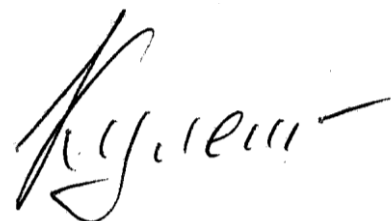


*На правах рукописи*



КУЛЕШОВ ВЛАДИСЛАВ ЕВГЕНЬЕВИЧ

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ИНТЕГРИРОВАННОГО АНАЛИЗА ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ**

Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ухта 2008

Работа выполнена в Ухтинском государственном техническом университете

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор  
Александр Иванович Кобрунов

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук, ведущий на-  
учный сотрудник Александр Сергеевич Долгаль

- кандидат физико-математических наук, доцент  
Смирнов Юрий Геннадьевич

Ведущее предприятие Филиал ООО «ВНИИГАЗ» – «Севернипигаз»,  
г. Ухта

Защита состоится «23» октября, в 10<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета  
Д 212.291.01 в Ухтинском государственном техническом университете по адресу  
169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УГТУ  
Автореферат разослан «19» сентября 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
профессор



Уляшева Н. М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Повышение эффективности геофизических работ, прежде всего работ на нефть и газ, составляет главную компоненту, обеспечивающую перспективы развития ресурсной базы. Это ключевое направление развития научного обеспечения рационального природопользования, и ему уделяется большое внимание в работах отечественных и зарубежных исследователей. Оно имеет целью решение трех основных задач:

1. контроль и повышение достоверности геологических построений с целью снижения объемов бурения скважин (за счет рационального размещения точек бурения);
2. снижение стоимости работ (за счет более полного извлечения информации из геофизических данных и использования новых математических методов и информационных технологий анализа данных);
3. повышение экологической безопасности и снижение техногенных нагрузок на окружающую среду (за счет более широкого привлечения легких модификаций геофизических методов).

Их решение лежит в сфере создания и развития новых информационных технологий для методов разведки месторождений полезных ископаемых.

Центральной проблемой на пути повышения эффективности геофизических работ во всех перечисленных компонентах служит контроль достоверности (снижение рисков) и повышение достоверности нахождения распределенных параметров внутреннего строения геологических объектов по комплексу геофизических данных. Это соответствует постановке и решению обратных задач геофизики (для монометодов) и обратных задач для системы геофизических полей для сложных моделей сред, заведомо находящихся «за горизонтом эквивалентности». Создание научных основ решения этой задачи и развитие соответствующих математических моделей – актуальное и перспективное направление. Следует отчетливо понимать, что в условиях использования сложных моделей сред, характеризующихся высокопараметризацией, лежащей в области эквивалентности, попытки «выжать» невозможное из данных одного геофизического метода приводят чаще всего к некорректным с точки зрения геологии результатам. Отсюда следует необходимость развития информационных технологий анализа комплекса геолого-геофизических данных, максимально близко моделирующих технику включения разнородной геологической информации в процесс интерпретации геофизических данных. И здесь на первое место выходят принципы такого включения в процедуры решения обратных задач. Это задачи учета одних данных при решении

обратных задач для других. Это задачи нахождения совместного решения обратных задач для разных данных со всеми вытекающими отсюда проблемами согласованности размерностей разных данных. Это, наконец, принципы включения представлений о генезисе и эволюции изучаемого объекта в процесс решения обратных задач для параметров, характеризующих его по имеющимся геофизическим данным.

### **Цель работы**

Состоит в повышении достоверности построения геолого-геофизических моделей сложно-построенных сред на основе развития теории, методов и технологий эволюционно-динамического интегрированного анализа гравиметрических данных.

### **Основные задачи исследований**

1. анализ методов инверсии, направленных на реконструкцию сложно-построенных моделей сред;
2. создание компьютерных технологий, обеспечивающих возможность решения обратной задачи гравиметрии для сложно-построенных сред;
3. анализ и классификация типовых тектоно-физических элементов Тимано-Печорской провинции (ТПП) в форме и содержании, обеспечивающих их включение в автоматизированную интерпретационную систему;
4. выполнение вычислительных экспериментов для типовых (эталонных) геолого-геофизических моделей;
5. анализ работоспособности развитой методики при решении типовых геолого-геофизических задач.

### **Научная новизна** проведенных исследований:

1. выполнено обобщение методов решения обратных задач, основанных на эволюционно-динамических подходах;
2. сформулированы и обоснованы принципы гравитационной балансировки сложно-построенных геологических сред;
3. обоснованы возможности, разработаны и реализованы принципы включения тектоно-физических характеристик развития регионов в модели интегрированного анализа гравиметрических данных.

**Основные защищаемые положения состоят в утверждениях, что:**

1. итерационные процессы решения обратных задач в рамках критериального подхода с динамически меняющимися параметрами критерия оптимальности обеспечивают возможность решения задач гравитационной балансировки модели на принципах эволюционно-динамического продолжения;
2. критерий оптимальности постановки обратных задач позволяет включать информацию о типовых тектоно-физических характеристиках региона в процесс реконструкции плотностных моделей геологических сред;
3. включение принципов эволюционно-динамического моделирования в процесс инверсии повышает достоверность построенных моделей.

**Практическая ценность**

В результате выполнения работы развита технология и выработаны методические рекомендации, позволяющие осуществлять интегрированную интерпретацию сейсмогравиметрических данных, обеспечивая эффективное включение эволюционно-динамических данных в процесс сейсмогравитационного моделирования и решения обратных задач. Технологические решения позволили оценить согласованность сейсмогравитационных моделей для регионов Тимано-Печорской провинции и шельфа Карского моря, обеспечить их балансировку и на этой основе уточнить модели строения.

**Реализация результатов работы**

Разработанные и развитые автором методики и технологии интегрированного анализа сейсмо-гравиметрических данных на основе эволюционно-динамических принципов применялись для изучения перспективных площадей Тимано-Печорской провинции, шельфа Карского моря и других территорий.

Привлечение информации эволюционно-динамического характера к интерпретации геофизических данных позволило получить более достоверные геолого-геофизические модели изучаемых объектов.

Разработанные компьютерные технологии интегрированной интерпретации на основе эволюционно-динамических принципов позволили уточнить геологическое строение исследуемых регионов и осуществить прогноз их нефтегазоносности.

Результаты исследований нашли своё отражение и представлены в научно-исследовательских отчётах по госбюджетной и хоздоговорной тематике УГТУ и КРО РАЕН, выполнены в т. ч. по заявкам ОАО «Газпром», ОАО «Газфлот» и других газо- и нефтедобывающих предприятий. Результаты, полученные при выполнении работы,

использованы в учебном процессе при подготовке специалистов и магистров по полевой нефтегазовой геофизике и геологии нефти и газа.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертации докладывались на Международном семинаре им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (Москва, 2007 г., Ухта 2008 г.), Международной научно-практической конференции-выставке «Санкт-Петербург-2008» (Санкт-Петербург, 2008 г.), Межрегиональной научно-практической конференции «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения» (Воркута, 2006 г.), Международной научно-практической конференции «Геомодель-2006» (Геленджик, 2006 г.), Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех» (Ухта, 2006 г.), научно-технической конференции УГТУ (Ухта, 2006 г., 2007 г.), научной конференции «Перспективы нефтегазоносности малоизученных территорий севера и северо-востока европейской части России» (Сыктывкар, 2007 г.), Региональной научно-практической конференции «Проблемы управления в XXI веке» (Ухта, 2007 г.), научных семинарах Ухтинского государственного технического университета и КРО РАЕН.

