

На правах рукописи



**Писецкий Владимир Борисович**

**ПРОГНОЗ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ  
ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

25.00.12 - Геология, поиски и разведка горючих ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора геолого-минералогических наук

**ТЮМЕНЬ**  
2005

Работа выполнена в Уральском государственном горном  
университете  
г. Екатеринбург

Научные консультанты:

Доктор геолого-минералогических наук,  
член-корреспондент РАН,  
профессор Нестеров Иван Иванович,

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Бондарев Владимир Иванович

Официальные оппоненты:

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Мясникова Галина Петровна,

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Иванов Кирилл Святославович,

Доктор геолого-минералогических наук,  
профессор Спасский Борис Алексеевич

Ведущая организация:

Государственное унитарное предприятие  
Ханты-Мансийского автономного округа  
"НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
РАЦИОНАЛЬНОГО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ  
имени В.И.Шпильмана"

Защита диссертации состоится 23 июня 2005 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.273.05 в Институте геологии и геоинформатики Тюменского государственного нефтегазового университета (ИГиГ ТюмГНГУ) по адресу: 625670, г. Тюмень, ул. Володарского, 56.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИГиГ ТюмГНГУ.

Автореферат разослан 16 мая 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, д.г.-м.н.



А.А. Дорошенко

## Общая характеристика работы

Диссертация посвящена теоретическим и практическим исследованиям автора в области нефтяной геологии и геофизики и связана с проблемой создания методик и технологий прогноза флюидодинамических параметров осадочных комплексов по данным сейсморазведки с целью развития технологий поисков, разведки и разработки месторождений углеводородов. Идея и содержание работы основаны на общей позиции автора, которая связывает модели седиментации, тектоногенеза и флюидных течений в активную флюидодинамическую модель системы "осадочный чехол - фундамент". В такой модели основные флюидодинамические параметры нефтегазоносных коллекторов **проницаемость и вектор течения** флюида функционально связаны с компонентами современного напряженного состояния породного массива с дискретной (блоковой) структурой. В свою очередь, упругие модули породного массива с дискретной структурой в объеме, соизмеримом с длиной сейсмической волны, оказываются зависимыми от знака и величины компонент упругих напряжений (геодинамический фактор) и фазового состава флюида (фактор смазки). Таким образом, рассматриваемая модель упругих дискретных сред является вполне изучаемым объектом сейсмических исследований, данные которых могут быть положены в основу развития методик и технологий прогноза относительных значений проницаемости и направления флюидного потока в пределах разреза осадочного чехла и фундамента по параметрам сигналов отраженных волн.

Работа выполнялась в процессе научно-практической деятельности лаборатории геофизических систем Уральского государственного горного университета по программам бюджетного (1980-1990 г.г.) и договорного (1990 - 2004 г.г.) финансирования.

**Актуальность работы.** Разработка теории, методов и технологий оценки флюидодинамических параметров разреза осадочного чехла и фундамента по сейсмическим данным открывают новые возможности в

организации процессов поиска и разработки месторождений углеводородного сырья. Особую актуальность надежный прогноз параметров флюидодинамического состояния недр приобретает в поисках ловушек неясного генезиса и в районах длительных, активных разработок месторождений, в которых произошли существенные процессы переформирования залежей.

Объектами исследований являлись: а) экспериментальные и теоретические модели осадочных комплексов, учитывающие дискретную структуру и флюидодинамическое состояние горных массивов осадочного генезиса; б) сейсмические и флюидодинамические параметры осадочных отложений в различных условиях накопления углеводородного потенциала (бассейны терригенного, карбонатного и смешанного генезисов).

**Цель исследований** - развитие теоретических, экспериментальных и методических основ прогноза параметров флюидодинамической модели осадочного бассейна по сейсмическим данным с целью оценки относительных значений давления, проницаемости и векторов течения флюида в продуктивных интервалах осадочного чехла и фундамента.

Достижение этой цели потребовало решение следующих **основных задач**:

1. Разработать флюидодинамическую модель (ДФМ) осадочных комплексов, которая включает в себя следующие ключевые параметры:
  - дискретность среды (модель разрушения),
  - напряженно - деформированное состояние (модель геодинамики дискретных сред),
  - флюидную компоненту как элемент управления динамическим состоянием твердой фазы среды (модель трения).
2. Исследовать особенности распространения упругих волн в моделях дискретных сред и выявить связи между атрибутами сигналов сейсмических волн и флюидодинамическими параметрами осадочных комплексов.

3. Разработать методику и технологию прогноза флюидодинамических параметров по данным 2-3D сейсморазведки (ДФМ - технология).
4. Выполнить анализ результатов применения ДФМ - технологии в осадочных бассейнах различного генезиса и определить ее роль в задачах поиска, разведки и разработки углеводородного сырья.

**Фактический материал и методы исследования.** В основу работы положены материалы более чем 20-ти летних теоретических и экспериментальных исследований:

- с 1980 по 1992 годы в целенаправленной бюджетной научной тематике отраслевой лаборатории геофизических систем при Уральском государственном горном университете,
- с 1992 -1999 годы на договорной основе в научных центрах Institut Francais du Petrole (Paris), SHEVRON и UNOCAL (Los-Angeles), Stanford University, Michigan Technological University, Research Institute of geophysical prospecting for petroleum (Nanjing, P.R.China),
- с 1995-го года начаты научно-производственные работы по применению ДФМ - технологии в нефтегазоносных бассейнах, материалы которых изложены в более 60 отчетах методического или производственного характеров.

Собран фактический материал по геологическому строению нефтегазовых бассейнов различного генезиса, сейсмических и других геофизических и тектонофизических данных, материалы гидродинамических исследований эксплуатационных и разведочных скважин и т.д.

**В диссертационной работе автор защищает следующие основные положения и научные результаты:**

1. Схему системного механизма преобразования слоистой седиментационной среды в дискретную (блоковую) структуру, в которой установлены соотношения размеров блоков по формационному принципу и обоснован механизм трения по границам отдельных блоков и их ансамблей.

2. Флюидодинамическую модель блоковой структуры на основе функциональных связей между упругими модулями и параметрами дискретности, давления и трения.
3. Теоретико-экспериментальные зависимости между параметрами упругих волн и флюидодинамическими параметрами коллекторов с дискретной структурой.
4. Методику и технологию оценки параметров флюидодинамики по атрибутам сейсмических сигналов отраженных волн.
5. Результаты практического прогноза флюидодинамических параметров по данным сейсморазведки на стадиях поиска, разведки и разработки месторождений углеводородного сырья.

**Научная новизна, личный вклад:**

1. Разработана флюидодинамическая модель осадочных отложений, которая учитывает:
  - схему механизма трансформации сплошной слоистой среды в дискретную систему,
  - связь упругих модулей с масштабным фактором дискретности осадочных отложений, давлением и трением,
  - регулярную структуру блоковой реакции дискретных сред на изменение параметров современных геодинамических процессов в системе "осадочный чехол - фундамент".
2. Исследованы особенности распространения упругих волн в дискретных флюидонасыщенных средах с переменными силовыми нагрузками и обоснован функциональный подход к оценке относительного уровня напряженного состояния среды в точке отражения сейсмической волны.
3. Разработаны методические принципы и технологии прогноза геодинамических и флюидодинамических параметров осадочного чехла по атрибутам сейсмических сигналов отраженных волн (ДФМ-технология).
4. Рассмотрены и исследованы возможности ДФМ-технологии прогноза флюидодинамических параметров по данным сейсморазведки на стадиях

поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа в различных сейсмогеологических обстановках.

**Достоверность научных выводов и заключений определяется:**

1. Сопоставительным анализом известных результатов исследований в различных приложениях наук о твердой земле: механики упругих сред, геодинамики, гидродинамики, горной геомеханики, сейсмологии и др.
2. Теоретическими и экспериментальными исследованиями упругих модулей и параметров распространения упругих волн в моделях неоднородно-напряженных сред с дискретной структурой.
3. Опытном практического применения разработанной технологии интерпретации сейсмических данных в разнообразных геологических условиях и тектоно-физических обстановках накопления и разработки углеводородного сырья.

**Теоретическая и практическая значимость:**

1. Разработаны методические основы и ДФМ - технология интерпретации сейсмических данных с целью прогноза флюидодинамических параметров в интервалах осадочного чехла и фундамента.
2. Сформировано научно-методическое направление в сейсморазведке ориентированное на изучение геодинамических и флюидодинамических процессов в осадочных бассейнах.
3. Обоснованы принципиально новые возможности и эффективность прогноза параметров флюидодинамики в задачах разведки и разработки месторождений нефти и газа, что существенным образом расширяет рынок геолого-геофизических услуг.

**Реализация работы в производстве.** За 10 летний период (с 1995 года) ДФМ - технология применена в различных бассейнах мира:

Западная Сибирь (27 месторождений, нефть и газ), Волгоуральский бассейн (16, нефть), Каспийский бассейн (4, нефть и газ), Восточно - Сибирский бассейн (3, нефть и газ), Балтийский бассейн (5, нефть),

Парижский бассейн (2, нефть), Северо - и Южно - Американские бассейны (17, нефть и газ), бассейны Китая (4, нефть), бассейн Вьетнама ("Белый Тигр", нефть), бассейны Юго - Восточной Азии (4, нефть), бассейн Северного моря (2, нефть и газ).

Контракты выполнялись с добывающими и сервисными компаниями: ЛУКОЙЛ, СЛАВНЕФТЬ, ЮКОС, СУРГУТГАЗПРОМ, БАШНЕФТЬ, Региональными и территориальными департаментами министерства природных ресурсов РФ, ГЕОПЕТРОЦЕНТР, ХАНТЫ-МАНСИЙСКГЕОФИЗИКА, ТАТНЕФТЕГЕОФИЗИКА, ТЮМЕНЬПРОМГЕОФИЗИКА, БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА, IPR, CGG, SHEVRON, AMOCO, UNOCAL, D.O.E. USA, Tri-Vallev и другими.

Апробация работы. Материалы, изложенные в диссертации, представлялись на международных конференциях: 1) 35-ый международный геофизический симпозиум стран-членов СЭВ г. Варна в 1990 г., 2) Ежегодная конференция Общества разведочной геофизики США (SEG): г.Лос-Анжелес в 1994 г., г. Хьюстон 1995 г., г. Денвер в 1996 г., г. Даллас в 1997 г., г. Нью Орлеан в 1998 г., г. Хьюстон в 1999 г., г. Калгари в 2000 г., г. Сан Антонио в 2001 г., г. Солт Лэйк Сити в 2002, 3) 2-ая международная конференция по шельфу и Мировому океану г. Геленджик 2001 г. 4) Ежегодная конференция Европейского общества разведочной геофизики (EAEG) г. Флоренция, 2002 г., 5) конференция AAPG г. Барселона 2003 г., 6) международная конференция и выставка нефтяного общества Индии г. Дели 2003 г., 7) технический семинар PEMEX, Poza Rica (Мексика) в 2004 г. и др.

На методику и технологию прогноза флюидодинамических параметров нефтегазовых коллекторов по сейсмическим данным зарегистрированы два патента США № 5,796,678 август 1998 г. и № 6,498,989 декабрь 2002 г.

