

*На правах рукописи*



МОГУТОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ  
ПОДСЧЁТА ЗАПАСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ОСНОВЕ  
ТЕХНОЛОГИИ НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ухта 2012

Работа выполнена в Ухтинском государственном техническом университете

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
Кулешов Владислав Евгеньевич

Официальные оппоненты: Крапивский Евгений Исаакович  
доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Санкт-Петербургский горный Университет,  
профессор кафедры транспорта и хранения нефти и  
газа

Долгаль Александр Сергеевич  
доктор физико-математических наук, профессор  
Горный институт Уральского отделения РАН,  
ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта

Защита состоится «25» мая 2012 г., в 10:00 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 «24» апреля 2012 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

кандидат технических наук,

профессор



Н. М. Уляшева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Одной из главных задач нефтегазопромысловой геологии является подсчёт запасов углеводородов. Достоверность подсчёта запасов определяется тем, насколько достоверно выполнено определение подсчётных параметров, таких как пористость и нефтенасыщенность. Существуют ряд подходов к определению параметров для подсчёта запасов. При этом, часть значений этих параметров находится путём непосредственного изучения представительных образцов керна в лабораторных условиях, а другая, большая часть, определяется с помощью промыслово-геофизических методов исследования. Если первые исследования дают вполне достоверные значения параметров, то промыслово-геофизические методы не позволяют непосредственно установить величины пористости и нефтенасыщенности, но оценивают величины геофизических параметров, которые связаны корреляционными зависимостями с коллекторскими свойствами пород и характером их насыщения. Более того, нередко возникают ситуации, когда при наличии одних и тех же данных в итоге получаются принципиально различные результаты.

Для нахождения конкретных выражений этих зависимостей и параметров их характеризующих используются, в частности, приемы статистической обработки данных и, в конечном итоге, осуществляется замена реального экспериментального материала полученными законами и некоторой интегральной, т. е. общей для всей зависимости в целом, оценкой меры тесноты связи. В соответствии с принятой технологией далее найденный закон в виде уравнений связи между параметрами переносится на изучаемый объект (геологическую модель). Этот путь зачастую является источником ошибочных заключений, которые могут привести от неверно выбранных условий вскрытия и режимов эксплуатации скважины до ошибок в точках заложения скважин и геологических заключений о запасах и ресурсах углеводородного сырья регионов. Поэтому автором предлагается рассматривать не отдельные зависимости и взаимосвязи, а использовать данные в полном объёме в виде нечётких множеств.

Таким образом, необходима методика, позволяющая дать объективную оценку определения подсчётных параметров, которую возможно дифференцировать по достоверности.

## **Цель работы**

Разработка теории, методов и технологии, обеспечивающих повышение объективности и надёжности определения подсчётных параметров на основе технологии нечёткого вывода Мамдани.

## **Основные задачи исследований**

1. Адаптация принципов нечёткого вывода Мамдани к задачам прогноза числовых параметров и развитие метода нечётких петрофизических композиций.
2. Разработка метода определения подсчётных параметров на основе метода нечётких петрофизических композиций.
3. Адаптация программного обеспечения, реализующего метод нечётких петрофизических композиций, для решения задач дифференциальной оценки подсчётных параметров.
4. Построение трёхмерных геолого-геофизических моделей распределения подсчётных параметров месторождений углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.
5. Анализ эффективности разработанной унифицированной схемы для оценки достоверности и качества построенных геолого-геофизических моделей на примере месторождений углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.

## **Методы решения поставленных задач**

Для решения поставленных задач использовались методы нечёткого вывода Мамдани и адаптированное программное обеспечение, позволяющее реализовать основные элементы метода нечётких петрофизических композиций. Построение трёхмерных геолого-геофизических моделей распределения подсчётных параметров и подсчёт запасов месторождений углеводородов выполнены в программных комплексах IRAP RMS. Методы решения включают в себя проведение численных экспериментов, анализ и обобщение полученных результатов.

## **Научная новизна выполненных исследований**

1. Разработана и предложена схема дуальной оценки достоверности опреде-

ления подсчётных параметров, включающая в себя качество и достоверность определения, основанная на принципах и методах нечёткого моделирования.

2. Разработана методика оценки согласованности выполненных прогнозных построений подсчётных параметров с объективными исходными данными.

3. Разработана теория, методы и технология определения подсчётных параметров в виде прогноза функций принадлежности нечётких множеств и их  $\alpha$ -сечений.

4. Для Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции произведена оценка достоверности и качества построенных геолого-геофизических моделей и, как следствие, оценка достоверности подсчёта запасов месторождений углеводородов.

### **Защищаемые положения**

1. Метод нечёткого вывода Мамдани может быть модифицирован в метод нечётких петрофизических композиций и использован для определения подсчётных параметров и оценки их достоверности.

2. Определение подсчётных параметров в виде функции принадлежности повышает меру достоверности конечных выводов и геологических заключений.

3. Дуальная оценка  $\alpha$ -сечений функций принадлежности даёт достаточную характеристику достоверности и качества определения подсчётных параметров для месторождений углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции .

### **Практическая значимость**

Разработана методика, которая позволяет определять подсчётные параметры месторождений углеводородов с оценкой меры достоверности и качества.

Обеспечивается возможность оценки достоверности и качества построенных геолого-геофизических моделей месторождений углеводородов.

### **Реализация результатов работы**

Работы используются при выполнении научных исследований по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» и Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

Результаты исследований нашли своё отражение при выполнении научно-исследовательских работ по заказам нефтегазодобывающих предприятий Республики Коми. Результаты, полученные при выполнении работы, используются в учебном процессе при подготовке специалистов и магистров по геологии нефти и газа.

### **Апробация работы**

Основные положения диссертации были представлены на Всероссийской научно-технической конференции «Нефтегазовое и горное дело» (Пермь, 2010 г.), научно-практической молодёжной конференции Газпром ВНИИГАЗ (Москва, 2010 г.), научной конференции «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» (Сыктывкар, 2010 г.), XIX Губкинских чтениях «Инновационные технологии прогноза, поисков, разведки и разработки скоплений УВ и приоритетные направления развития ресурсной базы ТЭК России» (Москва, 2011 г.), Международной молодежной научной конференции «Севергеоэкотех» (Ухта, 2011, 2012 гг), научно-технической конференции преподавателей и сотрудников УГТУ (Ухта, 2010-2012 гг.), Международном семинаре им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей» (Воронеж, 2012 г.), межрегиональном научно-практическом семинаре «Рассохинские чтения» (Ухта, 2012 г.), научных семинарах Ухтинского государственного технического университета.

### **Публикации**

Основное содержание диссертации отражено в 13 научных работах.

### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, включающего из 152 наименований. Работа изложена на 126 листах, содержит 59 рисунков, 3 таблицы.

## **Благодарности**

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, декану нефтегазопромыслового факультета УГТУ, кандидату технических наук В. Е. Кулешову. Автор признателен и благодарен всему коллективу семинара «Математическое моделирование в науках о Земле» и лично его руководителю Заслуженному деятелю науки РФ, доктору физико-математических наук, профессору А. И. Кобрунову за постановку задачи, оказание неоценимой помощи и постоянный контроль на всех этапах научно-исследовательской работы.

Автор признателен ректору УГТУ, профессору, доктору технических наук Н. Д. Цхадая за постоянный контроль и создание оптимальных условий для научно-исследовательской деятельности .

Автор благодарит заведующего кафедрой геологии нефти и газа кандидата геолого-минералогических наук Е. Л. Теплова и профессора кафедры, доктора геолого-минералогических наук Л. В. Пармузину 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** на основе работ Д. Ф. Калинина, Ф. М. Гольцмана, А. А. Никитина, Е. Н. Черемисиной, Б. Ю. Вендельштейна, Р. А. Резванова, В. М. Добрынина, Д. А. Кожевникова, А. В. Петрова, Р. И. Когана, В. А. Голубевой, М. Д. Белониной, Г. Т. Скублова, Д. И. Клована, Р. А. Реймента, Д. А. Родионова, С. В. Яблонского, Л. Ф. Дементьева и других проанализированы современные подходы построения взаимосвязей между физико-геологическими параметрами, проведён их сравнительный анализ и рассмотрены этапы развития наиболее распространенных приёмов и методов обработки и интерпретации геофизической информации.

Построение и анализ взаимосвязей между физико-геологическими параметрами составляет экспериментальный фундамент геолого-геофизических методов исследования, подсчета запасов месторождений, прогнозирования и управления

технологическими процессами, в том числе процессами контроля за разработкой месторождений углеводородного сырья.

Нередко предположение о существовании регрессионных зависимостей и приёмы статистической обработки данных дают неверные результаты определения подсчётных параметров и влекут за собой многочисленные ошибки.

Источники этих ошибок состоят, во-первых, в хорошо известных проблемах, обусловленных переносом связей, полученных в одном районе (территории, скважине, интервале) на другой. А во-вторых, в необходимости при установлении этих зависимостей пользоваться достаточно спорными предположениями. Важнейшее из них состоит в том, что реальные и неизвестные зависимости, если таковые вообще существуют, подменяются некоторыми априорно заданными классами аналитических зависимостей – линейные уравнения, экспоненциальные зависимости. Здесь сразу можно выделить, как минимум, два недостатка. Первый – это априорное постулирование вида принимаемой зависимости. Второй – предположение, заложенное в процессе нахождения параметров конкретной зависимости, состоящее в отнесении всего, что не укладывается в эту зависимость к шуму-мусору разной интенсивности, который в лучшем случае может быть лишь оценен. Относительно значимым источником погрешностей при установлении зависимостей в виде уравнений регрессии служит используемая технология нахождения параметров уравнений, основанная на предположениях о статистическом характере «шума». Например: метод наименьших квадратов для построения уравнения регрессии основан на предположении о нормальном законе вероятностного распределения для этого шума: отличия реальных данных от предполагаемой линии регрессии. Но это искусственное предположение, мало относящееся к природе изучаемых объектов.

Поэтому предлагается рассматривать экспериментальные геолого-геофизические данные и связи между ними, как нечеткие множества, что позволит использовать данные в полном объёме. В такой форме применяемый аппарат определения параметров при подсчёте запасов углеводородов адекватен смысловому содержанию и точности исходных данных. Оперирование данными как нечеткими, для решения поставленной задачи является более объективным.

**Во второй главе** рассмотрены принципы и методы нечёткого моделирования, которые применяются в нефтегазовом деле, нефтегазовой геологии и



геофизике.

Обращение к методам нечеткой алгебры, нечеткой логики и теории нечеткого вывода становится весьма распространенным в нефтегазопромысловом деле. Обоснование этому приведено в работах И. П. Жабрева, Я. И. Хургина, В. В. Каде-та, В. П. Бочарникова, А. Е. Алтунина, М. В. Семухина, А. И. Кирсанова, А. И. Кобрунова, С. И. Билибина, Б. Е. Лухминского, Jose Finol, Yi Ke Guo, Xu Dong Jing и других. Тем не менее, использования цепочки нечетких отношений для определения подсчётных параметров ранее не проводилось. Методы нечеткого моделирования использовались для решения вспомогательных, подготовительных задач прогноза параметров, не затрагивая традиционные приемы установления регрессионных зависимостей.

В работах А. И. Кобрунова, А. В. Григорьевых изложена методика установления взаимосвязей между геолого-геофизическими параметрами на основе аппарата нечётких множеств для возможности переоценки взаимосвязей и прогнозов, сделанных на основе корреляционных зависимостей, для более полного учёта нечёткой структуры отношений между параметрами и возможностью прогнозирования с оценкой меры неопределённости прогноза.

Авторы показывают, что методика нечёткого моделирования применительно к анализу данных состоит в следующем:

1. Фазификация отношения между данными – их представление в виде функции принадлежности одной переменной при условии принятия конкретного значения другой. Итогом служит функция принадлежности для нечёткого отношения между парой переменных, позволяющая оценить меру истинности любого прогнозируемого значения переменной по экспериментальным данным.

2. Нечёткая композиция по Мамдани для случая систем данных с общими переменными. Алгоритм позволяет построить функцию принадлежности для нечёткого отношения между переменными, в которых исключены промежуточные-переходные переменные. Итогом служит функция принадлежности для нечёткого отношения между парами данных с исключенными промежуточными параметрами, позволяющая оценить меру истинности любого прогнозируемого значения конечной переменной по начальной, отражающую истинную информацию, содержащуюся в экспериментальных данных.

3. Дефазификация установленных нечётких отношений, обеспечивающая переход от нечётких к чётким зависимостям с оценкой меры неопределенности.

Также рассмотрен способ (разработан авторами Jose Finol, Yi Ke Guo, Xu Dong Jing) применения нечёткого моделирования для прогнозирования физико-геологических параметров на основе нечёткой кластеризации, обеспечивающей оптимальное разбиение области прогноза на совокупность интервалов с кусочно-линейными зависимостями. Он состоит в объединении нечеткого алгоритма кластеризации с методом наименьших квадратов, в результате чего строится кривая проницаемости по зависимостям от плотностной пористости и пористости по керну.

Технология нечёткой кластеризации включает в себя этапы:

1. Нечёткое объединение, т. е. разбиение конечного множества точек данных на число классов (кластеров) с соблюдением меры сходства.