По теме диссертации опубликовано 15 работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 190 наименований, содержит 115 страниц текста, включая 52 рисунка.

### **Благодарности:**

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, доктору физико-математических наук, профессору, академику Российской академии естественных наук А. И. Кобрунову за постановку задачи, оказание огромной помощи и постоянный контроль на всех этапах научно-исследовательской работы, а также кандидату технических наук, доценту С. В. Шиловой за внимание и помощь в практической реализации научных исследований.

Автор признателен ректору УГТУ, профессору, доктору технических наук Н. Д. Цхадая и зав. кафедрой геологии нефти и газа, доценту А. Н. Смирнову за создание оптимальных условий, понимание и постоянное внимание к работе.

Автор благодарен к. т. н. И. И. Волковой, к. г.-м. н. Н. П. Демченко, к. г.-м. н. В. А. Зыкову, доценту М. Б. Шмарёвой за заложение основ научно-исследовательской работы, а так же д. г.-м. н. А. И. Дьяконову, д. г.-м. н. Л. В. Пармузиной, к. г.-м. н. Л. П. Шилову и к. г.-м. н. А. М. Плякину за консультации и советы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** изложена актуальность тематики диссертационной работы, цель работы, основные задачи, научная новизна и практическая значимость выполненных исследований.

**В первой главе** проведён комплексный анализ методов и технологий инверсии, прежде всего гравиметрических данных, направленных на реконструкцию сложно-построенных моделей геологических сред. Основываясь на работах В. Н. Страхова (1970-2007) автор рассматривает этапы развития теории и практики интерпретации потенциальных полей. Приведена их классификация, периодизация, подведены основные итоги. Развитие информационного геофизического обеспечения и информационно-статистической теории методов инверсии прослежены по работам Ф. М. Гольцмана и Т. Б. Калининой (1997), А. А. Никитина (1999), Г. И. Каратаева (1996). Выполнен анализ методов инверсии, направленных на реконструкцию сложно-построенных моделей сред в условиях эквивалентности и скрытой эквивалентности (А. И. Кобрунов, 1999).

Развитие методов инверсии гравиметрических данных – это движение от совсем простых к простым, далее сложным и очень сложным моделям, используемым для описания геологических сред. Эта эволюция методов может быть охарактеризована различными способами, например, в терминах размерности параметризации используемой модели. По мере усложнения задач параметризация (на этапе инверсии) повышала свою размерность. Соответственно наблюдались: эффекты уменьшения числа обусловленности обрабатываемых матриц (которые неизбежно возникали), возрастание эффектов неустойчивости, возникновение эффектов практической неединственности ( $\varepsilon$  - эквивалентности) и, наконец, вхождение в область эквивалентности. По сути своей эта динамика – динамика соотношений между параметризациями и классом эквивалентности для соответствующей обратной задачи. Именно она стоит за плечами любой претендующей на полноту классификации методов инверсии при решении обратных задач гравиметрии.

В соответствии с классификацией, предложенной, В. Н. Страховым, а так же изложенной в работах А. И. Кобрунова (1978-2008), выделяется четыре типа задач, по мере развития ставившихся перед геофизическими методами и перед гравиразведкой в частности:

1. обнаружение геологических объектов (новых объектов в предварительно сформированной геологической модели) – совсем простые модели: *да - нет*;
2. пространственная локализация обнаруженных объектов – простые модели, эквивалентность отсутствует;
3. расчленение геологического разреза (или его фрагмента) – сложные модели, возникает явление скрытой эквивалентности по А. И. Кобрунову и  $\varepsilon$ -эквивалентность;

4. детальное описание геологического разреза (или его фрагмента) – сложные модели с заведомо включенными в себя областями теоретической эквивалентности.

Постановки этих задач последовательно рассматриваются в работе. Они соответствуют и различным историческим рубежам развития теории, и реализующей ее результаты технологии извлечения информации из гравиметрических данных. Движущей силой этой эволюции служит необходимость повышения достоверности построения геолого-геофизических моделей сложно-построенных сред. А это требует введения сложных и очень сложных моделей сред на этапе постановки задачи инверсии. Собственно возможности гравиметрии как монометода были исчерпаны во втором и частично в третьем типе задач приведенных выше. Для задач расчленения разреза, в модель которого включены требующие определения внутренние области, а тем более для задач детального описания разреза, включающих в себя выявление локальных распределений параметров внутри области, инверсия данных заведомо неразрешима. А это наиболее, если не единственно, значимые и важные задачи. Рассмотрение моделей простых сред или не включающих изучение внутренней структуры – чаще всего задачи с «выхолощенным» геологическим смыслом. Практика поисково-разведочных работ требует введения сложных и очень сложных моделей, для которых и следует развивать теорию и методы извлечения информации из геофизических данных. Именно эти задачи необходимо решать и именно они рассматриваются далее. Невозможность инверсии для таких параметризаций связана с фактом эквивалентности, и для ее преодоления следует вводить дополнительные данные, по сути своей либо фиксирующие те или иные компоненты модели, либо фиксирующие допустимые комбинации параметров этой модели, либо делающие и то и другое.

В работе рассмотрены методы, которые на уровне постановок задач реализуют эти подходы.

Прежде всего, следует отметить большое число методов инверсии, основанных на введении ограничений на искомые значения параметров, характеризующих модель среды. Эти работы восходят к А. А. Юнькову (1958), Е. Г. Булаху (1973), С. В. Шалаеву (1972), В. И. Старостенко (1978), А. А. Непомнящих (1976) и продолжены большим числом авторов (см. известную работу В. Н. Страхова «Общая схема и основные итоги развития теории и практики потенциальных полей в СССР и России в XX веке», опубликованную в трудах конференции «Развитие гравиметрии и магнитометрии в XX веке»). Аргументом для введения параметризаций и ограничений на значения параметров в этих методах, которые чаще всего называют методами призматической аппроксимации и аппроксимационным подходом, служит возможность достаточно хорошей аппроксимации моделью подразумеваемой среды. Ограничение, которое тормозит развитие этих подходов, состоит в том, что в них проявляется



эффект скрытой эквивалентности, теоретически обоснованный А. И. Кобруновым (1981), а практически экспериментально обнаруженный сразу после создания первых автоматизированных технологий инверсии. Его описание не включено в диссертацию, поэтому здесь рассматриваться не будет.

