# Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью)

Тимурзиев Ахмет Иссакович  
Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук

  Структурно-кинематические парагенезы и модели зон сдвигания

Общепринятые представления о господстве в земной коре условий сжатия или растяжения в комбинации со сдвигом противопоставляются друг другу и рассматриваются в контексте различных геодинамических условий структурообразования. Крайнюю форму противопоставления условий структурообразования мы находим в классификации режимов транспрессии и транстенсии при формировании сдвигов. В работе показаны несоответствия кинематики <цветковых моделей> транспрессии и транстенсии реальным трехмерным моделям зон сдвигания. В связи с чем существующие представления о напряженно-деформированном состоянии земной коры и структурных парагенезах зон сдвигания, восходящие к временам плоского (двухмерного) геологического мышления, являются неполными и требуют очевидного пересмотра. Основной тезис, постулируемый в работе, сводится к утверждению одновременности проявления на этапах структурообразования объемного неравномерно-напряженного состояния, запечатленного в трех типах деформаций неразделенной пространством геосреды (сжатие-растяжение-сдвиг) во взаимно ортогональных сечениях структур.

**Кинематические несоответствия цветковых структур**. Изучение смещений поверхности, связанных с крупными землетрясениями в Новой Зеландии, Японии, Калифорнии привело к созданию учения о разломах со смещением по простиранию (A.Sylvester, 1988). Эволюция Вегенеровской концепции дрейфа континентов в теорию мобилизма во многом обязана учению о трансформных разломах (J.Wilson, 1970), обосновавшему возможность масштабных перемещений литосферных плит. Классификация сдвигов (N.Woodcock, 1986) их геометрические, кинематические и динамические характеристики были оформлены на основе изучения горизонтальных сдвигов в обнажениях складчатых поясов. Как отмечал сам A.Sylvester, многие концепции и вопросы, касающиеся сдвигов, выведены из результатов исследований разлома San Andreas.

Главное ограничение, накладываемое на результаты этих исследований, состоит в том, что изучались препарированные эрозией разрезы, демонстрирующие отдельные фрагменты двумерных структурных парагенезов зон сдвигания. Эти ранние модели не могли учесть все сложные связи складчато-разрывных структур в их объемном взаимоотношении. В соответствии с этим A.Sylvester (1988) формулирует несколько фундаментальных вопросов, которые остаются малопонятными, включая природу образования кулисных складок и их связи с процессом образования сдвигов.

Нами при рассмотрении моделей <цветковых структур> по M.Naylor at al. (1986), A.Sylvester (1988) и др. обнаружены явные несоответствия кинематическим условиям строения природных сдвиговых зон, равно как несоответствия между моделями разных авторов и моделями одного автора в разные годы (рис.3.1). Приведем наиболее очевидные несоответствия (<кинематические ребусы>) из встреченных нами графических иллюстраций <цветковых структур> зон сдвигания и их связи с процессом образования сдвигов:

1) неверная кинематика сдвигов (на рис.3.1-1, 3.1-2 и рис.3.1-5 правые сдвиги показаны как левые; на рис.3.1-4 кинематика уже правая);

2) кулисы имеющие <винтообразные> плоскости пересекают ось сдвига без разрыва сплошности кулис (в природе кулисы одного крыла структуры не пересекают осевую поверхность и не переходят в соседний блок);

3) при встречном смещении смежных блоков кулисы скользят по плоскости разрыва как по рельсам и скручиваются (не разрываются и не смещаются);

4) для отдельной кулисы углы падения изменяются от нуля (относительно вертикали) в центре кулис (линия пересечения с осью сдвига) до максимальных величин на окончаниях кулис (в природе нулевому углу падения плоскости кулис отвечает линия выклинивания кулис над вертикальной проекцией плоскости сдвига);

5) в <цветковых моделях> кулисы не выклиниваются в шовной зоне сдвига;

6) несоответствие кинематики моделей A.Sylvester (левый сдвиг) и K.Kwolek (правый сдвиг) при их морфологической идентичности;

7) наличие антиформ внутри цветка транстенсии и синформ внутри цветка транспрессии, в то время как для цветковых структур характерны обратные соотношения.

