

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Российский государственный геологоразведочный университет**

На правах рукописи
УДК-550.8.028

Перепечкин Михаил Валентинович

**Технология построения геологических моделей по геолого-
геофизическим данным в программном комплексе DV-Geo.**

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук.

Москва. 2007

Работа выполнена в Центральной Геофизической Экспедиции

Научный руководитель: Доктор технических наук,
Академик РАН, А.С.Кашик

Официальные оппоненты: Доктор физико-математических наук
А.В. Петров
Кандидат технических наук
Р.Б. Сержантов

Ведущее предприятие – Корпоративный Научно – Технический Центр
ОАО «НК» Роснефть»

Защита состоится “24” мая 2007 г. в 15⁰⁰ часов на заседании Диссертационного совета Д.212.121.07 в Московском государственном геологоразведочном университете по адресу 117485, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, МГГРУ. ауд. 6-38.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан “24” апреля 2007 г.

Научный секретарь Диссертационного совета
к.т.н., профессор

Г.Н. Боганик



Общая характеристика работы

Актуальность темы. Построение геологических моделей, подготовка их для дальнейшей апробации при подсчете запасов и проектировании разработки, а также дальнейшая актуализация включает в себя ряд технологических этапов, охватывающих широкий круг задач, требующих развитого программного обеспечения. В их числе организация базы данных предметной области, алгоритмы обработки данных на различных этапах моделирования, контроль хода выполнения работ, подготовка отчетной документации и передача результатов заказчику.

В настоящее время для решения этих задач имеется ряд программных продуктов как зарубежного, так и отечественного производства. Из зарубежных систем для геологического моделирования широко используются следующие: Tigress, Irap RMS (ROXAR), PETREL (Schlumberger), GOCAD, StrataModel (Landmark). Основная их особенность – это мощные корпоративные системы, построенные по модульному принципу, старающиеся охватить всю технологическую цепочку, необходимую для решения задач построения геологических моделей, предлагающие пользователю широкий круг возможностей с поддержкой различных подходов к решению проблем моделирования. Преимущество таких систем складывается из мощной научной и финансовой составляющей фирм разработчиков, а также развитой сети организаций, осуществляющих методическую, техническую и маркетинговую поддержку программного продукта в интересах конечного пользователя. По существу, программный комплекс в данном случае, это не только сама по себе компьютерная программа, но и вся совокупность поддерживающих ее организаций. Однако, в этом заключается и недостаток таких систем, заключающийся в основном в очень высокой стоимости приобретения и владения для конечного пользователя, неэффективной обратной связью пользователь – разработчик и зачастую невозможностью методических подразделений своевременно реагировать на проблемы пользователя. Многие отечественные потребители таких систем также являются большими компаниями, построенными по корпоративному принципу с четко регламентированной последовательностью решения задач и зачастую не слишком беспокоящихся о конкуренции на рынке сервисных услуг по построению геологических моделей.

Для другой части отечественных предприятий, пользователей программных продуктов построения геологических моделей необходим более дешевый, возможно более простой в освоении программный продукт, желательно отечественной разработки, реализующий решение поставленной задачи и легко внедряемый в технологическую цепочку предприятия. Особую важность имеет адаптация программы к потребностям отечественного пользователя, и в тоже время совместимость с западными пакетами по возможности решаемых задач.

Для решения этой проблемы актуальной становится разработка программного комплекса, удовлетворяющего вышеперечисленным требованиям. Необходимости ее решения понимают практически все отечественные разработчики и потенциальные пользователи таких систем.

Данная работа посвящена созданию программного комплекса DV - Geo , позволяющего реализовать технологию построения геологических моделей на основе интеграции базы геолого-геофизических данных, базы знаний, реализованной в самом программном комплексе в виде уникальных алгоритмов, и базы профессиональных геологических знаний, имеющейся у непосредственного пользователя программного комплекса.

Цели и задачи. Целью работы является создание компьютерных технологий построения геологических моделей и сведение этих технологий в единый программный комплекс (систему).

Достижение указанных целей связано с решением следующих основных задач:

1. Определение основных принципов построения, структуры и функционального наполнения системы построения геологических моделей.
2. Разработка системных программных средств комплекса.
3. Разработка прикладных алгоритмов построения геологических моделей.
4. Создание рабочей версии системы и внедрение ее в технологическую цепочку работ конкретного предприятия.

Научная новизна. В процессе выполнения работы получены результаты, обладающие научной новизной:

1. Определены основные принципы построения, структуры и функционального наполнения системы создания геологических моделей.
2. Предложены и разработаны алгоритмы картопостроения геологических моделей.
3. Предложен и разработан алгоритм осреднения данных обработки ГИС на сетку трехмерной геологической модели.
4. Предложены и разработаны алгоритмы объемного распространения коллекторов по данным обработки ГИС с использованием принципиальной модели.
5. Предложены и разработаны алгоритмы распространения петрофизических параметров в межскважинном пространстве.
6. Разработан программный комплекс DV-Geo, обеспечивающий создание трехмерных геологических моделей и обеспечивающий изображение геологической среды полученных объектов.

Защищаемые положения.

1. Разработанный метод построения геологических карт и карт фильтрационно-емкостных свойств позволяет на большом числе неоднородных геолого-геофизических данных и разнообразии решаемых задач эффективно подобрать параметры алгоритмов картопостроения для получения результатов требуемого качества и геологической достоверности.
2. Использование заданного значения приоритетного литотипа и коэффициента его заполнения по мощности при осреднении данных результатов интерпретации ГИС на ячейки трехмерной геологической сетки, позволяет добиться повышения точности воспроизведения эффективных мощностей коллектора и средневзвешенных значений петрофизических параметров скважин в 3D геологической модели.
3. Использование разработанного метода объемной локализации коллекторов с применением принципиальной модели строения продуктивного пласта позволяет добиться максимального соответствия послойных и трехмерных цифровых геологических моделей при одинаковом наборе исходных геолого-геофизических и промысловых данных.
4. Созданная компьютерная технология динамической визуализации, защищенная рядом патентов РФ на изобретения, применяемая для создания инструментов корректировки исходных и итоговых данных, в том числе результатов корреляции разрезов скважин, повышает надежность построения послойных и трехмерных моделей месторождений УВ и обеспечивает проверку их качества и достоверности.

Практическая значимость. Практическая значимость работы заключается в создании оригинального программного комплекса, позволяющего организовать на его основе производственный процесс построения геологических моделей с использованием данных ГИС, результатов анализов керна и данных интерпретации сейсморазведки. По результату проведения исследований получено 5 патентов на изобретение.

Реализация и апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научном симпозиуме «Новые технологии в геофизике», г.Уфа, 2001г., на международном технологическом симпозиуме «Интенсификация Добычи Нефти и Газа», РАГС при Президенте РФ, г.Москва, 2003г., на международной конференции ЕАГО в г. Санкт-Петербург в 2006 г.

Приведенные в диссертации разработки реализованы при создании программного комплекса DV-Geo, который используется в ОАО Центральная Геофизическая Экспедиция (ЦГЭ) и во многих других организациях.

Технология построения геологических моделей и подсчета запасов в ПК DV-Geo и собственно сами алгоритмы программного комплекса рассмотрены на НТС ГКЗ Российской Федерации. Программный комплекс DV-Geo рекомендован для использования проектным и сервисным организациям, нефтяным и нефтегазовым компаниям, проводящим моделирование и подсчет запасов на месторождениях углеводородов.