2. Настойка функции принадлежности.

3. Получение последующих параметров, как наименьших квадратов аппроксимации.

4. Моделирование пористости от плотности.

5. Моделирование проницаемости от пористости.

В результате, нечёткая модель определяется множеством нечётких выводов с линейными последовательными частями, каждая из которых устанавливает частные линейные соотношения зависимости ввода-вывода между переменными модели. Эти частные линейные уравнения применяются для расчета прогнозных параметров, результатом чего служит прогноз проницаемости по измеренной плотности горных пород вдоль ствола скважин. Тем не менее, в данном способе не рассматриваются вопросы композиции отношений и их продолжений, что необходимо в случаях для реального определения подсчётных параметров.

**В третьей главе** освещён метод нечётких петрофизических композиций для прогнозирования и определения физико-геологических параметров. Также в главе описана реализация разработанного метода оценки достоверности и качества определения параметров.

Для выполнения процедур прогнозирования предлагается рассматривать экспериментальные геолого-геофизические данные и связи между ними как нечет-

кие множества и соответственно нечеткие отношения, выполняя на основе цепочки установленных отношений прогноз и определение требуемых параметров, находящихся в конце цепочки. Эта операция называется *нечеткой композицией петрофизических отношений*, а метод на ней основанный – *метод нечетких петрофизических композиций* (название впервые ввели А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов).

Поставленная задача решается за счёт представления петрофизических данных в виде отношений между функциями принадлежности параметров и последующим исключением промежуточных параметров за счет выполнения композиции цепочки нечетких отношений.

Технология нечетких петрофизических композиций основана на теоретических принципах построения композиции Мамдани и нечётких композиций в целом. Технология включает в себя следующие этапы:

1. Фазификацию, состоящую в представлении исходных данных в виде нечетких множеств и нечетких переменных.
2. Установление цепочки нечетких отношений между парами исходных данных.
3. Расчет композиций нечетких отношений для установления отношений между начальными и конечными параметрами в цепочке (на основе композиции Мамдани).
4. Продолжение найденной композиции в область задания исходных параметров для прогноза.
5. Выполнение прогноза и определения параметров как нечетких величин.
6. Дефазификацию установленных нечетких отношений, обеспечивающую переход от нечетких к четким зависимостям с оценкой меры их истинности.

Для выполнения расчетов создано специализированное программное обеспечение, осуществляющее все этапы описанной технологии и оперирующей с цепочкой данных, элементы которой обозначаются  $(X, Y, Z)$ . В частности,  $X$  – это данные о пористости, полученные на основе измерений плотности;  $Y$  – это данные о пористости, полученные на основе анализа кернового материала;  $Z$  – данные о проницаемости пород, полученные на основе анализа кернового материала (данные взяты из работы авторов Jose Finol, Yi Ke Guo, Xu Dong Jing, которая описана во вто-

рой главе). Пары значений из массивов  $X$ ,  $Y$  и  $Y$ ,  $Z$  увязаны между собой, поскольку относятся к одним и тем же образцам. Задача состоит в прогнозе проницаемости (параметра  $Z$ ) по измеренным вдоль оси скважины плотности (данные ГГК(п)), пересчитанной в пористость  $X$  по геофизическим данным. Заключение о величине параметра  $z \in Z$ , соответствующего параметру  $x \in X$ , должно исключать промежуточное явное нахождение  $y$ , хотя надо неизбежно использовать информацию о связи  $(X, Y)$ ,  $(Y, Z)$ .

Для проведения исследований использовались промысловые данные по реальной поисковой скважине. Исходные данные об экспериментальной взаимосвязи между плотностной пористостью и пористостью по керну, а также между пористостью по керну и проницаемостью для поисковой скважины приведены на рисунках 1 и 2 соответственно.

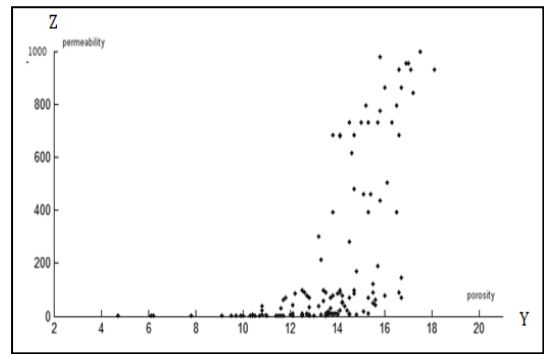
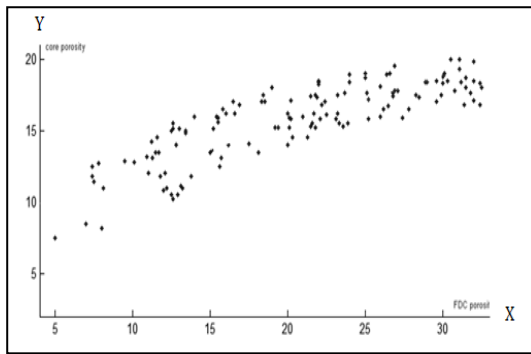


Рис. 1 – Зависимость между плотностной пористостью и пористостью по керну

Рис. 2 – Зависимость между пористостью по керну и проницаемостью

*Фазификация.* Процедура фазификации данных и установления отношений рассматривается на примере  $(X, Y)$ . Для данных  $(X, Z)$  (или любых других) все делается аналогично. Исходные данные  $X = \{x_i, i = 1 \div N\}$ ;  $Y = \{y_i, i = 1 \div N\}$  представлены в виде упорядоченных пар значений  $\{x(i), y(i)\}$ . В этом случае они являются нечеткими переменными. Рассматриваем связь  $X \Rightarrow Y$ . Выберем некоторый интервал  $\Delta x$  и разобьем весь диапазон значений параметра  $X \in [x_{min}; x_{max}]$  на интервалы  $x_k + \Delta x, k = 1, \dots, K$  шириной  $\Delta x$ . Сгруппируем значения  $x(i)$  внутри каждого из них и вычислим среднее значение  $\bar{x}_k$  и меру разброса:

$$\sigma(\bar{x}_k) = \frac{1}{N_X(k)} \left[ \sum_i (x_k(i) - \bar{x}_k)^2 \right]^{1/2},$$

где  $N_X(k)$  – число элементов из  $x(i)$ , попавших в интервал с номером  $k$ .