По теме диссертации опубликовано 45 работ, в том числе: 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 14 статей в центральных зарубежных и отечественных журналах, 27 работ в материалах международных конференций. Список трудов прилагается.



Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем диссертации составляет 220 страниц, содержит 110 рисунков и 12 таблиц. Список литературы включает 180 наименований.

Автор благодарит своих коллег по многолетней работе в лаборатории геофизических систем и кафедры геоинформатики Уральского государственного горного университета научных сотрудников Самсонова В.И., Патрушева Ю.В., Зудилина А.Э., Воронина О.М., Крылаткова СМ., Полоцкого М.И., Полоцкого Л.И., Шилину Г.В., Зудилину Л.И., Шарова СИ., Саплина В.А., и др. Без их участия в различных направлениях экспериментальных и научно-методических исследований эта работа не могла состояться.

Автор так же благодарен ученым и руководителям геофизических организаций, с которыми в течение долгого времени обсуждались результаты этой работы и развитие тех или иных идей по физическим и геологическим основам моделей упругих сред: сотрудникам ВНИИГЕОФИЗИКА профессорам Козлову Е.А., Шехтману Г.А. и Мушину И.А., ген. директору ГЕОПЕТРОЦЕНТРА Милашину В.А., ген. директору ТЮМЕНЬПРОМГЕОФИЗИКА Козаку В.Г., директору департамента геофизических работ IFP Dr. J.-P. Fai, главному геофизику CGG Dr. D. Michon, профессорам Stanford University А.М. Nur, М. Zobak и D. Dvorkin, профессору Colorado School of Mines J.E. White, профессору научного центра Schlumberger M.A. Shoenberg, профессору Michigan Technological University W.D. Pennington, главным геофизикам компаний SHEVRON и UNOCAL Dr. D. Wainterstain и Dr. 'F. Aminzade. Особую признательность автор испытывает к старейшему геофизику Bruce C.Wentner, Fred Hilterman и академику грузинской академии наук Г.И. Абашидзе, который в 1980 году увлек автора общей идеей фундаментального значения современных геодинамических процессов в земной коре.

## Глава 1. ДИСКРЕТНАЯ СТРУКТУРА ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА

Если считать открытие Дрейка Э. (1861 г.) началом истории развития теории и практики поисков и разведки месторождений нефти и газа в осадочных бассейнах, то уже через два года, понятие трещинной емкости коллектора было введено геологом Эндрюсом Е. Тогда же, он утверждал, что есть прямая зависимость между величиной дебита нефти и количеством трещин. Ливорсен А.И., (1967) считал практически все природные резервуары в той или иной степени трещиноватыми, а Пирсон С.Д. (1953) представил коллектор любого генезиса двумя системами пористости и, соответственно, проницаемости:

"...1) слабопроницаемые блоки, заключенные между трещинами, в которых нефть движется медленно и на короткие расстояния, 2) высокопроницаемые трещины, приводящие, в конце концов, нефть к скважине..."

Множество работ, посвященных трещинам, трактует генезис трещинных систем с самых различных позиций. В основном, трещины представляются в виде физических объектов, которые описываются пространственными, геометрическими, генетическими и иными параметрами. Реже, встречается понятие блоков, на которые среда разделилась некоторой системой замкнутых друг на друга трещин. В самом деле, что такое трещинная система? Множество *физических объектов* в виде организованных систем плоскостей нарушения сплошности среды, или *состояние* среды, обусловленное множеством взаимодействующих блоков в активной геодинамической системе? По существу, выбор позиции к параметрическому описанию трещинной системы построенной на динамике организованной композиции блоков, выгодно удовлетворяет одновременно и принципам описания трещин как физических объектов и законам геодинамики, что и позволяет сконструировать логичную и доступную для формального описания систему флюидодинамики. Именно такая позиция и принята в

настоящей работе, что, в свою очередь, " требует определить наиболее вероятную схему механизма разрушения осадочной толщи.

### **1.1. Общие особенности трещинной системы в осадочном бассейне**

По мнению большинства исследователей, основная трещинная система сформирована в доскладчатый период развития осадочного бассейна. Подобные выводы приведены в ряде публикаций по данной проблеме (Смехов Е.М.,1961, Рамсей Л.Г., 1967, Рац М.В.,1970, Голф-Рахт Т.ДД982 и др.). Автором выполнены аналогичные обзоры трещинных систем на дневной поверхности (Большой Каньон р. Коллорадо, Мертвая Долина в горах Сьерра Невада, юго-восток Татарии и др.), в глубоких артезианских скважинах Балтийского бассейна по данным скважиной телевизионной съемки, акустического сканирования стенок разведочных скважин и изучения керна. Основываясь на этих и известных в многочисленных публикациях результатах, представляется перспективным высказать следующие взаимосвязанные предположения:

- временная и пространственная дискретность седиментационного процесса порождает в осадочной толще дефектную или, в терминах классической физики (Ландау Л.Д.,1987), дислокационную структуру, которая "запомнила" все периоды смены седиментационных циклов и событий;

- дефектная структура массива определяет последовательность развития процесса его разрушения, как во времени, так и в пространстве бассейна;

геометрия элементов структуры разрушения совпадает с организованностью осадочной толщи по формационному принципу;

- множество дискретных элементов, выделенных системой замкнутых друг на друга трещин, объединяются в согласованные по геометрии ансамбли в пределах стратиграфических границ одного порядка дефектности.

Таким образом, достаточно очевидной системной схемой разрушения слоистых сред, представляется логическая цепь в виде: *"дискретность*

*процесса седиментации → дефектная структура → дискретная структура разрушения".*

Статистический анализ размеров элементарных блоков и их обособленных ансамблей позволяет уверенно предположить устойчивое соотношение вертикальных и горизонтальных сторон блоков в пропорции 1:2. С совершенно иных (энергетических) позиций в работах Садовского М.А., 1987 и других авторов приводится пропорция 1:[2+5], которая справедлива для всех масштабных уровней твердой земли (от миллиметров до десятков километров).

### **1.2. Элементы механики разрушения слоистой среды с дефектной структурой**

Известно достаточно много теорий разрушения горных массивов построенных на феноменологических (Griffith, A., 1921), статистических (Баренблатт Г.И., 1961), кинетических (Клещев К.А., 1995) и других принципах. Основная проблема неопределенности в названных теориях и в различных подходах экспериментального моделирования процессов разрушения горных пород заключается в формулировки начальных условий, которые должны учитывать первичные дефекты прочности исходного массива, схему их формирования и последовательного вырождения в плоскости разрыва сплошности.

В данной работе обсуждается схема разрушения осадочного чехла, построенная на основе последовательной во времени поэтапной реализации естественного ряда ключевых состояний осадочной толщи: накопления, диагенеза и разрушения произвольного фрагмента слоистой толщи в доскладчатый период развития бассейна. Эту историю представляется необходимым разбить на четыре основных временных периода:

#### **1. Формирование среды с дефектной структурой.**

Погружение фрагмента осадков слоистой структуры, уплотнение (вязкое деформирование) слоев по мере плавного роста гравитационного

давления и постепенная дифференциация слоев в процессе дегидратации осадков.

## 2. *Выравнивание дефектных плоскостей в процессе вязкого скольжения слоев.*

Развитие породообразующих процессов (литификация) в пределах отдельного слоя с усилением между граничащими слоями контраста общего давления и коэффициента Пуассона. Вязкое скольжение слоев друг относительно друга и формирование плоской граничной поверхности, в пределах которой жесткость среды существенно понижается.

## 3. *Переход дефектных плоскостей в плоскости скола.*

Переход выровненных плоскостей вязкого скольжения в плоскости скола. Завершение процессов диагенеза и достижение конечных значений упругих модулей по каждому слою.

## 4. *Развитие дискретной структуры слоев в границах плоскостей скола.*

Наращение растягивающих деформаций в элементарном слое, выделенном парой плоскостей скола, до критических значений и последовательное деление его по вертикальным плоскостям отрыва. Образование регулярного множества блоков в каждом слое с характерным соотношением вертикального и горизонтального размеров 1:2.

В предлагаемой структуре разрушения в отличие от известных моделей (включая дискретную модель Садовского М.А., 1987 и модель Голф-Рахта Т.Д., 1982) есть три принципиальных отличия:

- параметры дискретности непосредственно связаны с параметрами седиментационного процесса, что переводит их в разряд *прогнозируемых* (измеряемых) величин,
- геометрия блоков в модели дискретной среды по соседним слоям *не может совпадать*, т.к. не совпадает время образования блоков, а сами слои не совпадают друг с другом либо по упругим модулям, либо по толщине на момент разрушения каждого из них,

- горизонтальные поверхности всех блоков в данном дискретном слое принадлежат общим плоскостям *скала*, а вертикальные - плоскостям *отрыва*, что существенно для определения механизма трения.

### 1.3. Эффекты трения в дискретных моделях

В моделях сред с дискретной структурой на первом плане оказывается механизм трения (фрикционный механизм), т.к. любое изменение внешней силовой нагрузки вызывает индивидуальную упругую реакцию каждого блока в рассматриваемом множестве. При этом, эффекты трения или, так называемого проскальзывания, имеют особое значение в присутствии флюида различной вязкости и фазового состава, что можно определить как "смазывающий фактор".

Процесс проскальзывания блоков достаточно хорошо исследован Byerlee J.D., 1978. Им установлено, что в интервале глубин от 1 до 7 км блоки горной породы могут совместно и линейно деформироваться до того момента, пока выполняется неравенство  $\sigma_x \leq 0.85\sigma_z$ , где  $\sigma_x, \sigma_z$  компоненты горизонтальных и вертикальных напряжений. Как только это условие будет нарушено, линейная деформация перейдет в нелинейную форму - в смещение рывками или вязкое скольжение. При этом, Byerlee J.D., установил независимость этого вывода от шероховатости контактных поверхностей блоков и типов горной породы. Очевидно так же, что коэффициент 0.85, установленный для варианта сухого трения, будет существенно ниже в варианте водонасыщения и еще ниже - нефтенасыщения.

В данной работе, эффекты трения проиллюстрированы экспериментами в камере высокого давления на образцах песчаников по классической схеме регистрации акустических сигналов проходящих волн в циклах нагрузки - разгрузки. Эксперименты проводились дважды - для сплошного образца и после распиливания его на три равные части. Во всех, без исключения, экспериментах обнаруживается явление инверсии знака гистерезиса графиков скоростей от давления по циклам нагрузки и разгрузки для

сплошного и дискретного образцов. Положительный гистерезис явление хорошо известно для сплошных образцов - требуется некоторое время, чтобы материал образца восстановился после цикла сжатия. Отрицательный гистерезис для дискретных образцов можно объяснить только тем, что при разгрузке напряжение в центральном фрагменте образца сбрасывается скачкообразно за счет эффекта проскальзывания. В целом, за счет суммарного эффекта дискретности и давления упругие модули горных пород (скорость распространения продольных волн), измеренные в экспериментах, изменялись в диапазоне **20÷30%**.