С использованием программного комплекса DV-Geo только в ОАО «ЦГЭ» выполнено построение геологических моделей ряда месторождений западной, восточной Сибири, Прибалтики, Волго-Уральского региона, Республики Казахстан и др. Всего в отечественных и зарубежных сервисных и нефтяных компаниях работают более 100 лицензий программного комплекса DV – Geo. Кроме ОАО «ЦГЭ» DV-Geo используется в НК «Роснефть», ОАО «ВНИИнефть», ОАО «СамараНИПИнефть», и других организациях. Программный комплекс DV-Geo установлен в ряде учебных заведений для проведения занятий по обучению построения геологических моделей.

Публикации и личный вклад в решение проблемы. Диссертация основана на теоретических, методических и экспериментальных исследованиях выполненных автором. Также надо отметить, что некоторые механизмы организации анализа данных являются частью идеологической структуры технологии динамической визуализации (DV), предложенной и развивающейся под руководством доктора физмат наук, академика РАН А.С. Кашика. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения 4 глав и заключения и содержит 142 страницы машинописного текста, 48 рисунков. Список литературы включает 74 наименования.

Автор считает приятным долгом выразить глубокую благодарность научному руководителю доктору технических наук А.С. Кашику за систематические консультации, советы, конструктивные замечания и предложения, доктору физ.-мат. наук А.А.Никитину за постоянную поддержку, а также всему коллективу отделения геоинформационных технологий ЦГЭ за оказанную помощь, особенно к.т.н. С.И.Билибину за консультации в области методики построения геологических моделей.

Содержание работы.

Глава I. Геологические модели и технологии построения геологических моделей.

В этой главе идет обсуждение современного состояния технологии создания трехмерных геологических моделей, в ходе которого формулируются требования к компьютерной системе трехмерного геологического моделирования.

В начале главы вводятся основные определения геоинформатики, понятие геологической модели и постоянно действующей геологической модели.

Далее рассматриваются два основных подхода применяемые в настоящее время при создании геологических моделей, детерминистский и стохастический. Даются определения и технология применения каждого из подходов. В обоих случаях выделяются этапы создания геологических модели:

- Подготовка исходных данных;
- Структурное моделирование;
- 3D литологическое моделирование;
- 3D моделирование параметров ФЕС;
- Оценка запасов;

Для каждого этапа определяется цель, результат и приводится описание путей их достижения с определением возможных проблем возникающих в процессе построения геологических моделей.

В конце главы определяются основные требования к программной системе построения трехмерных геологических моделей.

- Из-за большого объема разнообразных данных, используемых при моделировании на различных этапах, система должна включать в себя базу данных, содержащую и позволяющую совместно манипулировать как исходными данными, так и результатами построения. Желательно, чтобы доступ к данным был организован в понятных для геолога-интерпретатора терминах, соответствующих терминам предметной области. Лучше всего для этого использовать объектно-ориентированный способ представления данных.
- Для контроля исходных данных и результатов интерпретации необходимо иметь развитый интерфейс визуализации, позволяющий проводить совместный анализ всех данных с использованием различных типов представлений: визуализация объектов в пространстве 3D, визуализация объектов в различных, связанных между собой сечениях пространства 3D, планах и профилях.
- Из-за неоднозначности данных и многовариантности предполагаемых результатов, необходимо иметь возможность гибкого планирования пользователем процесса моделирования с возможностью одновременного доступа к алгоритмам и результатам всех его этапов.
- Постоянное развитие методик моделирования, необходимость использования системы для решения задач с различным набором исходных данных требуют наличия в системе гибкой возможности расширения алгоритмической базы силами коллектива самих пользователей.

Глава II. Обзор программных реализаций технологий для создания геологических моделей.

В этой главе вводится понятие о интерпретационном комплексе геологического моделирования как о комплексе, интегрирующим в себе данные сейсморазведки, ГИС и керна, РГИ (результат геофизических исследований скважин), детальную корреляцию разрезов, разнообразные карты, а также слабо формализованные знания и опыт геологов, позволяющий создавать 3D геологические модели, наполнять их всевозможными параметрами в соответствии с сейсмическими и скважинными данными, учитывать статистические тренды, а также подготавливать полученные геологические данные для гидродинамического моделирования.

Далее во второй главе рассмотрена структура известных программных комплексов геологического моделирования на примере зарубежного программного пакета Igar RMS и отечественного программного комплекса «ПАНГЕЯ». В конце введения второй главы отмечается, что структура рассмотренных программных комплексов в основном соответствует требованиям, изложенным в первой главе диссертации.

Далее во второй главе описана технология построения геологических моделей на примере программного комплекса Igar RMS. Технология моделирования выдерживает все основные этапы создания геологических моделей, описанные в первой главе диссертации. В первом параграфе второй главы подробно рассматриваются алгоритмы интерполяции, реализованные в программном комплексе Igar RMS для выполнения задач построения структурной модели. Во втором параграфе приводится описание того как в программном комплексе Igar RMS организован процесс создания трехмерной геологической сетки. Приводится описание различных вариантов возможных типов геологических сеток и рассмотрены способы организации слоев 3D геологической сетки по глубине. Следует отметить, что представление сетки в программном комплексе Igar RMS заключается в явном хранении координат каждого узла трехмерной сетки, это приводит к проблемам при работе с большими и очень большими сетками трехмерных геологических моделей, которые проявляются в снижении производительности и возникновении дефицита адресного пространства в 32 двух разрядной компьютерной системе. Далее в этом параграфе рассматривается вопрос о корректном переносе на ячейки 3D-сетки скважинной информации, которая станет основой для литологического и петрофизического моделирования. Под скважинной информацией (скважинными кривыми) понимается широкий спектр данных: кривые различных методов ГИС, результаты их интерпретации, результаты исследований керна, интервалы перфорации, результаты опробований пластов, литологическая колонка, кривая стратиграфии и т.п. Следует отметить, что технология и алгоритмы осреднения, реализованные в программном комплексе Igar RMS не подходят, для осреднения кривых попластовой обработки ГИС из-за того, что границы пластов трехмерной геологической сетки не совпадают с границами пластов в этих кривых.

Третий параграф второй главы содержит описание технологии литологического моделирования реализованной разработчиками в программном комплексе Igar RMS. Целью этого этапа является получение представления о пространственном распространении пород различных литотипов, встречаемых на месторождении, и создании трехмерного параметра литологии, который соответствовал бы этим представлениям. Для литологического моделирования в Igar RMS реализованы два существующих на сегодняшний день подхода: детерминистский и стохастический. Они различаются объемом исходной информации и алгоритмами моделирования. Детерминистский подход основан на 3D интерполяции геофизических параметров и их последующей дискретизации (выделения типов пород) с учетом заданных трендов. Стохастическое моделирование использует статистические характеристики для описания различных типов пород и закономерности процесса осадконакопления. Каждый из этих подходов обладает своими особенностями, достоинствами и недостатками, что позволяет

в различных ситуациях, для достижения требуемых результатов, использовать их раздельно или комбинируя. В этом параграфе описан алгоритм трехмерной интерполяции, использующийся для распространения параметров в трехмерной геологической сетке. Техника интерполяции, используемая в Irap RMS, базируется на вычислении средних значений с учетом весов и анизотропии и имеет много общего с техникой интерполяции, называемой Moving Average.