Альтернативный подход, который выше охарактеризован как определение допустимых комбинаций параметров модели, реализован в принципах использования критериев оптимальности для параметров среды при постановке задач инверсии. Этот подход состоит в следующем. Формируется функционал  $J(\sigma)$ , оценивающий качество того или иного из элементов выбранной многопараметрической модели среды, либо сам функционал  $J(\sigma)$  включает в себя конструкцию невязки полей. Далее решается задача максимизации этого качества при условии, что поле от  $\sigma$  соответствует заданному (с наперед заданной точностью). Эта задача на условный экстремум решается либо прямыми методами, что крайне неудобно, либо строится уравнение Эйлера (необходимые условия экстремума), которому решение должно удовлетворять. Это уравнение и определяет те допустимые комбинации параметризаций, которые ограничивают область эквивалентности. Далее необходимо из набора этих комбинаций всего лишь выделить тот элемент, который с требуемой точностью создает как раз необходимое поле. Этот путь имеет, несмотря на кажущуюся простоту формулировки, очень много различных модификаций, связанных прежде всего с тем, как формируется функционал  $J(\sigma)$ , и какой смысл в него вкладывается. Это также зависит от того, является ли исходный модельный класс классом единственности или эквивалентности. К методам подобного типа относятся методы регуляризации при инверсии гравиметрических данных (В. Н. Страхов, В. И. Старостенко, В. П. Танана, В. В. Васин, А. Н. Тихонов, М. М. Лаврентьев и многие др. (См. статью В. Н. Страхова, о которой упоминается выше)). Центральной проблемой, которая возникает в рамках такого подхода, является проблема выбора критерия оптимальности  $J(\sigma)$ . Свойства решения предопределены этим выбором. Оказывается, что для сложных и очень сложных моделей сред, казалось бы, разумные и хорошо аргументированные приемы выбора этого функционала (например, принцип наименьших квадратов или коэффициент корреляции) приводят к парадоксальным и бессмысленным в геологическом отношении результатам. Свойства этих решений исследовались А. И. Кобруновым (1976-1990), В. Н. Страховым (1977-1980), В. И. Старостенко (1976-1978), С. М. Оганесяном (1981-1987), А. С. Маргулисом (1984), В. М. Новосилицким (1981). Возникла необходимость создания методики выбора этих критериев как реальных носителей геолого-геофизической информации. Здесь следует отметить работы А. И. Кобрунова (1979-2007), В. А. Варфоломеева (1981), Р. П. Денисюка (1981), А. П. Петровского (1997), С. В. Моисеенковой (1998), С. В. Шиловой (2000) и многих других. Слабая управляемость геологической содержательностью результата, исклю-

чительно большая изменчивость и зависимость решения от вариации параметров критерия оптимальности (И. И. Приезжев, А. И. Кобрунов, О. И. Журавлева, 1980) привели к необходимости модификации подхода в систему геофизических методов и прежде всего, имея в виду задачи нефтегазопромысловой геофизики, сейсмогравиметрии. Так возникли методы совместного решения обратных задач сейсмогравиметрии в критериальной постановке и технологии, реализующие эти методы (А. И. Кобрунов, А. П. Петровский, С. В. Шилова, 1980-2008). Здесь прежде всего следует определить и совместить размерность параметров (скоростных и плотностных). Однако эта задача легко решается, если ограничиться структурными моделями, которые одинаковы как у сейсмических, так и у гравитационных моделей. Те же модели используются и в чисто геологических построениях. Путь совместного решения обратных задач (совместной инверсии) – это несомненно прогрессивный и имеющий далеко идущие перспективы подход. Однако он также не включает в себя очень важные компоненты реально используемых геологом приемов геологического истолкования геофизических данных. Эти приемы состоят в использовании информации о генезисе объектов. Но для того, чтобы его формализовать и ввести в процедуру постановки инверсии данных, надо дать ему некоторое математическое описание. Исчерпывающе это сделать не удастся, однако можно выделить несколько очень важных конструктивных компонент. Это, во-первых, эволюция развития объекта, например складчатого образования или бассейна. Эта компонента подчиняется уравнению течения вязкой среды, в частности уравнению Навье-Стокса или уравнению сохранения массы. Во-вторых, это сбалансированность результирующих построений относительно системы физико-механических параметров, например, гравитационная сбалансированность. В качестве принципа сбалансированности могут выступать физико-механические законы и уравнения геофизических полей. Таким образом, принцип сбалансированности включает в себя постановку обратных задач для соответствующих геофизических методов. Совокупность эволюционных уравнений и динамических принципов сбалансированности мы называем эволюционно-динамическими принципами. Эволюционно-динамический принцип является определяющим в процессе геологического истолкования геофизических данных и несомненно должен найти отражение в соответствующих постановках задачи инверсии.

Совершенно понятно то обстоятельство, что использование геодинамических принципов в процессе интерпретации геофизических данных – сложный, многокомпонентный и неформализованный процесс. По-видимому, конструктивно он неформализуем в полном виде. Возможна лишь формализация некоторых элементов геодинамики, таких, например, как эволюционные процессы, моделируемые вязким течением (А. Т. Исмаил-заде, Б. М. Наймарк и др., 1997). Максимальный набор таких формализованных элементов в последующем позво-

лит создать более полную структуру учета генезиса при анализе геофизических данных, состоящую из формализованных фрагментов, как элементов общей структуры. Такой путь развивался, в частности, В. П. Мясниковым, В. О. Михайловым, В. М. Гординым, Е. П. Тимошкиной и др., (1979-2007). Моделирование динамических и эволюционно-динамических процессов опирается на известные параметры вязкости, которые входят, например, в уравнение Навье-Стокса. Это известное уравнение вязких течений, получаемое из закона сохранения массы. Решение этого уравнения неустойчиво относительно вариаций параметров вязкости. В условиях их приближенного задания получаемые результаты чаще следует рассматривать как качественные, оценочные. Однако, само эволюционное уравнение может служить ограничивающим фактором эквивалентности для задачи инверсии, обеспечивающим учет генезиса объекта на некотором эффективном «отрезке времени». В этом понимании введение эволюционно-динамических уравнений в процесс инверсии геофизических, в частности гравиметрических данных, аналогично принципу использования внешних критериев оптимальности относительно параметров среды. Оно также дает характеристику «допустимого многообразия» решений, следующего на этот раз из эволюционных уравнений (а не уравнений Эйлера для вариационной задачи), на котором и следует выбрать элемент – предельный элемент «эволюции», характеризующийся тем, что поле от него есть требуемое. Этот принцип также допускает многочисленные интерпретации. Например, его можно интерпретировать, как введение для эволюционных уравнений краевых условий – соблюдение заданных геофизических полей (В. И. Старостенко, 2004). Все сказанное требует внимательного рассмотрения самих геодинамических принципов как признаков нефтегазоносности (гл.2), а так же процедур их включения в интерпретационный процесс (гл.4).

**Во второй главе** «Геодинамика и нефтегазоносность» рассмотрены принципы введения итогов геодинамического анализа при построении моделей нефтегазоносных бассейнов с использованием геофизических данных, в частности гравиметрических. Ключевую роль в методах геодинамического анализа играет оценка сбалансированности по тем или иным принципам (физико-механическим, сейсмическим) физико-геологических моделей и внесение в нее минимальных балансирующих корректив (А. И. Кобрунов, С. В. Шилова, В. Е. Кулешов, 2005).

Обобщая проведенный в работе анализ методов решения обратных задач на основе эволюционно-динамических подходов, мы выделяем последовательность, составляющую их классификацию, которая служит конструктивной основой методов инверсии и выбора методики анализа данных (см. Рис. 1. А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, 2007).