Основной вывод по этой группе экспериментов формулируется следующим образом: *в моделях сред с дискретной структурой, фатальным является процесс разгрузки, который приводит к активизации процессов проскальзывания блоков и, следовательно, к изменениям упругих модулей массива горных пород.*

Применительно к особенностям осадочных отложений с дискретной структурой, выдержанность и субпараллельность граничных плоскостей скола обеспечивает непрерывность процессов трения блоков вдоль каждой из них при изменении компонент напряжений.

Рассмотрены несколько вариантов фрикционных механизмов, которые могут приводить к возникновению устойчивых границ или слоев скольжения различного порядка в осадочных отложениях с дискретной структурой, которые, в свою очередь, формируют области разрыва функции изменения упругих модулей с глубиной (сейсмические границы первого рода или - *фрикционные границы*).

В заключении сделаны следующие основные выводы:

1. Предложена схема системного механизма преобразования слоистой седиментационной среды в согласованную дискретную (блоковую) структуру на основе предположений о начальной дефектности стратиграфических границ.

2. Дискретная структура образована двумя системами плоскостей разрыва сплошности среды - скола и отрыва в условиях нормально гравитирующей среды.
3. Установлены соотношения размеров блоков по иерархическому формационному принципу при условии предельного перехода сплошной среды в дискретную.
4. Обоснованы процессы трения блоков и формирование условий возникновения границ скольжения (фрикционных границ).

## **Глава 2. ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Дискретная организация осадочной толщи предопределяет ее специфическую реакцию на современные геодинамические процессы, что приводит к модели активно деформируемого коллектора. В самом деле, если бы коллектор соответствовал категории идеального грунта, т.е. несжимаемой, сплошной пористой среды, то гидродинамическое взаимодействие нескольких скважин происходило бы мгновенно, чего никогда на практике не происходит (Щелкачев В.Н., 2001, Дияшев Р.Н., 1999 г. и многие другие). По данным гидродинамических исследований скважин, мы фиксируем сложную нелинейную реакцию одной скважины на другую в широком диапазоне временных интервалов, что и означает столь же широкий диапазон деформации пласта при изменении баланса давлений в его твердой и жидкой фазах.

### **2.1. О геодинамических процессах в осадочных бассейнах**

Результаты региональных исследований повсеместно отражают блоковое деление литосферы и тесную взаимосвязь эволюции субвертикального перемещения блоков и развития осадочного бассейна. Комплексный анализ геофизических, космических, морфометрических, геохимических и других данных позволяет достаточно уверенно прогнозировать геометрию глобальной и региональной геодинамических схем осадочного бассейна. Для территории Западной Сибири известен ряд



блоковых схем на различных уровнях масштаба, построенных независимым образом и отражающих, по мнению авторов, схему неотектонических процессов и их прямую связь с образованием залежей углеводородов (Соколов Б.А., 1985, Змановский Н.И.,1988, Песковский И.Д.,1992, Клещев К.А., 1992, 1995, Хаин В.Е.,1996, Шпильман В.И.,2000, Фурсов А.Я., Сим Л.А.,2000, Губерман Ш.А.,2001, Устинова В.Н., 2004 и др.). Вводятся ранги блоков, поперечный размер которых пропорционален мощности каждого структурно - вещественного комплекса того или иного слоя земной коры в этом регионе.

По существу, мнения авторов известных публикаций по этой проблеме совпадают по преобладающим размерам блоков на различных масштабных уровнях, но расходятся в подходах к определению последовательности и направленности тектонических движений в границах земной коры.

В последние годы публикуются работы, в которых все чаще обсуждаются регулярные блоковые структуры осадочного чехла и фундамента. В наиболее известных подходах строятся регулярные блоковые структуры по осям флексурно-разломных зон на основе комплексного анализа результатов дешифрирования дистанционных методов и интерпретации данных грави-, магнито- и сейсморазведки (Сим Л.А., Фурсов А.Я., Постников Е.В., 1991-2000 г.г., Устинова В.Н., 2004). Общими параметрами этих блоковых схем для условий Западной Сибири являются:

- два преобладающих азимута границ блоков в 320 и 0 градусов (северо-запад и меридиан),
- размеры изометричных блоков на уровне масштаба осадочного чехла находятся в пределах 2-12 км,
- размеры блоков на уровне фундамента составляют порядок 30-50 км.

В работе Шпильмана В.И. и Шпильмана А.В. (2000) рассматривается волновой характер распределения нефтенасыщенности осадочного чехла Западно-Сибирского бассейна на основе бинарного Фурье-анализа. Делаются выводы о реальном существовании волновых процессов различной

периодичности и азимутами фронтов волн в 320 и 0 градусов. При этом, никаких априорных предположений о причинах и параметрах волновых процессов в земной коре не делается.

Известные технологии обработки тепловизорных снимков земной поверхности с аэро-космических комплексов напрямую свидетельствуют о блоковой структуре распределения температур в осадочном чехле и фундаменте (Мухамедьяров Р.Д., 2003). Примеры восстановления теплового поля в различных бассейнах мира независимым образом подтверждают фундаментальное значение принципов регулярности размеров активных блоков и преимущественной ориентации блоковой сетки осадочного чехла по азимуту 320 градусов.

В данной работе, в основу практического анализа реакции осадочного чехла на современную активность фундамента, предлагается положить известную гипотезу о тектонической расслоенности земной коры (Пейве А.В., Хаин В.Е., Пушаровский Ю.М. и др.) с учетом существования фрикционных границ различного порядка в осадочном чехле и фундаменте с упорядоченной дискретной структурой.

## **2.2. Упругие модули и современная блоковая динамика осадочного бассейна**

В предложенной модели активных сред с дискретной структурой ключевую позицию занимает коэффициент Пуассона. Известны работы, в которых приводятся теоретические оценки коэффициента Пуассона для композитных или пористых упругих материалов, в предположении, что упругие характеристики среды зависят от свойств индивидуальных составных частей композита, объемного содержания этих компонентов и геометрических свойств - формы и пространственного распределения компонентов.

В работе (Писецкий В.Б., Крылатков С.М., 2005) показано, что в предлагаемой модели осадочных отложений с дискретной структурой коэффициент Пуассона определяется соотношением:

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{1 - \frac{1 - \nu_0}{\nu_0} \cdot f \cdot \frac{P}{P_0}}{1 - 2 \cdot \nu_0 \cdot f \cdot \frac{P}{P_0}} \cdot C(d) \cdot d^{-\frac{1}{3}} \quad (1)$$

где:  $\nu$  - коэффициент Пуассона для некоторого существенного объема среды с дискретной структурой,  $\nu_0$  - то же для одного сплошного дискрета из этого объема,  $f$  - коэффициент трения,  $P$  и  $P_0$  - общее и литостатическое давление в твердой фазе,  $d$  - относительная плотность дискретов в выбранном объеме,  $C(d)$  - некоторая безразмерная функция нормального (при  $P=P_0$ ) состояния дискретной структуры. Анализ этого выражения в условиях реальных осадочных отложений свидетельствует о том, что в диапазоне изменения коэффициента трения от уровня идеальной "смазки" (например нефтью) до уровня коэффициента Byerlee J.D. (0.5 и выше для газа) коэффициент Пуассона может теоретически меняться на 50 и более процентов в зависимости от изменения уровня общего давления и знака его градиента. Подобное поведение среды с дискретной структурой отличается по существу от модели Гука, но остается в рамках теории упругости в смысле воспроизведения значений упругих модулей при смене стадий относительного сжатия и растяжения одного и того же ансамбля блоков.

Особенности распределения коэффициента Пуассона в осадочных отложениях с дискретной структурой и наличие в них фрикционных границ (слоев), по которым "разрешается" знакопеременное скольжение слоев друг относительно друга, предопределяют регулярный блоковый принцип реакции осадочного чехла на динамические процессы фундамента. При этом, процесс скольжения, по существу и означает блоковое разделение любого интервала осадочного чехла, между двумя фрикционными границами одного порядка. Модель Бота-Дина (1973) описывает такую реакцию в виде медленного волнового процесса, распространяющегося в слое с заданной жесткостью, лежащем на вязком основании. В контексте обсуждаемой модели осадочного чехла, роль вязкого слоя выполняет любой жесткий слой, отделенный от вышележащего фрикционной границей (тонким "жидким"

слоем, в котором активизированы процессы трения). С этой точки зрения, горизонтальный размер блоков в верхнем слое пропорционален периоду установившегося волнового процесса в нижнем слое, который в свою очередь определяется толщиной этого слоя. При этом, направление плоскостей отрыва блоков друг от друга в вышележащем слое (осадочный чехол) должно располагаться под углом 45 градусов к фронту волнового процесса в нижнем слое (фундамент), что определяется переменным состоянием цилиндрического изгиба осадочного чехла с периодическими осями вдоль экстремумов волновых возмущений фундамента. Такая схема соответствует реально установленным азимутам блоковых структур осадочного бассейна - одна схема имеет азимут 320 градусов, другая 0 градусов. Следует предположить, что блоковая схема фундамента с меридиональной ориентацией первично активна относительно осадочного чехла и захватывает литосферу (или ее верхний жесткий структурно-вещественный комплекс). Подобная ситуация может возникнуть, например, в соответствии с идеей силовых меридианов Змановского Н.И., 1988. В работе предполагается так же, что именно по такой оптимальной схеме реализована непрерывная поддержка и компенсация волновых процессов в рассматриваемых оболочках земной коры (суть - современное напряженное состояние микроплит и блоков в системе "осадочный чехол - фундамент" в контексте многоярусной тектоники плит) за счет их несовершенного сцепления и неравномерности планетарного вращения. В рассматриваемой модели основной вклад в современные процессы сжатия-разгрузки блоков осадочного чехла обеспечивает чрезвычайная изменчивость горизонтальной компоненты напряжения, которая достигает своих экстремальных значений на фрикционных границах.

По существу, рассмотренные выше особенности осадочного бассейна как активной системы (*дискретность, давление, трение*) являются определяющими для разработки технологий сейсмической интерпретации с целью прогноза схемы блоковой активности осадочного бассейна и

флюидодинамических параметров коллекторов (оценки макропроницаемости и вектора течения), включая возможность прямой индикации фазового состава флюида (газ, нефть, вода).

### 2.3. Флюидные течения в активных дискретных средах

Обоснована позиция, которая объединяет и согласует процессы течений твердой и жидкой фаз среды в диапазоне низких скоростей, сопоставимых со скоростями современных тектонических процессов. Такой подход имеет целый ряд содержательных отличий и преимуществ, которые в первую очередь позволяют конструктивно решать проблемы миграции флюида в приложении к текущему геодинамическому состоянию бассейна. Дискретная структура и блоковая динамика осадочной толщи определяет модель общей проницаемости для достаточно большого объема среды в виде:

- матричной проницаемости материала элементарных блоков  $k_I$  (поровая проницаемость),
- проницаемости межблокового пустотного пространства  $k_{II}$  (дискретная проницаемость),
- проницаемости в контактных областях блоковых ансамблей  $k_{III}$  (контактная, или блоковая проницаемость).

В порядке перечисления типов проницаемости понятно, что самый высокий вклад в общее значение проницаемости имеет  $k_{III}$ .