Обнаруженные нами несоответствия в модели Риделя распространяется на набор и соотношения структурных парагенезов природных зон сдвигания. Это относится как к фактам не выраженности риделевских (R и R') сколов, P и L-сколов, так и несоответствия ориентировки кулис складок F простиранию оси максимального сжатия. В отличие от модели Риделя в природе простирание приразломных пликативных складок поперечно вектору максимальных касательных напряжений τmax. Другие несоответствия приводятся ниже при иллюстрации новой кинематической модели сдвига.

**Новая кинематическая модель СГС**. Как основной структурный объект, являющийся предметом изучения, СГС имеют черты морфологического подобия с цветковыми структурами, однако, термин СГС много более емкий по форме и по содержанию. Сопоставительный анализ показывает, что постановка вопроса о формировании структур в условиях транспрессии или транстенсии некорректна: <тюльпан> и <пальма> - кинематические парагенезы зон сдвигания и раздельно не существуют. В условиях выраженных структурных форм, сформированных сдвигами, в различных сечениях чехла осадочного бассейна находят отражение структурные парагенезы и индикаторы условий сжатия, растяжения и сдвига одновременно. Выраженность или невыраженность признаков проявления этих кинематических условий нагружения определяется выбором сечения для наблюдения, относительной деформированностью структуры, масштабом и мерностью (2-х или 3-х) наблюдений.

На фактическом материале выводы эти находят подтверждение. На рис.3.2 демонстрируется новая кинематическая модель СГС. Показаны реальные сейсмические профили 3Д по Еты-Пуровскому валу в 5-ти критических сечениях, отражающих различный стиль деформаций и одновременное проявление всех известных структурно-кинематических парагенезов СГС. Сечения 1-1 и 2-2 отражают господствующие на своде структуры условия горизонтального сдвига в вертикальной плоскости (ось τmax), встречного на разных крыльях складки, сечение 3-3 - меридионального сжатия (ось σmax), сечение 4-4 - широтного растяжения (ось σmin). Сечение 5-5 - демонстрирует чередование условий сжатия (горсты) и растяжения (грабены) в шовной зоне сдвига. В сечениях 1-1 и 2-2 происходят одновременно внутрислойные сдвиги (горизонтальный сдвиг в горизонтальной плоскости), приводящие к пластическому нагнетанию пород и сдваиванию разреза (рис.3.3).

Особенностью СГС является наличие сбросов на своде поднятия (4-4), в то время как положительные цветковые структуры (Positive Palm Tree, Transpression) формируются на взбросах. И наоборот, сечение 3-3 демонстрирует наличие взбросов на фоне локального прогиба, в то время как отрицательные цветковые структуры (Negative Tulip Structure, Transpression) формируются на сбросах. Для обоих типов цветковых структур (транспрессии и транстенсии) характерно схождение оперяющих разломов к фундаменту и раскрытие <цветков> вверх. Для СГС сечения сжатия (3-3) и растяжения (4-4) имеют противоположные направления схождения разломов: в первом случае раскрытие <цветков> происходит вниз (<клин> вверх), во втором - раскрытие <цветков> происходит вверх (<клин> вниз). Важной особенностью СГС является наличие на своде поднятия внутри грабен-прогиба (сечение 4-4) антиформ, а внутри горст-поднятия (сечение 3-3) синформ, в отличие от противоположных им по знаку форм в моделях цветковых структур (Pull Apart Basins и Push Up Ridges). Для СГС движение пород внутри <клина>, определяющее кинематику разломов, происходит в сторону сужения <клина>, в моделях цветковых структур такое строение характерно только для режима транстенсии.

Как видим, модели транспрессии и транстенсии не строго отвечают трехмерным моделям строения природных геологических структур осадочных бассейнов. Примеры изучения СГС по данным сейсморазведки 3Д свидетельствуют о формировании их в условиях чистого сдвига при одновременной реализации в каждой точке структуры обстановок сжатия и растяжения во взаимно ортогональных сечениях. Показанные несоответствия кинематики зон сдвигания позволяют утверждать, что <цветковые модели> нуждаются в пересмотре. Важность этого вывода обусловлена тем, что безоговорочное принятие кинематических моделей транспрессии и транстенсии приняло <вселенский> масштаб и на их основе сегодня объясняются закономерности структурообразования складчатых поясов и кратонов, рифтовых и покровно-надвиговых структур земной коры (J.Wilson, 1970; N.Woodcock, 1986; Ю.А.Морозов, 2004 и др.). Это учение широко используется для объяснения строения и формирования осадочных бассейнов (M.Naylor at al., 1986; A.Sylvester, 1988; Ю.Г.Леонов, Ю.А.Волож и др., 2004). Налицо тенденция упрощения и сведения всего многообразия геотектонических обстановок структурообразования, связанных с рифтовым, надвиговым и сдвиговым типами напряженно-деформированного состояния земной коры, к геомеханическим моделям транспрессии и транстенсии, как единственным и универсальным механизмам структурообразования.

