

На правах рукописи



Тимурзиев Ахмет Иссакович

**НОВЕЙШАЯ СДВИГОВАЯ ТЕКТОНИКА ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ:
ТЕКТОНОФИЗИЧЕСКИЙ И ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ
(в связи с нефтегазоносностью)**

Специальность: 25.00.03 – геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва – 2009

Работа выполнена в ОАО «Центральная Геофизическая Экспедиция»

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук	С.Л. Костюченко
доктор геолого-минералогических наук	Г.Е. Бондаренко
доктор геолого-минералогических наук	Б.М. Валяев

Ведущая организация:

Институт Физики Земли имени О.Ю.Шмидта РАН

Защита диссертации состоится: 27 февраля 2009 года в 14 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 501.001.39 при Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, Главное здание МГУ, геологический факультет, аудитория 415

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке геологического факультета имени М.В. Ломоносова (Главное здание МГУ, сектор «А», 6 этаж)

Автореферат разослан 26 января 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор геол.-мин. наук, профессор

А.Г. Рябухин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы определяется тем огромным вниманием, которое уделяется сегодня поискам углеводородов (УВ) в осадочных бассейнах, где в настоящее время работами сейсморазведки 3Д выявлен комплекс неизвестных ранее структурных парагенезов, формирование которых потребовало научного объяснения. Только на основе трехмерных сейсмических построений оказалось возможным изучение и понимание уникальных по своей природе и эволюции тектонических структур в чехле осадочных бассейнов, с их сложной историей развития, изменчивым во времени напряженным состоянием и важной ролью новейших сдвиговых деформаций в формировании сопровождающих их структурных и флюидодинамических парагенезов.

Важное научно-прикладное значение имеют полученные количественные связи нефтегазоносности с активностью новейших деформаций, равно как и связи проницаемости земной коры с новейшими деформациями и структурами осадочных бассейнов, а также установленная нефтегазоконтролирующая роль тектонических структур горизонтального сдвига, обеспечивающие в совокупности новые методологические и технологические решения в области прогнозирования и поисков УВ.

Цель работы состояла в выявлении структурных признаков проницаемости чехла и фундамента осадочных бассейнов на основе изучения структур горизонтального сдвига для обоснования методов прогнозирования и поисков нефти.

Для достижения этой цели было необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) изучить в трехмерных моделях структурные парагенезы, связанные с проявлением сдвиговой тектоники в условиях закрытых недр осадочных бассейнов, а также освоить опыт работ по моделированию структур разрушения в зонах сдвига;
- 2) изучить структурные, палео- и неотектонические условия проявления сдвиговых деформаций в пределах разновозрастных осадочных бассейнов;
- 3) разработать методику структурно-кинематического и динамического анализа трещинных систем в пределах структур горизонтального сдвига на основе интерпретации сейсморазведки 2Д/3Д и анализа линеаментов;
- 4) изучить структурные и флюидодинамические парагенезы зон сдвига для прогнозирования параметров фильтрационной неоднородности пород и обоснования структурных признаков проницаемости осадочного чехла и фундамента;
- 5) выполнить количественные оценки новейших деформаций земной коры для изучения закономерностей пространственного размещения и стратиграфической локализации залежей УВ в пределах осадочных нефтегазоносных бассейнов;
- 6) разработать количественные методы прогнозирования нефтегазоносности недр как флюидодинамической основы бассейнового моделирования;
- 7) разработать методику поисков и разведки залежей УВ в пределах структур горизонтального сдвига в условиях слоистых (осадочный чехол) и массивных (фундамент) фильтрационно-неоднородных анизотропных сред.

Фактический материал. В работе использованы материалы, полученные автором по результатам 30-ти летних личных исследований геологии и нефтегазоносности разновозрастных осадочных бассейнов: Восточно-Европейская (Прикаспийская впадина) и Северо-Африканская (бассейн Иллизи) докембрийские платформы; Туранская (Южно-Мангышлакский прогиб и Бузачинский свод) и Западно-Сибирская (Надым-Пурская и Пур-Тазовская синеклизы) эпигерцинские плиты; кайнозойский Тихоокеанский подвижный пояс (Зондский шельф, бассейн Кыу-Лонг). Основу работы составили: 1) результаты более 20 отчетов, выполненных автором в течение 2004-2008 г.г. по тематике сдвиговой тектоники осадочных бассейнов; 2) обобщение материалов изучения структур разрушения по результатам моделирования; 3) результаты физического моделирования процессов структурообразования в условиях сдвиговых деформаций; 4) литературные данные по изучению признаков горизонтальных сдвигов, географии и масштабов проявления сдвиговой тектоники в осадочных бассейнах мира.

Защищаемые положения:

1. Установлено широкое проявление структур горизонтального сдвига в пределах разновозрастных осадочных бассейнов Земли. Горизонтальные сдвиги фундамента независимо от возраста основания являются деформациями новейшего этапа развития осадочных бассейнов и идентифицированы по вторичным структурам разрушения осадочного чехла на основе интерпретации сейсморазведки 3Д.

2. Выявлены морфокинематические несоответствия моделей «цветковых структур» и впервые предложена новая кинематическую модель структур горизонтального сдвига, как основа **деформационной ячейки** для механизма формирования зон сдвига в условиях кинематической модели чистого сдвига.

3. Впервые установлены структурные признаки проницаемости земной коры для очаговой разгрузки глубинных флюидов и разработаны научные основы **фильтрационной ячейки** для механизма вертикальной миграции флюидов.

4. Обоснованы количественные связи новейших деформаций и проницаемости земной коры с закономерностями пространственного размещения и стратиграфической локализации залежей УВ, что впервые позволило обосновать новую модель распределения УВ в осадочных бассейнах и разработать методы прогнозирования нефтегазоносности недр как флюидодинамической основы бассейнового моделирования.

Научная новизна:

1. Разработаны основы учения о структурах горизонтального сдвига, деформационной ячейки для механизма формирования зон сдвига в условиях кинематической модели чистого сдвига и фильтрационной ячейки для очаговой разгрузки глубинных флюидов в условиях локального растяжения земной коры.

2. Разработана трехмерная кинематическая модель структур горизонтального сдвига, позволявшая предложить новые взгляды на механизм формирования структурных парагенезов зон сдвига.

3. Обоснована необходимость ревизии метода анализа мощностей для палеотектонических реконструкций с целью учета доли неседиментационной части в общей мощности отложений, измененных за счет процессов нагнетания пород в зонах динамического влияния горизонтальных сдвигов фундамента.

4. Для количественной оценки новейших деформаций земной коры в условиях отсутствия чехла синхронных отложений, предложена методика расчета абсолютной величины размаха неотектонических движений.

5. Для осадочных бассейнов разработана методика реконструкций напряженно-деформированного состояния осадочного чехла на основе анализа трещинных систем по данным сейсморазведки 2Д/3Д и анализа линеаментов.

6. Разработаны методы количественной оценки перспектив нефтегазоносности территорий и локальных структур на основе связей новейших деформаций и проницаемости земной коры с закономерностями пространственного размещения и стратиграфической локализации залежей УВ.

Практическая значимость работы вытекает из протокола №3948 от 01.02.07 нефтяной секции ЦКР Роснедра: «Проблема изучения сдвиговых деформаций Западной Сибири выходит за рамки чисто научного интереса. Для нефтяных компаний и ОАО «Газпром», работающих на объектах, осложненных сдвиговыми деформациями, эта проблема приобретает важное практическое значение на всех этапах ГРП от поисково-разведочного бурения до проектирования разработки месторождений». *ЦКР Роснедра рекомендует:* 1) расширить исследования по изучению сдвиговых деформаций на месторождениях Роснефть, Газпром нефть, Лукойл и др. недропользователей; 2) включить в планы ГРП недропользователей центральной части Западной Сибири выполнение силами научных центров нефтяных компаний при координации ЦГЭ: а) региональные обобщающие исследования по уточнению географии распространения изучаемого явления, выявлению и подготовке новых локальных нефтегазопроисловых объектов и приросту запасов УВ и б) детализационные работы с целью уточнения геологического строения разрабатываемых и вновь вводимых

в разработку месторождений на основе учета влияния сдвиговых деформаций на систему разработки и эффективность проведения геолого-технических мероприятий».

Реализация результатов исследований. Результаты исследований автора за последние 5 лет вошли в качестве геологических разделов научно-производственных отчетов по интерпретации сейсмических материалов 2Д/3Д, выполненные в ЦГЭ по договорам с Сибнефть, Газпромнефть, Зарубежнефть, Газпром, Арчнефть, Вьетсовпетро, Роснефть, Лукойл, ТНК-ВР.

1. Диссертант является автором 35 научно-производственных отчетов по тематике работы.

2. Основные положения и результаты работы докладывались на НТС и заседаниях геологических секций нефтяных и газовых компаний: Сургутнефтегаз, Сургутгазпром, Сибнефть, Зарубежнефть, Вьетсовпетро, Арчнефть, Астраханьгазпром, Самаранефтегаз, Самара-Нафта, Гипровостокнефть, Газпромнефть, Лукойл, Роснефть, ТНК-ВР, Газпром и послужили основанием для заключения в 2006-08 г.г. договоров на выполнение НИР по комплексному анализу структур горизонтального сдвига с целью уточнения геологического строения разрабатываемых месторождений.

3. Рекомендации автора, основанные на результатах изучения сдвиговой тектоники, использованы при обосновании направлений ГРП и утверждении планов бурения компаниями: Газпромнефть; Арчнефть; Роснефть-Стройнефтегаз Лтд; Роснефть; Астраханьгазпром и способствовали открытию многочисленных залежей УВ.

4. По данным интерпретации сейсморазведки 3Д в 2005 г. автором подготовлены рекомендации на бурение 7-ми скважин на Еты-Пуровском месторождении, которые дали промышленные притоки нефти. Особое значение имеют открытия залежей УВ в пласте Ю₁¹ (скв.231: $Q_n = 270.0$ тн/сут, $Q_g = 177.4$ тыс.м³/сут; скв.233: $Q_n = 341.7$ тн/сут, $Q_g = 48.8$ тыс.м³/сут; скв.234: $Q_n = 440.0$ тн/сут), впервые доказавшие высокую продуктивность присдвиговых структур юрского комплекса. В 2006 г. на Еты-Пуровском месторождении автором рекомендовано бурение 30-ти скважин. В 2007-08 г.г. утверждены к бурению 10 скважин, которые дали небывало высокие для Западной Сибири дебиты из пласта Ю₁¹: скв.238: $Q_n = 480.0$ тн/сут, $Q_g = 469.7$ тыс.м³/сут; скв.239: $Q_n = 700.0$ тн/сут, $Q_g = 491.8$ тыс.м³/сут; скв.242: $Q_n = 210.0$ тн/сут, $Q_g = 179.0$ тыс.м³/сут. Программа интенсивного освоения юрского комплекса Еты-Пуровского месторождения на основе авторской методики и рекомендаций по разбуриванию присдвиговых структур выполняется при 100% успешности бурения поисково-разведочных скважин.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований автора докладывались в течение последних 5-ти лет на 38 международных, всероссийских и региональных конференциях, в том числе: II Международная конференция «Геодинамика нефтегазоносных бассейнов», РГУ И.М.Губкина, 2004; 67 EAGE Conference & Exhibition., Madrid, 2005; международная конференция «Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе ископаемых», ИПНГ, 2006; International Conference «Fractured Basement Reservoir», Vungtau, 2006; «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», ИГД СО РАН, Новосибирск, 2007; XLI Тектоническое совещание «Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики», МГУ, 2008; всероссийская конференция «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле», ИФЗ, 2008 и др.

По теме диссертации опубликовано 140 работ из них 70 за последние 5 лет.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав и заключения, общим объемом 307 страниц, включая 115 рисунка, 10 таблиц. Библиография - 234 наименования.

Благодарности. Работа выполнена в тесном контакте и совместной работе с сотрудниками ЦГЭ: А.Г.Авербух, Г.Н.Гогоненков, А.С.Кашик, С.С.Эльманович и др.

Автор глубоко признателен руководителю нефтяной секции ЦКР Роснедра Н.Н.Лисовскому и руководству нефтяных компаний Газпромнефть, Роснефть, Лукойл, ТНК-ВР и Газпром за поддержку научных инициатив автора по изучению сдвиговой тектоники на разрабатываемых ими месторождениях. Успешной работе над диссертацией способствовали активные производственные контакты автора и обсуждение результатов исследований со специалистами этих компаний.

В процессе экспериментальной работы автор пользовался помощью сотрудников лаборатории геотектоники и тектонофизики МГУ (Н.В.Короновский, М.А.Гончаров, Н.С.Фролова); лаборатории тектонофизики (А.В.Михайлова, Ю.Л.Ребецкий, Л.А.Сим Ф.Л.Яковлев) и геомеханики

(Ш.А.Мухамедиев, Е.И.Рыжак) ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН; лаборатории вычислительной геофизики института прикладной математики РАН им. Келдыша (А.Х.Пергамент); института физики прочности и материаловедения СО РАН (Ю.П.Стефанов). Автор считает своим приятным долгом выразить всем им благодарность за оказанную помощь и совместную плодотворную работу.

Появлению диссертации автор во многом обязан своему научному консультанту Н.В.Короновскому. Важную моральную поддержку оказала Д.С.Оруджева, чье наставничество вдохновляло меня к работе. Работа стала возможной благодаря атмосфере творчества, созданной в ЦГЭ ее руководителями А.С.Кашиком и Г.Н.Гогоненковым, в тесном сотрудничестве с которыми проводились научные исследования по сдвиговой тематике. Огромная благодарность им за ценные советы и дружеские наставления. Особая благодарность моей жене, Другу и Соратнику по жизни, чья мудрость, терпение и жертвенность позволили состояться мне как Человеку и Ученому.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена цель и сформулированы основные задачи, дан краткий обзор содержательной части диссертации.

Глава 1. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов

Работа начинается с определения базисных понятий «новейшая тектоника», «осадочный бассейн», «сдвиговая тектоника» и рассмотрения реализованного в работе подхода к изучению новейшей сдвиговой тектоники осадочных бассейнов.

В эволюционном развитии учения об осадочных бассейнах В.Е.Хаин (2004), объясняя усложнение и трансформации первоначальных моделей НГБ прямым или косвенным влиянием новых веяний в нефтегазовой геологии и геодинамике, сформулировал современное представление на НГБ как *«открытую нелинейную самоорганизующуюся и саморазвивающуюся систему, испытывающую в своей эволюции влияние как глубинных (тепло, магма, флюиды), так и внешних (латеральный стресс) факторов»*. Понятийный базис, введенный В.Е.Хайном в учение об осадочных бассейнах, усиленный призывом *«изучения НГБ как флюидодинамических систем»*, дополненный его же бассейновой флюидодинамикой (В.Е.Хаин, Б.А.Соколов, 1994) и нашими исследованиями неотектонических критериев нефтегазоносности недр [15,67] и структурных признаков проницаемости земной коры [9,22], служат основой создания новой парадигмы нефтегазовой геологии и технологии поисков нефти. В связи с этим формулируется задача ее научно-методического обеспечения на основе изучения структурных признаков проницаемости земной коры.

Предметом изучения в работе, являются структуры горизонтального сдвига. Термин впервые введен нами [55]. Под структурами горизонтального сдвига (СГС) мы понимаем совокупность структурных и флюидодинамических признаков проявления в чехле осадочных бассейнов горизонтальных сдвигов фундамента. СГС это запечатленные в деформационных и флюидодинамических аномалиях чехла (горных пород и насыщающих их флюидов) зоны динамического влияния горизонтальных сдвигов фундамента. Этим термином мы объединяем тектонические структуры осадочного чехла, сформированные горизонтальными сдвигами фундамента, которые отображаются комплексом структурных и флюидодинамических парагенезов, обусловленных их генетической связью с глубинным источником энергии и вещества. В объемном представлении СГС осадочных бассейнов - это трехмерные ассиметричные тела конического морфологии, внутри которых породы подвержены деформационному и гидрохимическому эпигенезу на ширину кулисного оперения и высоту стратиграфического проникновения в чехол оперяющих разломов фундамента.

Со СГС генетически и пространственно связаны **структуры растяжения земной коры** и вторичного постседиментационного проседания пород (инверсионные структуры механодеформационного обрушения сводов поднятий) и наложенные на них инъекционные структуры флюидодинамического прорыва (глубинные флюидные, в том числе нефтяные диапиры и структуры скрытой разгрузки и эксплозии) глубинных флюидов, продуктов гидротермальной деятель-

ности и газового дыхания Земли различного масштаба (от 3-го порядка до надпорядковых), глубинности (от коровых до мантийных) и состава (от метана до магматических и рудных расплавов).

Структуры растяжения земной коры, называемые ранее *трещинно-разрывными зонами новейшей активизации* [9], прогнозировались нами на основе сейсморазведки 2Д и анализа линеаментов. Сегодня они с успехом прогнозируются по комплексу структурно-кинематического анализа трещинных систем, картируемых сейсморазведкой 3Д, и анализа линеаментов, а на основе тектонофизической интерпретации по ним осуществляются реконструкции напряженного состояния земной коры [40,45,66].

Связь со сдвигами залежей УВ придает изучению СГС и связанных с ними структурных и флюидодинамических парагенезов не только научно-теоретическое (расшифровка кинематической модели зон сдвига), но и важное прикладное значение, поскольку обеспечивает технологическое решение задачи локализации и картирования очагов концентрированной формы вертикальной фильтрации флюидов (в отличие от рассеянной формы миграции) в чехле и фундаменте осадочных бассейнов. Изучение СГС является ключом к решению проблемы проницаемости земной коры для вертикальной фильтрации глубинных флюидов и служит основой создания фильтрационной модели массопереноса (фильтрации УВ) в рамках новой парадигмы онтогенеза нефти, как частной формы минералогенеза и разгрузки глубинных флюидов в земной коре.