Постановки задач инверсии, поясняющие эволюционно-динамические методы из приведенных на рис. 1, даны в уравнениях (1 - 5) на рис. 2. Пунктиром на рис. 1 приведено

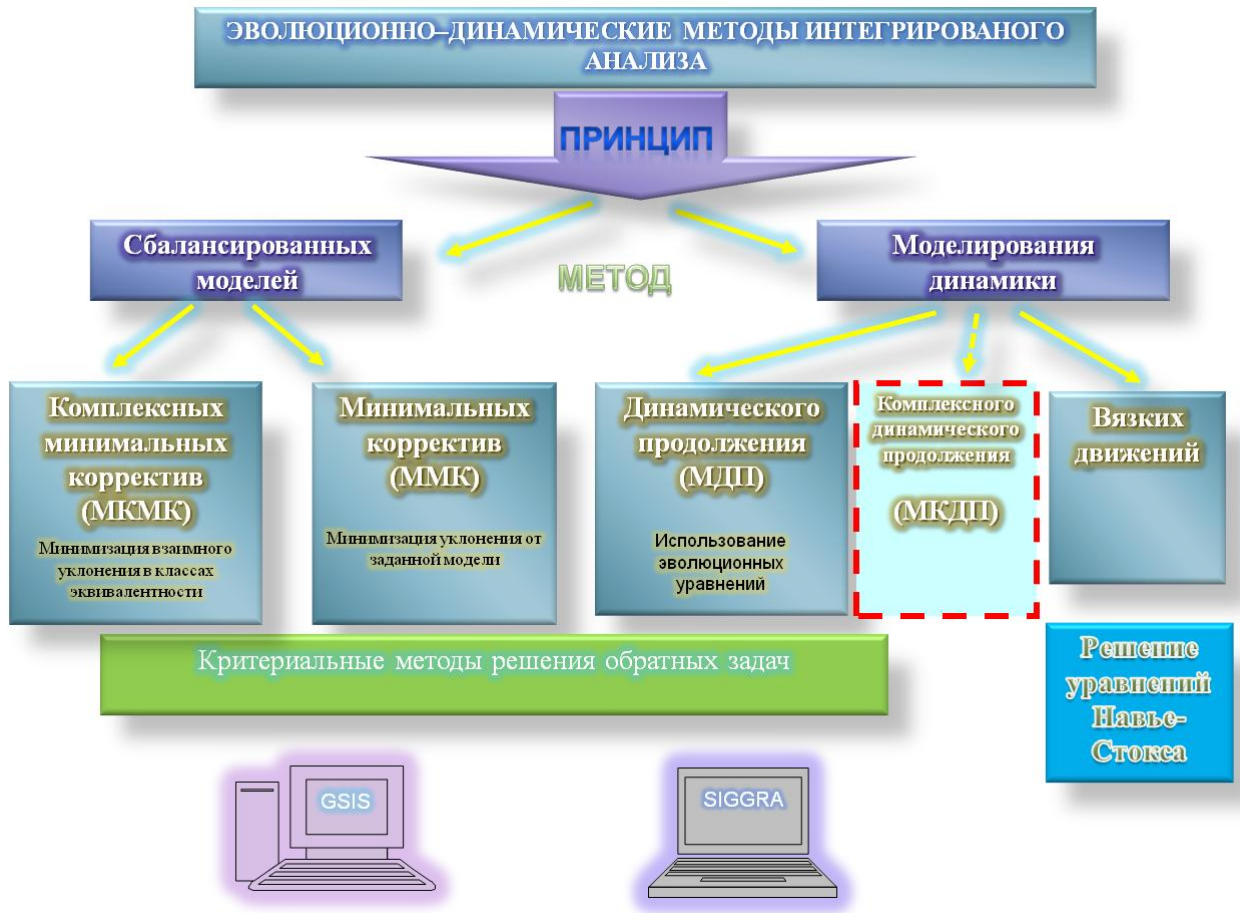


Рис. 1. Схема эволюционно-динамических подходов интегрированного анализа геофизических данных.

Метод комплексных минимальных корректив <b>МКМК</b>	Метод минимальных корректив <b>ММК</b>	Метод динамического продолжения <b>МДП</b>
$(1) \begin{cases} A(\xi(\mathbf{x})) = u(s), \\ B(\eta(\mathbf{x})) = y(s), \\ J(\xi(\mathbf{x}) - \eta(\mathbf{x})) \rightarrow \min. \end{cases}$	$(2) \begin{cases} A(\xi(\mathbf{x})) = u(s) \\ J(\xi(\mathbf{x}) - \eta(\mathbf{x})) \rightarrow \min. \end{cases}$	$(3) \begin{cases} \Xi[\xi(t, v)] = 0, \\ \xi(t_0, v) = \eta(v), \\ \lim_{t \rightarrow T} A(\xi(t, v)) = u(s). \end{cases}$
↓	↓	↓
$(4) \begin{cases} \xi^{i+1}(v) = \eta^i(v) + \alpha_i G_A[\varphi_A^i(s)], \\ \eta^{i+1}(v) = \xi^{i+1}(v) + \beta_i G_B[\varphi_B^i(s)] \\ \eta^0(v) = \xi^0(v) = \eta(v), \\ \varphi_A^i(s) = A(\xi^i(v)) - u(s) \\ \varphi_B^i(s) = B(\xi^i(v)) - y(s) \end{cases}$	$(5) \begin{cases} \xi^{i+1}(v) = \xi^i(v) + \alpha_i G[\varphi^i(s)], \\ \xi^0(v) = \eta(v), \\ \varphi^i(s) = A(\xi^i(v)) - u(s) \end{cases}$	

Рис. 2. Формулировки задач инверсии в эволюционно-динамических методах интегрированного анализа.

видимое дальнейшее развитие методов, которое не излагается, поскольку не включено в защищаемые положения. Более подробное описание приведено в [1]. Пояснения к обозначениям следующие:  $\xi, \eta$  – распределение физических параметров, для которых решается обратная задача;  $u, y$  – наблюдаемые геофизические поля,  $J$  – критерий оптимальности;  $A(\xi(x)), B(\eta(x))$  – операторы решения прямой задачи (сейсморазведка, гравиразведка) для распределений параметров  $\xi(x), (\eta(x))$ .  $J(\cdot)$  – функционал, оценивающий меру удаления двух моделей.  $\Xi[\xi(t, v)] = 0$  – эволюционное уравнение для параметра  $\xi(t, v)$  относительно эффективного «времени»  $t$  развития системы, которое начинается в момент  $t_0$  и продолжается до тех пор, пока не окажется соблюденным условие современного поля.  $\alpha$  – параметр релаксации,  $G$  – сверточный оператор, связанный с производными от операторов  $A$  и  $B$ .

В рамках идеи сбалансированных моделей мы выделяем три метода (см. рис. 1), третий из которых (МДП) включается также в идеологию моделирования динамики в соответствии со сформулированным утверждением о том, что принцип балансировки означает проверку согласованности с заданным физическим полем либо физическими законами. *Методы минимальных корректив* состоят в нахождении минимально уклоняющегося заданного критерия оптимальности  $J$  от построенной модели  $\eta$  распределения  $\xi$  (см. рис. 2). Этот принцип работает только для монометодов. В том случае, когда работает система методов, мы вводим идею *комплексных минимальных корректив*, которая состоит во взаимной увязке моделей для разных методов. Взаимная увязка имеет отличительную особенность, состоящую в том, что требуется нахождение таких распределений различных физических параметров, каждое из которых, соблюдая своё поле, менее всего уклоняется друг от друга. Принцип наименьшего уклонения друг от друга позволяет отойти от поиска решения, одновременно удовлетворяющего и одному и другому полю. Это положительное качество, в связи с тем, что такого решения просто не существует. *Метод динамического продолжения* (комплексного динамического продолжения) по своей формульной записи использует эволюционные уравнения и реализует, как уже говорилось выше, построение такого распределения из семейства удовлетворяющих заданному уравнению динамики, которое в пределе обеспечивает сопротивление заданного поля. Однако реализация метода сводится к итерационному процессу, аналогично тому, который использовался в методе минимальных корректив и в методе комплексных минимальных корректив. Отличие состоит лишь в том, что оператор  $G$ , связанный с видом критерия оптимальности в последнем методе является динамически меняющимся от шага к шагу.

Для моделирования процессов эволюции следует задать модель среды и перечень геодинамических параметров, определяющих эволюцию системы. На этом основан *метод вязких движений*.