**О внутрислойном горизонтальном сдвиге кинематической модели СГС**. В модели строения СГС роль фундамента не ограничивается локализацией плоскости горизонтальных сдвигов в вертикальном сечении. Будучи границей раздела физических свойств <жесткого> основания и <пластичного> чехла, поверхность фундамента является границей тектонического срыва, по которой тангенциальные напряжения в горизонтальной плоскости реализуются в деформациях пластического течения, послойного шарьирования и сдваивания разреза за счет черепичного перекрытия разорванных пластов в интервале вспарывания чехла оперяющими кулисами сдвигов фундамента.

Модельное представление внутрислойного сдвига (рис.3.3) позволяет оценить величину укорочения пространства вследствие горизонтального сдвига в горизонтальной плоскости. Как видно из сейсмического профиля, проходящего параллельно оси сдвига (сечения 1-1 и 2-2), эффект снижается к кровле фундамента (А) и верхней юры (Б). Коэффициент укорочения пласта (Ку), рассчитанный для средней части разреза как отношение суммарной длины разорванных фрагментов (n\*l) первично сплошного пласта к текущей длине деформированного пласта (L) превышает 1,25.

Расчеты показывают, что в центральной шовной части в интервале максимального внутрислойного сдвига сокращение пространства достигает трети от первичного горизонтального залегания деформированной толщи. Понятно, что величина сокращения пространства в горизонтальной плоскости должна быть компенсирована кратной величиной (без учета уплотнения пород) расширения пространства в вертикальной плоскости за счет приращения неседиментационной мощности и прироста амплитуды поднятия. Следствием внутрислойного сдвига в горизонтальной плоскости на границе фундамента и чехла являются различные постседиментационные аномалии в пределах СГС: формирование аномального разреза баженовской и ачимовской свит, реверсные разломы и другие явления, вызванные пластическим нагнетанием пород и локальными приразломными изменениями мощностей. Наиболее яркое явление, сопровождающее СГС - это зеркало складчатости (рис.3.2, сечения 1-1 и 2-2). Этим термином мы обозначаем горизонтальное положение на теле антиклинального поднятия поверхности черепичного залегания разорванных компетентных пластов, формирующих в матриксе пластического заполнения структуру <домино>. Встречное падение структуры <домино> по разные стороны шва горизонтального сдвига по фундаменту идентифицирует ориентировку максимальных касательных напряжений τmax. Индикатором направления действия вектора τmax является направление встречного заваливания оперяющих сбросов по разные стороны от шва магистрального сдвига.

Важность этих наблюдений связана с тем, что для структур, осложненных СГС, применение классического метода анализа мощностей ограничено и требуются коррективы его основ. В методологическом плане ревизия основ метода мощностей для палеотектонических реконструкций необходима с целью учета доли неседиментационной части в общей мощности отложений, измененных за счет тектонического нагнетания пород в зонах динамического влияния СГС. Например на своде Еты-Пуровского вала за счет нагнетания пород в шовной зоне сдвига происходит двукратное увеличение мощности баженовской свиты верхней юры.

Важнейшим теоретическим следствием работы стало создание учения о СГС, как основы **деформационной ячейки** для механизма формирования зон сдвигания в условиях кинематической модели чистого сдвига, а важнейшим прикладным следствием - создание технологии поисков нефти на базе учения о СГС и связанных с ними локальных структур растяжения, как геоструктурных признаков проницаемости земной коры и основы **фильтрационной ячейки** для механизма вертикальной фильтрации глубинных флюидов при формировании флюидогенных залежей (рис.3.4).

**Деформационная ячейка** это структурный элемент (блок) земной коры ромбической формы на границах (гранях) которого реализуются и взаимно компенсируются деформационные процессы от внешнего приложения сил сдвигового поля напряжений. Внутри деформационной ячейки напряжения и деформации условно нулевые.