Масштабный ряд структур, сформированных на основе кинематической модели СГС в рамках иерархии геотектонических структур представлен элементами от локальных структур 3-го порядка до региональных структур 1-го порядка (валы и мегавалы) и надпорядковых структур (складчатые и рифтовые зоны, осадочные бассейны) Земли. Масштаб исследований в рамках диссертации ограничен структурами 3-го (локальные поднятия) и 2-го (валы и сводовые поднятия) порядка, по которым имеются фактические данные сейсморазведки 3Д и глубокого бурения.

Встречающиеся варианты интерпретации СГС. Анализ опубликованных работ показал, что СГС отождествляются с различными геологическими структурами и явлениями и интерпретируются как: оползневые дислокации (М.Ю.Зубков, 1984); инверсионные кольцевые структуры (ИКС) или погребенные кольцевые депрессии (Л.Ш.Гишгорн, В.Г.Кабалык, 1990); столбчатые аномалии скоростей и амплитуд – VAMP (Scholl, Hart, 1993); карстовые структуры обрушения и цилиндрические зоны коллапса (С. Story, et al., 2000); ложные аномалии и структуры (В.А.Трофимов, В.А. Екименко, 2001); зоны палеокарстовой ангидритизации и доломитизации (В.Е.Томилин, Р.Х.Масагутов, 2002); погребенные «газовые трубы» и «караванные тропы флюидов» (Р.М.Гатаулин, 2002); погребенные грязевые вулканы (Р.М.Гатаулин и др., 2006); столбы вторичной карбонатизации (П.Ф.Иванкин, Н.И.Назарова, 2001); флюидодинамические системы и структуры, связанные с дезинтеграционными явлениями (В.В. Харахинов и др., 2005); флексурные зоны и складки поперечного изгиба (Т.В.Ольнева, Э.В.Сапрыкин, 2004); каналы перетоков УВ, контролируемые инъекционными структурами (диапиры, трубы «chimneys», грязевые вулканы (Б.М.Валяев, 2006) и грязевулканические тела (А.И.Ларичев и др., 2006); локализованные (Б.М.Валяев, 1987), фокусированные (М.К.Иванов, 2000) и сосредоточенные (В.А.Соловьев, 2002) очаги разгрузки метана; солитонные трубы дегазации (Р.М.Бембель, 2006); аномальная баженовка (Я.Г.Аухатов, 2004); гляциотектонические структуры (А.А.Растегин, 2006); диапировые структуры (И.И.Нестеров, 2004); красные «курильщики» Кызылкумов (В.Г.Печенкин, 2007); черные «курильщики» океанов (А.П.Лисицин и др., 2004); газовые трубы Охотского (Е.А.Давыдова, 2007) и Черного (В.И.Созанский, 2007) морей; структуры протыкания, «диапировые» структуры и валы (А.О.Мазарович, 1998) и др.

Ледяные колонны над газовыми залежами, проявления гидровулканизма и различных форм диапиризма, залповые прорывы (выбросы) газовых струй, в том числе горячих струй дна Мирового океана (Welham, Craig, 1979; Jul Sano, Akiko Urabe, Hiroshi Wakita et.al., 1985), конусы таяния многомерзлотных пород (В.А.Скоробогатов и др., 2003) и многие другие признаки разгрузки флюидов в осадочном чехле, являясь различными формами проявления глубинной дегазации Земли, находят у большинства цитированных авторов различное толкование физической природы, и такое же многообразие структурной интерпретации и привязки этих явлений к различным типам

структур. Наблюдаемый хаос суждений в интерпретации форм проявления одного и того же геологического явления, не способен обеспечить выработку прогнозных критериев проницаемых зон земной коры в рамках флюидодинамической парадигмы нефтегазовой геологии (В.Е.Хаин, Б.А.Соколов, 1994; В.Е.Хаин, 2004) и разрабатываемой нами фильтрационной теории нефтепоисков [52,60,61]. В то же время в известных концепциях глубинного генезиса рудных полезных ископаемых (А.П.Пронин, 1997) и УВ (Б.М.Валяев, 2006) локализованным потокам глубинных флюидов и контролирующим их каналам (вертикальным «сверхпроводящим» колоннам) отводится ведущая роль. Наши исследования показывают, что современный уровень знаний, основанный на интерпретации сейсморазведки 3Д, позволяет локализовать очаги разгрузки глубинных флюидов на телах горизонтальных сдвигов.

Выполненный обзор приводит к неутешительным выводам: 1) прямые свидетельства и описание геологического явления, связанного с горизонтальными сдвигами фундамента в осадочных бассейнах, встречаются в единичных публикациях; 2) прямые и косвенные признаки проявления СГС в огромном количестве разбросаны в печати, но не осознаны и не объяснены авторами с позиций сдвиговой тектоники. Все это указывает на неблагоприятную ситуацию, сложившуюся в нефтегазовой геологии в области изучения СГС, которые, как теперь стало очевидным, являются широко распространенным явлением практически во всех осадочных бассейнах мира.

География распространения и масштабы проявления СГС излагаются по бассейновому принципу. В пределах Западной Сибири СГС достоверно выделены работами ЦГЭ в пределах Надым-Пурской и Пур-Тазовской синеклиз (группа Еты-Пуровских, Комсомольских, Харампурских, Часельских понятий, Кынское, Русское, Новогоднее, Губкинское и др.). Выраженные различной степенью контрастности, признаки проявления сдвигов фундамента в осадочном чехле установлены на Вынгапуровском, Вынгаяхинском и Ярайнерском месторождениях. Перечень площадей, прошедших обработку и интерпретацию в ЦГЭ, позволяет представить географию проявления геологического явления, вносящего новые взгляды на традиционные представления о генезисе пликативной складчатости осадочного чехла Западной Сибири.

СГС установлены на огромной территории Западной Сибири от северной границы Ханты-Мансийского округа до полярных широт, включающей десятки крупнейших месторождений УВ. Анализ сейсморазведки 3Д западнее Вынгапуровского вала и Северного свода и южнее Широкого Приобья свидетельствует о заметном ослаблении или отсутствии признаков проявления СГС. В то же время северная (Арктическая часть) и восточная (до меридиана Енисея) границы распространения горизонтальных сдвигов до конца не уточнены и есть все основания полагать, что огромная территория севера Западной Сибири и Карского моря, где выявлены гигантские газовые залежи также подвержена проявлению новейших сдвиговых деформаций.

Проявление СГС по характерному признаку кулисного оперения разломов фундамента установлено на площадях Широкого Приобья (А.В.Хабаров, Т.Л.Лютлова, 2006; В.В.Харахинов и др., 2005) и на месторождениях Уренгойское, Северо-Уренгойское, Тазовское и Ямбургское Надым-Тазовской синеклизы (Р.М.Гатаулин, Я.Р.Адиев, 2003).

По результатам обобщения данных сейсморазведки 2Д (Вальнтойская, Восточно-Етыпуровская, Урабор-Яхинская, Ванско-Намысская, Западно-Харампурская и др. площади), региональных структурных построений (А.Э.Конторович, И.И.Нестеров, 2000) и схем тектонического районирования (В.С.Сурков, О.Г.Жеро 1981), мы прогнозируем распространение СГС по всей территории центральной части Западной Сибири от Широкого Приобья до арктического Заполярья. Анализ свидетельствует о проявлении СГС на телах валов, мезо- и мегавалов, образующих линейные надпорядковые мегаструктуры субмеридионального и ССЗ простирания. Эти мегаструктуры, помимо валов с доказанным работами 3Д наличием СГС (Вынгаяхинский, Вынгапуровский, Етыпуровский, Северо-Губкинский валы, группа Комсомольских поднятий), включают Уренгойский, Медвежий, Новопортовский, Южно-Ямальский, Нурминский, Северо- и Южно-Арктические, Бованенковско-Нурминский мегавалы и другие поднятия, расположенные в створе этих надпорядковых мегаструктур, в пределах которых ожидается развитие СГС. Западная и центральная линии выражена кулис-

ным сочленением этих валов к глубинному тектоническому шву, связанному с Худуттейским и Ямальским ответвлениями Колтогорско-Уренгойского рифта (В.С.Сурков, О.Г.Жеро; 1981).

Восточная линия, выраженная цепочкой кулисного сочленения Харампурского, Часельского и Русского валов с доказанным проявлением СГС, продолжается на север в сторону Большехетской впадины и Енисей-Хатангского прогиба. Эта линия связана с активизированным на неотектоническом этапе фрагментом Худосейского рифта и находит подтверждение в признаках СГС на Янгусском и Харвутинском валах, Хальмерпаютинской, Северо-Хальмерпаютинской, Южно-Мессояхской, Находкинской, Юрхаровской и Пяяхинской площадях (В.С.Бочкарев, 2004).

На юг эти структурные линии, осложненные СГС, продолжают в пределах Надым-Пурской (западная линия) и Васюганской (восточная линия) синеклиз на структурах Варьеганского, Тагринского и Ларьеганского валов (группа Варьеганских, Ваньеганских и Кошильских поднятий), Бахиловского, Александровского и Междуреченского валов (Бахиловские, Хохряковские, Пермьковские, Колик-Еганские поднятия). Южнее, на Самотлорском месторождении Нижневартовского свода СГС проявляются в кулисном строении линейных грабен фундамент (К.К.Галямов, 2002).

Общий вывод из анализа географии распространения СГС Западно-Сибирской мегасинеклизы сводится к их связи с активизированными на неотектоническом этапе фрагментами Колтогорско-Уренгойского палеорифта (Худуттейский, Худосейский, Ямальский). Кулисный характер строения молодых поднятий, валов и мегавалов, осложняющих борта этих линейных мегаструктур, свидетельствует о сдвиговой природе деформаций, вызвавших оживление на новейшем этапе Колтогорско-Уренгойского рифта и формирование на его бортах присдвиговой складчатости. В этой связи трассирование региональных швов, входящих в глобальную палеорифтовую систему Западной Сибири, представляет практический интерес для поиска локальных структур.

В строении палеозойского осадочного чехла бассейна Иллизи, занимающего западную часть Северо-Африканской докембрийской платформы, сейсморазведкой 3Д закартированы кулисные системы оперяющих сбросов на региональных разломах докембрийского фундамента Tak Fault System и Garra Tasselit. Активизированные на неотектоническом этапе развития бассейна Иллизи и формирующие сложный структурный парагенезис, эти разломы впервые интерпретированы нами в терминах сдвиговой тектоники.

По результатам обработки и интерпретации сейсморазведки 3Д горизонтальные сдвиги фундамента установлены нами в кайнозойском чехле Зондского шельфа (бассейн Кыу-Лонг). СГС месторождения Белый Тигр формируют наложенную на выступ гранитного батолита новейшую инверсионную структуру линейных впадин присдвигового обрушения, контролируемых кулисными системами оперяющих разломов фундамента и образующих в разрезе чехла типичные «цветковые» структуры.

Наши работы по интерпретации сейсморазведки 3Д на Еленовской площади и Астраханском ГКМ (Прикаспийская впадина), позволили впервые доказать проявление сдвиговых нарушений в палеозойском комплексе Астраханского свода.

На шельфе Сахалина сдвиговая природа разломов, контролирующих месторождения Оха, Чайво-Даги, Лунское и др. выражена по данным сейсморазведки 3Д в кулисном строении сбросов, формирующих их блоковую структуру. В работах В.С.Рождественского (1997) проявление сдвиговой тектоники на Сахалине доказано характером структурного рисунка, включающего анализ планового (кулисного с винтообразным изгибом осевых плоскостей) расположения различных (линейных и гребневидных) складок вдоль крупных разломов (Эхабино-Пильтунский, Охинский).

На Сибирской платформе СГС установлены на площадях Юрубчано-Тахомской (В.В. Харахинов, 2005) и Нижнеангарской зон нефтегазоаккумуляции (А.В.Мигурский и др., 2007), в пределах Верхнепечерской впадины и Предуральского прогиба (Вуктыльское месторождение, структуры Мичаю-Пашнинского вала) Тимано-Печорской провинции (Н.С.Борисов, 2003), Поволжья, Башкортостана, Оренбуржья, Татарстана (В.А.Трофимов, В.А.Екименко, 2001) и других бассейнах, где их генезис идентифицируют кулисные зоны разломов в плане и цветковые структуры в разрезе.

Встречающиеся примеры интерпретации сейсморазведки 3Д из опубликованных работ (ряд примеров дан в работе Р.М.Гатаулина и Я.Р.Адиева, 2003) свидетельствуют о повсеместном проявлении

сдвиговых деформаций в пределах осадочных бассейнов зарубежных стран. СГС представлены кулисным расположением локальных структур по кровле мела норвежского сектора Северного моря, «цветковыми структурами» на сейсмических профилях соляных структур Rub и Ringkobing-Fyn High (Mads Huuse, 1999). Примерами СГС служит месторождение Matzen Field, расположенное в Венском бассейне Австрии (W.Hamilton, N.Johnson, 1999); Альберта, Канада (S.Chorpa, K.Marfurt, 2007); Poznan-Kalisz Zone, Польша (K.Kwolek, 2004). Все эти многочисленные примеры свидетельствуют не только о региональном для Западной Сибири, но и о глобальном характере тектонических процессов, определивших проявление в осадочных бассейнах мира горизонтальных сдвиговых деформаций.

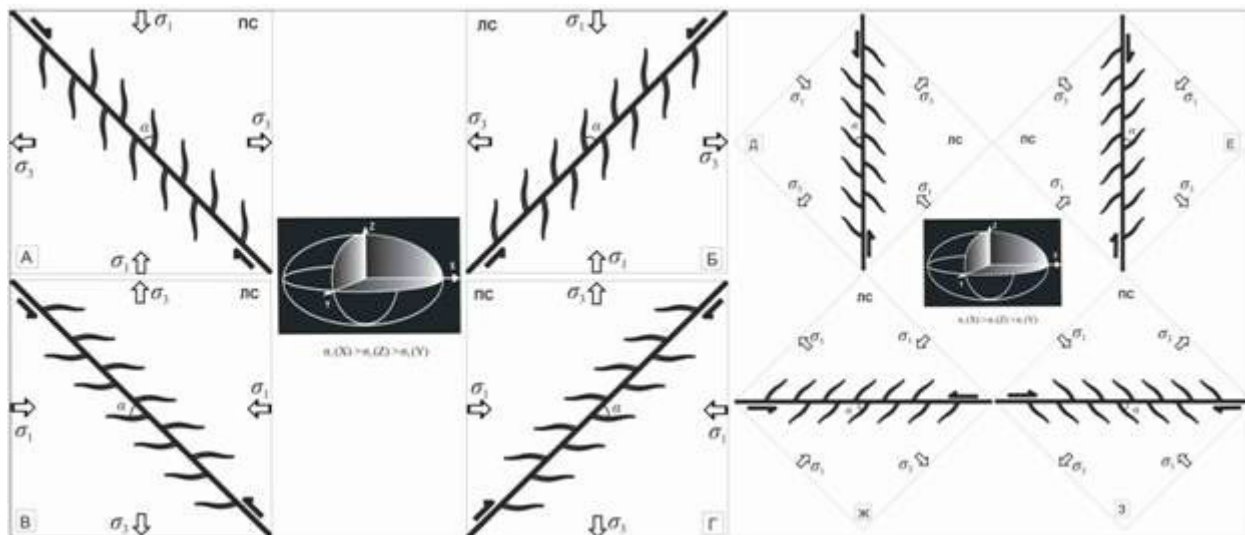


Рис.1.1. Варианты соотношений систем кулисных сбросов осадочного чехла с плоскостью горизонтального сдвига в фундаменте для парагенеза материнский сдвиг - опережающий сброс

Примеры СГС по данным сейсморазведки 3Д. Характеристика СГС на примере наиболее изученных объектов будет дана ниже, а пока выполним систематизацию известных нам месторождений Западной Сибири, осложненных СГС, и покажем кинематику движений для основных систем сдвигов (рис.1.1). На рис.1.1 показано положение вторичных структур разрушения (кулисного опережения) осадочного чехла над проекцией плоскости горизонтального сдвига фундамента для систем диагональных (СЗ и СВ) и ортогональных (С-Ю и В-З) сколов в условиях разрядки новейшего сдвигового поля напряжений¹, ориентировка осей напряжений и кинематика сдвигов (ПС – правый, ЛС – левый). Ниже приводится перечень месторождений, осложненных СГС с различным типом кинематики сдвиговых деформаций, согласно рис.1.1.

А - правый СЗ сдвиг: Еты-Пуровское (север), Вынгайхинское (юг), Вынгапуровское (запад, юго-запад), Губкинское, Северо-Губкинское, Восточно-Комсомольское (фрагмент), Новогоднее, Южно-Харампурское, Северо-Харампурское, Фестивальное, Самотлорское, Мессояхский вал; **Б - левый СВ сдвиг:** Губкинское (восток), Еты-Пуровское (юг), Северо-Комсомольское (фрагмент), Западно-Комсомольское, Ярайнерское, Северо-Харампурское, Вынгайхинское (север), Вынгапуровское (юг), Метельное, Русское, Кынское, Верхне-Часельское, Усть-Часельское, Новоаганское, Бахилловское, Хохряковское, Северо-Хохряковское, Мало-Сикторское, Верхне-Коликъеганское, Мессояхский вал; **В - левый СЗ сдвиг:** нет примеров; **Г - правый СВ сдвиг:** Северо-Комсомольское; **Д - левый СЮ сдвиг:** Северо-Комсомольское (фрагмент), Вынгапуровское (север, центр), Ново-Часельское; **Е - правый СЮ сдвиг:** Барсуковское (запад); **Ж - левый ВЗ сдвиг:** Барсуковское (север), Восточно-Комсомольское; **З - правый ВЗ сдвиг:** нет примеров.

Как видно, подавляющее число примеров СГС на месторождениях Западной Сибири связано со сдвигами фундамента диагональной сети. Будучи структуроформирующими, СЗ разломы по-

¹ $\sigma_1(x) > \sigma_2(z) > \sigma_3(y)$. Здесь и далее принято следующее правило расстановки знаков осей напряжений: сжимающие напряжения имеют положительный знак. Положение и индексация осей напряжений ($P_{\text{оск}}^{\text{max}} = \sigma_{\text{max}} = \sigma_1$; $P_{\text{оск}}^{\text{avr}} = \sigma_{\text{avr}} = \sigma_2$; $P_{\text{оск}}^{\text{min}} = \sigma_{\text{min}} = \sigma_3$) характеризуют сдвиговый тип поля напряжений.