В четвертом параграфе второй главы подробно описан процесс построения стохастической литологической модели в программном комплексе Irap RMS. Irap RMS использует концепцию стохастического моделирования, созданную в восьмидесятих годах фирмой Geomatic для системы SESIMIRA. Используемый метод лучше всего классифицировать как метод моделирования объектов или процесс отмеченной точки (marked point process) и относящегося к классу дискретных стохастических моделей. Основное и достаточно разумное допущение состоит в том, что поле трёхмерного распределения типов пород в пространстве предполагается дискретным. Это означает, что в одной ячейке трёхмерной сетке может находиться только один литотип.

В пятом параграфе дается описание процесса петрофизического моделирования реализованного в программном комплексе Irap RMS. Этап петрофизического моделирования основывается на результатах этапа литологического моделирования и заключается в моделировании пространственного распространения коллекторских свойств и насыщения. При этом, коллекторские свойства моделируются отдельно для каждого типа пород, что позволяет сохранить резкие границы в их изменении при переходе от одного типа пород к другому.

Также как и для литологического моделирования Irap RMS для проведения петрофизического моделирования, предлагает два основных подхода: детерминистский и стохастический.

Детерминистское моделирование

- 3D интерполяция петрофизических свойств с учетом литологии.
- Использование трендов
- Пересчет петрофизических параметров по корреляционным зависимостям.

Стохастическое моделирование

- Вероятностное моделирование распределения петрофизических параметров на основе их статистических характеристик с учетом литологии.

Целью данного этапа является получение реалистического пространственного распределения петрофизических параметров с учетом литологии.

В шестом, последнем параграфе второй главы описана методика подсчета запасов в программном комплексе Irap RMS.

В завершении второй главы делаются следующие заключения:

Программный комплекс Irap RMS предлагает технологию, вполне согласующуюся с требованиями, изложенными в главе I. Но следует отметить ряд недостатков связанных с применением программного комплекса Irap RMS.

- Жесткая структура набора создаваемых горизонтов.
- Фиксированная сетка 3D модели.
- Отсутствие простого, универсального способа интерполяции.
- Алгоритм осреднения скважинных данных на ячейки 3D модели не обеспечивает адекватного осреднения попластовых кривых.
- Отсутствует простой, универсальный способ согласования 3D литологической модели с представлением о ней геолога интерпретатора.
- Отсутствует гибкость и затруднительна адаптация инструмента к задачам конкретного пользователя.

- Комплекс обеспечивает низкую производительность труда при построении моделей с большими объемами исходных данных.
- Значительные затраты на приобретение и владение программным комплексом.

Следует отметить, что технология построения геологических моделей в другом известном автору программном комплексе PETREL практически идентична по своим возможностям комплексу Igar RMS.

Глава III. Реализация технологий построения геологических моделей в программном комплексе DV-Geo.

В этой главе описывается реализация технологии и методика построения геологических моделей в программном комплексе DV-Geo. Введение к третьей главе содержит описание структуры программного комплекса и содержит перечень решаемых с его помощью задач:

- Загрузка и сопровождение базы данных
- Экспорт данных
- ручная и полуавтоматическая корреляция с быстрым доступом к скважинной информации посредством инструмента динамических селекторов,
- статистическая обработка скважинных данных, обработка ГИС, стандартизация, комплексная интерпретация
- двухмерное и трехмерное моделирование распределения петрофизических, литофациальных и промысловых свойств пластов на основе интерпретации скважинных данных с учетом контрольных точек, трендовых линий, линий разломов, сейсмических карт. Построение модели с учетом атрибутов(карт толщин, расчлененности, распределения параметра), возможность использования регулярных и нерегулярных сеток для построения моделей
- подсчет запасов и построение карт подсчетных параметров с учетом структурных и литологических особенностей залежи
- выделение объемных областей модели с заданными свойствами, выделение связанных областей, линз,
- детальное изучение процессов осадконакопления, формирования структур и т.д. на основе палеотектонического анализа,
- подготовка данных для гидродинамического моделирования путем пересчета модели на сетку с укрупненными ячейками,
- использование единого интерактивного аппарата динамического визуального анализа данных,
- формирование графических отчетных материалов,
- формирование отчетных материалов в текстовом формате и формате Excel.

Далее отмечается, что в программе обеспечивается совместная визуализация входных данных и результатов интерпретации, что обеспечивает постоянный контроль над качеством построения моделей.

Инструменты визуализации состоят из набора связанных пространств различной размерности:

- 1D - профиль для визуализации скважин, данных ГИС, результатов интерпретации, структурных поверхностей и 3D моделей,

- 2D – планы различных сечений трехмерного пространства для визуализации плана расположения скважин, скважин, структурных моделей, карт параметров геологических кубов и создания профилей,
- 3D – трехмерная визуализация используется для создания сечений, визуализации скважин, структурных поверхностей, геологических кубов.

Первый параграф третьей главы содержит описание организации системных компонентов программного комплекса DV-Geo, где подробно приводится иерархия и характеристика основных модулей системы и намечаются пути их дальнейшего развития.

Второй параграф содержит описание принципов организации данных и построения интерфейса пользователя. В DV-Geo предлагается абстрагировать интерфейс пользователя от реализованной базы данных и представлять все данные в качестве совокупности объектов и связей между ними. Для манипулирования данными предлагается использование расширяемого списка процедур, непосредственно связанного с данными или непосредственно являющегося объектом данных. Для решения этой задачи была введена классификация данных представляющих предметную область задачи геологического моделирования. В ходе изучения модели данных выяснилось, что объекты могут представлять собой как обособленные сущности, так и группироваться в иерархические структуры, определяемые логикой предметной области. Для организации интерфейса пользователя базы данных в пакете DV-Geo используются два принципа: принцип группировки объектов и принцип группировки процедур. Принцип группировки объектов реализован посредством древовидного представления данных доступных пользователю через интерфейс списка объектов(рис.1).

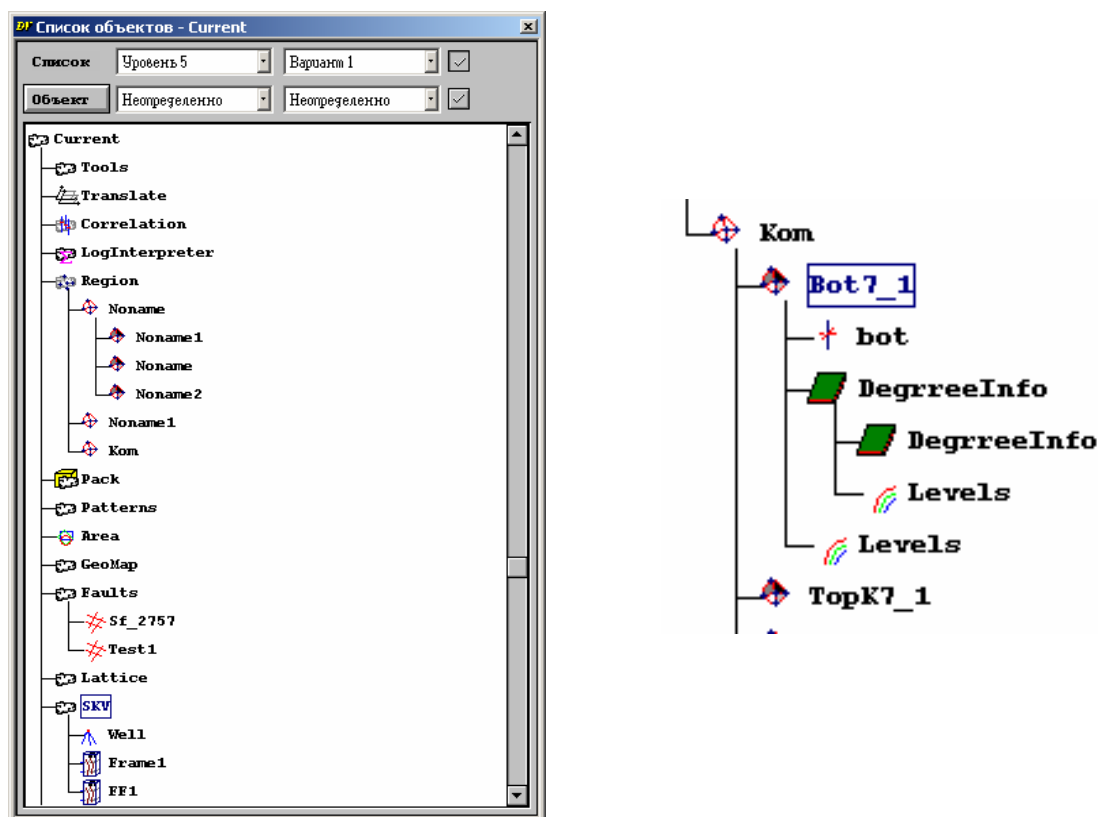


Рис. 1.