Внутри деформационной ячейки деформации скола происходят по микроплощадкам, параллельным оси τmax, образуя систему кулис, совокупность которых дает генеральную плоскость скола под углом α < 45o с осью τmax, вдоль которой образуются трещины отрыва. Это происходит на микро- и макроуровнях (для образца породы, структур 3-го порядка и выше). Как показал И.С.Чаленко (1970), ансамбль трещин, сформированных в условиях сдвига, геометрически подобен от микро- до региональных масштабов. Будучи элементами локальных деформационных ячеек, СГС выкладываются в региональный деформационный каркас структуры чехла и фундамента осадочных бассейнов, позволяя тем самым маркировать неотектонически активные швы горизонтальных сдвигов фундамента регионального уровня структурной организации земной коры.

Проблема пространства в модели зон сдвигания для отдельно взятой деформационной ячейки решается за счет двух кинематических и флюидодинамического эффектов, вызывающих компенсацию горизонтального сдвига пород за счет: 1) компенсационного перераспределения масс путем пластического нагнетания и латерального внутрипластового течения пород (внутрислойного сдвига в горизонтальной плоскости); 2) вспучивания пород и поднятия в вертикальной плоскости горизонтально залегающих слоев с формированием присдвиговой складчатости; 3) инъекционно-напорного воздействия внедряющихся флюидов и дополнительного сверхкомпенсационного роста складки (флюиды за счет сверхгидростатического давления обеспечивают снятие литостатической нагрузки для деформируемых пластов и снижают эффективное напряжение сдвига за счет снижения коэффициента сцепления и внутреннего трения с последующим обрушением сводов поднятий после релаксации дислокационного и флюидодинамического импульса).

Видимые на сейсмике 3Д признаки горизонтальных сдвигов, хотя и выходят за пределы поднятий, находят объяснение в условиях локального структурообразования. Механизм дискретно-прерывистого и амплитудно-резонансного возбуждения блоков земной коры вдоль региональных сдвигов фундамента позволяет объяснить известные структурные парагенезы СГС на основе деформационной ячейки для механизма формирования чистого сдвига в условиях обоснованной нами выше кинематической модели СГС. Перестройка деформационной ячейки происходит под действием ротационных сил, которые в зависимости от ускорения (полярное сжатие) или замедления (широтное сжатие) приводят жесткую оболочку Земли в состояние приспособления к изменяющимся касательным напряжениям, реализуемым вдоль энергетически выгодных сдвиговых сечений деформационной ячейки.

**Фильтрационная ячейка** - как структура растяжения на телах СГС. Важнейшее отличие модели простого сдвига от чистого сдвига, принятой за основу деформационной ячейки состоит в том, что в условиях простого сдвига происходит изменение только формы тела, а в условиях чистого сдвига изменяются форма и объем тела (М.В.Гзовский, 1975). Последнее обстоятельство является ключевым для прогноза структурных признаков проницаемости в пределах структур растяжения на телах СГС.

Природа разлома (дуализм его кинематики): тангенциальные напряжения (сдвиговая компонента) ответственны за деформацию формы геосреды (формирование горизонтальных сдвигов и присдвиговой складчатости), нормальные напряжения (сбросовая компонента) ответственна за объемную деформацию пород (делатансия, трещины отрыва) не может быть познана двумерными наблюдениями. С внедрением сейсморазведки 3Д, появилась возможность объемного изучения разломов, осложняющих его структурных парагенезов, расшифровки кинематики деформаций и напряженного состояния пород, что позволяет объяснить факты пространственной и временной дискретности реализации свойств проницаемости разломов в условиях, когда 95% поверхности Земли в верхней части земной коры находится в условиях интенсивного горизонтального сжатия (П.Н. Кропоткин, 1987). Учитывая что процессы дегазации Земли имеют рассеянную (диффузионную) и локализованную (фильтрационную) формы (вторая ответственна за концентрированную форму фильтрации), обоснование структурных признаков растяжения земной коры и механизма разгрузки глубинных флюидов, идентификация и картирование каналов вертикальной разгрузки УВ имеет важное научно-практическое значение. Теоретическое и технологическое решение этой задачи подводит нас не только к решению вопроса об источниках и формах миграции УВ, но и к прямому прогнозу нефтегазоносности недр.

**Прогноз структурных признаков проницаемости земной коры**. В основе технологии прогноза структурных признаков проницаемости: 1) дифференциация трещинных систем на генетические типы трещин скола и отрыва, определяющие их относительную раскрытость, на основе структурно-кинематического и динамического анализа трещинных систем и 2) геометризация локальных зон растяжения на телах СГС.