всеместно имеют правосдвиговую, а СВ - левосдвиговую кинематику. Удивительным открытием, обоснованным нами массовыми примерами по Западной Сибири, стало обнаружение единой для всех СГС (независимо от типа осложняющих структур и простирания сдвига) субмеридиональной ориентировки оперяющих кулис чехла. Единственным известным исключением из правила является Северо-Комсомольское месторождение, основной СВ сдвиг которого осложняет сложная сеть кулис меридионального и широтного простирания, при этом последняя является единственной на уровне кровли верхнего мела.

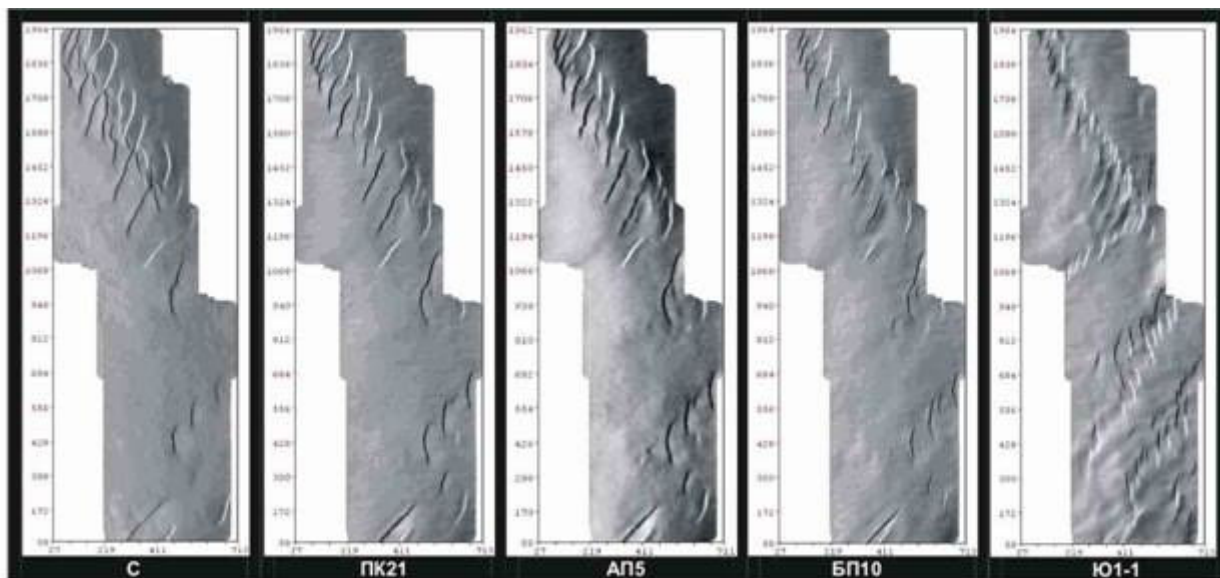


Рис.1.2. Еты-Пуровский вал. Строение вторичных структур разрушения для диагональных систем сдвигов на различных глубинных срезах (сверху - вниз) на картах углов наклона

В качестве примера строения СГС приведем Еты-Пуровский вал, осложненный горизонтальными сдвигами фундамента СЗ (Северный купол) и СВ (Южный купол) простирания, маркируемых эшелонами кулисного оперения в осадочном чехле (рис.1.2).

Идентифицируя положение оси максимальных нормальных сжимающих напряжений, кулисные системы оперения сдвигов фундамента позволили установить [45] устойчивое субмеридиональное направление вектора регионального сжатия для новейшего сдвигового поля напряжений. Этот вывод подтвердили наши многочисленные реконструкции напряженного состояния земной коры по результатам интерпретации сейсморазведки 3Д. Этот вывод подтвержден и более поздними прямыми определениями ориентировки осей напряжений по результатам записи пластового микроимиджера в скважинах, мониторинга процесса гидроразрыва пластов сейсмическими методами, исследованиями на ориентированном керне (О.А.Чашин, 2006). По данным овализации ствола скважин и изучения техногенных трещин, промышленным данным и результатам лабораторных исследований ориентированных образцов керна преимущественное развитие трещин после гидроразрыва пластов на месторождениях УВ Западной Сибири происходит по азимуту 340-350° (Р.Н.Мухаметзянов и др., 2006).

Особенности строения СГС. На огромном материале показано, что СГС выражены в чехле линейными, кулисными системами сбросов и взбросов над швами горизонтальных сдвигов фундамента. Они осложняют своды поднятий, реже крыльевые и периклинальные погружения структур и межструктурные зоны. Рассмотрим строение СГС Еты-Пуровского вала (структура 2-го порядка), с которым связано крупное месторождение УВ и, которое в силу детальной изученности сейсморазведкой 3Д служит полигоном для изучения структурных парагенезов зон сдвига (рис.1.3).

Картируемые сейсморазведкой 3Д разломы чехла идентифицируются как сдвиги фундамента по характерным структурным признакам: кулискому расположению оперяющих разломов, эшелонам приразломных складок, линейным впадинам присдвигового растяжения и сопряженным зонам сжатия-растяжения, выраженным отрицательными и положительными грабен-горстовыми структурами.

Рисунок строения СГС закономерно повторяется от кровли фундамента до дневной поверхности, отражая через единообразие стиля деформаций общее для всего чехла напряженное состояние.

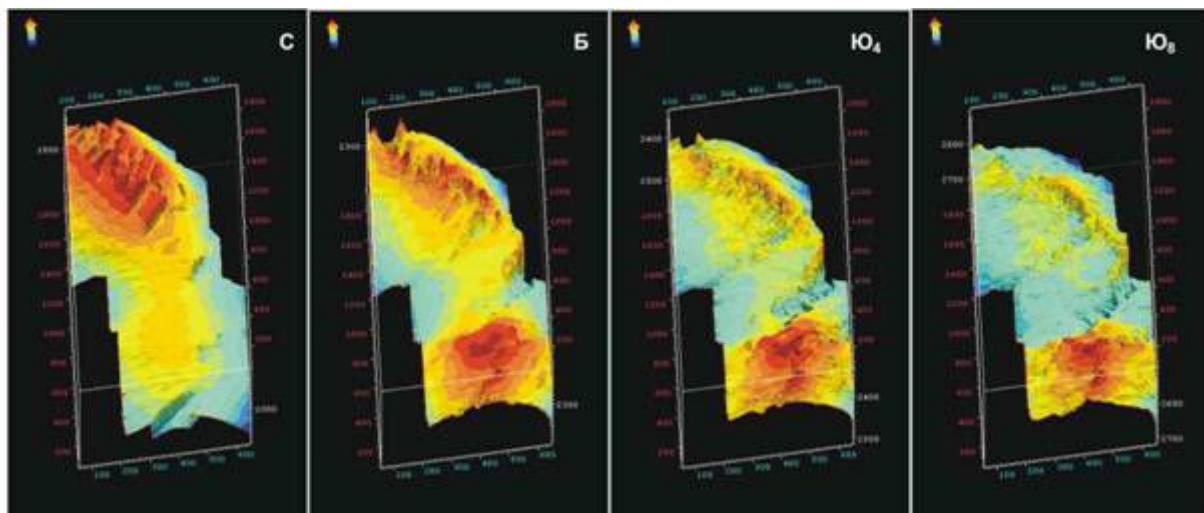


Рис.1.3. Структурные кубы Еты-Пуровского вала по кровле сейсмических горизонтов: С (верхний мел), Б (верхняя юра), Ю4 (средняя юра), Ю8 (нижняя юра)

Количественные параметры, характеризующие СГС севера Западной Сибири, рассмотрим на примере Северного купола Еты-Пуровского вала (рис.1.4).

Преобладающее простирание кулис - меридиональное (максимум ССЗ 350° – ССВ 10°). Кулисы группируются в линейные зоны СЗ (320-340°) и СВ (35-45°) шириной от 1 км в низах чехла до 5-6 км в его кровле. По простиранию шовная зона выполнена линейными грабенами присдвигового растяжения шириной до 1 км и глубиной до 100 м на стратиграфическом уровне верхнего мела. Протяженность шовной зоны сдвига 35 км (в пределах съемки 3Д). Общей закономерностью является снижение вверх по разрезу количества кулис при увеличении протяженности и шага между ними (рис.1.2). Выделяется два интервала с резко отличной густотой разломов: меловой (44-61) и юрский (107-141). Протяженность отдельных кулис от 100 м до 5 км. Приразломные складки располагаются кулисообразно по отношению к оси сдвига под углом от 10-20° в низах юры до 20-30° в верхах мела. Сверху вниз к фундаменту кулисы складываются веером в плоскость сдвига. Характерны встречные углы падения сбросов (разная полярность) и гипсометрическая инверсия приразломных структур по разные стороны от плоскости сдвига.

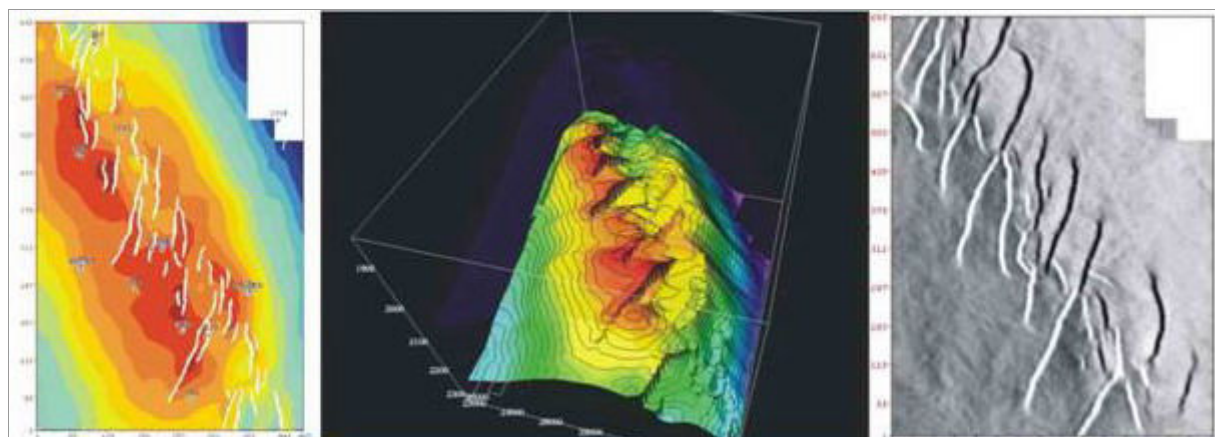


Рис.1.4. Строение шовной зоны сдвига Северного купола Еты-Пуровского вала: а) структурная карта и б) куб по кровле баженовской свиты; в) карта углов наклона по кровле верхнего мела

Блоковое строение СГС. Для Еты-Пуровского вала выделено три уровня структурной вложенности в соответствии с принципами дискретности строения геологических объектов. Каждый

уровень вложенности (вал, купол, блок) представлен самостоятельным набором ранговых структур, отличающихся внутренним строением и историей развития. Шаг между разломами в пределах Еты-Пуровского вала кратен π и подчиняется универсальным законам блоковой делимости разноразноуровневых структур земной коры (М.А.Садовский, 1979). Являясь разномасштабными объектами проявления одних и тех же тектонофизических процессов, эти структурные формы являются телескопически вложенными элементами, подчиненные единым законам деформации и фрактальности геосреды и повторяющие основные закономерности пространственной организации разноразноуровневых систем. Следствием является закономерная организация локальных блоков в пределах структур, так как разломы служат границами блоков. Для новообразованных молодых структур количество блоков одинаково для всего чехла с тенденцией увеличения вверх по разрезу. Для унаследованных древних структур эта тенденция обратная, а величина закономерно снижается (на порядок).

Стратиграфический уровень проникновения и возраст разломов. Разломы юры, мела и палеогена имеют один возраст и формировались одновременно в позднекайнозойское время. Доказано, что высота проникновения разломов в чехол характеризует не возраст нарушений, а связана с интенсивностью тектонических деформаций и является энергетической характеристикой деформаций. При обосновании структурных признаков проницаемости земной коры вывод этот физически доказывается. Разломы часто затухают в ачимовской толще (нейтральный слой или поверхность; М.В.Гзовский, 2000). На границе нейтральной поверхности меняется режим деформаций и углы падения разломов, происходит перераспределение напряжений. Как следствие, формируется новый кинематический тип разломов. Разрыв в прослеживаемости нарушений создает ложную картину существования двух сеток разломов для юрского и мелового комплексов.

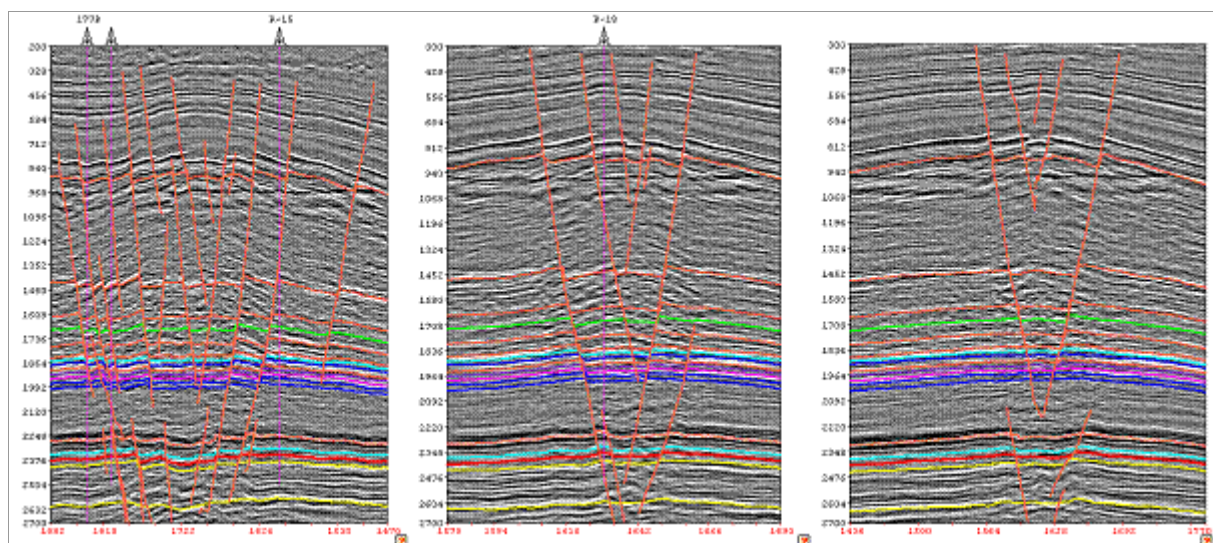


Рис.1.5. Примеры морфогенетических типов оперяющих разломов и структурные парагенезы дизъюнктивных и пикативных форм в пределах СГС: структура «тиольпан», вложенность и телескопирование, веерное строение

Самые верхние разломы в пределах СГС, является самыми молодыми. В осевой части СГС разломы растут сверху вниз (рис.1.5), кулисы осевой зоны не достигают кровли фундамента. В фундамент проникают только крайние оперяющие кулисы пучка разломов СГС. Большинство наклонных кулис сходятся в фокусе осевой зоны СГС (выделяется 4 узла), не пересекаясь друг с другом по разные стороны от оси сдвига. Отдельные кулисы изолированы друг от друга и также не пересекаются.

Трехмерная модель строения кулис такова: тело кулис представляет собой форму эллипсовидной линзы, вогнутой в сторону падения плоскости сбрасывателя и вытянутой поперек оси растяжения. Выклинивание кулис вверх и вниз происходит на различных стратиграфических уровнях. Часть разрывов доходят до дневной поверхности, на глубине они фокусируясь уходят в фундамент.

Кинематика разломов изучалась на основе геометрического анализа оперяющих разрывов, парагенетических структурных индикаторов и связей складчатости с различными генетическими типами разломов на основе модели Кулона-Андерсона для геомеханической обстановки чистого сдвига

(рис.1.6). Осложняющие СГС разломы имеют причудливую геометрию, что придает им сложное блоковое строение. В аксонометрической проекции локальные блоки структур представляют собой геометрические тела, перевернутой трапецевидной формы, сужающиеся вниз по разрезу, заваленные навстречу друг к другу относительно оси сдвига и закрученные против часовой стрелки сверху вниз по разрезу. Оперяющие кулисы сдвигов имеют две компоненты и представляют собой комбинированные сбросо- и взбросо-сдвиги. Сбросовая составляющая деформаций подчеркивается элементами грабен-горстового строения по всему разрезу от подошвы юры до верхних горизонтов осадочного чехла, сдвиговая - смещением разорванных блоков структур вдоль шва сдвига.