Эволюционное уравнение, использованное выше, включает в себя вязкие параметры. Однако можно ограничиться более простыми уравнениями движения массы, в которых вместо вязкости заданы векторы скорости движения с точностью до параметров, определяемых по гравитационному полю. Однако такой путь требует знания в целом характерных для региона векторов скоростей движения. Уточняться должны лишь вариации, характерные для конкретной локальной задачи. В противном случае задача оказывается нерешаема по причине незнания параметров вязкости и законов ее формирования. Таким образом, для данного региона необходимо экспериментально изучить типовые структурно-тектонические элементы, которые далее следует использовать по принципу подобия для формирования параметров критерия оптимальности в эволюционно-динамическом подходе. Это требует сбора и систематизации материала по геодинамическим характеристикам региона, пригодным для включения в постановку обратных задач. В этой области накоплен достаточно большой опыт и получены значимые результаты, связанные с проблемами эволюции, геодинамики и нефтегазоносности осадочных бассейнов. Однако рассмотрение этих вопросов должно осуществляться для конкретного региона и в той части, которая допускает включение результатов в постановку задачи инверсии данных.

Для достижения целей, поставленных перед настоящей, работой и решения вытекающих из нее задач необходимо формирование представлений об основных типах геодинамических процессов, часть из которых рассматривается ниже.

В работах Хаина В. Е., Клещева К. А., Шеина В. С., и др. (1990) обоснован ряд новых теоретических положений, и объединены разработки в области применения теории тектоники плит в нефтегазовой геологии. Это позволяет создать геодинамическую основу прогноза и поисков нефти и газа, разработать модели строения, эволюции НГБ, рассмотреть геологию и нефтегазоносность крупных регионов, например арктических акваторий (Гаврилов В.П. и др.), юга бывшего СССР (Клещев К.А., Шейн В.С.), территорий и акваторий Российской Федерации в целом. Каждое из указанных направлений по-своему способствует повышению достоверности прогноза нефтегазоносности. Практическое направление приближено к решению задач прогноза и поисков нефти и газа.

Клещев К. А. и Шейн В. С. выделяют в своих работах составляющие современной геодинамической основы прогноза поисков и разведки нефти и газа.

Геодинамический анализ применим и имеет специфические особенности на разных этапах геолого-разведочного процесса – региональном, поисковом и разведочном.

Многие задачи регионального, поискового и разведочного этапов геологоразведочного процесса находятся на ранней стадии их решения. Например, выяснение влияния современного напряженно-деформационного поля на геофизические параметры, в первую очередь на сейсмические. Недостаточно используются геодинамические критерии при нефтегазогео-

логическом районировании при оценке перспектив нефтегазоносности. На основе такого районирования (Астафьев С. В., 1997, Зоненшайн Л. П., 1999; Игнатова В. А., 2003, Пешкова И. Н., Соколов Б. А., 1990 и др.) выделено пять крупных групп бассейнов, характеризующих их эволюцию: I – континентальных и межконтинентальных палеорифтов и надрифтовых прогибов, депрессий, II – пассивных, трансформных континентальных палеоокраин и краевых прогибов, III – океанических рифтов, IV – орогенов столкновения плит, V – областей схождения плит (активных континентальных палеоокраин, островных дуг, окраинных морей).

Тимано-Печорский НГБ относится ко II группе – пассивной окраины (R-C<sub>1</sub>) Восточно-Европейского палеоконтинента и краевого прогиба (P-T<sub>1</sub>), трансформированных столкновением с палеоконтинентом Баренция (V), с палеомикроконтинентами, островными дугами (Є<sub>2</sub>, D<sub>1</sub>-D<sub>2ef</sub>, C<sub>1</sub>-T) и изостазией (T<sub>3</sub>-Q).

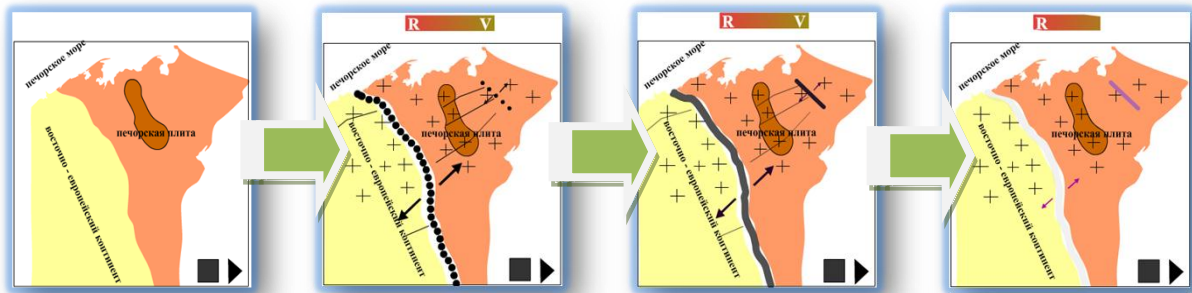
Анализ распределения УВ-ресурсов мира, образованных в разных геодинамических обстановках, осуществленный Геологической службой США (Ульмишек Г. и др., 2004), показал, что наибольшими ресурсами обладают бассейны пассивных континентальных палеоокраин и предорогеновых прогибов.

Т.о., в главе 2 дано обоснование привлечения информации геодинамического характера (эволюция развития НГБ) в эволюционно-динамическом подходе как альтернативы сложным математическим уравнениям, в частности уравнениям Навье-Стокса.

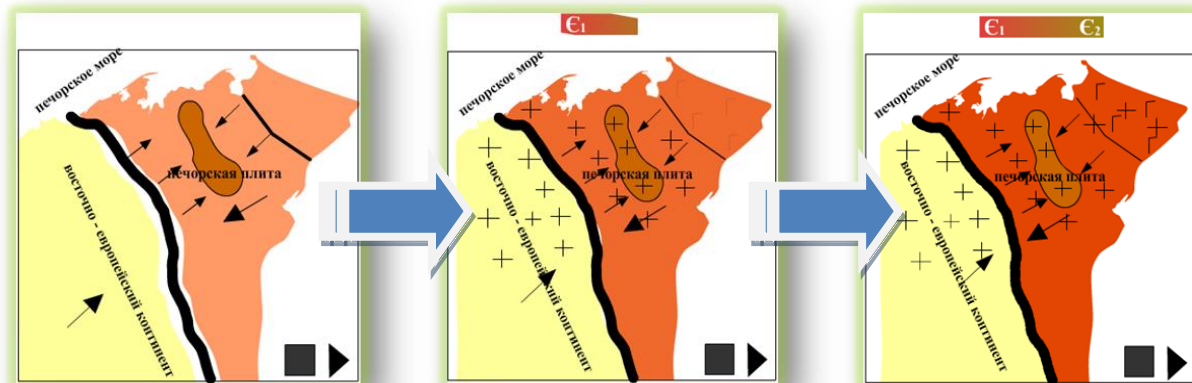
**Третья глава** посвящена анализу и классификации типовых моделей геодинамического развития ТПП и других регионов в форме и содержании, обеспечивающих их включение в интерпретационный процесс. Проанализированы наиболее распространённые модельные представления: Михеева В. А., Иванова К. С., Коротеева В. А., Кузнецова Н. Б., Соболевой А. А., Русина А. И., «рифтогенно-коллизийная» концепция Душина В. А., «рифтогенная» концепция Пучкова В. Н., «океаническая» концепция Самыгина С. Г. и др.

Геодинамическая эволюция истории ТПП рассматривает характер и последовательность развития во времени плитотектонических процессов и явлений в геодинамическом цикле и в стратиграфическом разрезе.