В соответствии с основными положениями теории деформаций и механики горных пород, формирование структур и сопутствующие им процессы фильтрации флюидов протекают в переменном поле тектонических напряжений, а существующая сеть трещин является следствием разрядки напряжений. Трещины независимо от масштаба в пределах одних систем характеризуются сходным типом деформаций. Известно два основных типа трещин генетической природы: скалывания и отрыва, образующиеся соответственно в закономерных соотношениях с осями тангенциальных (касательных) и нормальных (сжимающих или растягивающих) напряжений для различных типов напряженного состояния (сбросовое, надвиговое, сдвиговое) горных пород и имеющих различные параметры раскрытости и проницаемости для фильтрации флюидов.

Влияние типа напряженного состояния земной коры на проницаемость пород проявляется через механизм трещинообразования, заключающегося в формировании трехкомпонентной сети трещин, две из которых (сопряженная пара сколов) параллельны площадкам действия максимальных касательных напряжений τmax, пересекаются с осью σ2, симметричны оси σ3 и образуют с ней угол скола (α =< 45o). Третья система трещин растяжения (отрыва) формируется параллельно оси максимальных главных нормальных сжимающих напряжений σ3 и ориентирована в плоскости, проходящей через оси максимальных и средних главных нормальных сжимающих напряжений (σ1σ2). При этом ориентировка и генетические типы трещин контролируются стационарным положением осей напряжений и во времени в процессе структурообразования (смены типов НДС и миграции осей напряжений) переменны. Ниже приводится обоснование этого вывода.

Эксперименты по испытанию материалов и теоретические исследования показали (М.В.Гзовский, 1975), что интенсивность касательных напряжений σi (пропорциональна октаэндрическим касательным напряжениям τ = sqrt(2/3)τок) является той особенностью напряженного состояния, которая определяет искажение формы напряженного тела (без изменения объема), характеризуемое интенсивностью деформации сдвига γi. В свою очередь, средняя величина нормальных напряжений σm = (σ1+σ2+σ3) / 3 определяет изменение объема тела, характеризуемое средней величиной из трех главных удлинений εm по осям xyz. В общем случае интенсивность касательных напряжений σi и средняя величина нормальных напряжений σm (всестороннее давление), равная нормальному напряжению на тех же площадках, одинаково наклоненных к осям напряжений σm, в совокупности служат обобщенной характеристикой напряженного состояния тела. Таким образом, в соответствии с положением осей напряжений, действующие нормальные и тангенциальные усилия воспринимаются трещинами по-разному. В зависимости от ориентировки в силовом поле сдвиговых напряжений формирование генетических типов трещин подчинено следующей закономерности:

а) трещины растяжения (отрывы, сбросы) формируются вдоль площадок действия максимальных главных нормальных сжимающих напряжений σ1 в плоскости σ1σ2;

б) трещины скола (сдвиги) формируются вдоль площадок действия максимальных касательных напряжений τmax;

в) трещины сжатия (стилолитовые швы) формируются вдоль площадок действия минимальных главных нормальных сжимающих напряжений σ3 в плоскости σ2σ3.

Независимо от генезиса (палеонапряжения) и кинематики современные пространственные соотношения в силовом поле новейших напряжений определяют раскрытость и проницаемость трещин, а реконструкции напряженно-деформированного состояния земной коры позволяют дифференцировать трещины по генетическим типам и, соответственно, по их раскрытости и проницаемости для фильтрации УВ. Поскольку, образование трещин отрыва связывается с площадками действия нормальных напряжений, а трещин скалывания с площадками действия касательных напряжений, первые будут раскрытыми на глубине и эффективными для фильтрации флюидов при формировании залежей нефти и газа и их вскрытии скважинами.

С другой стороны известно, что картируемые повсеместно сейсморазведкой 2Д, гравимагниткой, структурно-геоморфологическими и дистанционными методами исследований нарушения чехла и фундамента являются структуроформирующими и представлены генетическими типами трещин и разрывов скола. Прямой учет параметров этих нарушений для прогноза структурных признаков проницаемости приводит к грубым ошибкам. Без кинематической идентификации их использование для прогноза проницаемости пород невозможно. Использование геометрических параметров трещин без определения их генетического типа и реконструкций напряженно-деформированного состояния горных пород (определение типа, ориентировки осей напряжений и соотношений трещинных систем и объемного тензора проницаемости с осями тензора напряжений), даже в условиях максимально детальной информации о распределении трещиноватости в объеме изучаемого массива, не обеспечивает решение задач прогнозирования структурных признаков проницаемости.