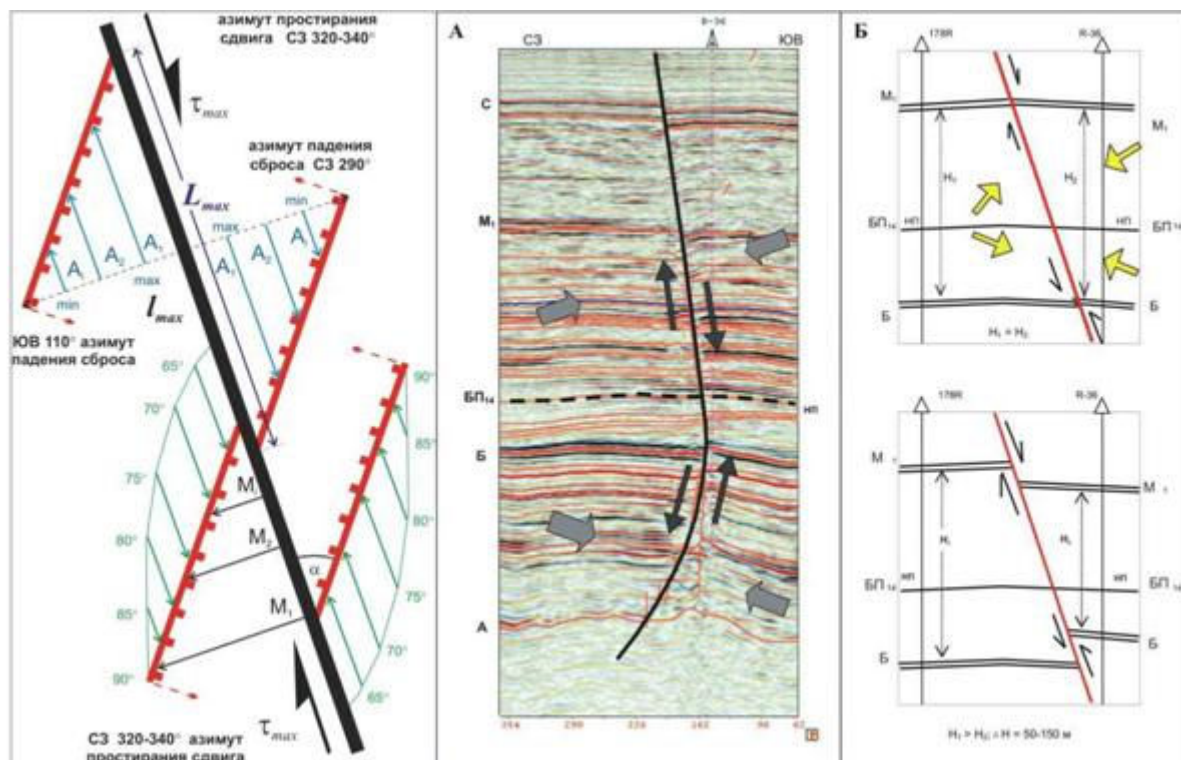


Рис.1.6. Кинематические характеристики для модели правого сдвига (план). Пример реверсного разлома: А – интерпретация сейсмического разреза; Б – модель формирования и кинематики

Вертикальная амплитуда сбросов и присдвиговых складок максимальна у плоскости сдвига, увеличивается вверх по разрезу и достигает 100 м в кровле мела. Угол падения сбросов изменяется от 90° на концах кулисы до 60-70° у плоскости сдвига. Подобный характер строения плоскости разрыва придает им винтообразную форму. Снижение вертикальной амплитуды сбросов вниз по разрезу (нулевая у кровли фундамента), косое положение присдвиговых складок, наличие грабен-структур проседания, «цветковые структуры» в вертикальном сечении и другие признаки говорят о сдвиговой природе разломов. При общности морфологических черт сдвиги СВ простираания имеют левую кинематику и образуют единую тектонопару с правыми сдвигами СЗ простираания.

Учитывая запрокидывание плоскости сместителя в противоположную сторону от направления вектора максимальных касательных напряжений (τ_{\max}), и, располагая данными по углам и азимутам падения плоскостей сбросов по разные стороны от магистрального сдвига, восстанавливаются азимут простираания (СЗ 320-340°) и угол падения вектора тангенциального сжатия (30-40° в верхней части и 0-10° в нижней части чехла). Имеет место встречное, пологонаклонное, переходящее у кровли фундамента в субгоризонтальное, направление вектора тангенциального сжатия, образующее в вертикальном сечении структуры форму «ножниц».

В условиях сдвигового поля напряжений разделенные плоскостью сдвига блоки подвергались разнонаправленным тангенциальным напряжениям. Судя по раскрытию и амплитуде перемещения кулис, уменьшающихся до нуля в противоположную сторону от материнского сдвига, амплитуда горизонтальных движений вдоль плоскости сдвига (A_i) была неравномерна как вдоль, так и

поперек его простирания. Амплитуда горизонтальных смещений кулис максимальна у плоскости сдвига и равна нулю в зоне затухания кулис. Горизонтальная амплитуда смещения кулис определена геометрически как продольная тангенциальному вектору проекция отдельной кулисы на перпендикуляр от замыкания кулисы к плоскости сдвига. По замерам горизонтальная амплитуда смещения кулис изменяется от 0 до 4 км по простиранию кулисы. В соответствии с этим меняется угол падения и вертикальная амплитуда сместителя оперяющих кулис от максимальных величин у плоскости сдвига до минимальных величин в точке их выклинивания. Вертикальная амплитуда сброса по оперяющим кулисам сдвига близка или равна амплитуде присдвиговых складок.

Другая кинематическая характеристика кулисообразных разрывов – амплитуда горизонтального раздвигания (горизонтальный крип) кулис от плоскости материнского сдвига. Параметр имеет угловую (α) и линейную (M) характеристику. Угол раздвигания кулис изменяются от нуля на уровне кровли фундамента до $20-30^\circ$ в верхней части чехла. Амплитуда раздвигания кулис (M) определялась геометрически как проекция отдельной кулисы на плоскость сдвига. По замерам амплитуда горизонтального раздвигания кулис изменяется от 0 до 3–4 км. Ее удвоенное значение характеризует ширину зоны динамического влияния горизонтального сдвига, выраженного в деформациях пород (l_{max}), и изменяется от нуля у кровли фундамента до 6–8 км в верхней части чехла.

Полная горизонтальная амплитуда материнского сдвига (L_{max}) равна двойной максимальной амплитуде смещения оперяющих кулис смежных блоков ($2A_{max}$), проекция которых от точки выклинивания кулис на плоскость сместителя сдвига образует прямой угол. Она изменяется от нуля на периклинальных погружениях структуры до максимальной величины в центре складки. Амплитуда горизонтального сдвига увеличивается также вниз по разрезу и оценивается в 3–5 км по кровле фундамента. Выклинивание сдвиговой зоны на периклиналях структуры происходит под косым углом к плоскости сместителя (разворачивается к меридиану), что придает самой СГС форму кулисы следующего уровня структурной организации. Все эти различия в деформациях пород вдоль и поперек плоскости сдвига связаны с различной величиной воздействия тангенциальных напряжений в комбинации с восходящими движениями роста складки в условиях неравномерного силового поля сдвиговых деформаций.

Реверсные разломы. Впервые выделен и получил количественную характеристику новый тип реверсных разломов, связанный со сменой кинематики движений по простиранию нарушений во времени (в процессе геологического развития) и в пространстве (по падению сместителя). В первом случае смена кинематики движений связана с трансформацией левосторонних сдвигов в правосторонние (и наоборот), во втором случае происходит смена сбросов во взбросы (и наоборот) по падению сместителя.

На примерах бассейна Кыу-Лонг (Зондский шельф) и Иллизи (Алжирская Сахара) показано, что наблюдаемые различия в деформациях пород вдоль и поперек плоскости сдвигов на различных этапах развития структур связаны со сменой ориентировки напряжений и различным характером воздействия тангенциальных напряжений на геометрию и кинематику вторичных структур разрушения горизонтальных сдвигов фундамента. Так на месторождении Белый Тигр 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 (широтное сжатие) и левосторонними в позднем кайнозое (меридиональное сжатие). В этой связи, кинематику разломов необходимо рассматривать во временном аспекте, в динамике изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, а не как статическое явление.

На рис.1.6 показан пример реверсного разлома, свойства которых определяются разнонаправленными движениями блоков по разные стороны от сместителя ниже и выше нейтральной поверхности. Если выше нейтральной поверхности разлом классифицируется как прямой сброс, то ниже этой поверхности он трансформируется в прямой взброс, при этом по одну сторону плоскости сместителя пласты смещаются навстречу друг другу, а по другую сторону – расходятся. На уровне нейтральной поверхности смещение пласта нулевое, вверх по разрезу смещение растет со сбросо-

вой кинематикой и на уровне горизонта M_1 (кровля нижнего мела) составляет 40 м, вниз по разрезу смещение также растет, но уже со взбросовой кинематикой и на уровне горизонта Б (кровля юры) составляет 20 м. Следствием таких деформаций является разница между мощностью толщи Б- M_1 по разные стороны от сместителя в 60 м. Таким образом, по одну сторону плоскости реверсного разлома без нарушения последовательности залегания пластов происходит сокращение мощности за счет встречного движения блоков и выдавливания пород, а по другую – увеличение мощности за счет их пластического нагнетания. Этот пример позволяет понять возможные причины существующих невязок при проведении межскважинной корреляции горизонтов в зонах реверсных разломов.

Структуроформирующая (и контролирующая) роль сдвигов фундамента. Анализ сейсморазведки 3Д показал, что горизонтальные сдвиги фундамента имеют важное структуроконтролирующее значение. По характеру прослеживаемости СГС на материалах сейсморазведки 2Д очевидно, что кулисное строение оперяющих разломов горизонтальных сдвигов фундамента продолжается далеко за пределами кубов 3Д. Однако в силу дискретности пересечений разломов профилями 2Д истинную картину поведения плоскости разлома увидеть невозможно и по данным 2Д горизонтальные сдвиги отображаются зонами субпараллельных линий разломов, отражающих общий тренд региональных сколовых сечений в фундаменте Западной Сибири [62].

Показано, что повсеместно картируемые сейсморазведкой 2Д разломы СЗ и СВ простираний являются региональными швами горизонтальных сдвигов фундамента (в геомеханическом и кинематическом смысле), активизированными на неотектоническом этапе. Внутреннее строение этих швов и структурные парагенезы осложняющих их пликативных и дизъюнктивных структур не поддаются интерпретации и расшифровке методами сейсморазведки 2Д, в связи с чем все существующие по Западной Сибири структурные построения, основанные на данных 2Д, нельзя считать достоверными, а многочисленные попытки объяснения связанных со СГС геологических явлений – сколь либо обоснованными. Линейные зоны, картируемые по данным 2Д не отображают истинной геометрии разломов и их взаимоотношений со структурами чехла. Только благодаря внедрению технологии сейсморазведки 3Д появилась возможность изучать реальную картину строения зон разломов и получать истинное соотношение пликативных и дизъюнктивных структур чехла. Неверная интерпретация разломов приводит к неверным структурным построениям по целевым горизонтам, следствием чего является неправильная геометризация ловушек и неоптимальное размещение скважин. Сегодня уже можно утверждать, что в условиях кулисного строения разломов фундамента севера Западной Сибири, сейсморазведка 2Д не может служить достаточной основой для заложения поисково-разведочных скважин и проектирования разработки месторождений.

На основе анализа материалов сейсморазведки 2Д по Западной Сибири системы кулисных разломов в пределах локальных структур 3-го порядка рассматриваются нами элементарными составными кулисами шовных зон региональных сдвигов межблоковой делимости более высокого иерархического ранга. В условиях активного проявления сдвиговой тектоники на севере Западной Сибири, картирование новых разломов и, что особенно важно, прослеживание и детализация по простиранию разломов и флексур, выделенных ранее сейсморазведкой 2Д, имеет важное прикладное значение для подготовки присдвиговых тектонически-экранированных структур – потенциальных ловушек для залежей УВ.

Структурная позиция и классификация сдвигов. В пределах изученных осадочных бассейнов выделено два типа СГС: структурные (андерсоновский чистый сдвиг) и трансструктурные или наложенные (транскуррентные, риделевские простые сдвиги). СГС мы относим к первому типу. Как геомеханическая модель андерсоновского чистого сдвига, СГС генетически и пространственно связаны с антиклинальными структурами. Амплитуда смещений вдоль эшелонированных кулисами сдвигов фундамента максимальна на сводах и минимальна (до нуля) на периклиналях (крыльях) структур. СГС ограничены площадью тектонических структур от 3-го до 1-го порядка (первые десятки и сотни км) и являются элементами деформационных ячеек.

В модели транскуррентного сдвига амплитуда смещений вдоль сдвигов постоянна. Они наложены на структуру чехла и фундамента, имеют большую протяженность (более 100 км), геометрию «трамвайных путей» и осложняют структурные элементы различного порядка и знака. Транскур-

рентные сдвиги рассматриваются как сколы, образующиеся в механической обстановке простого сдвига, т.е. имеющие риделевскую схему образования (А.В.Тевелев). В нашем представлении транскуррентные сдвиги являются элементами (гранями) деформационных ячеек регионального уровня структурной организации земной коры. Небольшой градиент изменения амплитуды смещения по плоскости таких сдвигов не позволяет наблюдать изменения деформаций на коротких расстояниях, доступных изучению сейсморазведкой 3Д в пределах локальных структур.

История палеотектонического развития. Детальный палеотектонический анализ показал, что поднятия, осложненные СГС, имеют сложную историю развития и независимо от возраста осадочных бассейнов классифицируются на два типа: а) унаследованные от фундамента древние структуры прерывистого развития и б) новообразованные по горизонтам осадочного чехла молодые структуры инверсионного типа. Оба типа структур характеризуются постседиментационным развитием и позднекайнозойским временем формирования складчатых и разрывных дислокаций.

Масштаб деформаций новейшего этапа тектонического развития структур может характеризовать величина размаха неотектонических движений (абсолютная величина движений за неоген-четвертичное время) в процессе формирования Еты-Пуровского вала (Западная Сибирь), оцененная нами в 1400 м. По генетической классификации поднятия, осложненные СГС, относятся к приразломной складчатости, сформированной по механизму продольного изгиба (тангенциального сжатия).

Формирование СГС. Формирование СГС связано с трансформацией горизонтальных движений блоков фундамента в вертикальные деформации роста структур по схеме продольного изгиба в условиях стесненного пространства. Основными формами приспособления горных пород и пластов к изменению объема геологического пространства при сдвиговых деформациях являются складчатые и разрывные дислокации, различные формы пластического нагнетания, течение и перераспределение вещества, сланцеватость, послойный кливаж, шарьирование, надвигание и сдвигание разреза, другие структурные парагенезы. Основными дизъюнктивными формами проявления СГС являются различные системы опережающих нарушений в зонах динамического влияния горизонтального сдвига фундамента: сопряженные сколовые трещины и трещины отрыва. Генетические типы сбросо-сдвигов идентифицируют условия растяжения, взбросо-сдвигов – условия сжатия, господствующие в различных сечениях СГС. Совершенно новыми формами проявления неоднородности сдвиговых деформаций в условиях СГС являются признаки чередования по площади и разрезу динамических обстановок сжатия и растяжения, миграция осей напряжений по площади и разрезу, разнонаправленные встречные (реверсные) движения блоков по плоскости нарушения в разных частях разреза, разделяемых глинистой толщей ачимовской и баженовской свит. Особенности структуры Еты-Пуровского вала на границе ачимовской толщи, изложенные выше, находят свое физическое проявление в строении разломов и напряженно-деформированного состояния пород по разные стороны от этой физически значимой поверхности. При объяснении этого феномена мы придерживаемся взглядов М.В.Гзовского (2004) о приуроченности этой поверхности к так называемому нейтральному слою или поверхности, расположенной между зоной растяжения (вверху) и зоной сжатия (внизу) деформируемой складки. Ниже мы покажем связанные с этой поверхностью структурные трансформации, имеющие важное значение в геологии и нефтегазоносности месторождений, осложненных СГС.

Глава 2. Моделирование структур разрушения в зонах сдвига

В работе выполнено обобщение результатов изучения структур разрушения, формирующихся в осадочном чехле в зонах сдвига (скалывания), полученных по результатам тектонофизического моделирования. Источником анализа явились результаты совместной работы с лабораторией тектонофизики ИФЗ РАН по изучению механизма горизонтального сдвига. Помимо работ по моделированию, выполненному в лаборатории тектонофизики ИФЗ РАН, обобщены результаты работ российских и зарубежных исследователей (М.В.Гзовский, С.А.Борняков, Г.Клоос, Э.Клоос, А.В.Михайлова, Д.Н.Осокина, В.Ридель, С.Стоянов, И.С.Чаленко и др.), изучавших деформации зон сдвигов в экспериментах по физическому моделированию.

Структурные парагенезы зон сдвига по результатам моделирования. Существуют устоявшиеся представления о структурах разрушения, отвечающие механизму горизонтального сдвига, основанные на моделях Риделя и Андерсона. В зонах сдвига по модели Риделя (рис.2.1) выделяются кулисно расположенные R и R' сколы, составляющие с осью сдвига острый и близкий к 90° углы, трещины отрыва T , P и L -сколы, а также кулисы приразломных пликативных складок F , оси которых совпадают с ориентацией оси максимального сжатия.

Выполненный обзор результатов моделирования зон сдвига показал, что как постановка экспериментов, так и интерпретация наблюдений требуют дополнительного анализа, поскольку достаточно часто они проводились без учета базисных положений механики и природных процессов, не воспроизводимых в экспериментах. Анализ результатов экспериментов показал, что поверхностные структурные парагенезы зон сдвига хорошо изучены, чего нельзя сказать об объемных деформациях, так как методы физического моделирования не дают такой возможности.

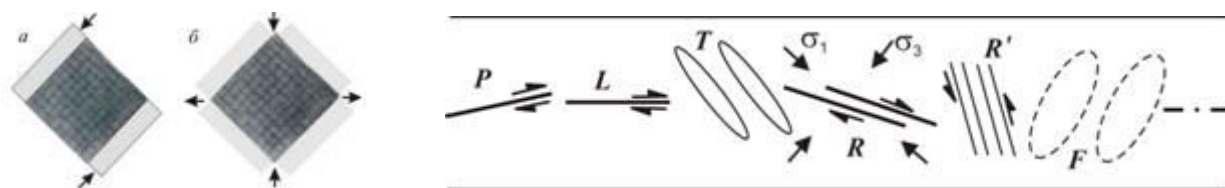


Рис.2.1. Модели нагружения, отвечающие: а - простому (Риделя), б - чистому (Андерсона) сдвигу. Справа для модели Риделя дана схема деформирования и структурные парагенезы в зоне правого сдвига (здесь σ_1 - ось максимального сжатия).

Математическое моделирование. Результаты теоретического анализа моделей зон сдвига в условиях продольного сдвига путем математического моделирования излагаются по результатам совместных работ с лабораторией тектонофизики (группа Ребецкого Ю.Л.) и геомеханики (Мухамедиев Ш.А., Рыжак Е.И.) ИФЗ РАН и института физики прочности и материаловедения СО РАН (группа Стефанова Ю.П.).