Тимано-Печорская литосферная плита принимается в объеме от Западно-Тиманского разлома до Главного Уральского надвига на востоке (В. В. Юдин, В. А. Дедеев, 1987; В. Н. Пучков, 1997; Н. И. Тимонин, 1998; Н. А. Малышев, 1998; А. И. Дьяконов, 1999 и др.). Прослежена эволюция Тимано-Печорской провинции и процессы, её сопровождающие. Построены модели развития ТПП во времени. (Рис.3).



а) рифей – венд



б) кембрий



Рис.3. Модели развития Тимано-Печорской провинции. (По материалам В. В. Юдина, В. А. Дедеева, В. Н. Пучкова, Н. И. Тимонина, Н. А. Малышева, А. И. Дьяконова и др.)

Анализ геодинамической эволюции и плитотектонических режимов Печорской плиты позволяет установить ряд характерных условий оценочных показателей раздельного качественного и количественного прогноза нефти и газа.

В главе отражена характеристика и эволюция разломных структур ТПП, обобщены данные о геологических характеристиках, образовании и положении разломных структур и систем разломов. Большинство разломов ТПП и других регионов приурочены к нефтегазовым залежам и месторождениям.

В качестве примера локальной структуры из состава ТПП исследована схема формирования гряды Ченышева. Исходя из приведённых данных, сделаны выводы о структурной эволюции гряды по материалам А. Б. Кирмасова (2002).

Что касается других регионов, то для включения в интерпретационный процесс могут быть использованы геодинамические следствия, рассмотренные в работах В. Н. Глазнева



(2003), в которых представлен широкий спектр материала по комплексному геолого-геофизическому моделированию литосферы Балтийского региона. Такие результаты нашли свое подтверждение в наблюдаемых проявлениях современной тектонической активности исследуемой территории.

При формировании модельных представлений и систематизации материала количество базовых моделей может быть значительно сокращено благодаря идеям фрактальности в геологии. Одни и те же модели, например сброс, могут быть одинаковы на региональном, на локальном и на зональном уровнях.

Базовыми кинематическими типами глубинных региональных разломов ТПП являются сбросы и взбросы (Н. А. Малышев, А. И. Дьяконов). Например, на участке региональных геологических разрезов, проходящих через Припечорскую и Шапкинскую зоны разломов, наблюдаются сбросы и взбросы, форма и простирание которых повторяется и на локальном уровне в районе Шапкинского и Южно-Шапкинского месторождений.

Разломы северо-западного простирания и опирающие их северо-восточные разбивают всю структуру Тимана на блоки, а внутри этих блоков выделяются точно такие же по форме и простиранию, только более мелкие по масштабам.

Другим примером из состава ТПП служат брахиантиклинальные структуры, которые выделяются на региональных профилях (22-РС) на участке Ижма-Печорской и Верхне-Печорской впадины. На локальном уровне их форма повторяется в Пашнинской, Мичаюнской, Восточно- и Северо-Савиноборской структурах. Аналогичная ситуация наблюдается для Западно-Тэбукского месторождения. Здесь форма брахиантиклинальных структур также схожа с формой региональных структур Омра-Сойвинской и Тэбукской ступеней (Региональный профиль КМПВ I-Ф). Однако в нижней части разреза Западно-Тэбукского месторождения форма антиклиналей изменяется и не совпадает с локальными структурами.

Четласская горст-антиклиналь имеет северо-западное простирание. Она образована двумя крупными разломами. Блок выдвинут и смят в антиклинальную складку. Эта антиклиналь отражается на крыльях аналогичными складками более высоких порядков северо-восточного простирания до микроскладчатости (наблюдаются складки размерами до нескольких сантиметров). Сама складка является структурой первого порядка, и на обеих крыльях выделяется второй порядок и более. Здесь мелкие складки подчёркивают крупную. (А. М. Плякин, В. М. Пачуковский, 1968)

Т. о., использование принципов фрактальности позволяет не заботиться о размерах, а говорить лишь о геометрических и топологических особенностях физико-геологических моделей.

**Четвёртая глава** «Программно-методическое обеспечение инверсии с использованием эволюционно-динамических принципов» посвящена описанию созданных компьютерных технологий, обеспечивающих возможность решения обратной задачи гравиметрии для сложно-построенных сред, и характеристике методических приемов пользования системой. Также приведены примеры выполнения вычислительных экспериментов на основе этих технологий для типовых (эталонных) геолого-геофизических моделей.

Эволюционно-динамический подход нашёл своё применение в программных продуктах GCIS, SIGGRA (включает в себя два независимых модуля SIGGRA(s) и SIGGRA (g)) и VIP. Совокупность и стыковка программ в единую технологию интегрированной интерпретации обеспечивается посредством форматов ввода-вывода. (Рис. 4). В главе сделан акцент на методический аспект получения, корректировки и балансировки моделей различного строения.

Автоматизированная система GCIS (Geophysical Complex Interpretation System – система комплексной интерпретации геофизических данных, авторы А. П. Петровский, А. И. Кобрунов и др.)

*1) обеспечивает:*

- решение задач прогнозирования геологического разреза на основе количественной комплексной интерпретации сейсмогравитационных данных;
- построение структурно-плотностных моделей геологических сред и выявления в них локальных неоднородностей;
- построение структурно-скоростных моделей и уточнение строения геологического разреза в условиях низкой информативности данных сейморазведки;

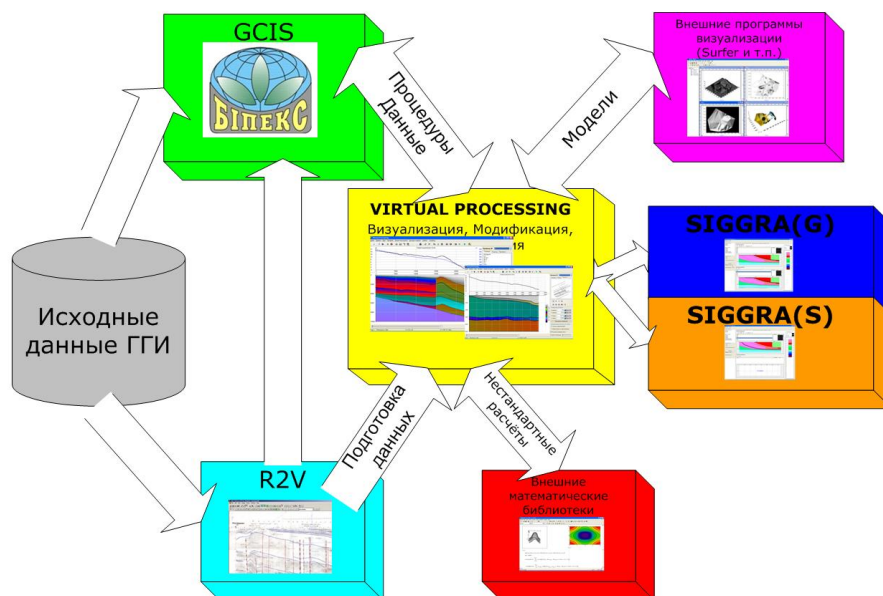


Рис. 4. Технология обработки ГГИ

- построение согласованных сейсмо-гравиметрических моделей.

2) *включает в себя процедуры:*

- решение эффективной кинематической задачи сейсморазведки на оптимизационных принципах;
- построения оптимальных структурно-плотностных моделей;
- построения локальных плотностных неоднородностей по некомпенсированной структурной модели компоненты гравитационного поля;
- согласования скоростных и плотностных моделей.

Более подробное изложение и состав системы приведены в работе [12].