Предложено решение уравнения Дарси на основе функционального сведения общей проницаемости и относительной величины добавочного давления в твердой фазе, что вполне приемлемо для решения оценочных миграционных задач, в которых не столько важно знание абсолютных параметров флюидного течения, сколько важно определить - куда направлен поток флюида в данный момент времени (Писецкий В.Б., Кормильцев В.В., Ратушняк А.Н., 2001).

В целом, по этому разделу формулируются следующие выводы:

1. Установлены функциональные связи между коэффициентом Пуассона и параметрами дискретности, давления и трения в модели осадочных отложений с дискретной структурой.
2. Обоснована схема регулярной блоковой реакции слоистых дискретных сред на активную (современную) динамику фундамента.
3. Предложено решение уравнения течения флюида с целью оценки вектора течения флюида как функции аномального общего давления в активной блоковой системе "осадочный чехол-фундамент".

### **Глава 3. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН В МОДЕЛЯХ ДИСКРЕТНЫХ СРЕД**

Проблема исследования распространения упругих волн в неоднородно-напряженных средах обсуждалась в ряде фундаментальных и прикладных наук: классической механики упругих сред (Biot M.A., 1965, Schoenberg M., 1994, Козлов Е.А., 1998, Бакулин А.В., 1994, Sayers C.M. 1999 и др.), сейсмологии (Введенская А. В., 1984 и др.), региональной сейсморазведки (Crampin S., 1984 и др.), скважинной акустики (Zobak M., 1985, Карус Е.В., Кузнецов О.В., 1985 и др.), горной механики и др. Не смотря на очевидную логику анализа и решения прикладных задач по исходному волновому уравнению, сформулированного в тензорах "больших" и "малых" напряжений, большинство известных решений, по разным причинам, имеют сугубо научное значение и не переродились в практические методики и технологии, которые могли бы применяться в процессах разведки нефтегазовых бассейнов. Основной причиной такой ситуации, на взгляд автора этой работы, является выбор цели, ради которой стоило развивать это направление. Кроме того, существует и психологическая проблема - компоненты напряженного состояния среды до сих пор относятся к классу не метрологических величин (не измеряемых и не контролируемых прямыми инструментальными методами на больших глубинах), следовательно, регламентировать применение таких параметров в технологиях разведки и разработки продуктивных коллекторов не представлялось возможным.

### 3.1. Общие особенности распространения упругих волн в моделях с начальным напряженным состоянием

Известно достаточно много решений волнового уравнения с учетом предварительного напряженного состояния среды. Решение уравнения M.Biot (1964) по схеме численного моделирования волнового процесса в сетке плоской модели с начальными напряжениями реализовано Баранским Н.Л., 1987. Анализ всей совокупности вариантов моделей приводит к очевидному выводу: во всех случаях граница 1-го рода смены компонент начальных напряжений является отражающей границей специфического свойства, порождающая, в том числе, анизотропию динамических параметров сигналов отраженной волны (асимметрию амплитуд и частот). В дальнейших исследованиях автора этой работы впервые обоснована природа границ первого рода по компонентам начальных напряжений и деформаций на основе позиции дискретных сред и определения понятия фрикционных границ. Некоторые, наиболее общие особенности распространения упругих волн в дискретных средах, целенаправленно выявлялись на физических моделях.

### 3.2. Экспериментальные исследования упругих волн в моделях дискретных сред

В течение ряда лет в лаборатории геофизических систем УГГУ проводились исследования особенностей процесса распространения упругих волн в физических моделях с основными элементами дискретных сред. В последующие годы, полученные результаты сопоставлялись с подобными экспериментами в лабораториях физического моделирования французского института нефти (IFP) и геофизического института нефти г. Нанкина (RIGPP, P.R.China).

Общая идея экспериментов была построена на следующей конструкции модели: в сплошную, изотропную по упругим модулям среду, вводится слой дискретной структуры из того же материала, а к внешним кромкам модели прикладываются знакопеременные силовые нагрузки.

В серии подобных моделей регистрировались по различным направлениям сигналы отраженных продольных и поперечных волн от слоистых элементов с дискретной структурой и в этих же точках отражения фиксировались компоненты напряжений. Различные варианты модели воспроизводили полную схему влияния дискретной структуры в поле неоднородных напряжений в "чистом" виде (использовались только однородные по упругим модулям материалы):

на различных стадиях разрушения слоистой среды с заранее заложенными в ней прочностными дефектами,

- на последовательных стадиях нагрузки и разгрузки после завершения процессов разрушения и образования конечной дискретной системы.

Прочностные дефекты задавались тонкими слоями сургуча или оргстекла, которые "автоматически" формируются в процессе заливки или разрезания модели. На начальных циклах нагрузки - разгрузки образовывались первые плоскости скола, затем последующие, а далее происходило деление каждого слоя между двумя поверхностями скола на множество дискретов (физическое подобие предложенной схемы разрушения осадочного чехла). Особенностью данной серии экспериментов в отличие от известных исследований является оценка коэффициентов подобия, ориентированная на абсолютную деформацию дискретного элемента, включенного в модель. Общепринятые схемы экспериментов ориентированы на подобия свойств и абсолютных напряжений, приложенных к внешним кромкам модели. Это приводит к необоснованно завышенным абсолютным деформациям, при которых любая среда уже при давлении свыше 5 Мпа всегда будет сплошной, поскольку сами модели имеют малые (не более 0.2-0.5 кубического метра) или сверхмалые размеры (20-30 куб.см). В рассматриваемых экспериментах, при соблюдении подобия абсолютных деформаций на элементах модели из "мягких" материалов можно ограничиться невысокими уровнями напряжений (до 5 Мпа) и обоснованно смоделировать всю ситуацию для любого интервала глубин.



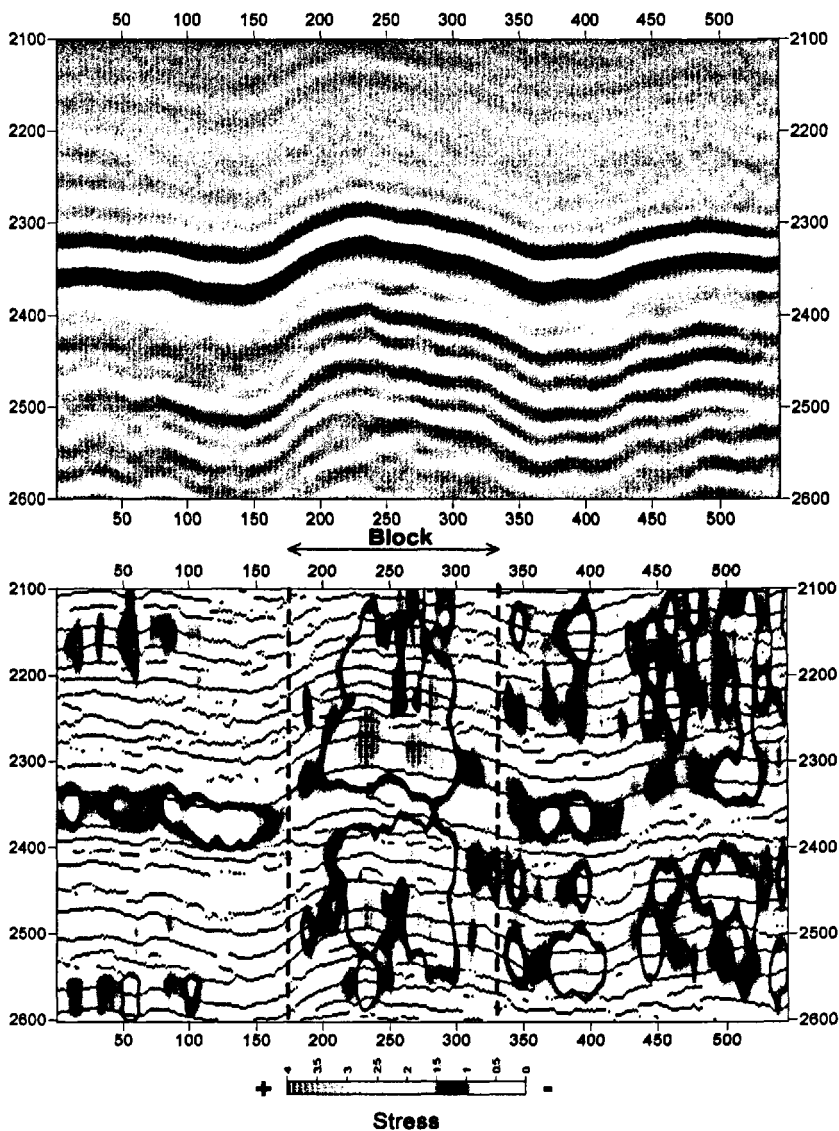


Рис. 2. Пример блокового распределения атрибутов сейсмических сигналов в плоскости временного разреза (вверху - исходный временной разрез, внизу - его ДФМ - преобразование)

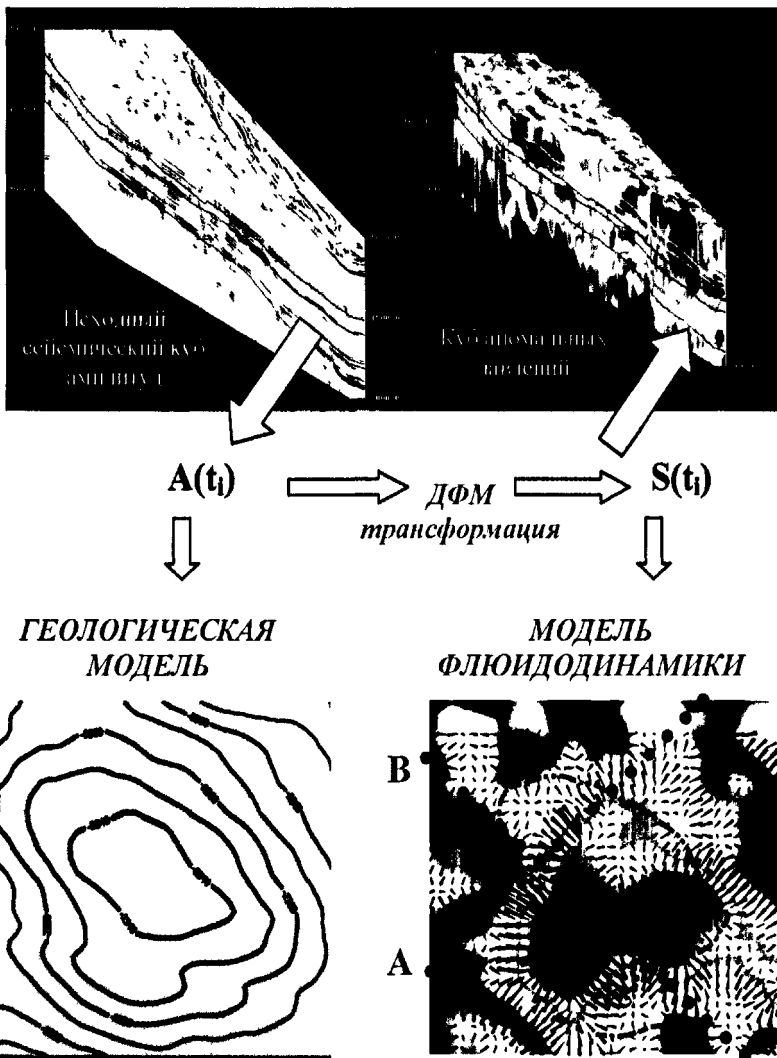


Рис.3. Концепция прогноза флюидодинамической модели осадочного чехла по сейсмическим данным