Показано, что при физическом моделировании сдвига, не выполняется условие подобия по гравитационным напряжениям. В силу этого, а также из-за того, что наблюдения ведутся только на поверхности моделей, увидеть при моделировании влияние на характер разрушения этих напряжений не представляется возможным. На самом же деле роль гравитационных напряжений в природных процессах очень велика. При интерпретации природных структур разрушения используются результаты, полученные в экспериментах. Показано, что такая интерпретация структур, наблюдаемых на поверхности, может оказаться верной только для механизма нагружения в виде однородного по глубине плоского простого сдвига. В случае реализации простого сдвига в природных условиях, напряженное состояние существенно неоднородно по глубине и в этом случае структуры разрушения, формирующиеся в глубине массива, могут отличаться от тех, что наблюдаются на поверхности не только по простиранию, но и по кинематическому типу. Однако многие исследователи на основании подобного анализа мысленно продолжают наблюдаемые типы структур разрушения на глубину. Наблюдения за подобными изменениями во внутренних объемах горных пород стало возможным с развитием методов сейсморазведки 3Д.

Исследования механизмов локализации при образовании эшелонных структур, выполненные Ш.А. Мухамедиевым и Е.И.Рыжак, показали, что строение кулисообразных систем нарушений в Западной Сибири имеет заметные расхождения с результатами опытов В.Риделя, С.Стоянова, Дж.Байерли и др. по сдвигу полосы: угол, образуемый нарушениями с осью полосы, далек от углов, типичных для сдвиговых нарушений Риделя. По их мнению, это может быть связано с наложением на сдвиговые напряжения сжимающих напряжений в направлении вдоль или поперек полосы, что приводит к повороту осей напряжений и к соответствующему повороту площадок максимального касательного напряжения, плоскостей локализации деформаций и т.п.

Работами Ю.П.Стефанова по численному моделированию (в 2D постановке плоской деформации) формирования полос локализованного сдвига в горизонтальных и вертикальных сечениях

среды при разрывном смещении фундамента установлено, что в условиях сдвиговой деформации толщи среды в горизонтальных сечениях формируется квазипериодическая система полос локализованного сдвига Риделя. Угол наклона полос локализованной деформации к направляющей сдвига составляет 10° - 12° . С увеличением глубины ширина зоны, в которой сосредоточены полосы локализации сужается, с соответствующим ростом степени деформации в ней. Расстояние между полосами локализованного сдвига возрастает с увеличением эффективной сдвиговой прочности, а следовательно и с глубиной. В вертикальных сечениях среды вблизи плоскости разрывного смещения формируются полосы локализованной деформации, наклон которых изменяется с глубиной. Наименьший угол наклона полос локализации ($\sim 10^{\circ}$) наблюдается в нижних слоях, вблизи основания и при уменьшении глубины (удалении от основания) возрастает. Анализ результатов численного моделирования показал несоответствия как по углам, образуемым полосами локализованной деформации с осью сдвига, так и по изменению расстояния между полосами локализованного сдвига с глубиной (получена обратная картина). В вертикальных сечениях получена модель листрического разлома, не имеющая ничего общего с природными объектами. Как следствие вывод авторов о том, что более точный анализ деформирования среды может быть получен при трехмерном моделировании процесса.

Физическое моделирование выполнялось в рамках совместного проекта по моделированию структурообразования в условиях сдвиговых деформаций, приближенных к геологическим условиям севера Западной Сибири в лаборатории тектонофизики и геотектоники Геологического факультета МГУ. Во всех экспериментах (моделирование деформаций фундамента в отсутствие чехла, чехла над отдельным сдвиговым разломом фундамента в вариантах жесткого и пластичного фундамента) в чехле удалось воспроизвести лишь крутопадающие трещины отрыва и сколы Риделя. При этом трещины отрыва не получали дальнейшего развития, а объединялись в сколы Риделя, простирание которых незначительно отклонялось от простирания сдвигового разлома в фундаменте. Между тем в исследуемом районе углы падения сбросов находятся в диапазоне 50 - 70° , а их простирание заметно (на 35 - 55°) отличается от простирания сдвига фундамента. С учетом дополнительных экспериментов (моделирование гравитационной нагрузки чехла и суперпозиции двух типов горизонтального сдвига: вдоль вертикальной плоскости и вдоль горизонтальной плоскости) результаты физического моделирования объясняют формирование сдвиговых деформаций, характерных для севера Западной Сибири, сочетанием двух типов горизонтального сдвига: вдоль вертикальной и вдоль горизонтальной плоскостей без участия транспрессии или транстенсии.

Общим результатом выполненных аналитических исследований и экспериментальных работ является не более чем общее приближение модельных решений к сложным природным структурным парагенезам зон сдвига и, как следствие, осознанная всеми участниками работ, необходимость дальнейших исследований в этой области.

Глава 3. Структурно-кинематические парагенезы и модели зон сдвига

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 сдвига. В связи с чем существующие представления о напряженно-деформированном состоянии земной коры и структурных парагенезах зон сдвига, 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 сдвига. 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 сдвига:

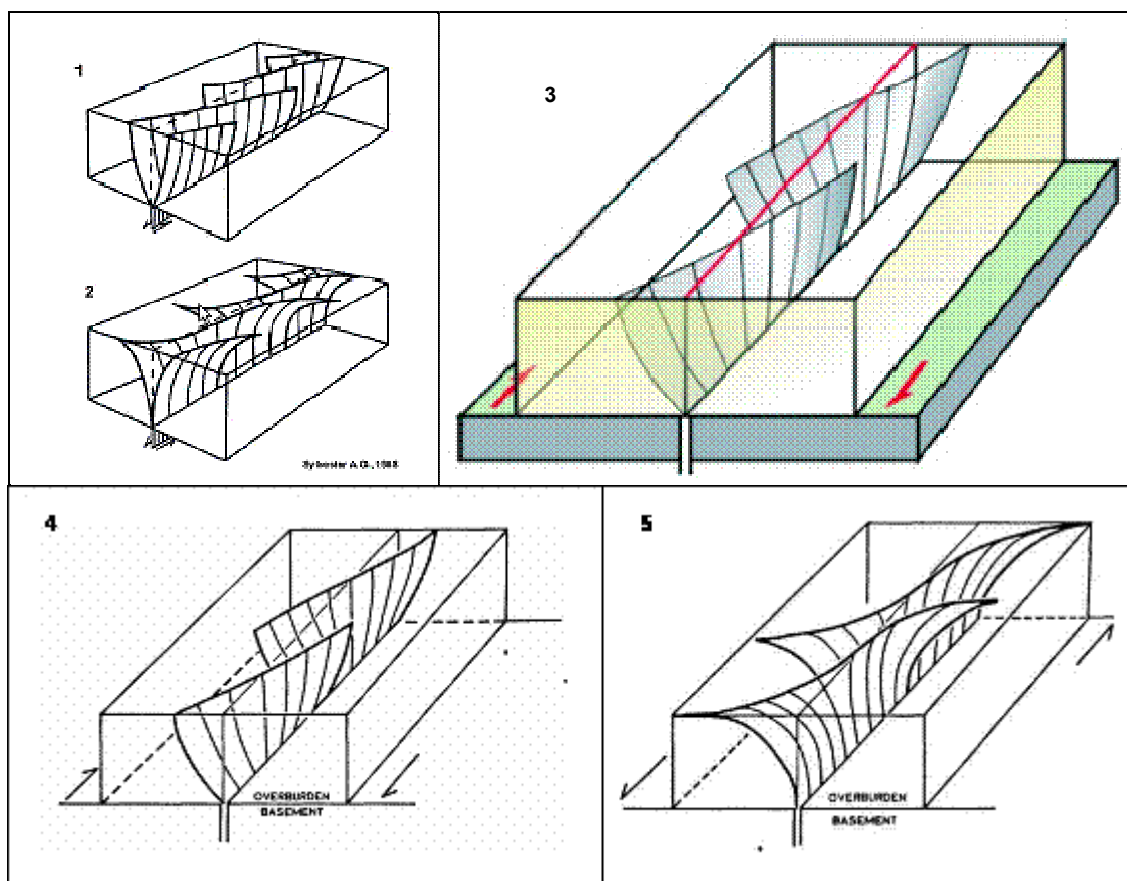


Рис.3.1. Кинематическая модель «цветковых структур» по Sylvester, Smith (1976); Gamond and Odonne (1983), Naylor & others (1986), A.Sylvester (1988), K.Kwolek (2004): 1 - структура «тюльпан», левосдвиговая транспрессия (A.Sylvester, 1988); 2 - структура «пальмовое дерево», левосдвиговая транстенсия (A.Sylvester, 1988); 3 - структура «тюльпан», правосдвиговая транспрессия (K.Kwolek, 2004); 4 - винтообразная форма сколов Риделя при простом правом сдвиге, реконструированная по горизонтальным разрезам при экспериментах на песчаных моделях (Naylor and others, 1986); 5 - винтообразная форма осевых поверхностей двух кулисных складок при простом левом сдвиге.

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 сдвига. 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 пликтивных складок поперечно вектору максимальных касательных напряжений τ_{\max} . 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 сдвига и отдельно 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 τ_{\max}), встречного на разных крыльях складки, сечение 3-3 – меридионального сжатия (ось σ_{\max}), сечение 4-4 – широтного растяжения (ось σ_{\min}). 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 сдвиганию 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 «клины», определяющее кинематику разломов, происходит в сторону сужения «клины», в моделях цветковых структур такое строение характерно только для режима транстенсии.

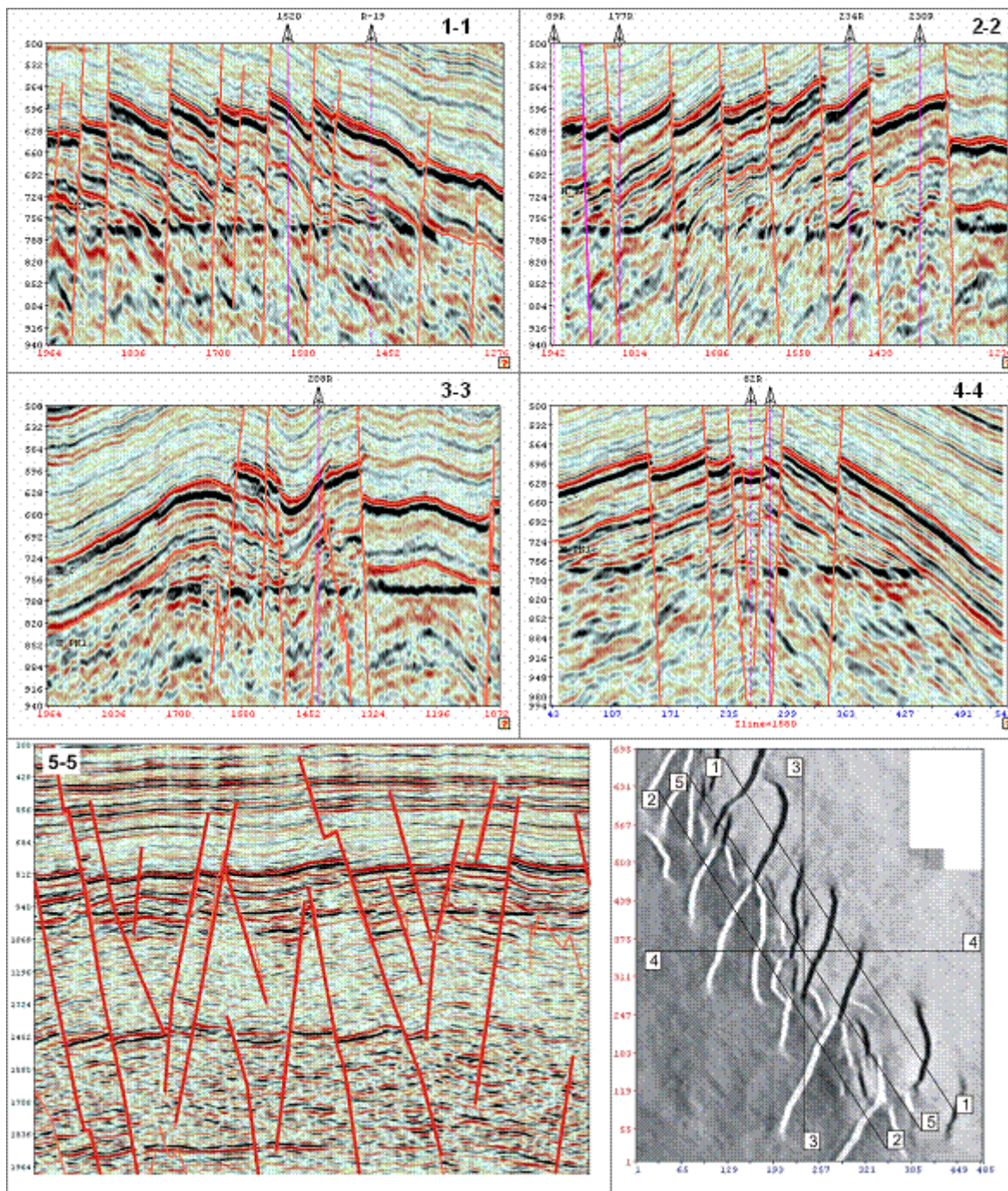


Рис.3.2. Структурно-кинематическая модель СГС

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 сдвига 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 сдвигания разреза за счет черепичного перекрытия разорванных пластов в интервале вспарывания чехла оперяющимися 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 (K_y), рассчитанный для средней части разреза как отношение суммарной длины разорванных фрагментов ($n \times l$) первично сплошного пласта к текущей длине деформированного пласта (L) превышает 1,25.

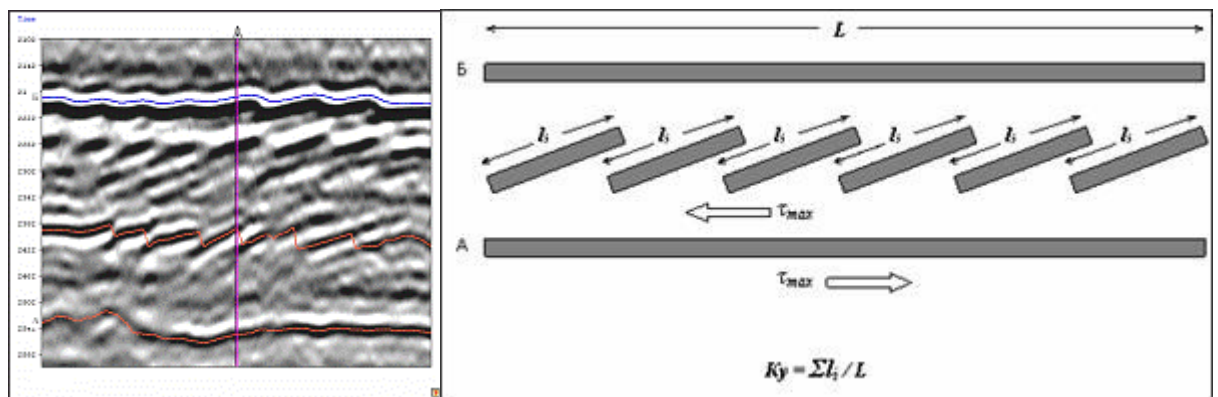


Рис.3.3. Пример черепичного залегания разорванных пластов юрской толщи (структура «домино»). Справа - модельное представление горизонтального сокращения пространства вследствие внутрислойного сдвига в горизонтальной плоскости.

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 τ_{max} . Индикатором направления

действия вектора τ_{max} 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 сдвига 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.

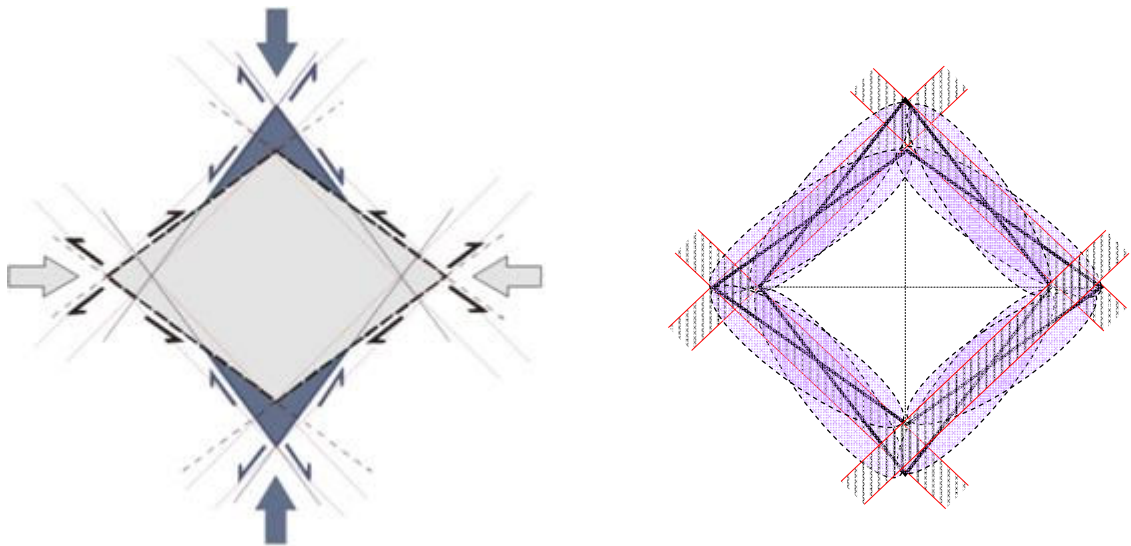


Рис.3.4. Модель деформационной ячейки для механизма формирования СГС в условиях кинематической модели чистого сдвига. Показано положение и трансформации фильтрационных ячеек на гранях деформационной ячейки

Внутри деформационной ячейки деформации скола происходят по микроплощадкам, параллельным оси τ_{max} , образуя систему кулис, совокупность которых дает генеральную плоскость скола под углом $\alpha < 45^\circ$ с осью σ_{max} , 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 сдвига 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 горизон-

тально 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 τ_{max} , пересекаются с осью σ_2 , симметричны оси σ_3 и образуют с ней угол скола ($\alpha \leq 45^\circ$). Третья система трещин растяжения (отрыва) формируется параллельно оси максимальных главных нормальных сжимающих напряжений σ_3 и ориентирована в плоскости, проходящей через оси максимальных и средних главных нормальных сжимающих напряжений ($\sigma_1\sigma_2$). 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 τ_i (пропорциональна октаэдрическим касательным напряжениям $\tau_i = \sqrt{2/3}\tau_{ок}$) является той особенностью напряженного состояния, которая определяет искажение формы напряженного тела (без изменения объема), характеризуемое интенсивностью деформации сдвига γ_i . В свою очередь, средняя величина нормальных напряжений $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ определяет изменение объема тела, характеризуемое средней величиной из трех главных удлинений ε_m по осям xyz . В общем случае интенсивность касательных напряжений τ_i и средняя величина нормальных напряжений σ_m (всестороннее давление), равная нормальному напряжению на тех же площадках, одинаково наклоненных к осям напряжений σ_m , 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 σ_1 в плоскости $\sigma_1\sigma_2$;
- б) трещины скола (сдвиги) формируются вдоль площадок действия максимальных касательных напряжений τ_{max} ;
- в) трещины сжатия (стилолитовые швы) формируются вдоль площадок действия минимальных главных нормальных сжимающих напряжений σ_3 в плоскости $\sigma_2\sigma_3$.