Для каждого интервала  $[x_k; x_{k+1}]$  ставятся в соответствие величины  $y(i)$ , соответствующие тем номерам  $i$ , которые входят в  $x(i)$ , содержащихся в этом  $[x_k; x_{k+1}]$  интервале. Они имеют среднее  $\bar{y}_k$  и меру разброса:

$$\sigma(\bar{y}_k) = \frac{1}{N_Y(k)} \left[ \sum_i (y_k(i) - \bar{y}_k)^2 \right]^{1/2}.$$

Таким образом, принимая экспоненциальную форму представлений для функций принадлежности получим, что переменная  $X$  представлена своими  $K$  значениями с функцией принадлежности:

$$\mu(x) = \frac{1}{\sigma(\bar{x}_k)} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(x - \bar{x}_k)^2}{\sigma^2(\bar{x}_k)}\right),$$

характеризующейся параметрами центра  $\bar{x}_k$  и разброса  $\sigma(\bar{x}_k)$ , а переменная  $Y$  – функцией принадлежности:

$$\mu(y) = \frac{1}{\sigma(\bar{y}_k)} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y - \bar{y}_k)^2}{\sigma^2(\bar{y}_k)}\right),$$

характеризующейся параметрами центра  $\bar{y}_k$  и разброса  $\sigma(\bar{y}_k)$ .

По аналогичной схеме могут быть установлены любые другие функции принадлежности, реализующие фазификацию исходных данных.

*Установление нечетких отношений между переменными.* Нечеткое отношение между переменными  $X$  и  $Y$  задаются функцией принадлежности  $\mu(y, x)$ , вычисляемой следующим образом. Для каждого  $x \in X$  находится номер  $k$ , для которого  $x \in [x_k; x_{k+1}]$ . С этим  $k$  выбирается  $\bar{y}_k$ , таким образом функция от  $x$ :  $\bar{y}_k(x)$ . Далее функция принадлежности:

$$\mu(y, x) = \frac{1}{\sigma(\bar{y}_k(x))} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(y - \bar{y}_k(x))^2}{\sigma^2(\bar{y}_k(x))}\right).$$

Для каждого уровня значимости  $\alpha$  от  $\alpha_0$  до  $\alpha_{max}$ , заданными с некоторым интервалом  $\Delta\alpha$ , функция принадлежности  $\alpha = \mu(y)$  характеризуется своими  $\alpha$ -сечениями (рис. 3). Ширина этого интервала  $\Delta_\alpha(y)$  характеризует интервал принадлежности при прогнозировании значений нечеткой переменной  $y$  с достоверностью  $\alpha$ , качеством  $P = \Delta_\alpha / \Delta_{\alpha_0}$ . Наибольшее качество, но низкую достоверность  $\alpha_0$  имеет прогноз интервала  $\Delta_{\alpha_0}$ .

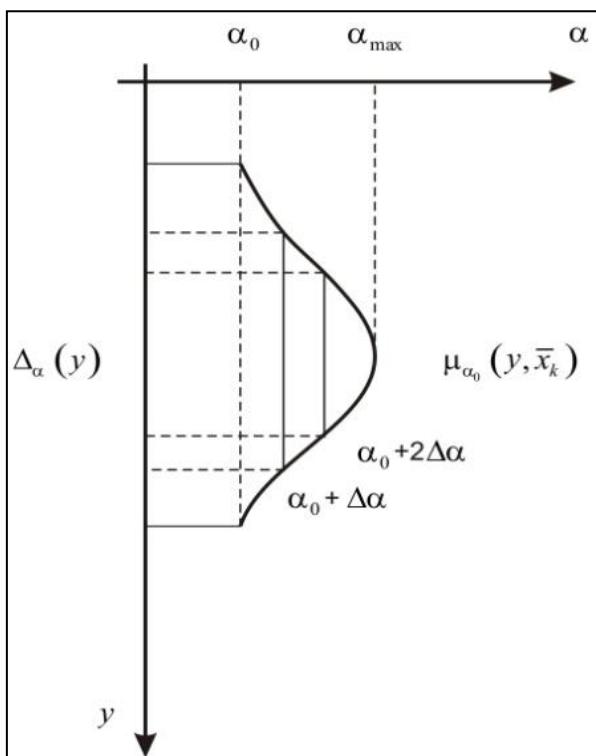


Рис. 3 – Интервалы принадлежности

Наибольшая достоверность, но с низким качеством для нечетких (не  $\Delta$ -образных) функций принадлежности обеспечивается для прогноза соответствующего максимуму функции принадлежности.

На рисунке 4 приведена поверхность в трехмерном пространстве как результат фазификации отношения между плотностной пористостью –  $X$  и пористостью по керну –  $Y$ , соответствующая данным из рисунка 1.

На рисунке 5 приведена поверхность в трёхмерном пространстве как результат фазификации отношения между пористостью по керну –  $Y$  и проницаемостью –  $Z$ , соответствующая данным, приведенным на рисунке 2.

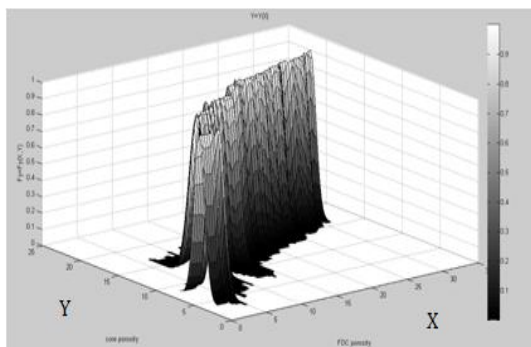


Рис. 4 – Результат фазификации отношения между  $X$  и  $Y$

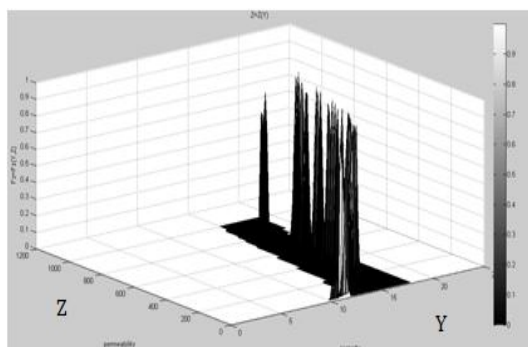


Рис.5 – Результат фазификации отношения между  $Y$  и  $Z$

Композиция Мамдани позволяет установить функцию принадлежности  $\mu(z, x)$  для начальной и конечной нечетких переменных –  $X, Z$  в выделенной цепочке по установленным функциям принадлежности  $\mu(y, x)$  и  $\mu(z, y)$ . В данном случае это отношение, определяемое функцией принадлежности между плотностной пористостью –  $X$  и проницаемостью –  $Z$ . На рисунке 6 приведена поверхность

в трёхмерном пространстве как результат найденной композиции, демонстрирующей объективные отношения между плотностной пористостью и проницаемостью.