Парагенезис СГС со структурами растяжения земной коры. При сдвиговых деформациях на телах СГС в сечении 4-4 структурно-кинематической модели формируются структуры растяжения как позднеинверсионные структуры обрушения пород над выступами фундамента (рис.3.5.).

Показано, что причина формирования структур растяжения (вторичных депрессионных впадин) на телах СГС кроется не в палеоистории и конседиментационных процессах осадконакопления, а в позднеинверсионных деформациях земной коры. Структуры обрушения - это постседиментационные тела, нижняя граница которых (нейтральный слой) является границей смены режима унаследованного развития (конформность границ ниже этой границы по отношению к кровле фундамента) на новообразования, связанные с постседиментационными деформационными процессами (границы находятся в противофазе к кровле фундамента и нижним границам чехла до нейтрального слоя границы обрушения). Структурные признаки проницаемости земной коры запечатлены в структурных парагенезах: структура проседания над СГС в чехле - шовная зона горизонтального сдвига в фундаменте - глубинный разлом - окно проницаемости - очаг разгрузки глубинных флюидов. Тектоническая (эксплозивная) брекчия газового прорыва и другие признаки проявления механо-деформационного и эксплозивного разрыхления пород в пределах структур растяжения (различные формы диапиризма: магматического, глиняного, соляного, нефтяного), являются индикаторами зон деструкции земной коры над СГС.

Важнейшими физико-геологическими предпосылками формирования структур растяжения являются условия, когда обогащенные газами высоконапорные флюиды достигают кровли фундамента осадочного бассейна. Обладая резким градиентом петрофизических и упруго-деформационных свойств, эта поверхность является критической для формирования градиента давления, вскипания газированных флюидов и эксплозивного (взрывного) увеличения объема внедряющегося флюидного диапира. При резком снижении давления во время прорыва флюидного диапира в пористую среду чехла и при переходе сжатой смеси из надкритической в докритическую область, за счет адиабатического расширения газовых компонентов (Н2О, СО2 и др.), газо-жидкая смесь способна привести к увеличению объема внедряющейся УВ системы от нескольких до сотен раз. По данным А.Г.Бетехтина (1955), при снижении давления от 1000 атм до атмосферного давления (при постоянной температуре) объем углекислоты увеличивается примерно в 500 раз. Область концентрации активных газов во фронтальной части внедряющегося флюидного диапира превращается в зону скрытой эксплозии и взрывных брекчий (П.Ф.Иванкин, 1970). При этом форма структурного контроля структур растяжения предопределена геометрией подверженных сдвиговым деформациям деформационных ячеек, на гранях которых формируются структуры механо-деформационного разрушения и флюидодинамического прорыва нефтяных диапиров.

**Стратиграфическое проникновение разломов и локализация залежей УВ**. Согласно физическим законам фильтрации флюидов в горных породах, высота стратиграфического проникновения проницаемых разломов в чехол при формировании залежей УВ по механизму вертикальной струйной фильтрации, будет определять гипсометрический уровень локализации залежей. Ниже дается физическое обоснование структурных признаков проницаемости земной коры.

Известно, что величина градиента характеризует приращение (скорость изменения) изучаемого параметра на единицу расстояния. В геологии тангенс угла наклона пластов характеризует степень дислоцированности пород, а величина его пропорциональна градиенту амплитуд тектонических движений. Чем больше угол наклона слоев (дислоцированность пород), тем выше величина тангенса этого угла и соответственно градиента наклона структурной поверхности (в нашем случае градиента амплитуд новейших тектонических движений). Градиент амплитуд и скорости неотектонических движений - физические параметры кинематики и динамики материального тела (точки), характеризующие величину приращения амплитуд (скорости) тектонических движений на единицу расстояния (времени). Таким образом, в физических терминах градиент амплитуд неотектонических движений (Gнтд) характеризует скорость тектонических движений, а градиент скорости неотектонических движений - ускорение тектонических движений.

В аспекте проблемы проницаемости земной коры и вертикальной миграции УВ, параметр Gнтд надо рассматривать как выраженную в изменениях углов наклона структурной поверхности (синхронной среднемиоцен-четвертичному времени) физическую величину деформаций пород, геодинамически выраженную в высокоградиентных зонах, местах локализации разломов вдоль плоскостей максимальных касательных напряжений.