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 исследования 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 eksploзивного разрыхления пород в пределах структур растяжения (различные формы диапиризма: магматического, глиняного, соляного, нефтяного), являются индикаторами зон деструкции земной коры над СГС.

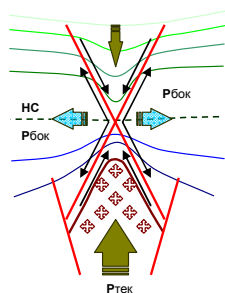


Рис.3.5. Встречное движение внутри призмы проседания чехла по системе сбросов и призмы поднятия фундамента по системе взбросов (реверсный разлом) до плоскости нейтрального слоя (НС) – компенсатора движений. Биссектриса острого угла (равен двойному углу скола) между динамопарой сбросов ориентирована вертикально в плоскости средних нормальных сжимающих напряжений. Биссектриса тупого угла между динамопарой сбросов ориентирована горизонтально в плоскости минимальных нормальных сжимающих (максимальных растягивающих) напряжений.

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 eksploзивного (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 (H_2O , CO_2 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 eksploзии и взрывных брекчий (П.Ф.Иванкин, 1970). При этом форма структурного контроля структур растяжения predetermined 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 ($G_{\text{ннд}}$) характеризует скорость тектонических движений, а градиент скорости неотектонических движений – ускорение тектонических движений.

В аспекте проблемы проницаемости земной коры и вертикальной миграции УВ, параметр $G_{\text{ннд}}$ 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: $P_{\tau} - P_{\text{гор}} \sin \alpha = 0$; $P_{\sigma} - P_{\text{гор}} \cos \alpha = 0$, где α – угол падения (наклона структурной поверхности), тогда $P_{\tau} = P_{\text{гор}} \sin \alpha$, $P_{\sigma} = P_{\text{гор}} \cos \alpha$, а соотношение $P_{\tau} / P_{\sigma} = \operatorname{tg} \alpha$, где $\operatorname{tg} \alpha$ – тангенс угла наклона структурной поверхности характеризует степень дислоцированности пород, а величина его (в проекции на горизонтальную плоскость) равна градиенту амплитуд тектонических движений: $\operatorname{tg} \alpha = f(G_{\text{ннд}})$, где $G_{\text{ннд}}$ – градиент амплитуд неотектонических движений.

В аспекте полученного выше определения $\operatorname{tg} \alpha = P_{\tau} / P_{\sigma}$, градиент амплитуд (скорости) неотектонических движений ($G_{\text{ннд}}$) 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 $\operatorname{tg} \alpha$ и градиенту амплитуд (скорости) неотектонических движений ($G_{\text{ннд}}$) отвечает полная трансформация горного давления (напряжений) в касательную производную на вертикальной площадке, реализуемая через деформацию чистого сдвига. В этом состоянии параметр $\operatorname{tg} \alpha$ приобретает смысл угла сдвига γ (при малых углах деформации $\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma$), 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: $U = G\gamma^2 / 2$, где G – модуль сдвига (модуль упругости материала), Па; γ – угол сдвига. Заменяя $\gamma \approx \operatorname{tg} \gamma$ на $\operatorname{tg} \alpha$ и помня, что $\operatorname{tg} \alpha \approx G_{\text{ннд}}$ (для неогеновых отложений), мы приходим к выражению $G_{\text{ннд}}$ через плотность энергии деформации U (удельной потенциальной энергией деформации) при чистом сдвиге: $G_{\text{ннд}} = \sqrt{2} U / G$.

Таким образом, величина градиента амплитуд (скорости) неотектонических движений ($G_{\text{ннд}}$) 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 ($G_{\text{ннд}}$). В этой связи выражение $G_{\text{ннд}} = \sqrt{2} U / G$ может быть представлено в виде $\Gamma_{\text{п}} \approx \sqrt{2} U / G$, где $\Gamma_{\text{п}}$ – 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 (гус-

тота) 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.

Глава 4. Реконструкции напряженно-деформированного состояния

Выполнен обзор методов реконструкций напряженно-деформированного состояния земной коры. Изложена методика реконструкций на основе структурно-кинематического анализа трещинных систем по данным сейсморазведки 2Д и 3Д и анализа линеаментов. Выполнены массовые реконструкции напряженного состояния земной коры для различных осадочных бассейнов Северного полушария и их тектонофизическая интерпретация.

Методика исследований. Основы структурно-геоморфологического метода реконструкций напряженно-деформированного состояния земной коры заложены нами в начале 80-х годов [1-4] при комплексировании геолого-геофизических данных, дистанционных, полевых и структурно-геоморфологических исследований на Мангышлаке и окончательно оформлены к середине 80-х [5-10] для прогноза трещинно-разрывных зон новейшего растяжения при поисках и разведке залежей УВ с трещинными коллекторами. На новом этапе возможности метода расширены за счет включения в комплекс исследований данных сейсморазведки 3Д [7-8]. Важность этого определяется качественно новым кинематическим типом разрывных структур (отрывы), картируемых сейсморазведкой 3Д в отличие от сейсморазведки 2Д (сколы). В основе методов реконструкций напряженного состояния анализ трещинных систем и различных структурных парагенезов, служащих индикаторами разрядки напряжений. По рисунку и кинематике трещинных систем решается обратная задача восстановления типа напряженного состояния и ориентировки осей напряжений. Разломы фундамента, чехла и линеаменты рельефа служат структурно-кинематическими индикаторами разрядки напряжений на различных глубинных уровнях и временных интервалах. Для изучения истории развития разломов привлекались данные по азимутальному распределению разломов. История развития разломов изучалась путем восстановления кинематики вертикальных и горизонтальных движений, анализа углов скола в системе материнский сдвиг - оперяющий сброс, выраженных в углах встречи оперяющих разломов к плоскости сдвига в фундаменте и чехле.

По результатам изучения СГС обоснованы кинематические принципы интерпретации трещинных систем (разломов и линеаментов), разработана методика сквозных (рельеф-фундамент) реконструкций напряжений на основе кинематического анализа линеаментов рельефа и разломов фундамента и чехла по данным сейсморазведки 2Д/3Д. Для Северного полушария установлены общие и неизвестные ранее закономерности пространственной организации трещинных систем и осей сдвигового поля палеонапряжений и новейших напряжений. Анализ трещинных систем по изученным бассейнам Северного полушария показал, что сейсморазведка 2Д картирует в фундаменте и чехле физические плоскости (сечения сколов) диагональных систем, в отличие от 3Д, которая картирует в чехле не физические плоскости сдвигов, а вторичные структуры разрушения (сечение отрыва). Выделяя разные кинематические типы разломов, в совокупности эти два метода дают полную картину ориентировки сколов и отрывов, что позволяет восстановить оси и тип напряжений земной коры без привлечения дополнительных индикаторов.

На примере бассейна Иллизи видно (рис.4.1), что сейсморазведка 2Д картирует сдвиги фундамента и чехла (сколы) в одном сечении. По данным 3Д разломы фундамента (сколы) и чехла (отрывы) косо ортогональны. В совокупности два сдвиговых сечения в соответствии с правилом сопряженных пар сколов идентифицируют субширотный отрыв, который и картируется по данным 3Д в чехле как оперяющие кулисы сдвига фундамента. Максимум линеаментов рельефа (СЗ) не совпадает с сечениями сколов по данным 2Д/3Д, совпадение с простираемостью трещин по замерам в скважинах (FMI) характеризует их как молодые проницаемые системы трещин отрыва новейшего поля напряжений.

Сечениями сдвигов по данным сейсморазведки 2Д отвечает плоскость максимальных касательных напряжений. По данным сейсморазведки 3Д в чехле максимум на розах-диаграммах (сечение

отрывы) совпадает с осью максимальных сжимающих напряжений, ортогонально ей выделяется ось минимальных сжимающих напряжений. На основе геометрии вторичных структур разрушения восстанавливается плоскость, разделяющая блоки со встречным падением кулисных сбросов (с различной полярностью), как проекция оси горизонтального сдвига фундамента в чехле (угол между плоскостью сдвига и оперяющими кулисами равен углу скола). Эта плоскость - шовная зона сдвига по фундаменту. Ей отвечает плоскость максимальных касательных напряжений. Динамопара главного сдвигового сечения выражена не всегда.

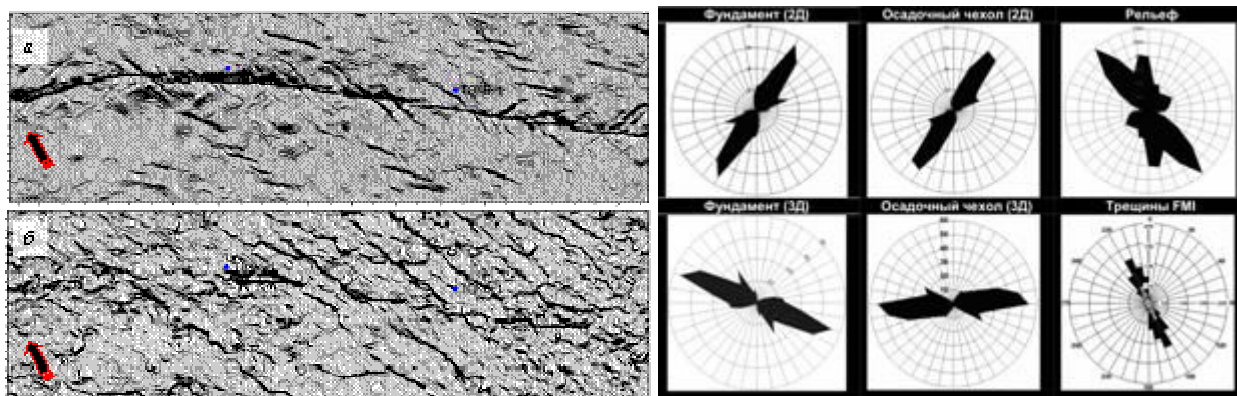


Рис. 4.1. Горизонтальный сдвиг фундамента Tak Fault System по данным сейсморазведки 3Д на картах кривизн: а) палеозойского чехла (кембро-ордовик), б) докембрийского фундамента. Розы-диаграммы простирания различных типов трещинных систем чехла, фундамента и рельефа в зависимости от метода изучения

Важным наблюдением, определяемым современным взглядом на проблему и вытекающим из наших ранних исследований [10], является совпадение ориентировки трещинных систем фундамента и чехла по данным интерпретации потенциальных полей и сейсморазведки 2Д. По данным 3Д в чехле картируется одна система отрывов, а на уровне фундамента - полный набор структур разрушения: две пары сколов диагональной системы и максимум отрыва на биссектрисе острого угла, образуемого динамопарой сколов. Для трещинных систем Западно-Сибирской и Туранской плит, Алжирской Сахары, Прикаспия и Зондского шельфа установлены схожие геометрические и азимутальные характеристики, а также кинематические и динамические условия разрывообразования. Имеющий место разброс максимумов простирания систем разломов в диапазоне $\pm 15^\circ$, связан со структурной неоднородностью деформируемых пород. Плоскость разломов одной системы редко бывает строго ориентирована на большом пространстве, она имеет интервальное распределение вокруг оси азимутального максимума.

Анализ кинематики структурных парагенезов в пределах СГС осадочных бассейнов Северного полушария позволил обосновать существование как минимум двух полей напряжений сдвигового типа (палео- и неотектонических) с ортогонально ориентированным положением нормальных осей и знакопеременными (реверсными) движениями по плоскостям сколовых сечений. Установленная устойчивость основных направлений разрядки касательных напряжений для Северного полушария позволяет расширить понятие принципа унаследованности развития тектонических структур, распространив его на поля напряжений, определяющие заложение и формирование складчатых и разрывных дислокаций. С другой стороны, полученные по данным сейсморазведки 3Д соотношения разновозрастных и разноориентированных вторичных структур разрушения, характеризующие этапы коренных перестроек структурного плана, служат основой создания динамических схем тектонического районирования на основе синтеза представлений об унаследованности и динамике геологических процессов.

Глобальным следствием полученных результатов является необходимость объяснения с геотектонических позиций существования для осадочных бассейнов Северного полушария двух устойчивых сдвиговых полей с единообразно (ортогонально) ориентированными осями напряжений доновейшего (субширотная палеотранспрессия, правосдвиговая для I-III квадрантов и левосдвиговая для II-IV квадрантов) и новейшего (субмеридиональная транспрессия, левосдвиговая для I-III квадрантов и правосдвиговая для II-IV квадрантов) этапов развития. Для перевода полученных выводов в ранг

закономерности для Земли необходимо изучить параметры догерцинских трещинных систем и палеонапряжений (для рассмотренных нами бассейнов герцинская фаза наиболее поздняя), увеличить статистику и выполнить аналогичные исследования для Южного полушария.

О простирации осей сдвигов и осей напряжений. На севере Западной Сибири (Надым-Пурской впадина) по кровле горизонта Б крайние значения азимутов простирации разломов для динамопар сколов СВ (20-50°) и СЗ (300-340°) образуют двойной угол скола (2α), величина которого не превышает 90° (80° и 70°). Этот факт доказывает единственно возможное, безальтернативное субмеридиональное положение оси максимальных нормальных сжимающих напряжений σ_{\max} при формировании разломов осадочного чехла севера Западной Сибири. С учетом диапазона изменения \min и \max значений азимутов простирации кулис и величины угла скола $\alpha \leq 45^\circ$, ось σ_{\max} не может выйти из крайних значений сектора меридионального сжатия, диапазон которых составляет ССЗ 340° - ССВ 15° (рис.4.2). Таким образом, ось максимальных сжимающих напряжений σ_{\max} в пределах севера Западной Сибири испытывала флуктуации относительно меридиана с дискретом в диапазоне $15 \pm 5^\circ$. Диапазон крайних значений азимутов простирации кулисных разломов составляет 35° и равен углу скола. Это указывает на возможное изменение положения осей напряжений скачкообразно с шагом, кратным углу скола.

На рис.4.2 на азимутальный круг наложена генерализованная схема проявления хрупких (разрывных) деформаций в земной коре для сдвигового поля напряжений. Разрядка напряжений теоретически может быть осуществлена через разрывообразование в 8-ми азимутальных секторах ортогональных (четыре сектора) и диагональных (четыре сектора) систем планетарной делимости земной коры. Темным цветом выделены сектора диагональной сети сдвиговых деформаций для ортогональной сетки напряжений (меридиональное сжатие – широтное растяжение и широтное сжатие – меридиональное растяжение). Светлым цветом выделены сектора ортогональной сети сдвиговых деформаций для диагональной сетки напряжений (СЗ сжатие – СВ растяжение и СВ сжатие – СЗ растяжение). Вокруг диагональных сечений сколов образуется поле рассеяния (структурный индеферент, $\Delta = \pm 15^\circ$ в обе стороны от луча), связанное с перескоком основного сколового сечения под действием ротационного режима полярного сжатия-растяжения в условиях перестройки деформационной ячейки. При меридиональном сжатии активизируются сколовые сечения СВ 30° (плоскость СВ 45° между секторами I-ССВ и II-ВСВ за минусом индеферента $\Delta = -15^\circ$) и СЗ 330° (плоскость СЗ 315° между секторами VII-ЗСЗ и VIII-ССЗ за минусом индеферента $\Delta = -15^\circ$), приспособляясь к остромеридиональной геометрии ромба деформационной ячейки. При широтном сжатии активизируются сколовые сечения СВ 60° (плоскость СВ 45° между секторами II-ВСВ и III-ВЮВ за минусом индеферента $\Delta = -15^\circ$) и СЗ 330° (плоскость СЗ 315° между секторами VII-ЗСЗ и VIII-ССЗ за минусом индеферента $\Delta = -15^\circ$), приспособляясь к остроширотной геометрии ромба деформационной ячейки.

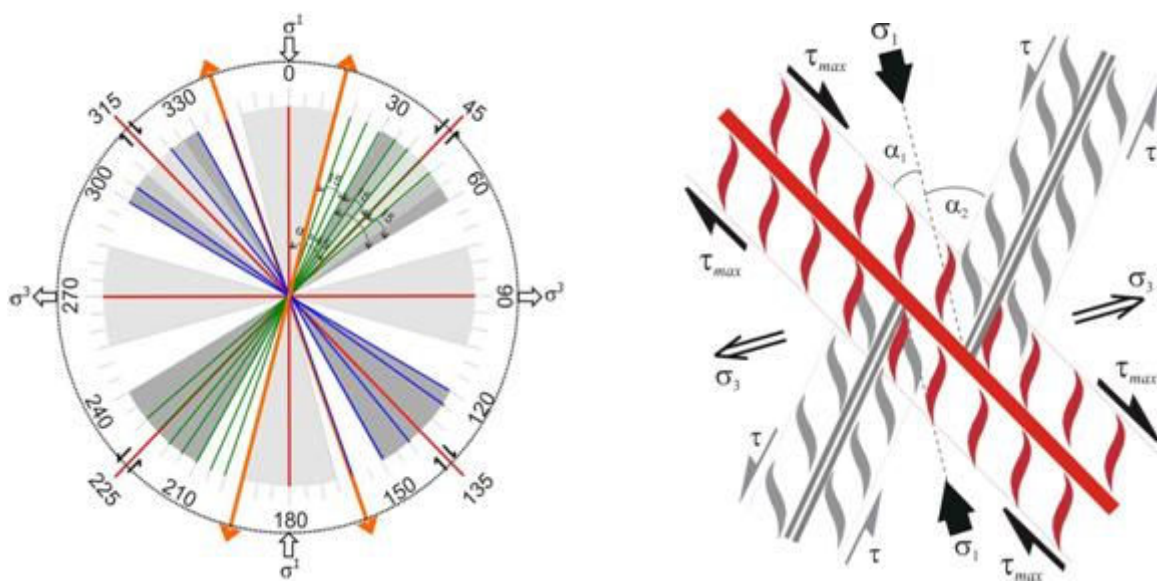


Рис.4.2. Показан разброс сколовых сечений (СЗ - зеленый и СВ - синий) на азимутальном круге для энергетически насыщенной сетки и модель формирования кинематического типа разломов

Следствием такой модели деформирования являются розы-диаграммы простираения трещинных систем и линейментов с широкими азимутальными лучами диагональных и узкими лучами ортогональных максимумами по изученным бассейнам.