Иерархическое представление модели данных.

Данный принцип группировки объектов определяет также принцип группировки обрабатываемых процедур для этих объектов, то есть процедуры (операции), которые возможно выполнить в данный момент над объектом, доступны через этот объект. На примере структурной поверхности такие процедуры представляются через иерархическое меню, вызываемое для объекта (рис.2).

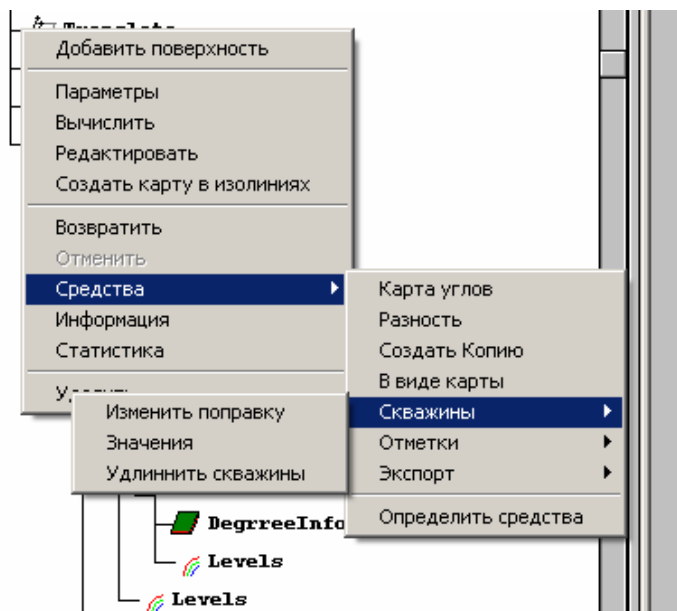


Рис.2.

Иерархическое меню, содержащее список вызова доступных операций для объекта.

Не менее важным аспектом для системы геологического моделирования являются принципы организации интерфейса пользователя для визуализации и интерактивной манипуляции данными. В основу организации интерфейса пользователя в программном комплексе DV-Geo положен принцип динамической визуализации, предложенный А.С.Кашиком и развиваемый под его руководством в Центральной Геофизической Экспедиции, в том числе и автором диссертации.

Принцип динамической визуализации базируется на одновременной визуализации объектов в различных связанных между собой пространствах, с непосредственным отображением динамики изменений их свойств со стороны пользователя или внутренних процессов, происходящих в самом объекте. В данный процесс вовлекаются не только объекты базы данных, но и сама база данных в ее отображении через интерфейс пользователя.

Далее в третьем параграфе принцип динамической визуализации демонстрируется на примере процедуры ручной корреляции.

Автором предлагается следующая методика: скважины располагаются на плане, для их выбора используется графический объект – динамический селектор. Динамический селектор – это курсор, позволяющий выбрать группу расположенных на плане скважин. Предложено несколько вариантов динамического селектора: рамка, эллипс и более привычный для специалиста геолога профиль.

Селектор может свободно перемещаться по плану расположения скважин, охватывая в каждый момент различное множество объектов. На плане может одновременно находиться произвольное число селекторов, выбранные ими множества объектов могут

пересекаться. С селектором связан другой объект – динамический планшет, который в каждый момент отображает набор выбранных скважин (рис.4).

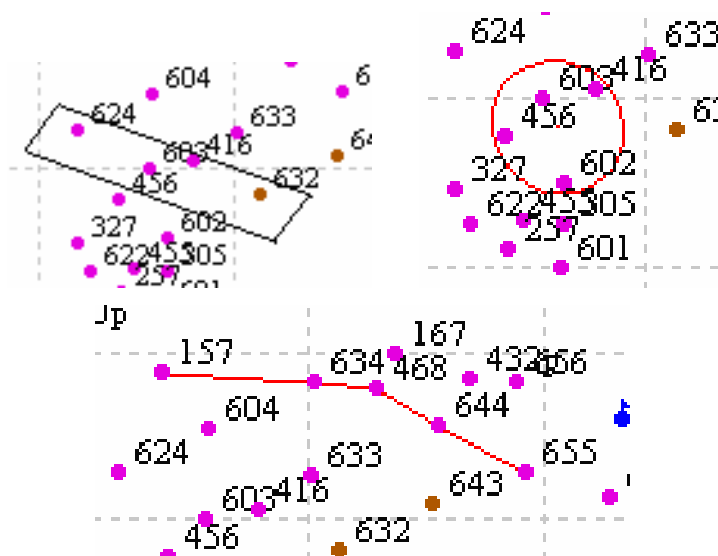


Рис.3.

Типы динамических селекторов.



Рис.4.

Отображение выбранных селектором скважин на динамическом планшете.

Планшет содержит скважины с выбранными для корреляции методами ГИС. При изменении положения селектора меняется множество выбранных скважин, соответственно меняется набор скважин и на планшете, при этом для вновь подгружаемых скважин сохраняются ранее установленный масштаб, диапазон глубин и набор визуализируемых объектов. Одновременно с каждым селектором можно связать несколько планшетов, задав для них различный набор визуализируемых объектов или различный масштаб и разный диапазон глубин. Проставляемый репер помещается на план расположения скважин и на профиль. Такой репер на профиле одновременно отображается и на плане расположения скважин в виде кодированного цветом объекта. Цвету репера соответствует его глубина относительно нулевого уровня (рис. 5).

