторождение Белый Тигр. Реконструкции осей главных нормальных и касательных напряжений для сдвигового типа НДС земной коры позднечетвертичного (плиоцен-четвертичного) этапа развития структуры и формирования залежей нефти.

как одного из элементов неоднородности гранитоидного массива, был использован коэффициент интенсивности трещинного вулканизма ( $\alpha$ ), равный отношению в разрезе скважины суммарных толщин даек ( $H_{эф}$ ) к вскрытой толщине гранитоида (Н):  $\alpha = H_{эф}/H \times 100$  м. На карте по величине  $\alpha$  выделяется ряд участков максимальных значений коэффициента  $\alpha$ , которые объединяются в единую зону, пересекающую массив с севера на юг (скв. 80, 88, 918, 914, 405, 409, 424) примерно под углом  $45^\circ$  к основной системе разломов. К этой же зоне приурочены и основные «окна», по которым происходит слияние верхней и нижней зон развития коллекторов в гранитоидном массиве. Высокие значения коэффициента  $\alpha$  отмечаются также в районе скважин 415, 423, 409, 435, 430, 405, 914, 910, 918, 809, 88, 81, 80, 803, 813, 445. Участки интенсивного развития трещинного вулканизма хорошо согласуются с зонами максимальной продуктивности на месторождении. Распространяясь под углом  $\sim 45^\circ$  к основным системам разломов, зона повышенных значений  $\alpha$  практически контролируется системами второстепенных разломов, что указывает на различный возраст заложения картируемых сейсмической разломов. Очевидно, что основные разломы имеют более древнее заложение относительно второстепенных разломов, образование или обновление которых произошло в олигоценовое время и с которыми связаны процессы проявления

трещинного вулканизма [1].  
**Комментарий.** Определения толщин даек по данным ГИС, не имея данных об углах пересечения их скважиной нельзя считать строгими. При вертикальном падении даек, пересечение их наклонными скважинами будет давать завышение значения толщин даек ( $H_{эф}$ ) и тем большее, чем ближе проекция скважины к вертикальной.  
 Под понятием второстепенных разломов завуальрованы выделяемые нами новейшие трещины отрыва и малоамплитудные разрывы растяжения (сбросы), связанные с сечением (плоскостью) максимальных и средних нормальных напряжений  $\sigma_1, \sigma_2$ .  
 Образование (обновление) второстепенных разломов связывается с олигоценом, что на наш взгляд завышает возраст проявления трещинного вулканизма. Проявление трещинного вулканизма и образование лавовых покровов (внутрипластовых траппов) на поверхности фундамента и, главное, в разрезе терригенного олигоцена, нужно скорее связывать с миоцено-плиоценовым этапом тектонической активности (завершающие фазы альпийского и неотектонического этапа) площади, а не со спокойным этапом прогибания и накопления отложений терригенного олигоцена и нижнего миоцена.  
 Независимо от этих комментариев, участки максимальных значений коэффициента  $\alpha$  (коэффициент интенсивности

трещинного вулканизма – является мерой интенсивности растяжения и проницаемости земной коры на этапе формирования комплекса малых интрузий), объединяющиеся в единую зону и пересекающие гранитоидный массив с севера на юг под углом  $\sim 45^\circ$  к основной системе разломов, совпадают с картируемыми нами в осадочном чехле новейшими разломами ССЗ простираения. При сколовой природе основных разломов северо-северо-восточного простираения (ССВ  $20-40^\circ$ ), угол  $\sim 45^\circ$  равен углу скола и образует бис-сектрису острого угла для системы сопряженных сколов с субмеридиональной ориентировкой оси максимальных главных сжимающих напряжений (Рис.3,4).  
**О простираении осей напряжений.**  
 По данным [2] азимутальная ориентация даек позволяет установить пространственное расположение осей главных нормальных напряжений и выделить области, запрещенные для положения осей  $\sigma_1$  (наибольшее из растягивающих или наименьшее из сжимающих) и  $\sigma_3$  (наименьшее из растягивающих или максимальное из сжимающих)<sup>2</sup>. В пределах батолита МБТ базальтовые интрузии (дайки) были установлены по отрицательным значениям коэффициента отражений и подтверждены низкими амплитудами на кривых акустического каротажа, аномалиями естественной радиоактивности и плотности в скважинах вскрывших интрузии. В.В.Поспелову и ►

<sup>2</sup> У авторов принята противоположная нашей индексация осей напряжений.