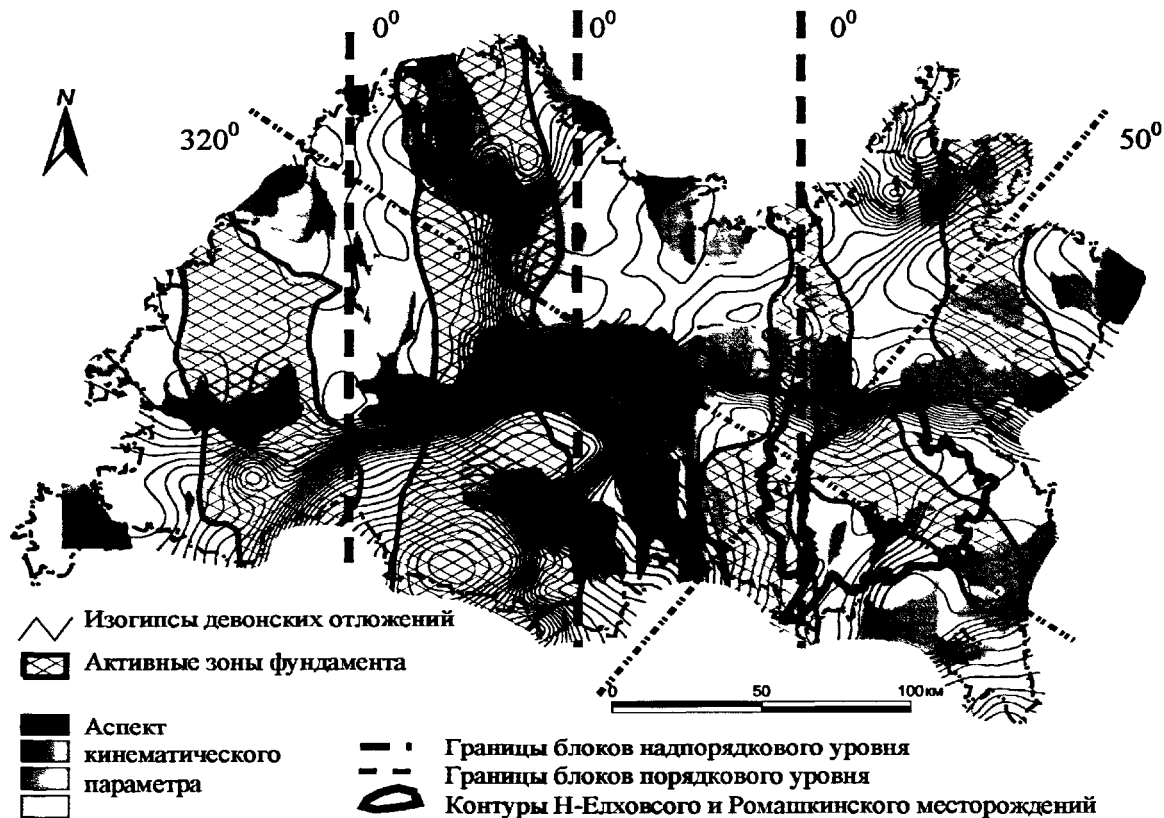


Рис.4. Модель основных параметров геодинамических процессов осадочного чехла и фундамента по территории Республики Татарстан.

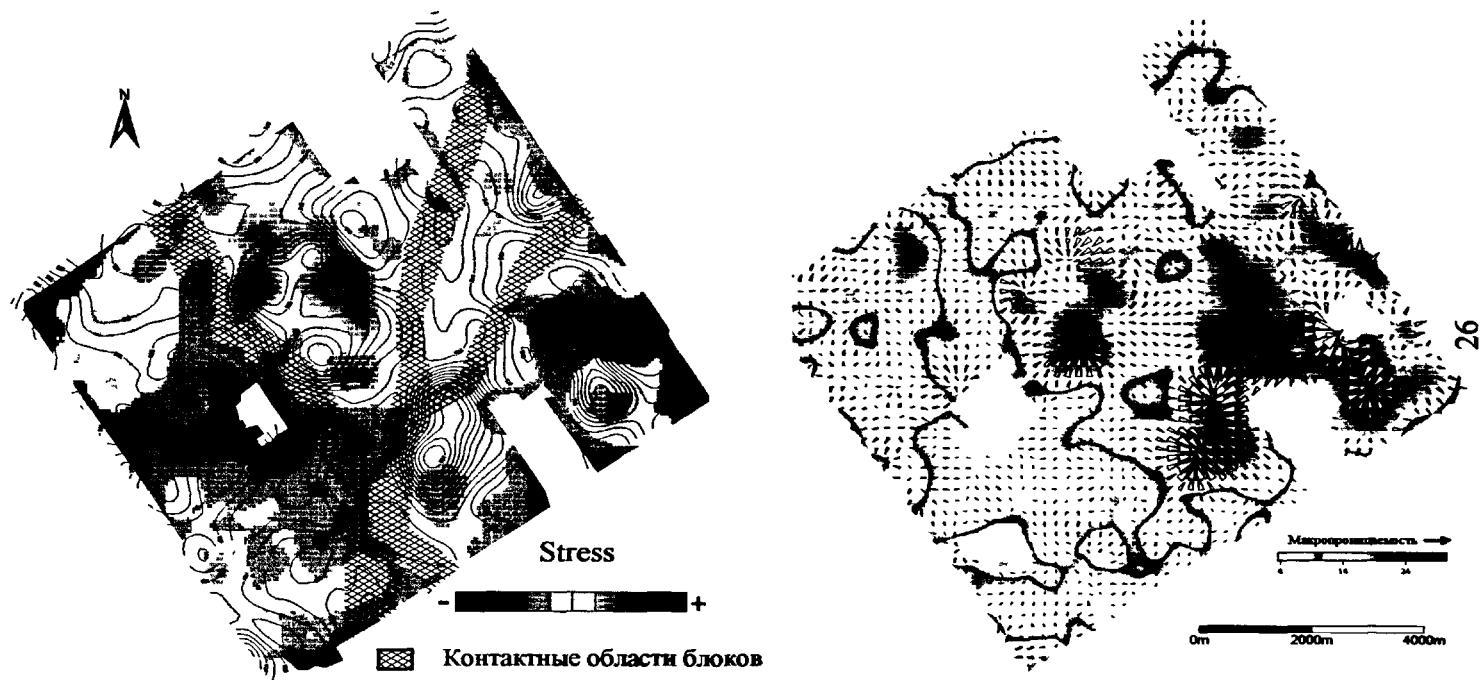


Рис.5. Модель блоковой динамики осадочного чехла (слева) и флюидодинамическая карта по интервалу отложений карбона (справа).  
 Чегодаевское месторождение. ТАТНЕФТЕГЕОФИЗИКА

Сигналы отраженных волн регистрировались на серии последовательных стадиях разгрузки предварительно сжатой до предельного состояния модели (12-ая степень сжатия, после которой сигнал отраженной волны от дискретного элемента исчезает или не изменяется). При этом, средняя стадия (8-ая) соответствовала нормальному литостатическому давлению в масштабном пересчете слоя на глубину 2000 метров, а конечная стадия (1-ая) означала предельную степень разгрузки, при которой происходило полное отражение падающей волны.

На рис.1 приведены результаты экспериментов для плоской модели, в которую включены: один дискретный слой (DL1), два слоя (DL2) и пять слоев одной и той же толщины (DL5). Толщина одного элементарного дискретного слоя (слой содержит множество одинаковых дискретов с вертикальным размером каждого, равного толщине этого слоя) в данном случае не превышал 0.1 длины волны. Суммарная толщина дискретных слоев в модели DL5 составила 0.5 длины волны. Преобладающая длина волны в экспериментах не превышала 12-15 мм. Как видим из приведенного примера, атрибуты сигналов отраженной волны (амплитудно-частотные спектры) существенно зависят от давления и дискретности. Практически, фиксируется весь возможный диапазон изменчивости сигналов отраженной волны как по амплитуде (от 0 до 100%), так и по частоте (смещение экстремумов спектра в область низких частот).

Весь комплекс экспериментов на подобных моделях, в конечном счете, привел к необходимости рассматривать сейсмический отклик дискретного слоя как функцию некоторого добавочного статического давления на него в следующем виде:

$$\ll A e^{iP} \text{ III} \quad \text{O}$$

где:  $A$ , и  $F$ , значения мгновенных амплитуд и частот сигнала отраженной волны от слоя при текущем давлении  $P$ ,  $A_0, HF_0$  - то же при нормальном

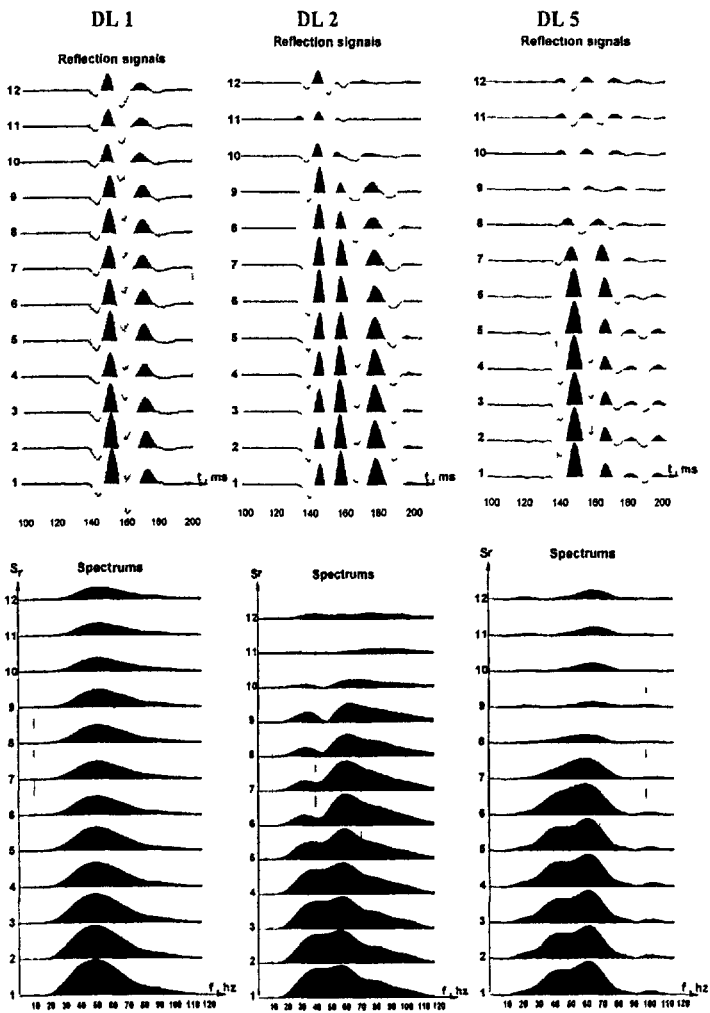


Рис.1. Сигналы отраженных волн и их спектры в моделях одного (1), двух (2) и пяти (5) слоев с дискретной структурой при нарастающих силовых нагрузках (1 - минимальная нагрузка, 12 - максимальная)

литостатическом давлении  $P_0$ , *лит*- параметры, зависящие от упругих модулей слоя и фазового состава флюида в нем (коэффициент трения).