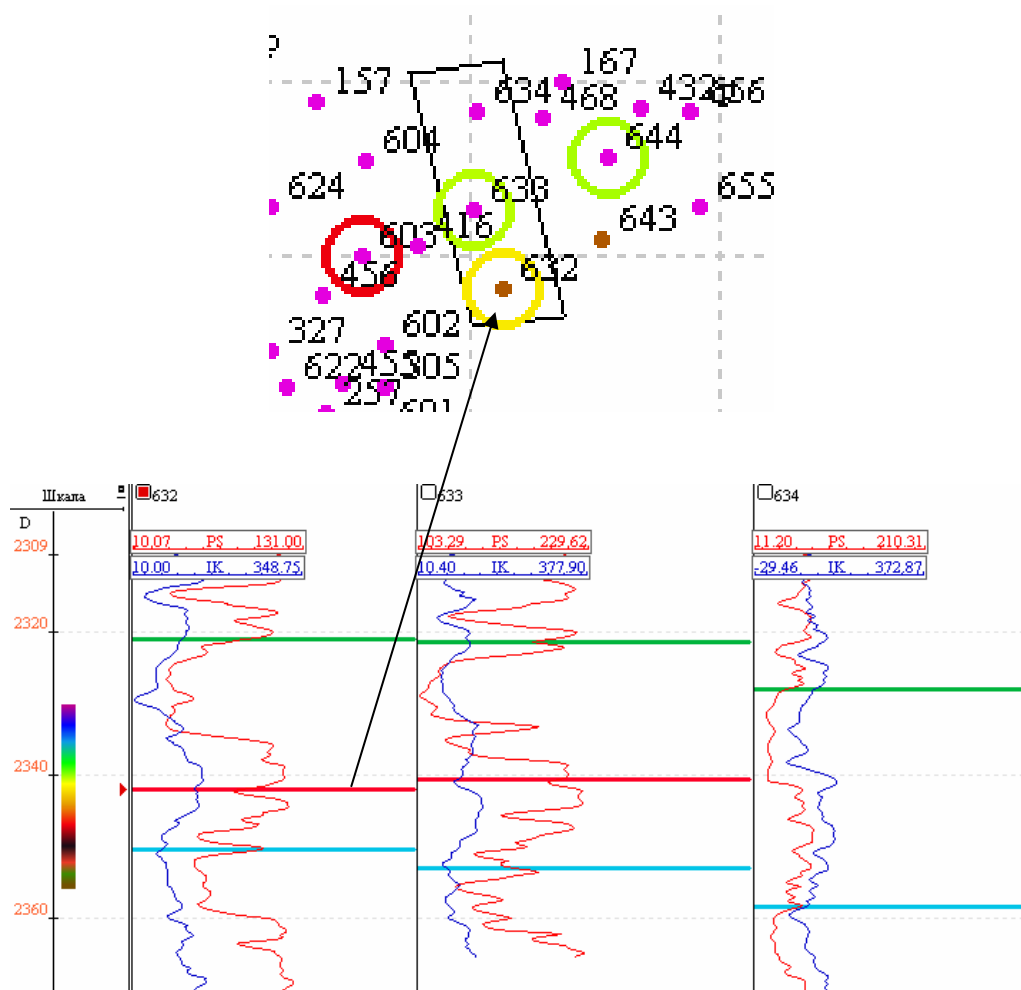


Рис. 5
Иллюстрация соответствия глубины
репера его цвету.

В процессе корреляции мы контролируем одновременно как положение репера на разрезе скважины, так и общую картину положения реперов данного горизонта на плане расположения скважин. Внедрение этой технологии в практику позволило в несколько раз увеличить производительность труда при выполнении работ по ручной корреляции данных.

Четвертый параграф третьей главы содержит иллюстрацию принципа динамической визуализации на примере изучения трехмерной геологической модели с использованием связанных пространств размерности 3D, 2D, динамического профиля и инструмента седиментационного анализа.

В пятом параграфе третьей главы начинается описание технологии построения геологических моделей в программном комплексе DV-Geo. Последовательно описываются все основные этапы решения этой задачи.

- структурное моделирование, позволяющее создать трехмерный каркас;
- создание трехмерного каркаса и осреднение скважинных данных на ячейки трехмерной геологической сетки;
- литологическое моделирование, в процессе которого происходит создание трехмерного параметра литологии и построение карт эффективных толщин;
- петрофизическое моделирование, в процессе которого происходит заполнение куба литологии петрофизическими параметрами и построение карт параметров;

Для осуществления задачи структурного моделирования автором диссертации предложен и разработан алгоритм 2D интерполяции. Этот алгоритм является развитием стандартного метода Moving Average ранее описанного во второй главе диссертации при рассмотрении программного комплекса Irap RMS. Указываются преимущества стандартного алгоритма Moving Average:

- Хорошая производительность при небольшом радиусе интерполяции;
- Возможность использования в виде контрольных точек, кроме значений отметок в скважинах, дополнительной информации в виде трендовых линий;
- Возможность учета линий разломов;
- Возможность применения алгоритма для вычислений значений поверхностей, заданных по нерегулярной сетке;
- Возможность распараллеливания вычислений;
- Алгоритм устойчив, то есть поле значений построенных структурных поверхностей или карт не имеет аномалий (загибания на краях, выбросы в межскважинном пространстве).

И его недостатки

- Сильное осреднение результирующей поверхности в межскважинном пространстве;
- Неудовлетворительный результат построения структурных поверхностей и карт в случае неравномерного распределения контрольных точек по площади моделируемого полигона, особенно в случае использования трендовых линий;
- Несовпадение значений построенной структурной поверхности со значениями заданными, в контрольных точках, так как координаты контрольных точек, как правило, не совпадают с координатами узлов заданной сетки. Координаты контрольных точек имеют случайное распределение по площади. Координаты контрольных точек регулярное распределение;
- Невозможность использования данного алгоритма для построения аппроксимирующих поверхностей;
- Невозможность задания анизотропии;

Для устранения вышеизложенных недостатков автором диссертации предложен модифицированный алгоритм картопостроения. Расчетная формула модифицирована и имеет следующий вид

$$z = \sum_{i=1}^N z_i \left(\frac{1}{(R_i + C)^n} \right) / \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{(R_i + C)^n} \right)$$

Где C – константа задаваемая в качестве параметра алгоритма интерполяции. Введенная константа является для алгоритма интерполяции коэффициентом сглаживания и преобразует при ненулевом значении интерполирующий алгоритм в аппроксимирующий. Значение этой константы для интерполяции структурных поверхностей рекомендовано задавать в пределах от 0 до 100. Принцип влияния этой константы заключается в разнесении плоскости узлов заданной сетки с плоскостью контрольных точек. При $C = 0$, узлы сетки и контрольные точки находятся в одной плоскости и веса определяются только значением весового коэффициента $\frac{1}{R_i^n}$, при значении $C > 0$ разброс абсолютные значения весовых коэффициентов уменьшается в

связи с этим вычисляемое значение стремится к среднему значению в контрольных точках. Результат влияния этого параметра проиллюстрирован на (Рис.6).

Предложено перейти к итерационной схеме вычислений по заданному алгоритму. То есть применение вышеописанного алгоритма происходит в цикле, сначала вычисляется гладкая, аппроксимационная поверхность, далее методом схождения эта поверхность уточняется до полного совпадения с заданными значениями в контрольных точках.

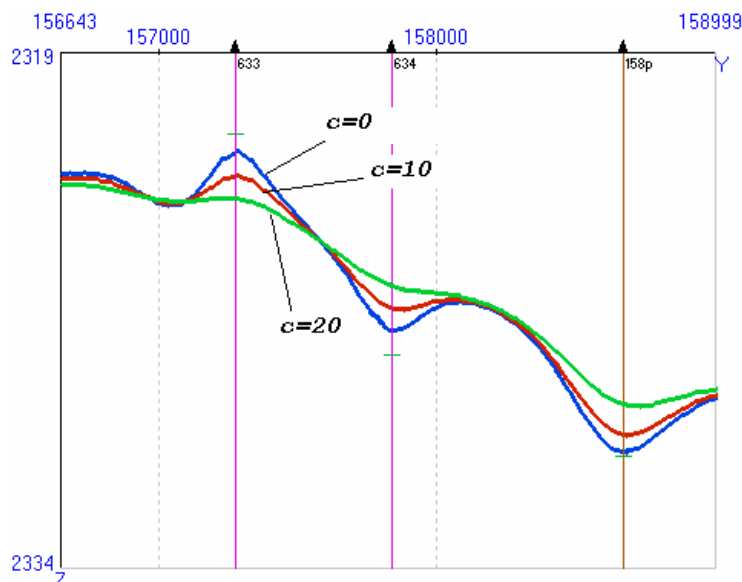


Рис. 6.
Влияние коэффициента сглаживания на
результат интерполяции.