О.А.Шнип «... удалось трассировать пояс наиболее вероятной концентрации дайкового роя в направлении с северо-востока на юго-запад (20°...200°) вдоль основных разломов F1, II. По-видимому, в период окончательного формирования батолита как геологического тела именно в этом направлении наиболее активно проявились напряжения сжатия и следующие за ними периоды релаксации».

Комментарий. В вариантах интерпретации В.А.Кошляк [1] и В.В.Поспелова, О.А.Шнип [2], получены различные решения в отношении простираения дайкового пояса (трещинного вулканизма): ССЗ 340° и ССВ 20° соответственно, отличающегося на ~45°. Простираение ССВ 20° вдоль разломов фундамента (F1, II) связано с устойчивым во времени (Mz-Kz) проявлением максимальных касательных напряжений, идентифицируется главными сдвигами по фундаменту и не может отвечать проницаемому сечению трещин отрыва, связанному с плоскостью максимальных и средних нормальных напряжений  $\sigma_1, \sigma_2$ . В противоположность этому, сечение ССЗ 340°, связываемое [1] с простираением дайкового пояса и трещинного вулканизма, в пределах МБТ совпадает с проницаемым сечением мезозойского вулканизма (многоактное формирование плутонических тел различной основности), позднекайнозойского базальтового вулканизма (формирование комплекса малых интрузий), гидротермальной деятельности (формирование разнотемпературного комплекса гидротермальных минеральных ассоциаций) и плиоцен-четвертичного нефтяного диапиризма (формирование залежей нефти). Длительное функционирование проницаемого сечения ССЗ 340° является следствием устойчивого положения (повторяемости) поля напряжений в пределах МБТ.

#### Петротипы и морфология интрузивного тела.

Для выяснения простираения проницаемых сечений в фундаменте МБТ важную информацию можно почерпнуть при правильной интерпретации карты распространения петротипов фундамента (Рис.3). Как известно, породы фундамента МБТ характеризуются значительной петрографической неоднородностью. Особенно большой пестротой 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 (Арешев, Донг, Киреев, 1996; Гаврилов, 2001).

По результатам петрографического изучения в фундаменте МБТ выделяются три группы плутонических пород с преимущественным развитием: 1) гранитов; 2) гранодиоритов; 3) кварцевых амфибол-биотитовых монцодиоритов и диоритов (Рис.3). Распространение этих групп плутонических пород фундамента связывается соответственно с Центральным, Южным и Северным блоками МБТ.

По результатам радиологических определений и петрографического анализа в составе пород фундамента МБТ различают три разновозрастных интрузивных магматических комплекса: Хон-Хоай (триасовый возраст), Дин-Куан (юрский возраст) и Ка-На (меловый возраст). Комплекс Ка-На, представленный гранитами, слагает практически весь Центральный блок и лишь фрагментами Северный блок. Комплекс Дин-Куан, сложенный преимущественно гранодиоритами, распространен в западной части Северного блока, а комплекс Хон-Хоай, представленный кварцевыми амфибол-биотитовыми монцодиоритами и амфибол-биотитовыми диоритами, занимает восточную часть Северного блока. Примечательно, что распространение интрузивных комплексов совпадает с определенными полями развития различных групп пород согласно содержанию кремнезема – основного петрохимического классификационного параметра. Комплекс Ка-На совпадает с кислыми, комплекс Дин-Куан – с умеренно-кислыми и комплекс Хон-Хоай – со средними породами.

Комментарий. На фоне закономерностей возрастного и петрографического районирования пород фундамента, совершенно очевидно телескопическое строение и вложенность трех временных систем внедрения плутонических тел, имеющих различный возрастной и петрографический состав (Рис.3). С учетом глубины денудационного срезания наиболее приподнятой центральной апикальной части плутонического тела, в пределах Центрального блока вскрывается наиболее глубокий и молодой комплекс Ка-На (мелового возраста), погруженный и последовательно перекрытый на крыльевых и периклинальных погружениях выступа фундамента более древними комплексами Дин-Куан (юрского возраста) и Хон-Хоай (триасового возраста). Характеризуясь наименьшей температурой плавления, гранитовый комплекс Ка-На завершает плутоно-магматическую фазу функционирования мантийного очага. В кайнозойе унаследованность в функционировании мантийного очага проявляется главным образом в гидротермальной деятельности, определившей характер строения и нефтенасыщения порово-трещинного пространства фундамента МБТ.