Система VIP (авторы Д. Г. Григорьев, А. И. Кобрунов) в рамках технологии является интегрирующим модулем и обеспечивает импорт данных и параметров из системы GCIS, визуализацию и редактирование данных.

Программный комплекс SIGGRA (автор А. И. Кобрунов, реконструкция С. С. Антонов, В. Е. Кулешов) включает в себя два независимых модуля SIGGRA(s) и SIGGRA (g) которые ориентированы на реконструкцию среды в терминах модели распределений плотности (SIGGRA (s)) и модели среды в терминах системы плотностных границ (SIGGRA (g)), на основе принципов гравитационной балансировки. Их комбинация – интерактивное исполнение, которое позволяет изучать модели, содержащие как структурные элементы, так и зоны локальных плотностных аномалий. Некоторые функции инверсии, предусмотренные в комплексе GSIS, дублируются в комплексе SIGGRA. Однако в отличие от GSIS, ориентированного на совместное решение обратных задач сейсмогравиметрии, комплекс SIGGRA ориентирован на методы гравитационной инверсии с включением эволюционно-динамических принципов. Сращивание этих комплексов в единое целое при одновременном возможном включении внешних математических библиотек для выполнения процедур специальной обработки данных выполнено за счет программного комплекса VIP.

Программные комплексы SIGGRA обеспечивают:

- построение структурных моделей среды в виде системы плотностных границ и плотностных моделей геологических сред в виде распределений плотности, соответствующих заданному гравитационному полю и оптимальных относительно введенной априорной информации о среде, выраженной в виде параметров критерия оптимальности и нулевых приближений;
- учет влияния рельефа;
- формирование нулевого приближения и параметров критерия оптимальности с помощью встроенного графического редактора ввода-вывода структурных геологических моделей (gran);

- возможность автоматизированного формирования нулевого приближения и параметров критерия оптимальности, получаемых по методу построения эффективных распределений (например, это может быть метод полного нормированного градиента, с таким же успехом может использоваться система Вектор Новосилицкого);
- возможность создания "синтезированной" структурно-плотностной модели, полученной из результатов решения обратных задач в классе плотностных моделей (SIGGRA(s)) и структурных (SIGGRA (g));
- возможность учёта при интерпретации эволюционно-динамических принципов.

После выделения элементов, характерных для строения и эволюции региона, эта информация используется в качестве критерия оптимальности в эволюционно-динамическом подходе. С помощью программных комплексов SIGGRA (s) и SIGGRA (g) в исходную модель вносятся коррективы. Границы пошагово изменяются согласно введённым данным. Пример внесения пошаговых изменений модели приведён на рис.5. Вначале задаётся модификатор (имитатор модели) в соответствии с типовым элементом строения региона, к которому относится изучаемая модель. Затем выделяется участок модели и изменяется согласно заданному модификатору.

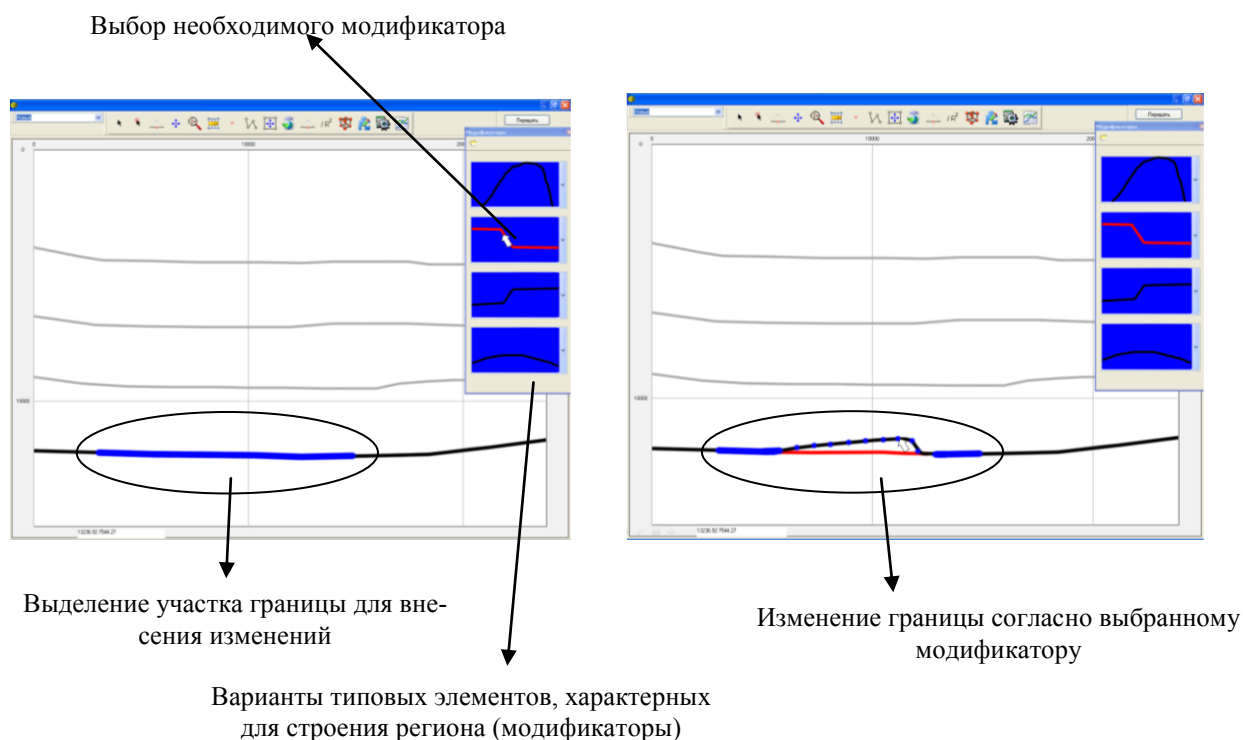


Рис. 5. Автоматизированный режим воспроизведения деформаций.

Структурные элементы вводятся как весовые и свёрточные критерии оптимальности и работают в качестве параметров, обеспечивающих преимущественную вариацию модели. Свёрточные критерии выполняют роль получения подобных моделей, и приоритет в модели-

ровании идёт в направлении подобия, а весовые критерии обеспечивают на выделенном участке вертикальные движения, характерные для структурно-тектонической обстановки региона. Процесс балансировки модели заканчивается тогда, когда наблюденное и рассчитанное поля после итерационного процесса достигнут минимальной возможной разницы. Т.о., на выходе получается геолого-геофизическая модель, которая сбалансирована не только с геофизическими полями, но и с дополнительными к ним данными (в нашем случае эволюционно-динамическими). Для гравиметрии и сейсморазведки процесс моделирования осуществляется с помощью технологии интегрированного анализа геолого-геофизической информации, в рамках которой, как уже отмечено выше, реализованы ММК, МКМК и МДП.

**В пятой главе** работы приведены примеры использования технологий, основанных на эволюционно-динамических принципах для изучения нефтегазовых месторождений.

Исходными данными служили сформировавшиеся модельные представления о геологическом строении объекта. В результате использования идей и принципов эволюционно-динамического анализа было обнаружено, что полученные ранее результаты не сбалансированы. Они противоречили друг другу, сами себе, наблюдаемым геофизическим полям и нуждались в пересмотре(корректировке), что и было сделано.

В результате объёмного сейсмогравитационного моделирования на Обской губе Карского моря с использованием ММК пересмотрено строение Хамбатејско-Бухаринской структуры: построена согласованная структурно-плотностная модель, уточнено геологическое строение перспективного участка, построены геоплотностные срезы на разных глубинах. На геоплотностных срезах, совмещённых со структурными картами по основным перспективным отражающим горизонтам, выявлены аномалии, которые могут совпадать с нефтегазоперспективными зонами, т. е. это своеобразный синтез плотностной и структурной модели.