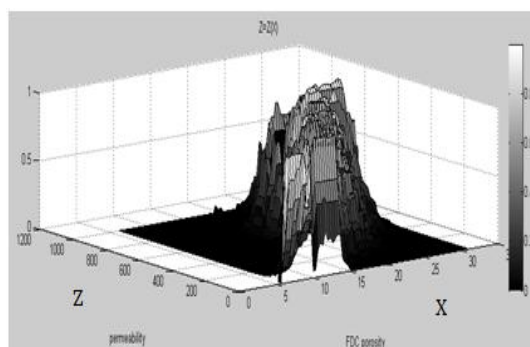


Рис. 6 – Результат фазификации отношения между  $X$  и  $Z$

Таким образом, получено нечёткое соотношение между плотностной пористостью и проницаемостью с исключением промежуточного параметра (пористость по керну). Ось  $OZ$  на рисунке 6 показывает значение функции принадлежности для пары нечетких переменных  $(X, Z)$ .

Технические результаты дефазификации установленных нечётких отношений удобно представлять в виде интервалов принадлежности с соответствующим качеством и достоверностью. Собственно этим и завершается вычислительная компонента технологии нечетких петрофизических композиций, и все дальнейшее сводится к выполнению прогноза по полученным интервалам. На рисунке 7 показано, что каждому значению плотностной пористости соответствует интервал принадлежности изменения значения пористости по керну, при этом интервал имеет свои параметры качества и достоверности.

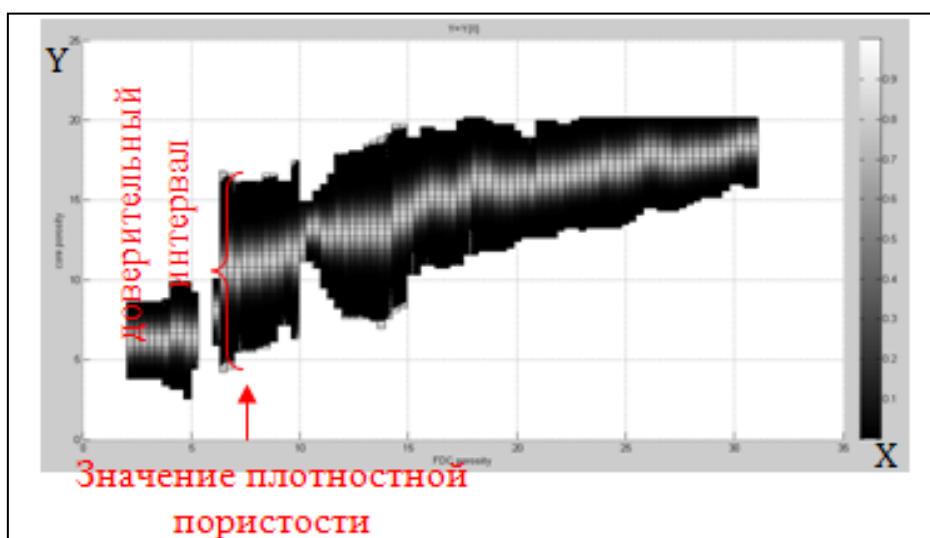


Рис.7 – Уровни сечения функции принадлежности между плотностной пористостью и кернавой пористостью

Воспользовавшись диаграммой исходных значений пористости, рассчитанных по геофизическим измерениям вдоль скважины, и применяя найденные сечения, получим прогноз, изображенный на рисунке 8.

Вместо значения искомого параметра (проницаемости в каждой точке) получается интервал значений с соответствующими взаимнообратными достоверностью и качеством (дуальная оценка достоверности).