Увеличение абсолютных значений функции  $R_d$  соответствуют процессу разгрузки слоя, уменьшение - сжатию, относительно нормального литостатического давления. Установлены частные и обобщенные виды функций сейсмического отклика различных элементов модели с дискретной структурой в форме выражения (2).

### 3.3. Анализ сейсмических изображений на основе концепции

моделей дискретных сред с неоднородными напряжениями

Все рассмотренные особенности дискретной структуры осадочных отложений, процессы блоковой реакции осадочного чехла на активную динамику его основания и их существенное влияние на упругие модули породного массива дополняют классическую модель акустического импеданса следующими двумя принципиальными элементами:

1. Вертикальные отражающие границы, соответствующие боковым вертикальным плоскостям активных блоков.
2. Амплитудно-частотная зависимость упругих модулей формационных объектов в точке отражения сейсмической волны от общего давления, дискретности и флюидонасыщенности.

Контакты активных блоков осадочного чехла и фундамента в контексте рассматриваемой проблемы должны являться сильными отражающими границами, поскольку представляют собой как максимум вертикальные плоскости разрыва сплошности, а как минимум - узкие вертикальные зоны повышенной дискретности (по терминологии Бембеля Р.М., Шленкина С.И. и др. - вертикальные зоны деструкции). Но во всех ситуациях, если действительно существует вертикальная плоскость, по обе стороны от которой блоки находятся в различном напряженном состоянии, то восходящие отраженные волны от любых горизонтальных границ, или проходящие волны могут встретить на своем пути такую плоскость и отразиться от нее. Подобные волны принято называть дуплексными (термин

введен Гурвичем И.И. в начале 60-х годов). Таким образом, факт регистрации дуплексных отражений является достаточно надежным критерием блоковой конструкции осадочного чехла и фундамента и может быть использован в технологиях автоматического определения блоковой структуры осадочного чехла.

Рассматриваются примеры вычисления коэффициента Пуассона по вертикальным годографам продольных и поперечных волн в системах наблюдений ВСП-НВСП-МОГТ и на основе этого делаются общие выводы о реальном существовании фрикционных границ (слоев) и приуроченности к ним устойчивых (опорных) отражающих горизонтов.

В заключении формулируются следующие выводы:

1. Теоретическим и экспериментальным моделированием установлены функциональные связи между атрибутами сигналов отраженных волн и добавочным давлением, действующим в каждой точке отражения упругой волны на границе слоя с дискретной структурой.
2. Показано соответствие характера распределения функции сейсмического отклика в плоскости временного разреза блоковому принципу распределения добавочного давления в осадочном чехле.
3. Обоснованы элементы волнового поля связанные с вертикальными и горизонтальными отражающими границами фрикционного типа, существование которых объективно свидетельствует о блоковом механизме реакции осадочного чехла на текущую динамику фундамента.

#### **4. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕДР ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ (ДФМ-ТЕХНОЛОГИЯ)**

На основе полученных теоретических и экспериментальных выводов о механизмах блоковой динамики осадочного чехла, упругих модулях дискретных сред и их связи с параметрами флюидных течений с одной



стороны, а с другой - с параметрами сейсмического отклика, представляется возможным сконструировать методику прогноза основных флюидодинамических параметров интервалов осадочных отложений по сейсмическим данным. С технологической точки зрения эта методика достаточно детально описана в патентах США № 5,796,678 август 1998 г. (Method for Determining the Presence of Fluids in a Subterranean Formation) и № 6,498,989 декабрь 2002 г. (Method for predicting dynamic parameters of fluids in a subterranean reservoir).

#### *4.1. Трансформация атрибутов сигналов отраженных волн в оценки давления*

Все предыдущие рассуждения об особенностях динамики осадочного чехла приводят к необходимости перехода от классической модели акустического импеданса, соответствующей сплошным средам, к модели несплошных сред с сейсмическими параметрами, зависящими от дискретности, давления и флюидонасыщения. По смыслу основных параметров входящих в эту модель введем термин "динамико - флюидная модель" и далее будем использовать аббревиатуру ДФМ.

Выражение (2) по существу введенных определений для дискретных сред и есть некоторая относительная оценка давления, в которой сейсмический отклик от слоя при нормальном литостатическом давлении  $P_0$  соответствует значениям мгновенных амплитуд и частот сигнала отраженной волны  $A_0$  и  $F_0$ , а отклик от того же слоя, но в точке, где давление  $P$  отличается от  $P_0$  на некоторую величину добавочного давления, соответствует -  $A_r$  и  $F_r$ . С учетом этого обстоятельства можно предложить различные варианты трансформации атрибутов сигналов отраженных волн в относительные оценки добавочного давления (ДФМ-трансформация). При этом, основных направлений разработки схем ДФМ-трансформации существует два: трансформация по подборкам сейсмограмм общей глубинной точки и трансформация по итоговым временным разрезам.

Не останавливаясь на технологических деталях этого процесса, следует сказать, что в обоих направлениях центральной и не тривиальной процедурой является оценка атрибутов сигнала отраженной волны для некоторой обобщенной модели отклика, соответствующей идеализированному слою (интервалу), вдоль которого во всех направлениях остаются постоянными значения дискретности, упругих модулей и давления. Определив оптимальные оценки  $A_0$  и  $F_0$  для данного горизонта или временного интервала (окна) Далее каждая трасса в сейсмограмме ОГТ или на временном разрезе трансформируется в относительную оценку добавочного давления по выражению (2). Собственно ДФМ-трансформация может выполняться как во временной, так и в частотной областях.

Поскольку речь идет об атрибутом анализе, постольку требования к обработке исходного сейсмического материала должны быть существенно иными, чем в стандартных подходах. В работе показано, что при тщательном анализе параметров верхней части разреза, учета кривизны рельефа дневной поверхности и других, осложняющих сейсмические сигналы факторов, могут быть получены иные результаты ДФМ-трансформации, чем в стандартных подходах к обработке сейсмических материалов (показано на опыте и материалах ДФМ-обработки ГЕОПЕТРОЦЕНТРА, ЦГЭ, директор Милашин В.А.).

Особенностью предлагаемой технологии трансформации сейсмических атрибутов является проверяемость полученных относительных оценок давления на предмет удовлетворения общему геодинамическому правилу: характер распределения добавочных давлений должен носить явный блоковый характер и подчиняться принципам индивидуальности распределения в вертикальных границах каждого блока. При этом, поперечные размеры блоков могут иметь только определенные значения, пропорциональные толщине осадочного чехла и интервалов фундамента. Отмеченные особенности оценок давлений достаточно хорошо воспринимаются визуально (рис.2).

#### *4.2. Учет масштабного эффекта параметров дискретных сред*

ДФМ выдвигает на первый план проблему масштабности определяемых параметров. Как уже упоминалось, коэффициент Пуассона найденный для одного сплошного куска породы, для нескольких кубических метров объема дискретного породного пространства и для сотен кубических метров будет и иметь столько же разных значений, поскольку в измеряемый объем вошло разное количество отдельных блоков. С другой стороны объем пространства "захватываемый" сейсмической волной составляет некоторый, достаточно широкий диапазон - от нескольких кубометров породы (для самых высокочастотных гармоник в цуге колебаний) и до нескольких тысяч кубометров пространства (на самых низкочастотных гармониках). Очевидно, что в этом диапазоне существует некоторый критический объем пространства, в котором как раз и проявляются наиболее сильные эффекты трения и давления. Кроме того, самая ответственная зона вокруг скважины составляет порядок 100 - 200 метров и именно она определяет качество подвода флюида к этой скважине. Следовательно, нам необходимо существенно (минимум в 2 раза) поднять разрешающую способность МОГТ. В методах обработки сейсмических сигналов имеется достаточно богатый арсенал средств, позволяющих расширить частотный диапазон спектра сейсмических записей. В работе показано, что подбор оптимального оператора деконволюции по данным ВСП позволяет успешно справиться с проблемой повышения качества результатов 2-3D МОГТ. ДФМ - преобразование по таким материалам свидетельствует о существенном улучшении качества и смысла прогноза оценок добавочных давлений в ближней (радиусом до 500 метров) и дальней (радиусом до 5000 метров) зонах скважины, в которой проведено ВСП. При кустовом методе разработки месторождения, стратегия ВСП-МОГТ-ДФМ способна существенно оптимизировать размещение точек вскрытия пласта после бурения первой скважины.

### *4.3. Общая методика прогноза параметров флюидодинамических процессов в интервалах осадочного чехла и фундамента*

В общем виде, последовательность прогноза флюидодинамических параметров выглядит следующим образом:

#### *4.3.1. Прогноз параметров геодинамических процессов.*

Характерная блоковая активность бассейна порождает в осадочном чехле и в фундаменте необратимые структурно-физические преобразования, согласованные с вертикальными плоскостями блоков. При этом, такая согласованность вполне индивидуальна и может быть выявлена известными приемами палеорекоstructions кинематики вертикальных движений, анализа когерентности структурных функций рельефов стратиграфических горизонтов, потенциальных полей (включая температурный потенциал) и т.п. В результате можно получить схему линейных элементов (включая схему разломных элементов, выделенных ручным или формальным способами) и накопленные перемещения стратиграфических горизонтов в виде некоторой интегральной кинематической блоковой конструкции, которую следует отнести к предельной схеме разрушения осадочной толщи. Такая схема отражает достаточно сложную историю накопленной динамики земной коры и выделение в ней схемы блоковой конструкции, отражающей современное динамическое состояние, невозможно без оценки аномальных значений общих давлений в пределах того или иного интервала осадочного чехла по ДФМ-технологии. Совместный анализ карт предельной блоковой конструкции и карт аномальных оценок давлений по интервалам осадочного чехла должен привести к непротиворечивым и независимым выводам о пространственных закономерностях развития геодинамического режима бассейна и его текущем динамическом состоянии.

#### *4.3.2. Прогноз флюидодинамических параметров*

Полученные относительные оценки давлений по результатам ДФМ-трансформации и схема современной блоковой конструкции являются

основой для решения уравнения Дарси. До этапа разработки месторождения, начальные условия для решения уравнения принимаются в следующем виде:

- градиент флюидного давления вычисляется \* как гидростатический параметр, согласованный с глубиной до отражающего горизонта ( $\Delta \rho_0$ ),
- проницаемость  $k_H$  определяется как нормированные значения атрибута ДФМ, при этом, нормировка осуществляется в абсолютном диапазоне единиц течения Дарси или в относительном диапазоне значений, близких к реальным,
- проницаемость  $k_{III}$  назначается по ранговой значимости схемы блоковой конструкции осадочного чехла, найденной на предыдущем этапе,
- общая модель проницаемости определяется как сумма проницаемостей  $k_H$  и  $k_{III}$ .