Учитывая существенное влияние глубины эрозионного среза на полноту и площадное распространение различных петротипов фундамента, видимая зональность является в значительной степени искаженной денудационными процессами и значительной амплитуды сдвиговыми деформациями. Даже в этих условиях, наблюдая всего лишь фрагмент батолита ограниченной площади, мы можем расшифровать зональность распространения различных петротипов фундамента. Во-первых, очевидна срезанность апикальной части батолита, связанной со сводовой частью Центрального и Северного блоков фундамента МБТ; во-вторых, видно трехслойное строение вскрытого эрозией и скважинами батолита и; в-третьих, зональность распространения различных петротипов фундамента также указывает на

близмеридиональное (ССЗ) простираение длинной оси батолита, северное крыло которого срезано ССВ сдвигом и смещено за пределы площади работ 3D (Рис.3).

#### О соотношении величин коэффициента проницаемости.

Соотношение величин коэффициента проницаемости и, соответственно осей анизотропии проницаемости, вдоль горизонтальных осей в сечениях X и Y без знания соотношения величин боковых давлений оценить невозможно. По Е.М.Смехову (1962) для анизотропного трещинного коллектора проницаемость вдоль и вкврт ортогонально ориентированных систем трещин может отличаться на порядок. А по данным У.Файф и др. (1981) при оживлении разломов вертикальная проницаемость разреза увеличивается на три порядка. При гидроразрыве пласта проницаемость трещин увеличивается на 10 порядков. Эти и другие факты требуют дифференцированного подхода при оценке проницаемости трещинных систем различной ориентировки. Таким образом, порядок величин коэффициента анизотропии проницаемости в различных сечениях может составлять от 1:10 до 1:10<sup>10</sup>.

По результатам гидропрослушивания скважин фундамента месторождения Белый Тигр (В.Ф.Штырлин, 2004), диапазон величин скоростей импульса составляет от 29,6 до 136,6 м/час. По этим замерам неоднородность пласта в разных направлениях может достигать 1:4,5 (по исследованиям 1993 года это отношение составляло 1:3).

Дополнительное косвенное представление о величине коэффициента анизотропии проницаемости трещинного коллектора дает отношение длинной (50,0 км) и короткой (12,5 км) осей депрессионных впадин проседания осадочного чехла, как деформационных структур растяжения над выступом фундамента. Значение 4,0 находится между 3,0 и 4,5 и дает независимую и близкую к реальной величину коэффициента проницаемости и анизотропии трещинного коллектора.

Прямое представление о величине коэффициента анизотропии проницаемости трещинного коллектора дает отношение длинной (35,0 км) и короткой (7,0 км) осей между крайними продуктивными скважинами (скв.90-7001 и скв.479-478), как соотношение длинной и короткой осей разведанной части залежи фундамента. Значение 5,0 близко к реальной величине коэффициента анизотропии проницаемости трещинного коллектора для Центрального блока, хотя представляется заниженным для северной и южной части в силу неразведанности месторождения. По совокупности этих данных можно утверждать, что коэффициент анизотропии проницаемости трещинного коллектора для фундамента месторождения Белый Тигр доказательно составляет величину 1:5 и предположительно может достигать величины 1:10. При этом величина коэффициента анизотропии проницаемости будет увеличиваться от центральной части месторождения (1:5) к его периклинальным частям от 1:7 для Северного блока до 1:12 для Южного блока. Результаты гидропрослушивания скважин ►

фундамента (В.Ф.Штырлин, 2004) подтверждают наши выводы и о простирации проницаемых систем трещин (ССЗ 340-350° – ЮЮВ 160-170°). Максимальная скорость гидродинамического импульса между возбуждающими и реагирующими скважинами составляет 136,6 м/час и отвечает паре скважин 405-406, азимут простирации между которыми ССЗ 340° – ЮЮВ 160°.