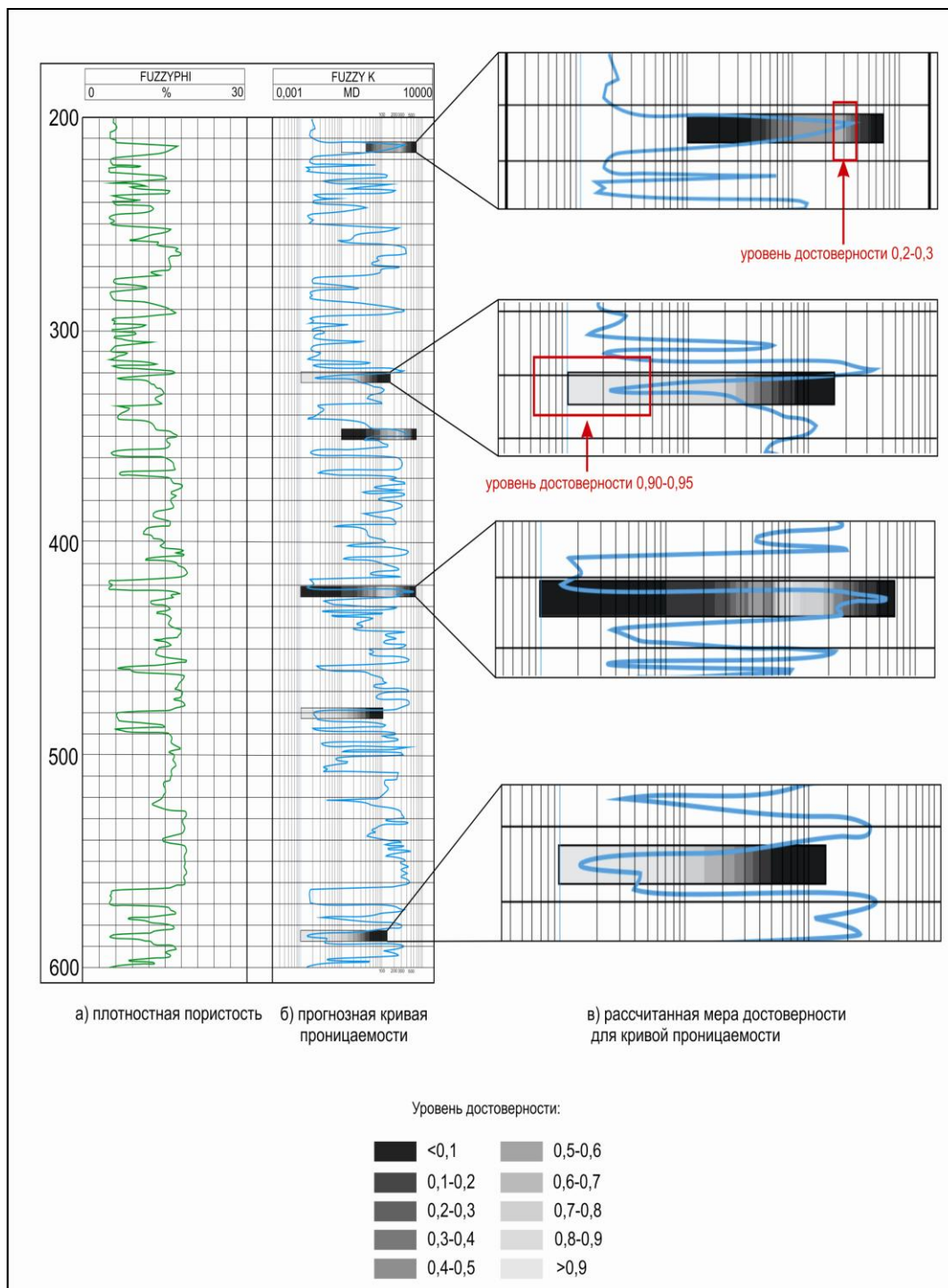


Рис. 8 – Результаты расчёта достоверности для кривой проницаемости



Построенные композиционные отношения отражают объективную информацию – и ничего более. Они могут использоваться для оценки качества и достоверности прогноза и определения, выполненного другими методами, в частности, метода нечеткой кластеризации. С этой целью следует оценить интервал (сечение) с наибольшим качеством, включающим в себя прогнозное значение. Это качество и соответствующая ему достоверность отражают объективное соответствие экспериментальным данным, которое можно назвать экспериментальной достоверностью выполненного по любой технологии прогноза и определения параметров. Такие оценки результатов прогноза, приведенного в работе авторов Jose Finol, Yi Ke Guo, Xu Dong Jing, показаны на рисунке 8а, где видно, какие интервалы достоверности имеют характерные точки кривой проницаемости, полученной путем объединения нечеткого алгоритма кластеризации с методом наименьших квадратов в работе. На рисунке 9 показана кривая с различной мерой достоверности.

Вся кривая проницаемости, полученная с помощью алгоритма нечёткой кластеризации, имеет уровень доверия менее 0,3, что является недопустимым в случаях определения подсчётных параметров и последующих расчётах запасов углеводородного сырья.

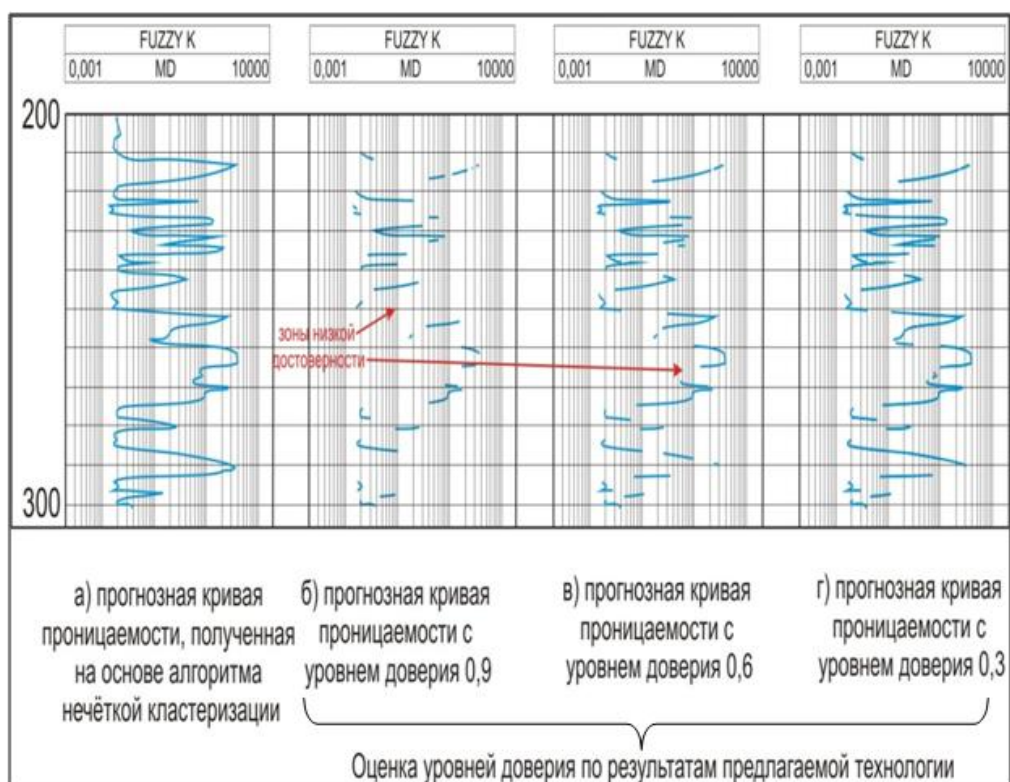


Рис. 9 – Оценка достоверности кривой проницаемости, полученной на основе метода нечёткой кластеризации.

**В четвёртой главе** приведены результаты определения подсчётных параметров на основе метода нечётких петрофизических композиций для месторождений углеводородов Тимано-Печорской провинции, которые приурочены к различным нефтегазоносным областям. Залежи месторождений связаны с различными типами коллекторов, с различными структурами пустотного пространства. Автор диссертации произведена дифференцированная оценка достоверности и качества построенных геолого-геофизических моделей.

Трёхмерные геолого-геофизические модели месторождений были построены в программном комплексе IRAP RMS согласно следующим этапам моделирования:

- подготовка исходных данных;
- структурное моделирование, позволяющее создать трёхмерный каркас;
- создание трехмерного каркаса и осреднение скважинных данных на ячейки трехмерной геологической сетки;
- литологическое моделирование, в процессе которого происходит создание трехмерного параметра литологии;
- петрофизическое моделирование, в процессе которого происходит заполнение куба литологии петрофизическими параметрами
- оценка запасов углеводород, которая производится на основе построенных трёхмерных кубов.

Для определения подсчётных параметров (коэффициентов пористости и нефтенасыщенности) на основе метода нечётких петрофизических композиций использовались данные о пористости, полученной на основе интерпретации данных геофизических исследований скважин и анализа кернового материала, а также данных о нефтенасыщенности пород, полученных на основе анализа кернового материала. Процедура установления цепочки данных описана в 3 главе.

В результате, были найдены интервалы изменения подсчётных параметров (коэффициенты пористости и нефтенасыщенности) в скважинах (рис. 10) и по этим данным были построены кубы достоверностей (рис. 11) для Восточно-Сотчемью-Тальйюского, Низевого и Сотчемьюского нефтяных месторождений.