Кинематический тип нарушения. Активизация правого или левого сдвига определяется углом встречи плоскости сместителя с осью σ_{\max} , что связано в свою очередь с двумя переменными в координатах пространства: 1) азимут простираения плоскости сместителя и 2) азимут простираения оси σ_{\max} . Одно из направлений динамопары сдвига (рис.4.2) в силу несимметричного положения оси сжатия σ_1 к плоскостям тангенциальных напряжений, приобретают доминирующую сдвиговую компоненту за счет меньшего угла скола ($\alpha_1 < \alpha_2$) грани деформационной ячейки с осью сжатия σ_1 . При меньшем угле скола требуется меньшее касательное усилие для преодоления предела прочности пород на скол, начала пластической деформации пород, хрупкого разрыва и смещения смежных блоков вдоль плоскости сдвига. Сдвиг формируется за счет объединения плоскостей роя микросколов. Деформации сдвига на первичных плоскостях скола опережают на том из сечений, которое находится под меньшим углом с осью максимальных напряжений сжатия σ_1 . Это в равной степени справедливо для вертикального и горизонтального сечений. То из направлений динамопары, которое получает большее тангенциальное ускорение, получает большую сдвиговую компоненту. Второе направление динамопары сколов оказывается подчиненным и морфологически представлено фрагментами, смещенными активным сдвигом.

Глава 5. Флюидодинамические парагенезы СГС

Принципиальным в модели строения СГС является особенность, обусловленная активным участием в их формировании флюидодинамического фактора, как активного деформационного процесса, без которого чисто механическими деформациями объяснить внутренние трехмерные взаимоотношения породно-слоевых парагенезов невозможно. Влияние флюидодинамического фактора на геодинамические процессы в осадочных бассейнах проявляется через первичный дислокационный эпигенез в пределах локальных зон растяжения на телах СГС, формирующий каналы поступления в осадочный чехол пережатых напорных флюидов. Энергетика и химизм локализованных флюидных потоков в гидротермальных колоннах определяют формирование комплекса флюидодинамических парагенезов СГС, в состав которых входят гидрохимические (снижение минерализации, изменения типов и микрокомпонентного состава пластовых вод, что приводит к формированию инверсионной гидрохимической зональности пластовых вод) и гидродинамические (АВПД, АВПТ) аномалии пластовых флюидов. Анализ распределения гидрохимических (ГХА) и гидродинамических (ГДА) аномалий по ряду проанализированных осадочных бассейнов указывает на молодость их формирования и связь с локальными зонами растяжения на неотектонически активных структурах. В соответствии с общей направленностью процессов дислокационного и гидрохимического эпигенеза в пределах дренируемых структур происходит гидроразрыв пластов, разрыхление пород, принудительное вытеснение пластовых вод и замещение их напорными УВ флюидами, стадийные эпигенетические изменения пород и консервация вторичной пустотности углеводородами.

В силу высокой проницаемости разреза в пределах локальных структур растяжения на телах СГС формируется аномальная нефтегазонасыщенность разреза. Для месторождений, осложненных СГС характерно огромное количество залежей по разрезу (до 50-ти и более) и аномально большой этаж нефтегазоносности, высокая плотность запасов, чередование по разрезу залежей нефти и газа, высокая газонасыщенность нефтей, наличие кровельных крупных (гигантских) залежей газа. В силу молодости дислокационных и флюидодинамических процессов время миграции УВ и формирование залежей нефти и газа оказывается исключительно молодым (плиоцен-четвертичным).

Изучение физической модели механизма формирования ГДА и ГХА позволило обосновать глубинный источник, инъекционную природу и исключительную молодость (неоген-четвертичное время) этих аномалий. На примере рассмотренных схем и моделей формирования ГДА и ГХА мы убеждаемся в приоритетной роли геодинамического фактора при формировании всего парагенезиса флюидодинамических аномалий в земной коре. Для осадочных бассейнов подтверждается, что

деформационные структуры растяжения приурочены к неотектонически активным зонам, обеспечивающим проницаемость земной коры для пережатых глубинных флюидов с высоким газосодержанием. Как показывает фактический материал, практически на всех СГС всех нефтегазоносных комплексов выявлены либо газовые, либо газонефтяные залежи, т.е. геофлюиды имеют предельное газосодержание. Расширение газов при вертикальной миграции создает избыточное давление в замкнутых ловушках.

Показано, что увеличение аномальности пластовых давлений находится в прямой зависимости от роста активности неотектонических движений и увеличения экранирующих свойств толщ-покрышек нефтегазоносных комплексов в этом же направлении. Однонаправленное действие факторов, обеспечивающих раскрытость недр и сохранность залежей УВ (и сопутствующих им ГДА и ГХА), создает условия благоприятные для вертикальной струйной фильтрации УВ-содержащих флюидов и консервации флюидодинамических аномалий над региональными флюидоупорами. Таким образом, ГДА и ГХА как индикаторы и трассеры проницаемых зон земной коры и каналов (очагов) вертикальной миграции глубинных геофлюидов, служат прямыми поисковыми признаками нефтегазоносности, а степень контрастности аномалий – количественным критерием перспектив нефтегазоносности для структур чехла и фундамента осадочных бассейнов.

Сформулированные выводы основаны на детальном анализе и количественных расчетах, обеспечивших доказательство связей флюидодинамических и дислокационных процессов, запечатленных в параметрах активности новейших деформаций земной коры.

Структуры растяжения земной коры генетически связаны с СГС по фундаменту и являются очагами скрытой разгрузки глубинных флюидов в чехле и фундаменте осадочных бассейнов. Релаксация горизонтальных движений блоков фундамента через вертикальные восходящие движения (наложение структур растяжения на СГС) приводит к растяжению земной коры, раскрытию и дегазации недр с формированием всего комплекса структурно-тектонических и флюидодинамических парагенезов эруптивно-эксплозивной и гидротермально-метасоматической природы. В пределах локальных поднятий зоны растяжения представляют собой механо-деформационные структуры скрытой флюидодинамической эксплозии, обеспечивающие через первичный дислокационный эпигенез связь чехла с глубинными недрами и формирование вторично-наложенных инъекционно-диапировых и гидротермально-стратиформных парагенезов «нефтяных тел». Многочисленные примеры таких парагенезисов подтверждают этот вывод и позволяют выработать единый взгляд на формирование залежей УВ, генетически связанных с локальными зонами проницаемости на телах СГС. В основе этого подхода представления о комплексном механо-деформационном и флюидодинамическом механизме формирования нефтегазоносных структур и их связи с новейшим этапом активизации земной коры и дегазации недр Земли.

Проявления разномасштабной эруптивно-эксплозивной и гидротермально-метасоматической деятельности различных глубинных источников вещества и энергии недр Земли (магматический и грязевой вулканизм, соляной и нефтяной диапиризм, кимберлитовые трубки взрыва и различные формы проявления газовых эманаций), являются физическими явлениями одной природы, в основе которых разные сочетания геолого-физических условий раскрытия и дегазации недр различного глубинного уровня и химического состава в пределах структур растяжения на телах СГС.

Результаты исследований позволяют утверждать, что структуры растяжения на телах СГС контролируют очаговую проницаемость земной коры, выраженную в концентрированной форме транспорта глубинных флюидов в чехол и фундамент осадочных бассейнов. Со СГС связаны «трубы» дегазации П.Н.Кропоткина в форме локализованной разгрузки в верхней части земной коры глубинных (внутрикоровых и мантийных) флюидогенных минеральных ассоциаций и основные виды месторождений флюидогенной природы, включая рудную минерализацию. Они контролируют структурные формы аккумуляции (концентрации) флюидогенных залежей и рудных полей в чехле и фундаменте осадочных бассейнов, связанные с жильной, трубчатой и конической морфологией контролирующих их флюидопроводников на телах СГС: брекчиевые и галечные столбчатые тела эпигенетических месторождений Л.Бриннера (1964), магматогенные рудные поля П.Ф.Иванкина (1970) конического типа, гидротермальные колонны и трансмагматические потоки флюидов Д.С.Коржинского (1976),

рудоконтролирующие флюидопроводники Г.Л.Поспелова (1963), трубчатые тела брекчированных пород рудных полей В.А.Невского (1960) и В.Д.Перри (1962), пучковые структуры рудных месторождений Л.Г.Страхова (1965), структурные типы рудных полей, связанные с трубками взрыва (1966) и материализуют концепцию флюидной активности Земли А.П.Пронина (1997) как главного фактора рудообразования в геологической истории и геологических структурах.

Глава 6. Геолого-физические основы прогноза параметров трещиноватости

В главе изложены результаты авторских исследований по изучению и анализу трещинных систем и напряженно-деформированного состояния горных пород для обоснования структурных признаков проницаемости земной коры и прогноза фильтрационной неоднородности горных пород. Результаты исследований служат обоснованию структурных признаков проницаемости земной коры и разработки модели фильтрационной ячейки для механизма вертикальной миграции (струйной фильтрации) флюидов.

Глава 7. Новейшая сдвиговая тектоника и нефтегазоносность

Новейшая тектоническая активность осадочных бассейнов. Выполненные нами количественные оценки амплитуд (размаха) новейших деформаций земной коры по ряду осадочных бассейнов мира, свидетельствуют, что масштабы их сопоставимы (имеют один порядок) с амплитудами поднятий горно-складчатых областей. Так, например, величина позднекайнозойского и четвертичного эрозионного среза на южном склоне массива Хогтар (бассейн Иллизи, Алжирская Сахара) достигает только по палеозойской части разреза 2500-3000 м. С учетом гипсометрии современного рельефа южного склона массива Хогтар и величины конседиментационного сокращения мощностей, размах плиоцен-четвертичных движений превышает 5000 м. Эти цифры могут оказаться существенно выше, т.к. не учитывают эрозионный срез мезо-кайнозойских отложений, величина которого оценивается в 2500-3000 м.

Эти данные заставляют переосмыслить роль и масштабы неотектонических движений в формировании структуры и морфоструктуры осадочных бассейнов. Особое значение мы придаем роли новейших деформаций земной коры на нефтегазоносность осадочных бассейнов и продолжаем развитие идей своего Учителя Л.Н.Розанова, безвременная кончина которого затормозила развитие в нашей стране этого исключительно перспективного направления исследований в нефтяной геологии.

Будучи миграционно активными, УВ очень чувствительны к изменениям проницаемости пород. Приведенные цифры, характеризуя важную структуроформирующую роль неотектонических движений (в Западной Сибири, например, для многих залежей УВ в доновейшее время не существовало замкнутых поднятий, а объемы палеоловушек составляли от десятой до трети объема современных гигантских ловушек сеноманских залежей газа) с точки зрения здравой логики и законов физики не могут не влиять на вертикальную проницаемость разреза, формирование и разрушение залежей УВ.

Новая модель распределения УВ в осадочных бассейнах. Для ряда НГБ выполнен анализ и демонстрируются количественные связи нефтегазоносности (распределение запасов УВ) с параметрами активности новейших тектонических движений земной коры. На примере Южно-Мангышлакской и Северо-Бузачинской нефтегазоносных областей (НГО) обоснованы неотектонические критерии нефтегазоносности недр. Установлены закономерности пространственно-стратиграфического распределения единичных залежей и зон нефтегазонакопления, фазового состава и физико-химических свойств УВ в недрах Южно-Мангышлакской и Северо-Бузачинской нефтегазоносных областей. Результаты исследований свидетельствуют о формировании и размещении скоплений УВ в переходных, промежуточных между максимальными и минимальными амплитудами, между положительным и отрицательным знаком движений, зонах повышенных градиентов новейших тектонических движений. Стратиграфическая приуроченность залежей УВ подчиняется изменению активности НГД и характеризуется строгими количественными связями (таблица).

Установленные для Южно-Мангышлакской и Северо-Бузачинской НГО количественные связи нефтегазоносности недр с параметрами активности неотектонических движений, подтверждаются

примерами по другим осадочным бассейнам мира (Месопотамский прогиб, Предкавказье, Тимано-Печорская провинция, Западная Сибирь, Саратовское Поволжье, ДДВ, Татарстан). Обоснованные в работе неотектонические критерии нефтегазоносности недр получили физическое объяснение через связи параметров активности неотектонических движений с проницаемостью и сформулированы как «закон пространственно-стратиграфического распределения УВ в недрах земной коры» [50].

Стратиграфическая приуроченность залежей УВ (концентрации запасов)	Нижний предел нефтегазоносности	Триас-Палеозой (Т+РЗ)	Триас-Юра (Т+J)	Юра (J)	Юра-Мел (J+K)	Мел (K)	Верхний предел нефтегазоносности
Градиент амплитуд среднемиоцен-четвертичных движений, м/км	< 4-6	6-10	10-12	12-14	14-16	16-18	> 18
Амплитуда среднемиоцен-четвертичных движений, м	< (-50)	(-50)-0; (-200)-(-100)	0-50	50-150	150-200	200-250	> 250
Амплитуда среднеплиоцен-четвертичных движений, м	< 50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	> 300
Густота линейamentos, км/км ² (для R _{оср} = 5 км)	< 500	500-1000	750-1250	1000-1250	1250-1750	1500-2000	> 2000

Полученные связи послужили основой разработки новой модели распределения УВ в недрах земной коры (Рис.7.1) и методы прогнозирования нефтегазоносности недр на основе количественной оценки новейших деформаций и проницаемости земной коры осадочных бассейнов. Реализованы и продемонстрированы примерами методы регионального, зонального и локального прогноза нефтегазоносности.

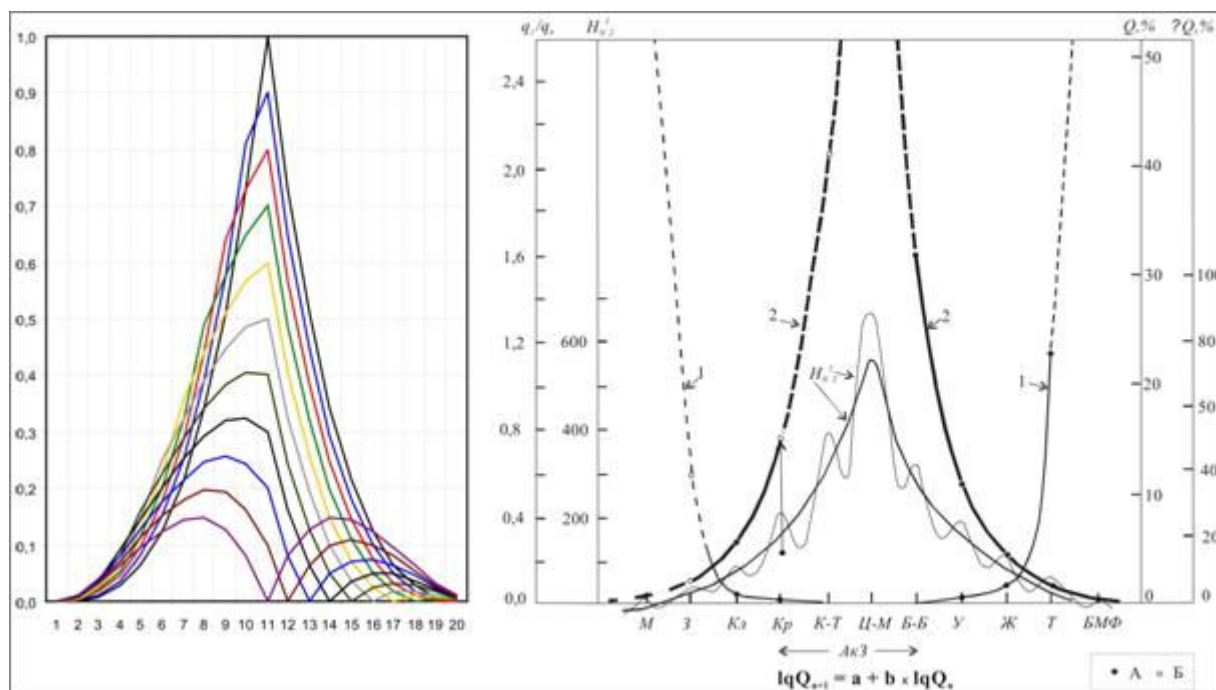


Рис.7.1 А. Теоретическое распределение вероятностной оценки ресурсного потенциала осадочного бассейна. Б. Эмпирическое распределение нефтегазоносности (разведанные запасы УВ) для запада Туранской плиты. Характер соотношения газосодержания (1) и доли запасов УВ от суммарных запасов УВ региона ($\Sigma Q, \%$) (2) по структурным (антиклинальным) зонам с активностью (амплитудой H_N^1) новейших деформаций земной коры в поперечном профиле через Бузачинский свод, Центрально-Мангышлакские дислокации и Южно-Мангышлакский прогиб. Шкала запасов: справа ($\Sigma Q, \%$) и сплошная часть кривой 2 - фактические значения разведанных запасов; слева ($Q, \%$) и штриховая часть кривой 2 - расчетные значения теоретического распределения запасов УВ для симметричного относительно двух НГО очага генерации УВ (формула распределения $\lg Q_{n+1} = a + b \times \lg Q_n$). Кривые амплитуды неотектонических движений - фактическая, отвечающая нормальному закону распределения, и теоретическая (восстановленная), отвечающая закону затухающей синусоиды, a - фактические, b - расчетные значения величин газосодержания и доли запасов УВ по антиклинальным зонам для смежных НГО. Структурные (антиклинальные) зоны: М - Морская, З - Заповедная, Кл - Каламкасская, Кр - Каражанбасская, К-Т - Кошак-Горлунская, Ц-М - Центрально-Мангышлакская, Б-Б - Беке-Баикудукская, У - Узеньская, Ж - Жетыбайская, Т - Тенгинская, БМФ - Большая Мангышлакская флексура; АкЗ - аконсервационная зона.