Для устранения недостатков связанных с неравномерным распределением скважин по площади региона построения автором диссертации предлагается следующее:

1. На предварительном этапе, в узлах заданной сетки, вычислить карту плотности скважин, значения которой лежат в диапазоне от нуля до единицы. Ноль соответствует точке с минимальным значением плотности единица с максимальным значением плотности.
2. Ввести в схему интерполяции два радиуса, минимальный и максимальный радиусы интерполяции. Далее при поиске контрольных точек для текущего узла (x,y) используется радиус, зависящий от значения на карте плотности скважин P следующим образом

$$R_{xy} = R_{\min} + (R_{\max} - R_{\min}) * P$$

так как изменения радиуса интерполяции от узла к узлу происходит непрерывно, то подобная процедура влияет на гладкость получаемой поверхности.

3. Ввести дополнительное ограничение на число контрольных точек, используемых в вычислении значения узла сетки, посредством выбора n ближайших точек, попавших в радиус интерполяции. В чистом виде введение этого ограничения приводит к построению поверхности, имеющей негладкую первую производную, но такая поверхность нуждается в дополнительном сглаживании. Введение подобного ограничения эквивалентно разбиению задачи интерполяции всего региона построения на части, где при интерполяции узла участвуют близлежащие контрольные точки с более или менее похожими значениями. Сшивка таких частей происходит посредством их дальнейшего сглаживания. Описанные процедуры базируются на общеизвестном факте коррелируемости близко расположенных

значений структурных поверхностей или карт мощностей, используемых при построении геологических моделей.

В целом алгоритм построения структурной поверхности выглядит следующим образом:

- В первом приближении вычисляется трендовая поверхность с использованием ограничений, описанных в пункте 3 вышеприведенного списка процедур.
- Далее эта поверхность уточняется с помощью алгоритма схождения, где разностные карты вычисляются с использованием рекомендаций пункта 2 вышеизложенного списка и дополнительного коэффициента гладкости C .

Предложенный подход позволяет исправить основные недостатки алгоритма интерполяции по средневзвешенным значениям (Moving Average) но при этом сохранить все его преимущества. Надо отметить, что реализация данного подхода в программном комплексе DV-Geo выполнена таким образом, что она позволяет пользователю самому решать, какие дополнения к стандартному алгоритму использовать, а от каких следует отказаться. Описанная методика интерполяции используется при построении структурных поверхностей и 2D карт петрофизических параметров и опробована на ряде месторождений содержащих различное число скважин от нескольких десятков до 17000 на Самотлорском месторождении. В заключении параграфа в качестве примера приводится результат расчета структурной поверхности с введением анизотропии по заданному направлению.

В следующем параграфе приводится описание особенностей способа создания трехмерной геологической сетки, используемого в программном комплексе DV-Geo. Основным отличием здесь является то, что узлы такой сетки не задаются явно в виде трехмерной матрицы координат ее точек, а вычисляются по заданным правилам исходя из определенного набора опорных поверхностей структурного каркаса. Этот подход заключается в следующем. Явно задаются только узлы сетки, совпадающие с узлами сетки структурных поверхностей. Все остальные узлы 3D геологической сетки считаются производными от заданных узлов и вычисляются в процессе обращения к ячейкам 3D геологической модели. Для их вычисления дополнительно задается число прослоев, создаваемое между заданными структурными поверхностями. Этот подход, позволил резко сократить объем оперативной памяти для представления 3D сетки геологической модели, а также дополнительно дал возможность упростить мониторинг построенной геологической модели в случае изменения структурного каркаса, как в момент построения модели, так и после при появлении дополнительной информации влияющей на геометрию структурного каркаса 3D геологической модели. Мониторинг геологической модели, в таком случае сводится к перестроению структурного каркаса и замене информации о нем в описании 3D геологической сетки.

Далее приводится описание методики осреднения скважинных данных в ячейках трехмерной геологической сетки. Основным видом информации для построения 3D геологических моделей в отечественной практике является комплекс попластовых кривых, результатов интерпретации ГИС. Этот комплекс кривых, РГИ, включает построенную интерпретатором геофизиком литологическую колонку, колонку насыщения, и осредненные в интервале заданных пропластков данные геофизических методов. В связи с этим при построении 3D геологической модели выдвигаются дополнительные требования, заключающиеся в совпадении литологической модели представленной по результатам интерпретации скважин, с литологической моделью, полученной в результате трехмерного литологического моделирования. Это означает, что необходимо добиться совпадения эффективных мощностей и средневзвешенных значений геофизических параметров в исходных данных и в данных построенной модели в ячейках,

которые пересекают траектории используемых при моделировании скважин. Проблема связана с тем, что пропластки, выделенные на скважинах при интерпретации ГИС и составляющие таблицу разбивок кривых РГИ, имеют довольно большой разброс мощностей, от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров, и их границы не совпадают с границами ячеек 3D геологической сетки. Получается, что в ячейки 3D геологической сетки могут попасть данные из нескольких пропластков кривой РГИ.

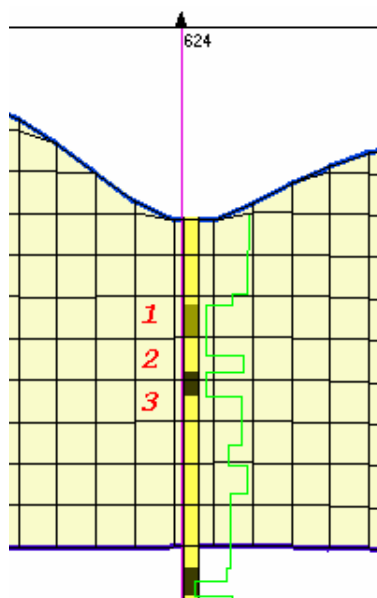


Рис. 7. Сопоставление литологической колонки и слоев 3D геологической сетки.

На рис.7 приведен пример сопоставления пластовой модели, выделенной в скважине, с ячейками 3D геологической сетки. Показана колонка литологии, на которой выделены следующие литологические типы, показанные различными цветами:

- Желтый – песчанник;
- Коричневый – глина;
- Черный – плотные слои, относятся к не коллектору;

Зеленая кривая - параметр $\alpha_{пс}$.

Видно, несовпадение границ выделенных пропластков слоям 3D геологической модели. При стандартном способе осреднения в участке номер 1 теряется коллектор, в участках с номерами 2 и 3 будут потеряны плотные слои. В каждой скважине характер несовпадения будет выражаться по своему, не зависимо от других, даже соседних скважин, так как интерпретация ГИС производится отдельно для каждой скважины, и разбиение на пропластки зависит только от характера изменения значений интерпретируемых методов в конкретной скважине. В одних скважинах эти несовпадения могут привести к завышению эффективной толщины, в других к занижению, причем ошибка будет иметь случайный характер. Для решения данной проблемы иногда предлагают подгонять границы слоев 3D геологической сетки к границам слоев пластовых кривых. В тех случаях, если сетка заданна явным образом, это возможно. Причем искажения, вносимые при этом в 3D геологическую сетку, могут противоречить характеру геологических процессов, положенных в основу ее создания.