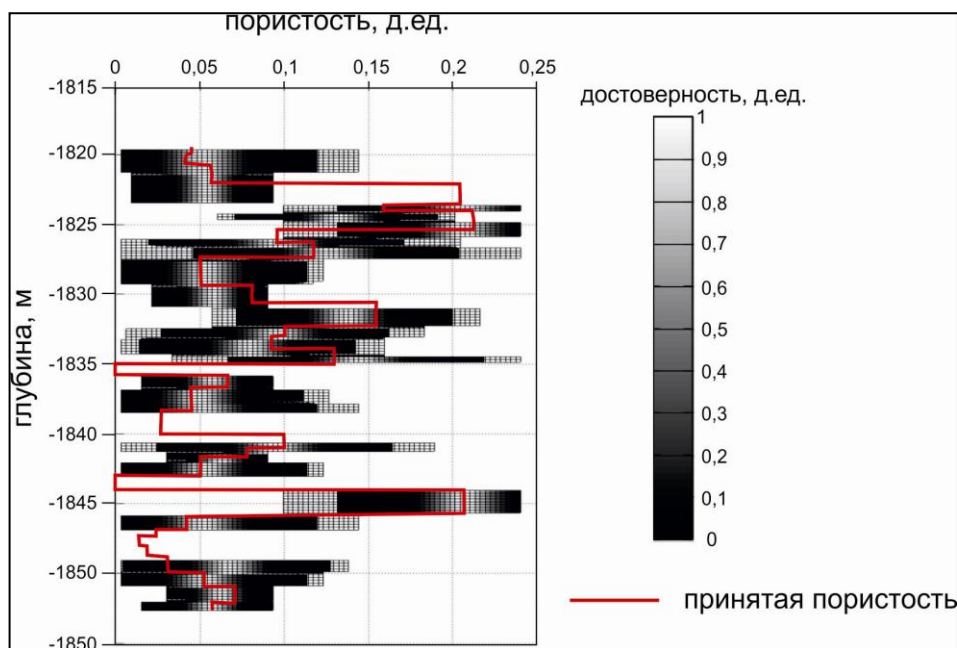


Рис. 10 – Достоверность изменения коэффициента пористости для скважины № 3 Восточно-Сотчемью-Талыйюского месторождения

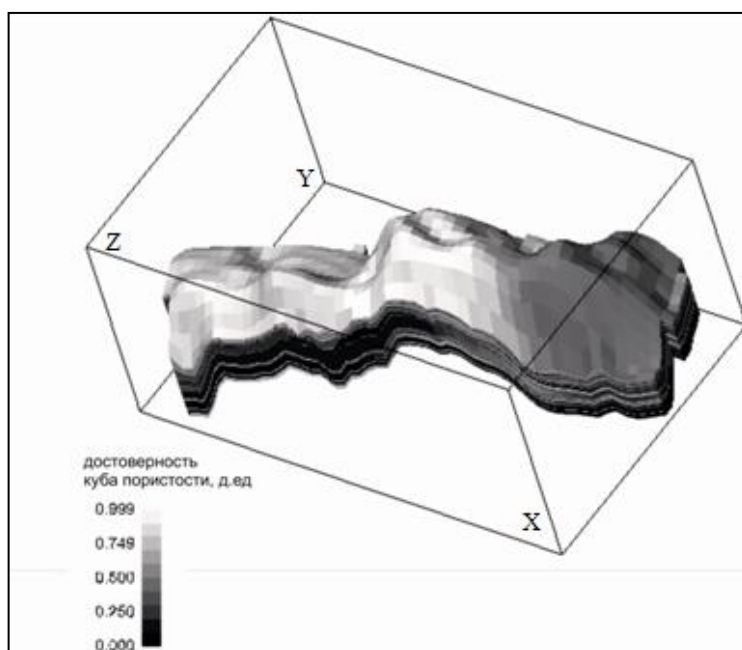


Рис. 11 – Трёхмерный куб распределения достоверности параметра пористости Восточно-Сотчемью-Талыйюского месторождения

Для оценки достоверности подсчёта запасов углеводородов предлагается воспользоваться свойством объединения нечётких множеств (рис. 12). При этом функция принадлежности находится как:

$$\max = \{\mu(y), \mu(z)\}.$$

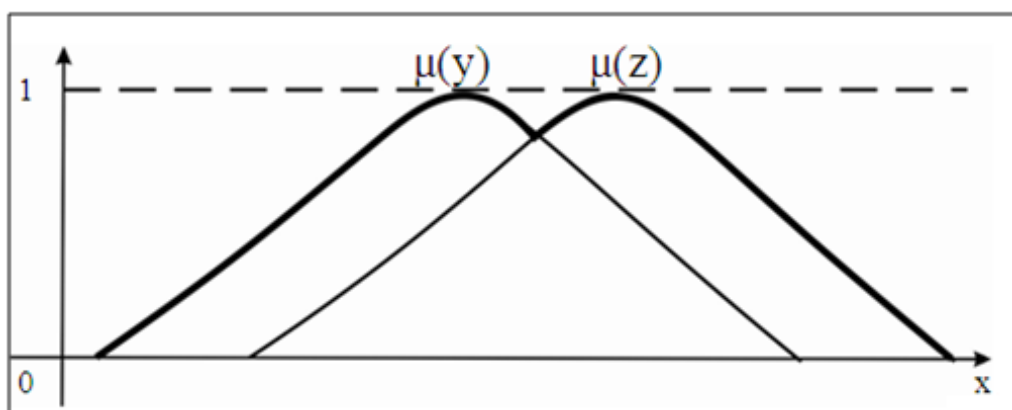


Рис. 12 – Функция принадлежности геологических запасов нефти

В результате выполнения работ по каждому исследуемому месторождению были получены трёхмерные геолого-геофизические модели распределения подсчётных параметров и геологических запасов в объеме пласта, а также кубы достоверности этих моделей, которые отражают надёжность и объективность информации (рис. 13). Произведена дифференцированная оценка полученных построений путём подсчёта процентного соотношения ячеек по достоверности.

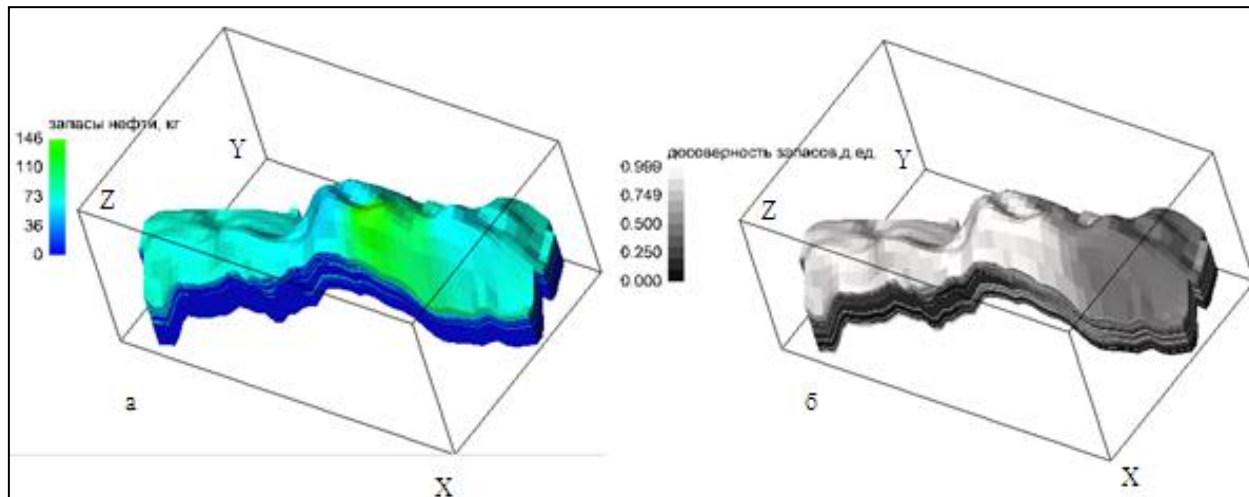


Рис. 13 – Трёхмерные кубы распределения геологических запасов нефти (а) и достоверности запасов (б) Восточно-Сотчемью-Тальюнского месторождения