Рассмотрим тектонофизическую модель типичных разломов Еты-Пуровского вала для обоснования соотношений действующих на плоскость сместителя разломов напряжений с углами наклона деформируемых пород. Воспользуемся тригонометрическими расчетами для увязки составляющих горного давления с падением структурной поверхности: Pτ-Pгорsinα = 0; Pσ-Pгорcosα = 0, где α - угол падения (наклона структурной поверхности), тогда Pτ = Pгорsinα, Pσ = Pгорcosα, а соотношение Pτ / Pσ = tgα, где tgα - тангенс угла наклона структурной поверхности характеризует степень дислоцированности пород, а величина его (в проекции на горизонтальную плоскость) равна градиенту амплитуд тектонических движений: tgα = f(Gнтд), где Gнтд - градиент амплитуд неотектонических движений.

В аспекте полученного выше определения tgα = Pτ / Pσ, градиент амплитуд (скорости) неотектонических движений (Gнтд) характеризует соотношение касательной и нормальной составляющих полного вертикального горного давления и, по существу, отражает меру перехода горного давления от нормального к касательному на произвольно ориентированных площадках деформации. Максимальной величине tgα и градиенту амплитуд (скорости) неотектонических движений (Gнтд) отвечает полная трансформация горного давления (напряжений) в касательную производную на вертикальной площадке, реализуемая через деформацию чистого сдвига. В этом состоянии параметр tgα приобретает смысл угла сдвига γ (при малых углах деформации tgγ ~ γ), или абсолютной величины относительного сдвига, что соответствует отношению величины смещения (абсолютного сдвига) на единицу сечения деформируемого тела для условия сдвига.

Известно (А.В.Александров и др., 2004), что потенциальная энергия при чистом сдвиге, накапливаемая в элементарном объеме деформируемого тела, равна работе касательных сил (напряжений), приложенных к площадке деформации. При этом работу совершает горизонтальная сила на перемещение (абсолютный сдвиг) элементарного объема деформируемого тела. Энергия деформации (численно равная работе упругой силы), отнесенная к единице объема деформируемого тела называется плотностью энергии деформации (U) или удельной потенциальной энергией деформации при чистом сдвиге и равна: U = Gγ2 / 2, где G - модуль сдвига (модуль упругости материала), Па; γ - угол сдвига. Заменяя γ ~ tgγ на tgα и помня, что tgα ~ Gнтд (для неогеновых отложений), мы приходим к выражению Gнтд через плотность энергии деформации U (удельной потенциальной энергией деформации) при чистом сдвиге: Gнтд = sqrt(2) U / G.

Таким образом, величина градиента амплитуд (скорости) неотектонических движений (Gнтд) характеризует удельную потенциальную энергию деформации и равна для однородного по величине модуля сдвига объема деформируемого тела корню квадратному от удвоенной величины плотности энергии деформации горных пород при чистом сдвиге. В соответствии с полученными выводами величина градиента амплитуд неотектонических движений является прямой количественной характеристикой и мерой реализации (разгрузки, релаксации) удельной потенциальной энергии (плотности энергии) деформаций и интенсивности проявления касательных деформаций (и разрушения горных пород) при формировании тектонических структур горизонтального сдвига.

Учитывая среднемиоцен-четвертичный возраст разломов Еты-Пуровского вала, поверхностная плотность разломов служит структурной формой и количественной мерой разрядки касательных напряжений и кратна величине градиента амплитуд неотектонических движений (Gнтд). В этой связи выражение Gнтд = sqrt(2) U / G может быть представлено в виде Гп ~ sqrt(2) U / G, где Гп - поверхностная плотность (густота) разломов. Поскольку объем анализируемого сейсмического куба 3Д является величиной постоянной, то густота разломов кратна объемной плотности разломов. Согласно выведенной формуле получаем, что объемная плотность разломов равна, а поверхностная плотность (густота) разломов кратна корню квадратному от удвоенной величины плотности энергии деформации горных пород при сдвиге. Эти выводы позволяют физически строго отождествлять поверхностную плотность разломов (трещин, линеаментов) с раздробленностью земной коры и рассматривать ее количественной мерой проницаемости и плотности флюидных потоков при глубинной дегазации Земли и фильтрации УВ при формировании залежей.