Автором диссертации предлагается методика осреднения кривых попластовой обработки ГИС, учитывающая вышеописанные особенности. Методика основана на выделении приоритетного литотипа и заключается в следующем: при осреднении

геофизических параметров, кроме собственно кривой параметра, задается дополнительная, опорная дискретная кривая, в качестве которой обычно используется имеющаяся в исходном комплексе геофизических кривых колонка литологии. Среди литотипов, составляющих колонку литологии, задается литотип, или несколько литотипов с высоким приоритетом, все остальные литотипы считаются с низким приоритетом. При осреднении кривой геофизического параметра в ячейках, в которые попадают литотипы с высоким и низким приоритетом, осредняются только значения параметра, совпадающие с участками с высоким приоритетом. Осреднение происходит по методу среднего взвешенного, где в качестве весового коэффициента используется мощность выбранного участка кривой параметра. Иными словами, если в ячейку 3D геологической сетки попадает участок коллектора, то в этой ячейке усредняется значение геофизической кривой соответствующее коллектору, независимо от мощности этого участка. В итоге, таким ячейкам присваивается код литотипа, соответствующего коллектору. На первый взгляд, это приводит к еще большим искажениям для значений эффективной мощности, восстанавливаемых впоследствии по ячейкам 3D геологической модели, что действительно имеет место, если пользоваться прямым способом. Но есть одно следствие, во всех случаях неоднозначного осреднения, ячейкам присваивается определенный литологический тип, в данном случае коллектор, то есть эффективная мощность во всех случаях завышена. И для того, чтобы восстановить правильное значение мощности, необходимо в каждой такой ячейке ввести дополнительный коэффициент, который будет показывать, какова была действительно мощность коллектора в данной ячейке, а именно отношение мощности коллектора в ячейке к общей мощности самой ячейки. Для тех ячеек, в которые попадают только участки коллектора, этот коэффициент будет равен 1, а для ячеек полностью с неколлектором равно 0, для всех остальных ячеек его значение будет находиться в интервале от 0 до 1. Этот коэффициент вычисляется как дополнительный 3D параметра с помощью интерполяции, где исходным является значение коэффициента в тех же самых ячейках, в которых производилось осреднение геофизических методов в скважинах. Далее куб этого коэффициента используется как весовой коэффициент при вычислении карт эффективных мощностей, средних параметров и подсчете запасов. В DV-Geo подобная методика является стандартной и используется всегда, когда моделирование происходит на основе данных попластовой обработки ГИС.

Далее описывается технология построения 3D литологической модели. Основной принцип построения куба литологии в программном комплексе DV-Geo основан на детерминистском подходе и заключается в интерполяции геофизического параметра или группы параметров, по которым впоследствии, используя граничные условия, будет рассчитан индекс литологии. Понятно, что такой подход приемлем только в случае применения для хорошо разбуренных участках месторождений, и он не позволяет включать в процесс моделирования дополнительную информацию о литологическом строении месторождения. Дополнительной информацией могут являться карты сейсмических атрибутов, отражающие характер распределения эффективных мощностей на моделируемом участке, суждения геологов о характере залежи на основе данных разработки и анализа формирования осадочных пластов изучаемого объекта. На основе всего комплекса имеющейся информации в совокупности со скважинными данными геолог создает набор карт, включающий карты эффективных толщин и средних значений основных подсчетных параметров, пористости, проницаемости, насыщения. Эти карты могут интегрировать в себе, как объективную, полученную на основе комплекса исходных данных информацию, так и субъективные суждения геологов-интерпретаторов. Такой набор данных позволяет реализовать принципиальную моделью месторождения и используется в дальнейшем в качестве исходной информации при построении трехмерной геологической модели. Принципиальная модель – это концептуальная гипотеза строения и осадконакопления коллекторов моделируемого объекта, представленная в виде карты эффективных толщин с нанесенной фациальной принадлежностью песчаных тел и

дополненная информацией о чередовании этих тел в разрезе. Автором диссертации разработан алгоритм, учитывающий карту эффективных толщин при создании куба литологии. В седьмом параграфе приводится описание этого алгоритма и технологии моделирования. Технология моделирования с использованием принципиальных моделей выглядит следующим образом:

- На основе данных геофизических исследований скважин проводится интерпретация ГИС, результатом которой является создание литологических колонок, представляющих чередование пропластков коллектора и неколлектора в границах моделируемого пласта, и осредненные значения геофизических кривых и ФЕС в каждом из выделенных пропластков.
- На основе выделенных колонок литологии создается ГСР и вычисляются эффективные толщины коллекторов в каждой скважине.
- Проводится комплекс работ по динамической интерпретации сейсмических данных, результатом которого является создание трендовых карт эффективных толщин коллекторов.
- Трендовые карты корректируются с учетом субъективных представлений геолога – интерпретатора о строении объекта. Для корректировки могут использоваться как алгоритмические формализованные в виде подпрограмм методы, так и методы ручного редактирования, реализованные в программном комплексе DV-Geo.
- На основе данных эффективных толщин коллектора в скважинах и трендовой карты создается карта эффективных толщин принципиальной модели. Для ее создания используются доступные в пакете DV-Geo методы интерполяции.
- Построенная карта может быть дополнительно откорректирована в соответствии с представлениями эксперта, отвечающего за создаваемую геологическую модель.
- На основе полученных ранее колонок литологии и осредненных значений геофизических кривых создается 3D индексный куб литологии. Для этого:
 - В созданном ранее каркасе трехмерной геологической сетке проводится детерминистское моделирование коллектора;
 - или стохастическое моделирование коллектора;
 - или моделирование коллектора, основанное на других методах, например методах инверсии атрибутов трехмерного сейсмического куба.
- С использованием разработанного в программном комплексе DV-Geo стохастического алгоритма исходный куб литологии модифицируется с учетом заданной карты эффективных толщин принципиальной модели.

Алгоритм модификации заключается в изменении индекса литологии в ячейках исходного куба, расположенных на границе «коллектор» – «неколлектор», в соответствии с заданной картой эффективных толщин коллектора из принципиальной модели и геологостатистическим разрезом.

В следующем параграфе описываются принципы моделирования трехмерных полей геофизических параметров. Моделирование геофизических параметров в программном комплексе DV-Geo может проводиться по следующим методикам:

Интерполяция (распространение) исходных петрофизических параметров скважин в коллекторе построенной ранее литологической модели.

Интерполяция (распространение) исходных петрофизических параметров скважин в коллекторе построенной ранее литологической модели с учетом трендов, полученных на основе принципиальной модели.

В качестве принципиальных моделей при интерполировании геофизических параметров выступают заранее построенные и откорректированные карты пористости,

проницаемости и нефтенасыщенности. Эти карты используются для предварительного построения трендового куба, который в последствии уточняется методом схождения по данным в скважинах. Дополнительным фактором, характеризующим распространение геофизических параметров в трехмерном пространстве, может являться кривая распределения значений моделируемого параметра, рассчитанная по всему объему исходных геофизических кривых используемых скважин, а также исходя из анализа керна и изучения данных сейсморазведки. Учет этой кривой распределения заключается в трансформации значений ранее полученного куба таким образом, чтобы распределение значений в нем совпало с заданным. Для выполнения этой процедуры автором диссертации предложен следующий алгоритм:

- На заданной трехмерной геологической сетке моделируется случайное трехмерное поле исходя из заданной кривой распределения геофизического параметра.
- Осуществляется ранжирование (сортировка) значений полученного случайного куба и исходного куба моделируемого параметра, где для каждого значения запоминается индекс ijk , ячейки, из которого взято это значение. Результатом ранжирования являются два массива, где значения каждого из кубов выстроены в порядке возрастания.
- Происходит замена значений исходного куба на значения из куба случайных значений в соответствии с рангом (порядковым номером в массиве отсортированных значений).