На Юньяхинской площади первоначальная модель плохо согласовывалась с гравитационным полем, что говорит об ее гравитационной несбалансированности. После выполнения балансировочных преобразований на основе МКМК сохранилась нижняя структура разреза, а верхняя часть была реконструирована.

Аналогичным образом с использованием метода МКМК проведено моделирование участка месторождения «Геофизическое» в районе Карского моря.

Согласно целевому назначению всех работ, на основе эволюционно-динамических принципов были построены сбалансированные объёмные геолого-геофизические (сейсмогравитационные) модели исследуемых участков с целью изучения их глубинного строения и выработки рекомендаций для проведения дальнейших детализационных ГР работ.

## Заключение

Основные итоги выполненных в диссертации исследований состоят в следующем:

1. Выполненный анализ эволюции принципов, лежащих в основе инверсии гравиметрических данных приводит к выводу о том, что для сложных и практически значимых геологических задач гравиметрический метод не имеет самостоятельного значения, но приобретает новое качество как база для интегрированного анализа комплекса геолого-геофизических данных. Роль гравиметрии состоит в реальных задачах и в оценке сбалансированности моделей, что служит фактором снижения рисков при последующих детализационных работах.

2. Разработанные теоретические положения для методов интегрированного анализа гравиметрических данных на основе эволюционно-динамических принципов, созданное программное обеспечение и выработанные базовые методические приемы обеспечивают возможность анализа сложных многокомпонентных моделей сред с включением в процесс инверсии данных о генезисе и эволюции системы.

3. Одним из основных методических приемов включения эволюционно-динамических принципов в процесс инверсии гравиметрических данных является конкретно-региональный геодинамический анализ, результатом которого служит библиотека типовых структурно-тектонических единиц, характерных для данного региона, включаемых в алгоритмы формирования критериев оптимальности в процессе инверсии данных.

4. Выполненная пилотная апробация методов и рекомендаций для регионов ТПП и Карского морей показала их эффективность для построения сложных моделей и одновременно определила основные направления дальнейших исследований.

5. Основным направлением дальнейших теоретических исследований алгоритмических реализаций и методических работ в области использования гравиметрии при изучении сложно-построенных сред должно служить развитие методов совместного решения обратных задач с использованием эволюционно-динамических принципов.

6. Автор рекомендует применение развитых методов (включая программное обеспечение и методику) интегрированного анализа гравиметрических данных на основе эволюционно-динамических принципов на площадях со сложным геологическим строением с целью построения сбалансированных геолого-геофизических моделей, что в свою очередь позволит добиться повышения достоверности моделирования и снизит «риски» поисково-разведочного бурения.

### Список опубликованных работ:

1. Кулешов В. Е., Кобрунов С. А. О методе балансировки при поисках мелких и слабоконтрастных месторождений нефти и газа // 4-я межрегиональная научно-практическая конференция «Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения» (12-14 марта 2006 г.; Воркута): Труды конференции. – Сыктывкар: Изд-во СЛИ, 2006 г. – С. 608-613.

2. Кулешов В. Е. Возможности применения технологий, основанных на комплексной интерпретации данных, для решения задач инженерной геофизики // Вторая международная научно-практическая конференция «Инженерная геофизика -2006» (17-22 апреля 2006 г.; Геленджик): Тезисы докладов. – Москва: Изд-во МГУ, 2006 г. – С. 42-43.

3. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Петровский А. П., Шилова С. В., и др. Технологии интегрированного эволюционно-динамического анализа гравиметрических данных // VII-ая международная научно-практическая конференция «Геомодель–2006» (17-22 сентября 2006 г.; Геленджик): Тезисы докладов. – Москва: Изд-во МГУ, 2006 г. – С. 239-240.

4. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Петровский А. П., Шилова С. В., и др. Теория и методы интегрированного эволюционно-динамического анализа гравиметрических данных // VII-ая международная научно-практическая конференция «Геомодель–2006» (17-22 сентября 2006 г.; Геленджик): Тезисы докладов. – Москва: Изд-во МГУ, 2006 г. – С. 175-176.

5. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Петровский А. П., Шилова С. В., и др. Принципы и подходы гравитационной балансировки при интегрированном эволюционно-динамическом анализе гравиметрических данных // VII-ая международная научно-практическая конференция «Геомодель–2006» (17-22 сентября 2006 г.; Геленджик): Тезисы докладов. – Москва: Изд-во МГУ, 2006 г. – С. 176-178.

6. Кулешов В. Е. Интегрированные технологии интерпретации и возможности их взаимодействия // Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех – 2006» (17-19 марта 2006 г.; Ухта): Материалы конференции. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2006 г. С. 99-104.

7. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Шилова С. В., Григорьев Д. Г. Результаты предварительной интерпретации сейсмогравиметрических данных с применением интегрированного комплекса программ (на примере шельфа Карского моря) // VII научно-техническая конференция (18-26 апреля 2006 г.; Ухта): Сборник научных трудов. – Ухта: Изд-во УГТУ, 2006 г. С. 45-49.

8. Вельтистова О. М., Шилова С. В., Кулешов В. Е., Урбан А. В. Моделирование сейсмогеологических разрезов Лемвинской складчато-надвиговой зоны на основе комплексной интерпретации геолого-геофизических данных // 34-я сессия Международного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (29 февраля – 3 февраля 2007 г.; Москва): Материалы семинара. – Москва: Изд-во ИФЗ РАН, 2007 г. С. 59-62.

9. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Антонов С. С. Интегрированные технологии, обеспечивающие эволюционно-динамический анализ геолого-геофизических данных // 34-я сессия Международного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (29 февраля – 3 февраля 2007 г.; Москва): Материалы семинара. – Москва: Изд-во ИФЗ РАН, 2007 г. С. 137-140.

10. Кулешов В. Е., Шилова С. В., Колесов В. В. Результаты объемного сейсмогравитационного моделирования в пределах акватории Обской губы Карского моря // 34-я сессия Международного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (29 февраля – 3 февраля 2007 г.; Москва): Материалы семинара. – Москва: Изд-во ИФЗ РАН, 2007 г. С. 286-289.

11. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Шилова С. В. Технология и методика интегрированной интерпретации сейсмогравиметрических данных // Научная конференция «Перспективы нефтегазоносности малоизученных территорий севера и северо-востока европейской части России» (9-10 октября 2007 г.; Сыктывкар): Тезисы докладов. – Москва: Изд-во ИГиРГИ, 2007 г. – С. 69-71.

12. Кулешов В. Е., Шилова С. В., Урбан А. В. Функциональные особенности программного обеспечения автоматизированного комплекса GCIS // Региональная научно-практическая конференция «Проблемы управления в XXI веке» (16-18 октября 2007 г.; Ухта): Материалы конференции. – Ухта: Изд-во Института управления, информации и бизнеса, 2007 г. – С. 25-29.

13. Кулешов В. Е., Кобрунов А. И., Шилова С. В. Повышение достоверности построения геолого-геофизических моделей на поисково-разведочном этапе работ на нефть и газ // Нефтяное хозяйство. – 2007. – №10. С. 64 -67.

14. Кулешов В. Е. Развитие новых подходов в эволюционно-динамических методах и технологиях интегрированного анализа ГГИ // 35-я сессия Международного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (29 февраля – 3 февраля 2008 г.; Ухта): Материалы семинара. – Ухта: 2008 г. С. 169-177.