В окончательном виде флюидодинамическая карта для целевого горизонта или выбранного интервала будет представлять собой оверлей четырех картографических слоев:

- структурной карты (изогипсы или изохроны),
- интегральной схемы разрушения горизонта (предельная блоковая конструкция),
- растрового изображения относительной или абсолютной оценки общей проницаемости (относительные оценки давления),
- векторного изображения распределения относительной оценки скорости (длина вектора) и направления флюидного потока (направление вектора).

Общая схема методики прогноза флюидодинамических параметров приведена на рис.3. Флюидодинамическая модель в виде карты векторов течений и значений макропроницаемости (цветовой растр), как видим, представляет существенно больший интерес для проектирования схем разведки и разработки месторождения, чем обычная структурная карта с внутренними и внешними контурами нефтенасыщенности. Даже в таком простом примере ловушки мы видим два замкнутых контура максимального флюидонасыщения, которые обусловлены границами активных в настоящее

время блоков (линии А и В). Контур максимального флюидонасыщения хорошо виден глазом специалиста флюидодинамика - вектора течения направлены внутрь одной и той же области. Соответственно, размещение приемных и нагнетательных скважин должно проектироваться с учетом этих границ контуров для реализации оптимальных и однородных естественных гидродинамических связей в пределах коллектора.

По данному разделу получены следующие результаты:

1. Предложена методика и технология трансформации атрибутов сейсмических сигналов в аномальные оценки давлений.
2. Обоснованы принципы прогноза схемы блоковой динамики по комплексу интегральных кинематических и динамических параметров.
3. Предложена технология определения основных флюидодинамических параметров (общей проницаемости и вектора течения флюида) по найденной схеме блоковой активности осадочного чехла и оценкам аномальных давлений.

## **5. ПРИМЕНЕНИЕ ДФМ - ТЕХНОЛОГИИ НА СТАДИЯХ РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА**

Опыт применения ДФМ-технологии показал, что эффективность концепции изучения закономерностей размещения углеводородного ресурса осадочного бассейна на основе оценки параметров флюидодинамики определяется последовательностью решения прогнозных задач на трех масштабных уровнях:

- прогноз параметров геодинамики системы "осадочный чехол - фундамент" в масштабе 1:200 000 (схема обобщенной активности бассейна),
- прогноз флюидодинамических параметров по основным интервалам осадочного чехла в масштабе 1:25 000-50 000 (схема геодинамической и флюидодинамической активности осадочного чехла),

- прогноз флюидодинамических параметров по продуктивным интервалам в масштабе 1:5000 - 10 000 (флюидодинамические карты коллекторов в ближней и дальней зонах).

Масштабные уровни определяются плотностью информационного покрытия территории, системами сейсмических наблюдений и необходимостью оценки блоковой активности на уровне фундамента, осадочного чехла и его отдельных интервалов.

### *5.1. Прогноз параметров геодинамических процессов в системе "осадочный чехол - фундамент"*

Задачи регионального прогноза параметров геодинамических процессов актуальны были всегда, а сегодня в особенности, поскольку в хорошо освоенных нефтедобычей районах накоплено огромное количество информации, но отсутствует интегрированное звено для ее переосмысления и выработки стратегии дальнейшего изучения бассейна и изыскания новых ресурсов.

Интересный опыт интегрирования информации с позиции геодинамики получен в последние пять лет в Республики Татарстан, где была применена ДФМ-технология прогноза параметров геодинамических процессов по сети региональных и разведочных сейсмических профилей с общей задачей оценки перспективности западных районов РТ на основе геодинамической модели.

За это время собран большой фактический материал, включая базу разведочных скважин (около 6000), гравитационное и магнитное поля масштаба лучше 1: 200 000 (неравномерный масштаб съемки 1:50000 - 1: 500 000). База сейсмических региональных и разведочных профилей была заново переработана под технологию ДФМ с последующим построением карт аномальных оценок давлений по осадочному чехлу и фундаменту.

Анализ полученных ДФМ-разрезов позволяет обнаружить, как минимум, две особенности:

- согласованное изменение оценок давлений в разгружающихся блоках по основным коллекторам карбона и девона,
- соответствие этих областей областям разгрузки в фундаменте.

Результативная модель аномальных геодинамических зон осадочного чехла и фундамента показана на рис.4. Модель получена путем интегрирования кинематического параметра осадочного чехла (предельная блоковая конструкция) и карты оценок аномальных давлений осадочного чехла, найденная по ДФМ-трансформации сети региональных и разведочных профилей. Найденная региональная модель геодинамических процессов осадочного чехла, по нашему мнению, отражает ряд очевидных закономерностей:

кинематическая конструкция не противоречит "ручной" схеме тектонических элементов, но в большей степени соответствует логике гипотезы многоярусной тектонической расслоенности (две схемы азимутов блоков - 320 и 0 градусов),

активные геодинамические зоны в целом соответствуют нефтенасыщенности по всей территории РТ.

Полученный результат с новой точки зрения выявляет логику формирования и переформирования нефтеносности территории РТ. Особое значение придается именно объективному и устойчивому прогнозу регулярной схемы блоковой активности территории, т.к. до сих пор все подобные построения выполнены субъективным "ручным" образом.

### *5.2. Оценка флюидодинамических параметров нефтегазовых коллекторов на стадиях разведки и разработки месторождений*

В этом разделе приводятся примеры, иллюстрирующие с одной стороны решение разведочных и промысловых задач, а с другой - сопоставление результатов ДФМ-прогноза с результатами применения известных технологий сейсмической инверсии и AVO.

Серия примеров решения разведочных задач на территории Республики Татарии проявили возможности ДФМ-прогноза в следующей ситуации:



залежи по всей Татарию простого структурного типа, но амплитуда структур в отложениях карбона и девона обычно не превышает 10 метров, поэтому точность структурных построений по данным сейсморазведки является большой проблемой. Идея применения ДФМ в данном случае проста: если с кинематическим параметром мы ошибаемся, то независимым образом факт наличия или отсутствия структуры должен так или иначе фиксироваться в поле аномальных давлений по причине действия современных геодинамических процессов, или по причине естественного понижения давления в контуре ловушки из-за гидростатического режима. Пример по Чегодаевскому месторождению нефти, показанный на рис.5 достаточно хорошо подтверждают эту возможность. Здесь контуры аномально низкого давления (синие и красные тона раstra на левом фрагменте) и контуры стечения флюида (правый фрагмент), соответствующие интервалу продуктивных отложений карбона, точно совпадают с контурами трех основных малоамплитудных положительных структур и с контурами фактической нефтенасыщенности.

Вторая группа примеров иллюстрирует определенные возможности ДФМ-технологии по направлению прямого прогноза положения водо-нефтяных и газо-нефтяных контактов. Примеры получены в разнообразных типах осадочных бассейнов и условиях формирования и разработки нефтяных залежей. По существу, эти примеры и практика применения сейсмического мониторинга, все чаще применяемого в последние годы на старых месторождениях (Thomsen, L, 1990. **Poisson was not a geophysicist!**. Амосо), обосновано свидетельствуют о том, что коллектора действительно являются активно деформируемыми геодинамическими системами, а реальная изменчивость атрибутов сейсмического сигнала отраженной волны обусловлена изменением напряженного состояния в твердой фазе коллектора в процессе его разработки, преимущественно, за счет изменения флюидного давления.

Третья группа примеров иллюстрирует возможности ДФМ-технологии по сравнению с результатами прогноза ловушек по технологиям сейсмической инверсии и AVO. На простых примерах с хорошо развитой сетью скважин, очевидна сходимость всех методов. В более сложных условиях, карты флюидодинамики позволяют на основе объективных признаков понять причины и особенности возникновения залежей, или их переформирования на поздних стадиях разработки.

### 5.3. Направления развития ДФМ-технологий прогноза флюидодинамических параметров нефтегазовых коллекторов.

Рассматриваются перспективы оценки ДФМ-атрибута по сейсмограммам ОГТ с учетом предварительной миграции и идентификации дуплексных волн. На примерах показаны принципиально новые возможности по устойчивости оценок давлений и прогноза активных контактов блоков.

Обсуждаются возможности и показаны примеры оценок флюидонасыщенности коллекторов на основе определения коэффициента Пуассона по данным  $X, Y, Z$  регистрации волнового поля. Данное направление со всей очевидностью станет основным по мере развития и практического применения методов многоволновой сейсморазведки в районах со сложными сейсмогеологическими условиями и истощающихся месторождений, в которых произошли глубокие процессы переформирования напряженного состояния коллекторов и фазового состава флюидных смесей.

## ВЫВОДЫ

1. Предложена схема системного механизма преобразования слоистой седиментационной среды в предсказуемую дискретную (блоковую) структуру.
2. Обоснована связь упругих модулей среды с дискретностью, давлением и трением (фактор смазки) и выявлено значение фрикционной природы сейсмических границ.

2. Сформулированы основы флюидодинамической модели осадочных отложений и установлены функциональные связи между параметрами флюидных течений и геодинамическими параметрами дискретных сред.
4. Рассмотрены общие закономерности изменения параметров сигналов отраженных волн в физических моделях дискретных сред с переменными внешними нагрузками.
5. Установлены теоретико-экспериментальные зависимости между параметрами упругих волн и флюидодинамическими параметрами интервалов коллекторов.
6. Предлагаются методические и технологические схемы оценки параметров аномальных давлений по атрибутам сигналов отраженных волн.
7. Разработаны методика и технология оценки параметров флюидодинамики (модели макропроницаемости и векторов течения) по модели современных блоковых процессов в системе "осадочный чехол - фундамент".
8. Рассмотрены возможности и значение прогноза флюидодинамических параметров на различных стадиях разведки и разработки углеводородных ресурсов.

#### **Основные результаты исследований опубликованы в работах:**

1. Писецкий В.Б., 1976. Методика определения физико-механических свойств рыхлых грунтов по данным сейсморазведки. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Фонды Уральского государственного горного университета.*
2. Писецкий В.Б., Баранский Н.Л., Крылатков С.М., 1985. Теоретическое моделирование процессов распространения упругих волн и интерпретация многоуровневой сейсмометрии с позиций напряженного состояния среды. *Материалы совещания. "Многоволновая сейсморазведка", Новороссийск, с.127-129.*

3. Баранский Н.Л., Козлов Е.А., Писецкий, В.Б., 1990. ГЕОБАС - интерактивная интерпретация геофизических данных на IBM PC/AT. *Труды 35-го Международного геофизического симпозиума СЭВ*, София, сс. 106-111.
4. Писецкий В.Б., 1994. Дислокационно-флюидная модель седиментационных сред в приложении к разведке нефти и газа. *Горный журнал*, Известия высших учебных заведений, Екатеринбург, №9-10/94, с. 34-58.
5. Pisetski, V.B., 1994. Dislocation fluid model and its application: Prognosis of the geomechanic parameters and migration fluid-dynamic systems from seismic data. *64th Ann.Int.Mtg., S.E.G.*, Los-Angeles, Houston, pp. 3.
6. Pisetski, V.B., 1995. Dislocational Rock Mechanics as a Basis for Seismic Methods in the Search for Hydrocarbons. *Vol.50:3, Revue de Hnstitut Francais du Petrole*, Paris, pp.35.
7. Писецкий В.Б., Баранский Н.Л., 1995. Физические основы распространения сейсмических волн в геомеханических средах. В книге "Геодинамика и новые типы природных резервуаров нефти и газа", Клешев К.А., Петров В.И., Шеин В.С., Недра, Москва, с. 228-247.
8. Pisetski, V.B., 1995. Dislocation fluid model : Recent applications in the prognosis of the geomechanic parameters and fluidodynamics. *65 th Ann.Int.Mtg., S.E.G.*, USA, Houston, pp. 6.
9. Pisetski, V.B., 1996. Application of the Dislocation Fluid Model Inversion of Seismic Parameters in Oil and Gas Exploration. *65 th Ann.Int.Mtg., S.E.G.*, USA, Houston, Workshop, pp. 6.
10. Pisetski, V.B., 1997. 1996-1997 Implementation of the DFM-based interpretation technology in the fields of China and Siberia. *67th Ann.Int.Mtg., S.E.G.*, USA, Dallas, pp. 6.
11. Писецкий, В.Б., 1997. Применение интерпретационной сейсмической технологии, основанной на ДФМ (дислокационно-флюидной модели) нефтегазовых территорий. *Материалы X Межотраслевого*

*координационного совещания по проблемам геодинамической безопасности*, Академия горных наук, Екатеринбург, сс. 6.