В результате работы этого алгоритма получается новый куб, такой, что его значения удовлетворяют заданному распределению, так как по существу являются значениями из случайного куба, построенного по заданному распределению, а характер изменения значений (тренд) соответствует исходному кубу.

Глава IV. Опыт построения геологических моделей с использованием программного комплекса DV-Geo.

В первом параграфе четвертой главы приведен перечень месторождений, при моделировании которых использовался программный комплекс DV-Geo.

Далее в главе приводится методика построения трехмерной геологической модели для решения задачи подсчета начальных балансовых запасов нефти и газа и оценки остаточных запасов Тальникового месторождения. Во втором параграфе определяются требования к создаваемой модели и описываются особенности моделирования связанные с этим месторождением. В третьем параграфе описаны основные этапы построения модели Тальникового месторождения.

1. Создание единой базы данных.
2. Построение основного структурного каркаса по стратиграфическим поверхностям основных подсчетных объектов по данным сейсморазведки 2Д и 3Д стратиграфическим разбивкам разведочных и эксплуатационных скважин.
3. Подготовка информационных массивов данных и выборки скважин для различных этапов структурного и петрофизического моделирования, составления подсчетных планов, послонных карт параметров для каждого моделируемого объекта.
4. Построение структурного каркаса в пределах Тальникового месторождения по кровлям и подошвам коллекторов каждого подсчетного объекта.
5. Построение укрупненных цифровых сеток (послойных карт) эффективных толщин с учетом седиментационной модели и общих принципов геологического строения Тальникового месторождения.

6. Анализ положения контактов флюидов и их изменений по площади, построение карт флюидных контактов в каждой гидродинамической системе.
7. Компьютерная геометризация залежей, определение контуров залежей нефти и их корректировка по скважинным данным.
8. Расчет укрупненных цифровых сеток (послойных карт) параметров по подсчетным объектам.
9. Сегментирование по вертикали модели всей площади на отдельные проекты для проведения 3-х мерного сеточного моделирования продуктивных пластов.
10. Подготовка данных (в виде послойных кривых параметров по каждой скважине) для расчета 3-х мерной сеточной модели.
11. Трехмерная интерполяция параметров геологической модели – построение кубов литологии, пористости, проницаемости, водонасыщенности.
12. Построение гидродинамической сетки и ремасштабирование параметров геологической модели.
13. Разбивка подсчетного плана каждого объекта на полигоны подсчета запасов по зонам насыщения, категориям запасов, природоохранным зонам, лицензионным полигонам и т.д.
14. Подсчет запасов и определение средних подсчетных параметров по отдельным полигонам и по всему пласту в целом.
15. Сопоставление и увязка начальных балансовых запасов в детальной трехмерной геологической модели, в ремасштабированной геологической модели (укрупненная модель для гидродинамических расчетов) с запасами, полученными при расчете по послойным геологическим моделям.
16. Передача ремасштабированной модели в систему фильтрационного моделирования.
17. Оформление подсчетных планов и послойных карт на каждый объект в соответствии с требованиями ГКЗ РФ.

Следующие параграфы четвертой главы описывают процесс моделирования согласно приведенным выше этапам моделирования.

Заключение.

В заключении формулируем основные результаты проведенных исследований

1. Определены основные принципы построения, структуры и функционального наполнения системы построения геологических моделей.
2. Разработаны системные программные средства комплекса.
3. Разработаны прикладные алгоритмы построения геологических моделей. Реализован алгоритм картопостроения, алгоритм осреднения скважинных данных на ячейки трехмерной сетки геологической модели, алгоритм литологического моделирования с использованием принципиальных моделей.
4. Создана рабочая версия системы DV-Geo. Система внедрена в технологическую цепочку построения геологических моделей для подсчета запасов и определения ТЭО КИН в Центральной Геологической Экспедиции.

Дальнейшее развитие системы DV-Geo связано с развитием в двух параллельных направлениях – это развитие системных средств программного комплекса и расширения круга решаемых геологических задач. Основными направлениями в системной области является освоение новых технологий связанных с развитием технической базы современных аппаратных средств, это 64 разрядная модель памяти и технологии

параллельной обработки данных, которые должны быть направлены на увеличение общей производительности работы всего комплекса в целом. В прикладной области развитие системы будет направлено на включения в арсенал геолога интерпретатора алгоритмов моделирования, основанных на технологиях нейронных сетей, дальнейшее развитие методов стохастического моделирования и создания трехмерных геологических моделей с учетом разломов.

Основные результаты диссертации изложены в работах.

1. Построение трехмерной геологической модели Самотлорского месторождения.: М., Каротажник 2004г..№ 3-4, с. 116-117. [соавторы С.И.Билибин, Е.А.Юканова]
2. Технологии использования принципиальных моделей при проведении этапа литологического моделирования залежи углеводородов в программном комплексе DV-Geo.:МГНЦ, ВНИИ Геосистем ж. Геоинформатика, №2, 2007г. [соавторы С.И.Билибин]
3. Патент на изобретение № 2142162 «Способ динамической визуализации данных об объекте» приоритет от 19.01.1999г., Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации г. Москва 27.11.1999г. [соавторы Кашик А.С., Федоров А.Л., Голосов С.В., Гогоненков Г.Н., Гарипов В.З.]
4. Патент на изобретение № 2144696 «Способ исследования строения многомерных многопараметровых пространственных объектов, представленных многомерными многопараметровыми массивами цифровых данных» приоритет от 17.03.1998г., Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации г. Москва 20.01.2000г. [соавторы Кашик А.С., Федоров А.Л., Голосов С.В.]
5. Патент на изобретение № 2128365 «Способ динамической визуализации данных об объекте» приоритет от 24.04.1998, Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации г. Москва 27.03.1999г. [соавторы Кашик А.С., Федоров А.Л., Голосов С.В., Гогоненков Г.Н., Гарипов В.З.]
6. Патент на изобретение № 2132085 «Способ перемещения объекта на экране монитора компьютера с помощью 2-D манипулятора типа компьютерной мыши» приоритет от 02.06.1998, Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации г. Москва 20.07.1999г. [соавторы Кашик А.С., Федоров А.Л., Голосов С.В., Гогоненков Г.Н., Гарипов В.З.]
7. Патент на изобретение № 2164039 «Способ анализа динамических многопараметрических процессов» приоритет от 05.06.2000, Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации г. Москва 10.03.2001г. [соавторы Кашик А.С., Федоров А.Л., Голосов С.В., Гогоненков Г.Н., Гарипов В.З.]
8. Управление банком данных при построении объемной постояннодействующей геологической модели месторождений углеводородов с использованием технологии динамической визуализации – DV-GEO.: г.Уфа, Научный симпозиум «Новые технологии в геофизике» 2001г. [соавторы А.С.Кашик, Л.В. Жукова, З.Н. Жемжурова]
9. Новые технологии при построении цифровых геологических моделей и подсчете запасов месторождений углеводородов.: Москва, Международный технологический симпозиум «интенсификация добычи нефти и газа», РАГС при Президенте РФ, 2003г. [соавторы А.С.Кашик, С.И.Билибин, Г.Н.Гогоненков, Л.В.Жукова, С.А.Кирилов, А.Л.Федоров]

Размножено в МГГРУ.
Тираж 100 экз.
2007 г.