В завершающей части работы приводятся примеры решения практических задач геологоразведки (способ прогнозирования АВГД, способ прогнозирования экранирующих свойств покрышек, способ разведки залежей, методика поисков залежей на объектах, осложненных СГС), доведенные до законченных технических решений (авторские свидетельства, патенты, НОУ-ХАУ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований по теме диссертации:

1. На повестку дня поставлена крупная научная проблема, связанная с открытием нового геологического явления: глобальное проявление новейшей сдвиговой тектоники в пределах разновозрастных осадочных бассейнов мира.

2. Обобщен материал по новейшей сдвиговой тектонике ряда осадочных бассейнов Северного полушария, изучены структурные, палеотектонические и неотектонические условия проявления сдвиговых деформаций.

3. По результатам палеотектонических реконструкций установлено, что независимо от возраста основания, горизонтальные сдвиги фундамента являются деформациями новейшего тектонического этапа развития осадочных бассейнов.

4. Выполненный на единой методической основе структурный, кинематический, палеотектонический и тектонофизический анализ показал наложенный характер СГС на структуру основания. СГС осложняют и связаны с унаследованными, новообразованными и инверсионными типами структур чехла осадочных бассейнов.

5. Изучение опыта работ по физическому моделированию структур разрушения и деформирования зон горизонтального сдвигания показало несоответствие их результатов наблюдаемым трехмерным природным объектам и их кинематическим моделям.

6. Изучение природных структурных парагенезов зон сдвигания на основе 3-х мерных геологических моделей, способствовало развитию теории о горизонтальных сдвигах и созданию новой 3-х мерной кинематической модели сдвиговых зон.

7. Заложены основы учения о структурах горизонтального сдвига осадочных бассейнов, как основы деформационной ячейки для механизма формирования зон сдвигания в условиях кинематической модели чистого сдвига.

8. Разработана методика реконструкции напряженного состояния земной коры для структур, осложненных СГС, на основе структурно-кинематического анализа трещинных систем по данным сейсморазведки 2Д/3Д и анализа линеаментов.

9. Выполнены реконструкции напряженного состояния земной коры (определение типа и ориентировки осей напряжений) для разновозрастных осадочных бассейнов Северного полушария, позволившие установить общие законы деформирования земной коры в системной организации трещинных систем.

10. Впервые для осадочных бассейнов установлена и показана связь проницаемых зон и очагов вертикальной разгрузки глубинных флюидов (включая УВ) со структурами растяжения земной коры, локализованных на телах СГС новейшей активизации. Обосновано, что изучение сдвиговых деформаций осадочных бассейнов является ключом к решению проблемы проницаемости земной коры для вертикальной фильтрации УВ.

11. На основе изучения структурных признаков проницаемости земной коры разработаны новая технология поисков нефти на путях вертикальной фильтрации УВ.

12. Разработаны количественные методы прогнозирования нефтегазоносности недр, как флюиодинамической основы бассейнового моделирования и выполнены оценки перспектив нефтегазоносности по ряду осадочных бассейнов мира на основе вероятностно-статистического моделирования.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Новейшая разломная тектоника Мангышлака.- ДАН СССР, т.261, 1, 1981, с.165-168 (В.И.Попков и др.)
2. Структурно-тектонический анализ мегатрещиноватости Песчаномысско-Ракушечной зоны поднятий - Известия ВУЗов, геология и разведка, 1983, №7, с.133-137.
3. Опыт комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов для прогнозирования зон развития вторичных коллекторов в доюрском разрезе Мангышлака. Геология нефти и газа. 1/1984, с.28-32 (Л.П.Дмитриев и др.)
4. Результаты применения анализа зон разломов на Мангышлаке (на примере Песчаномысско-Ракушечной зоны) - Известия АН Каз. ССР, серия геол., 3, 1984, с.78-81
5. Новейшая тектоника Песчаномысско-Ракушечной зоны - Советская геология, 6, 1984, с.64-71.
6. Строение коллекторов и залежей УВ в низкопроницаемых комплексах и пути совершенствования методики их прогнозирования - Геология нефти и газа №11, 1984, с.49-54.
7. Методика поисков и разведки залежей нефти и газа в низкопроницаемых коллекторах (на примере Мангышлака). - Геология нефти и газа, №1, 1985, с.9-16.
8. Структурно-геоморфологические предпосылки нефтегазоносности Северо-Ракушечного месторождения. – Нефтегазовая геология, геофизика и бурение, №2, 1985, с.24-29 (К.М.Аренов)
9. Методика картирования трещинно-разрывных зон новейшей активизации - резервуаров нефти и газа в низкопроницаемых толщах (на примере Южного Мангышлака) - Известия АН СССР, серия геологическая, №6, 1985, с.113-117 (К.А.Махутов, Я.Д.Нугманов)
10. Системы разрывных нарушений Мангышлака и их соотношение с планетарной трещиноватостью. - Известия АН СССР, серия геол., №7, 1985, с.108-118.
11. К обоснованию механизма формирования залежей нефти и газа Южного Мангышлака. - Геология нефти и газа, №10, 1986, с.25-31.
12. Время формирования залежей УВ на Мангышлаке. - Советская геология. №8, 1987, с.22-30.
13. Новое направление геологоразведочных работ на Южном Мангышлаке. - Геология нефти и газа, 12, 1987, с.1-4 (Л.П.Дмитриев, Б.И.Имангазиев и др.).
14. Особенности строения и механизм формирования коллекторов на больших глубинах - Известия АН Каз. ССР, серия геологическая, №5, 1987, с.15-20 (К.А.Махутов, Я.Д.Нугманов)
15. Влияние неотектонических факторов на нефтегазоносность Мангышлака. Изв. АН СССР, геол., 4, 1988.
16. Строение коллекторов юрской толщи Мангышлака. Геология нефти и газа. 4/1988, с.51-54.
17. Методика оценки нефтегазоносности локальных структур. Геология нефти и газа. 2/1988.
18. Методика локального прогноза нефтегазоносности объектов в низкопроницаемых толщах (на примере Мангышлака) - Известия АН Каз. ССР, сер. геол., 4, 1988, с.68-72, (К.А.Махутов)
19. Строение и формирование резервуаров и ловушек в доюрском комплексе Мангышлака. - Геология нефти и газа, №9, 1989, с.16-21.
20. Новое в закономерностях пространственного размещения и стратиграфической локализации углеводородов в недрах Мангышлака. - Доклады АН СССР, т.309, №6, 1989, с.1438-1442.
21. Метод многоступенчатой генерализации при изучении новейшей разломной тектоники (на примере Южного Мангышлака). - Исследования Земли из космоса, №6, 1989, с.29-35.
22. Обоснование структурно-геоморфологического метода прогноза локальных зон новейшего растяжения. – Советская геология, №1, 1989, с.69-79.
23. Строение и генезис структур платформенного чехла Жетыбай-Узеньской ступени. – Изв. ВУЗов, геология и разведка, №1, 1990, с.37-43.
24. К методике построения карт морфоизогипс. - Геоморфология, 3, 1990, с.57-59
25. Геодинамические аспекты проблемы формирования гидрогеологических аномалий в разрезе земной коры. - Известия ВУЗов, геология и разведка, № 11, 1990, с.76-82 (В.В.Ларичев).
26. Перспективы нефтегазоносности юрской продуктивной толщи (ЮПТ) в свете новых данных. - Известия АН Каз. ССР, серия геологическая, №2, 1990, с.88-93 (Б.И.Имангазиев).

27. Способ предварительной оценки пластовых давлений нефтяных и газовых месторождений. - Геология нефти и газа, № 1, 1991, с.20-21.
28. Основные черты новейшей структуры Мангышлака. Геоморфология, 4, 1991, с.91-98
29. Новые направления поисков залежей нефти и газа на Мангышлаке. - Геология нефти и газа, №6, 1992, с. 14-16 (Попков В.И., Рабинович А.А.).
30. Плотностная характеристика и коллекторские свойства пород доюрского комплекса п-ова Бузачи. – Известия АН Каз. ССР, серия геол., №2, 1992, с.81-85 (Эльдаров А.С.).
31. Закономерности распределения запасов нефти и газа и перспективы нефтегазоносности п-ова Бузачи. – Известия АН Каз. ССР, серия геол., №5, 1992, с.81-85.
32. Методика оценки нефтегазоносности локальных структур. Геология нефти и газа. 4/1993.
33. К вопросу об эффективности нефтегеологического районирования недр на неотектонической основе. - Геология нефти и газа, 9, 1993, с.44-46.
34. Давление пластовых флюидов // А.Е.Гуревич и др. Л., Недра, 1987, 223 с.
35. Способ предварительной оценки начальных пластовых давлений нефтяных и газовых месторождений. АС СССР № 1484925. Класс E21B47/06 (соавторы Л.П.Дмитриев, В.В.Ларичев). Зарегистрировано в Госреестре изобретений 08.02.1989. Приоритет изобретения 18.08.1986.
36. Способ оценки экранирующих свойств горных пород. АС СССР № 1676359. Класс G 01V1/40. Зарегистрировано в Госреестре изобретений 08.05.1991. Приоритет изобретения 26.09.88.
37. Способ разведки залежей нефти и газа. АС СССР № 1714106. Класс E21B47/04. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений. Приоритет изобретения 26.12.88.
38. Способ оценки экранирующих свойств горных пород. Патент № 1676359. Патентообладатель: А.И.Тимурзиев. Зарегистрировано в Госреестре изобретений 08.05.1991.
39. Способ разведки залежей нефти и газа. Патент № 1714106. Патентообладатель: А.И.Тимурзиев. Зарегистрировано в Госреестре изобретений 01.09.1993.
40. Технология прогнозирования фильтрационной неоднородности трещинных коллекторов на основе реконструкций НДС земной коры по результатам интерпретации сейсморазведки 3Д. - ТЭК России - основа процветания страны. СПб, ВНИГРИ, 2004, с.128-139.
41. Проявление новейших сдвиговых деформаций земной коры и их связь с нефтегазоносностью севера Западной Сибири. - ТЭК России - основа процветания страны. СПб, ВНИГРИ, 2004, с.196-208. (Гогоненков Г.Н.).
42. Сдвиговые деформации земной коры нефтегазоносных бассейнов: структурно-кинематическая и тектонофизическая интерпретация. - Геофизические исследования геодинамической обстановки и нефтегазоносности больших глубин. Баку, 2004, с.41-47. (Гогоненков Г.Н.).
43. Прогнозирование нефтегазоносности на основе связей физических полей с новейшими структурами земной коры. - Геология нефти и газа, 2004, №4 с.39-51.
44. Структуры горизонтального сдвига севера Западной Сибири: особенности строения и нефтегазоносность. - Перспективы нефтегазоносности Западно-Сибирской нефтегазосной провинции. Тюмень, ЗапСибНИИГТ, 2004, с.28-32 (Соавторы: Г.Н.Гогоненков, А.С.Кашик).
45. Реконструкции НДС земной коры для прогнозирования фильтрационной неоднородности коллекторов. Перспективы нефтегазоносности Западной Сибири. Тюмень, ЗапСибНИИГТ. 2004, с.292-297
46. Морфология и парагенезис структур горизонтального сдвига и растяжения земной коры, очагов разгрузки глубинных геофлюидов. Материалы VII геофизических чтений им. В.В.Федынского. М., 2005, с. 84-85.
47. Geodynamics and Oil Content of Horizontal Strike-Slip Fault Structures (by Example of Western Siberia) – 67 EAGE Conference & Exhibition, 13-16 June 2005, Madrid, 2005. (G.Gogonenkov, A.Kashik).
48. Геодинамика и нефтегазоносность структур горизонтального сдвига (на примере Западной Сибири). - Геодинамика нефтегазоносных бассейнов. М., РГУ им. И.М. Губкина, 2005, с.184-192 (Гогоненков Г.Н., Кашик А.С.).

49. Геолого-физические принципы прогнозирования параметров фильтрационной неоднородности трещинных коллекторов (ФНТК). - Состояние, тенденции и проблемы развития нефтегазового потенциала Тюменской области. Тюмень, ЗапСибНИИГТ, 2005, с.245-260.
50. Новейшая тектоника и нефтегазоносность Запада Туранской плиты. Геология нефти и газа.1/2006, с.32-44
51. Модели распределения ресурсов УВ и новые подходы к принципам нефтегазогеологического районирования. - Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ.- М.: ГЕОС, 2006, с.254-258.
52. Структура и флюидодинамика очагов разгрузки глубинных геофлюидов в земной коре. - Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ. М.: ГЕОС, 2006, с.258-261.
53. Актуальные проблемы прогнозирования, принципы классификации и районирования нефтегазоносных бассейнов. Актуальные проблемы прогнозирования, поисков, разведки и добычи нефти. СПб. Недра, 2006, с.373-388
54. Анализ трещинных систем месторождения Белый Тигр. - УВ потенциал фундамента молодых и древних платформ. – Казань, КГУ, 2006, с.258-262.
55. Механизм и структуры скрытой эксплозивной разгрузки глубинных флюидов в фундаменте и верхней части земной коры. - УВ потенциал фундамента молодых и древних платформ. Казань, КГУ, 2006, с. 262-268.
56. White Tiger field fracture system analysis. Abstracts of the International Conference «Fractured Basement Reservoir». Vungtau, 2006, p.49-50.
57. Interpretation of Basement's Strike-Slip Fault Structures – the Key to the Stress-Strain Condition Reconstructions in Modeling Fractured Reservoirs. Abstracts of the International Conference «Fractured Basement Reservoir». Vungtau, 2006, Vietnam, p.50-51 (G.N.Gogonenkov).
58. Анализ трещинных систем по результатам интерпретации сейсморазведки 3Д - Новые идеи в науках о Земле. М., РГГРУ, 2007, с.351-354.
59. Реконструкции напряженно-деформированного состояния пород по результатам интерпретации сейсморазведки 3Д. - Новые идеи в науках о Земле. М., РГГРУ, 2007, с.355-358.
60. Структура проницаемости земной коры и технологическое решение проблемы картирования очагов локализованной разгрузки глубинных флюидов. – Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. М., ГЕОС, 2007, с. 238-239.
61. От технологии поисков локальных структур к новой парадигме прямых поисков нефти. - Фундаментальный базис новых технологий нефтяной промышленности. М., ГЕОС, 2007, с. 239-240
62. Горизонтальные сдвиги фундамента Западной Сибири. - Геология нефти и газа, 2007, №3 с.3-11. (Гогоненков Г.Н., Кашик А.С.)
63. Структуры горизонтального сдвига Западной Сибири - попытка систематизации геологического феномена - Недропользование-XXI век, №4, 2007 с.32-37 (Гогоненков Г.Н., Кашик А.С.).
64. К созданию новой парадигмы нефтегазовой геологии на основе глубинно-фильтрационной модели нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции. – Геофизика, №4, 2007 с.49-60.
65. Структурно-кинематический анализ трещинных систем и методика реконструкций напряженно-деформированного состояния земной коры месторождения Белый Тигр. - Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Новосибирск, ИГД СО РАН, 2007.
66. Технология и результаты реконструкций напряженного состояния земной коры месторождения Белый Тигр. - Изменяющаяся геологическая среда. Казань, КГУ, 2007.
67. Неотектонические критерии нефтегазоносности недр. - Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных процессов. Казань, КГУ, 2007, с.173-179.
68. Подтверждаемость прогноза, основанного на неотектонических критериях и методике количественной оценки нефтегазоносности локальных структур (на примере Южного Мангышлака) – Геология, геофизика и разработка нефтегазовых м-ний. ВНИИОЭНГ, 2007, №11, с.23-29.
69. Механизм формирования нефтегазоносных структур «пропеллерного» типа (на примере Западно-Сибирской плиты). Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. М., МГУ, 2007 стр.204-208 (Г.Н.Гогоненков, М.А.Гончаров, Н.В.Короновский, Н.С.Фролова)

70. Структурно-тектоническая характеристика фундамента сдвиговых зон Еты-Пуровского вала. - Геология нефти и газа, 2007, №6 с.2-10 (Гогоненков Г.Н.)
71. Особенности строения и механизм формирования соляных диапиров Астраханского свода (на примере Еленовской площади). - Геофизика, №6, 2007 с.16-29
72. Время формирования залежей как критерий нефтегазоносности локальных структур. Геология, геофизика и разработка нефтегазовых м-ний. ВНИИОЭНГ, 2008, №1.
73. Технология прогнозирования трещиноватости на основе трехмерной геомеханической и кинематической модели трещинного коллектора. – Геофизика, №3, 2008, с. 41-60.
74. Закономерности ориентировки трещинных систем и осей напряжений осадочных бассейнов Северного полушария. - Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В.Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Тезисы докладов конференции, в 2-х томах. М., ИФЗ, 2008, том 1, с.106-110.
75. Строение и генезис платформенной складчатости Западной Сибири в свете новых данных о региональном проявлении горизонтальных сдвигов фундамента. - Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В.Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Тезисы докладов Всероссийской конференции, в 2-х томах. М., ИФЗ, 2008, том 1, с.120-123.

Подписано к печати 17.01.09.
Формат 60×90 1/16. объем 2 п.л.
Тираж 120 экз. заказ № 37

Отпечатано в ОАО «Центральная Геофизическая Экспедиция»
Россия, 123298, Москва, ул. Народного Ополчения, 38/3
Тел.: (499) 192-7292. Факс: (499) 192-8088. E-mail: aitimurziev@cge.ru