12. Писецкий В.Б., Сурнев, В.Б., 1997. Коэффициенты отражения и преломления для плоских упругих волн в предварительно напряженной среде. Деп.в ВИНТИ 15.10.97 №3058-В97, 6 с.

13. Pisetski, V., 1998. Method for Determining the Presence of Fluids in a Subterranean Formation, *US Patent*, № 5,796,678.

14. Писецкий В.Б., Талалай, А.Г., 1998. Интегрированные технологии детального изучения объектов недр- и природопользования. Материалы Международной конференции Торные науки на рубеже XXI века", РАН УрО, Екатеринбург, 9 с.

15. Pisetski, V. B., Milashin, V. A., Fedorov, U. N., Kormiltsev, V. V., 1998. Dynamic Fluid Method (DFM) interpretation of seismic data of the complex reservoirs with active fluid-dynamics. *68th Ann.Int.Mtg., S.E.G., USA, New Orlean*, pp. 6.

16. Писецкий В.Б., Федоров, Ю.Н., 1998. Динамико - флюидный метод прогноза и анализа месторождений нефти и газа по сейсмическим данным. *В сб. "Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО"*, Ханты - Мансийск, с. 150-164.

17. Pisetski, V.B., 1999. The dynamic fluid method. Extracting stress data from the seismic signal adds a new dimension to our search. *The Leading Edge, September, Vol.18, No.9, SEG*, p.1084-1093.

18. Pisetski, V.B., 1999. Integration of fracture characterization, detection of pressure anomalies and of the fluid-dynamics by the Dynamic Fluid Method. *69th Ann.Int.Mtg., S.E. G., USA, Houston*, pp.8.

19. Писецкий В.Б., Милашин, В.А., 1999. Динамическая концепция прогноза и анализа нефтяных ресурсов в Республике Татарстан. *Труды VI международной конференции "Высокосвязные нефти, природные битумы и остаточные нефти разрабатываемых месторождений"*, Казань, РАН РТ, с. 72-84.

20. Pisetski, V.B., Samsonov, V.I., Patrushev U.V., 1999. Elastic wave propagation in discontinuous models : the Dynamic Fluid Method (DFM) of fracture characterization. *69th Ann Int.Mtg, SE.G., USA, Houston*, pp. 6.
21. Писецкий В.Б., Кормильцев, В.В., Ратушняк, А.Н., 2000. Течение Дарси в деформируемом поровом пространстве. *УрО РАН, Институт геофизики. Деп.в ВИНТИ 12.01 00N15-B00*, Екатеринбург,с.11.
22. Писецкий В.Б., Волков Ю.В., Сайфутдинов, М.А., Кормильцев, В.В. и др., 2000. Детальный анализ параметров флюидодинамики месторождений нефти и газа по данным сейсморазведки. *70th Annual Meeting, SEG,Calgary, Canada*, с. 7.
23. Писецкий В.Б., Милашин, В.А., Трофимов, В.А. и др., 2000. Прогноз ловушек нефти динамического генезиса в карбонатном бассейне по комплексу технологий интерпретации сейсмических данных . *70th Annual Meeting, SEG,Calgary, Canada*, с. 9.
24. Писецкий В.Б., Кормильцев, В.В., Нургалиев, Д.К., Ратушняк, А.Н., 2001. Моделирование флюидодинамических систем, охватывающих осадочный бассейн и фундамент. *Георесурсы*. Научно-технический журнал, Казань, с.8.
25. Pisetski, V.B., and Kevin T. Englet, 2001. Hydrocarbon accumulation controls - Seismic definition of pressure distribution fields in a Paleozoic carbonate reservoir. *72th Annual Meeting, SEG, San Antonio, USA*, pp. 4.
26. Писецкий В.Б., Кормильцев, В.В., Хасанов, Р.Р., 2001. О возможной генетической связи Альметьевской магнитной аномалии с механизмом нефтенакпления ЮТС. *Международная научно-практическая конференция: Материалы международной конференции "Прогноз нефтегазонасности фундамента молодых и древних платформ"*, Казанский университет, 6 с.
27. Писецкий В.Б., Милашин, В.А. и др., 2001. Общая схема и практические результаты оценки параметров современной флюидодинамики бассейна по данным сейсморазведки. *Материалы 2-ой международной*

*конференции по разработке новых технических средств и технологий для работ на шельфе и в Мировом океане, Геленджик, сс. 5.*

28. Pisetski, V.B., Milashin, V.A., Fedorov, U.N., Matusevich, V.Y., 2001. Dynamic fluid method of reservoir characterization. Last step of interpretation - estimation of the current fluid flow: Kogalym (western Siberia) and Chagodaev (Tatarstan) field' examples. *71th Annual Meeting, SEG, San Antonio, USA*, pp.5.

29. Pisetski, V.B., and Guidish, T., 2002. Seismically Derived Reservoir Stress Distribution - Defining Optimal Zones for Hydrocarbon Accumulation. *Annual Meeting, EAGE 64<sup>th</sup> Conference & Exhibition, Floranse, Italy*, pp 5.

30. Pisetski, V., Kormilcev V., Ratushnik A., 2002. Method for predicting dynamic parameters of fluids in a Subterranean reservoir. *US Patent, № 6,498, 989 B1.*

31. Писецкий В.Б., Милашин, В.А., Трофимов, В.Л., Хазиев Ф.Ф., 2002. Обнаружение сложных нефтеперспективных объектов в отложениях терригенного девона на юго-востоке Татарстана методами высокоразрешающей сейсморазведки. *ГЕОФИЗИКА, Научно-технический журнал ЕАГО, №2, 10 с.*

32. Кормильцев В.В., Писецкий, В.Б., Ратушняк, А.Н., 2002. Моделирование температурных аномалий при конвекции в системе фундамент - осадочный чехол. *Материалы 6-й Международной конференции "К созданию общей теории нефтегазоносности недр", ГЕОС, Москва, сс.246-250.*

33. Pisetski, V.B., and Guidish, T., 2002. Using Seismic information to predict pressure variations and fluid migration pathways to optimize reservoir development plans. *73th Annual Meeting, SEG, Salt Lake City, USA*, pp. 4.

34. Pisetski, V.B., and Guidish, T., 2003. Dynamic Fluid Method (DFM) of Delineating Areas of Overpressure and Decompression in Sedimentary Media. *AAPG International Conference and Exhibition in Barcelona, Spain*, pp. 5.

35. Писецкий В.Б., Кормильцев В.В., Ратушняк, А.Н., 2003. О возможности дистанционной оценки проницаемости коллектора по данным МОВ. *УрОРАН, Институт геофизики*, Екатеринбург, сс. 11.
36. Писецкий В.Б., 2003. Оптимизация схемы и параметров разработки месторождений нефти и газа на основе динамико-флюидной модели коллекторов различного генезиса. *Материалы первого международного Евро-Азиатского машиностроительного Форума "Новые технологии и оборудование для добычи и транспортировки нефти и газа"*, Екатеринбург, сс. 4.
37. Писецкий В.Б., Дрягин, В.В., 2003. Коррекция технологий вскрытия пласта и интенсификации добычи с учетом оценки параметров макропроницаемости в дальней зоне подвода флюида к скважине. *Материалы первого международного Евро-Азиатского машиностроительного Форума "Новые технологии и оборудование для добычи и транспортировки нефти и газа"*, Екатеринбург, сс. 4.
38. Писецкий В.Б., Самсонов, В.И., Зудилин, А.Э., Патрушев, Ю.В., 2003. ДФМ - преобразование на основе коррекции сейсмического разреза по VSP с целью детального прогноза флюиодинамических параметров резервуара. *Материалы 74-ой ежегодной международной конференции и выставки, SEG*, Даллас, США, сс. 4.
39. Pisetski, V.B., 2004. DFM - the technology for oil field development monitoring and management. *Seminario Tecnico para Is Determination de la Presencia y Dinamica de Fluidos (DFM) Basados en Datos Sismicos*, Posa Rica, Mexico, pp. 42.
40. Pisetski, V.B., 2004. Particular features of the dynamics of discrete media an seen by the Dynamic Fluid Method. *Seminario Tecnico para Is Determination de la Presencia y Dinamica de Fluidos (DFM) Basados en Datos Sismicos*, Posa Rica, Mexico, pp. 26.
41. Pisetski, V.B., and Guidish, T., 2004. DFM Finds Optimal Exploration Zones, *The American Oil and Gas Reporter*, September #, USA, pp. 6.



42. Pisetski, V.B., and Guidish, T., 2004. Mapeo de la distribution de los esfuerzos en el yacimiento - identificacion de las zonas optimas para la acumulacion de hidrocarburos. *Seminario Tecnico para la Determination de la Presencia y Dinamica de Fluidos (DFM) Basados en Datos Sismicos*, Posa Rica, Mexico, pp. 18.
43. Pennington, W.D., Pisetski, V.B., 2004. Calibration of Seismic Attributes for Reservoir Characterization. *Final Technical Report for D.O.E. USA, Michigan Technological University*, October, 2002, p. 134-185.
44. Писецкий В.Б., 2005. Механизм разрушения осадочных отложений и эффекты трения в дискретных средах. *Горный журнал, Известия высших учебных заведений*, Екатеринбург, №1, с.48-65.
45. Писецкий В.Б., Крылатков СМ., 2005. О коэффициенте Пуассона нефтяных коллекторов с дискретной структурой. *Горный журнал, Известия высших учебных заведений*, Екатеринбург, №1, с.115-121.

*Для заметок*

**Издательство УГГУ**

Россия, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Тел/факс: (343)2572547

Подписано к печати 11 мая 2005 г.

Форма 60x84/16. Бумага писчая.

Плоская печать.

Усл. печ л. 2,7. Уч. издл. 2,5.

Формат 84x108/32. Тираж 100 экз. Заказ №.91



997

09 ИЮН 2005