Таким образом, анализ фактических и опубликованных данных подтверждает наши представления и выводы по преобладающему простирацию проницаемых сечений трещинных систем для резервуара нефти в фундаменте месторождения Белый Тигр. Данные о простирации дайкового пояса месторождения Белый Тигр, закономерности возрастного и петрографического районирования пород фундамента и морфология интрузивного тела, локализация гидротермальной деятельности и залежи нефти на теле фундамента, свидетельствуют о длительном функционировании проницаемого сечения ССЗ 340°-ЮЮВ 160° вследствие устойчивого положения (повторяемости) регионального поля напряжений в пределах месторождения Белый Тигр. По совокупности данных можно предполагать, что коэффициент анизотропии проницаемости трещинного коллектора для фундамента МБТ доказательно составляет величину 1:5 и предположительно может достигать величины 1:10. При этом величина коэффициента анизотропии проницаемости может увеличиваться от центральной части месторождения (1:5) к его периклинальным частям от 1:7 для Северного блока и до 1:12 для Южного блока.

#### Заключение.

По результатам анализа трещинных систем и реконструкциям напряженно-деформированного состояния пород фундамента МБТ выполнен прогноз проницаемых сечений и решены частные вопросы изучения количественных параметров трещинных систем.

1. Восстановлено распределение осей для палеонапряжений и напряжений новейшего этапа формирования структуры и трещинных систем МБТ для рифтового, надвигового и сдвигового типов НДС земной коры.
2. Выполнена генетическая классификация трещин и разломов МБТ.
3. Выполнена классификация по относительной раскрытости и характеру гидродинамической связанности трещинных систем фундамента МБТ.
4. Полученные результаты служат основой построения гидродинамической модели залежи нефти на основе полученных данных о неоднородности фильтрационных свойств трещинных коллекторов в фундаменте МБТ. ■

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Кошляк В.А. Гранитоидные коллекторы нефти и газа. – Уфа: Тау, 2002. – 256 с.
2. Поспелов В.В., Шнип О.А. О роли интрузий в реконструкции полей напряжений и разгрузки в кристаллическом фундаменте. – Тезисы докладов 2-й Международной конференции «Геодинамика нефтегазоносных бассейнов», том 2. М., 2004, с. 164-165.

3. Тимурзиев А.И. Методика поисков и разведки залежей нефти и газа в низкопроницаемых коллекторах (на примере Южного Мангышлака) // Геология нефти и газа. 1985. №1 с.9-16.
4. Тимурзиев А.И. Обоснование структурно-геоморфологического метода прогноза локальных зон новейшего растяжения. – Советская геология, №1, 1989, с.69-79.
5. Тимурзиев А.И. Технология прогнозирования фильтрационной неоднородности трещинных коллекторов на основе реконструкций напряженно-деформированного состояния земной коры по результатам интерпретации сейсморазведки 3D. – Доклады конференции к 75 летию ВНИГРИ. СПб, ВНИГРИ, 2004, с.128-139.
6. Тимурзиев А.И. Реконструкции напряженно-деформированного состояния горных пород по результатам интерпретации сейсморазведки 3D (на примере Еты-Пуровского месторождения) // Доклады VIII международной конференции. М. РГГРУ. 2007. с. 355-358.
7. Тимурзиев А.И. Технология прогнозирования трещиноватости на основе трехмерной геомеханической и кинематической модели трещинного коллектора. Геофизика, №3, 2008.
8. Тимурзиев А.И. Кинематика и закономерности ориентировки разрывных нарушений и осей напряжений осадочных бассейнов Северного полушария. – Отечественная геология, 2009, №6, с.52-59
9. Тимурзиев А.И. Анализ трещинных систем осадочного чехла и фундамента месторождения Белый Тигр (Вьетнам). – Экспозиция Нефть Газ.

# СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «НЕФТЬ. ГАЗ. ЭНЕРГЕО»-2011 16-18 ФЕВРАЛЯ

ПЕРЕРАБОТКА, ТРАНСПОРТИРОВКА  
И ХРАНЕНИЕ НЕФТИ, НЕФТЕПРОДУКТОВ И ГАЗА

СТРОИТЕЛЬСТВО ОБЪЕКТОВ  
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ  
И ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ЗАЩИТА

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Оренбург.  
Нефть.  
Газ. 2011

ОАО "УралЭкспо", г.Оренбург тел./факс: (3532)99-69-39,  
99-69-40, 99-69-41, 560-560 e-mail: uralexpo@yandex.ru,

www.uralexpo.ru