С помощью разработанных методов был произведён пересчёт запасов углеводородов на изучаемых месторождениях. В результате, отклонение запасов от утверждённых в процентном соотношении составляет:

- для Восточно-Сотчемью-Тальюнского месторождения: -21%;

- для Низевого месторождения: -27%;
- для Сотчемьюского месторождения: -13%.

### **Заключение**

Основные итоги выполненных в диссертации исследований состоят в следующем:

1. Проведена адаптация принципов нечёткого вывода Мамдани к задачам прогноза и определения числовых параметров. Для этого предлагается рассматривать данные и связи между ними как нечеткие множества и соответственно нечеткие отношения, выполняя на основе цепочки установленных отношений прогноз и определение требуемых параметров, находящихся в конце цепочки.

2. Разработан метод определения подсчётных параметров (коэффициентов пористости и нефтенасыщенности) на основе метода нечётких петрофизических композиций. Предложена схема дуальной оценки достоверности определения подсчётных параметров, включающая в себя качество и достоверность.

3. Проведена адаптация программного обеспечения, реализующего метод нечётких петрофизических композиций, для решения задач дифференциальной оценки достоверности подсчётных параметров.

4. Созданы трёхмерные геолого-геофизических модели распределения подсчётных параметров месторождений углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции и на их основе рассчитаны геологические запасы углеводородного сырья.

5. Проведён анализ эффективности разработанной унифицированной схемы для оценки достоверности и качества построенных геолого-геофизических моделей на примере месторождений углеводородов Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, который выявил отклонение подсчитанных запасов от утверждённых ранее.

**Основные результаты диссертационных исследований опубликованы в  
следующих работах:**

Статьи в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией  
Министерства образования и науки Российской Федерации:

1. Кобрунов, А. И. Метод нечётких петрофизических композиций при прогнозировании петрофизических параметров / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов, А. Н. Художилова // Вестник Института геологии Коми научного центра УрО РАН. – 2011. - №9. – С. 18-23.

2. Могутов, А. С. Адаптация метода нечётких петрофизических композиций для определения подсчётных параметров Низевого месторождения / А. С. Могутов, А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2011. – № 6. С. 307-315. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Kobrunov/Kobrunov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Kobrunov/Kobrunov_1.pdf).

3. Могутов, А. С. Оценка достоверности подсчёта запасов Восточно-Сотчемью-Тальюнского месторождения на основе метода нечётких петрофизических композиций / А. С. Могутов, А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2012. – Т.7. – №1. - [http://www.ngtp.ru/rub/8/17\\_2012.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/8/17_2012.pdf).

Статьи в научно-технических сборниках и других изданиях:

4. Могутов, А. С. Повышение достоверности геологических моделей месторождений нефти и газа и оценки их запасов на основе оптимизации процесса моделирования / А. С. Могутов // Материалы научно-технической конференции, 13-15 апреля 2010г.: Ч. I. / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта : УГТУ, 2010. – С. 47-51.

5. Могутов, А. С. Моделирование месторождений, характеризующихся сложным геологическим строением (на примере месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции) / В. Е. Кулешов, А. С. Могутов, С. Э. Терентьев // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность: тезисы докладов, 6-7 октября 2010 г. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2010. – С.19.

6. Могутов, А. С. Разработка технологии нечёткого моделирования для прогнозирования и подсчёта запасов углеводородов / В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // Научные исследования и инновации. Научный журнал; т. 5, № 2 – Пермь : Перм-

ский государственный технический университет, 2011. – С. 14-16.

7. Кулешов, В. Е. Возможность разработки технологии нечёткого моделирования для подсчёта запасов углеводородов и оптимизации процесса моделирования / В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // 19-й научная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента», 8-9 декабря 2010 г.: материалы конференции. – Сыктывкар : Геопринт, 2010. – С. 117-119.

8. Кобрунов, А. И. Методика нечёткого моделирования для прогнозирования подсчётных параметров / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // 38-й сессия Международного научного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей», 24-28 января 2011 г.: материалы конференции. – Пермь : ГИ УрО РАН, 2011. – С. 132-135.

9. Могутов, А. С. Применение метода нечётких петрофизических композиций для прогнозирования петрофизических параметров / А. С. Могутов, В. Е. Кулешов, // XIX Губкинские чтения «Инновационные технологии прогноза, поисков, разведки и разработки скоплений УВ и приоритетные направления развития ресурсной базы ТЭК России», 22-23 ноября 2011 г.: тезисы докладов. – М. : Российский государственный университет нефти и газа им. И. М. Губкина, 2011. – С.115-116.

10. Могутов, А. С. О начальном этапе прогнозирования подсчётных параметров по методике нечёткого моделирования / А. С. Могутов, Г. В. Даниленко, А. Н. Художилова // XII Международная молодёжная научная конференция «Севергеоэкотех-2011», 16-18 марта 2011 г.: материалы конференции; Ч. 2. – Ухта : УГТУ, 2011. – С. 170-173.

11. Кобрунов, А. И. Прогнозирование физико-геологических параметров на основе нечётких петрофизических композиций / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // Материалы научно-технической конференции, 20-23 сентября 2011 г; Ч. I / под ред. Н. Д. Цхадая. – Ухта : УГТУ, 2011. – С. 40-46.

12. Кобрунов, А. И. О параметрическом обеспечении интегрированного анализа геофизических данных с целью прогнозирования физико-геологических параметров / А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // 39-я сессия Международного научного семинара им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей», 30 января – 2 февраля 2012 г.: ма-

териалы конференции. – Воронеж : ВГУ, 2012. – С. 143-146.

13. Кобрунов, А. И. Способ нечётких петрофизических композиций прогнозирования физико-геологических параметров /А. И. Кобрунов, В. Е. Кулешов, А. С. Могутов // Заявка на изобретение №2011145226, опубл. 16.02.2012.