

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 550.834

ЮДИН ДМИТРИЙ БОРИСОВИЧ

**КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ, ОРГАНИЗОВАННОЙ В ПРОФИЛЬНЫЕ СЕТИ НАБЛЮДЕНИЙ
МЕТОДАМИ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА.**

Специальность 25.00.10

Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА 2011

Работа выполнена на кафедре геофизики Российского Государственного Геологоразведочного Университета им. Серго Оржоникидзе (РГГРУ)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Петров А.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Галуев В.И.
кандидат технических наук
Трусов А.А.

Ведущая организация: ФГУП «Аэрогеология»

Защита состоится « 22 » декабря в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.121.07 при Российском Государственном Геологоразведочном Университете по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, РГГРУ, ауд. 6 - 38.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского Государственного Геологоразведочного Университета.

Автореферат разослан « » ноября 2011г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д.212.121.07,
доктор физико-математических наук,
профессор



А.Д. Каринский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа геолого-геофизической информации «КОСКАД 3D» предназначена для обработки и интерпретации данных методами вероятностно-статистического, организованных в трехмерные (как частный случай двумерные) регулярные сети. Эта технология сегодня достаточно широко используется во многих геологоразведочных организациях России, и с её помощью решается широкий спектр интерпретационных задач геофизики при обработке потенциальных полей, сейсмических данных, геохимических наблюдений и другой оцифрованной геолого-геофизической информации. Однако геофизические наблюдения, практически никогда не выполняются по регулярным сетям наблюдений. Поэтому для их анализа и обработки с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D», да и большинства других аналогичных систем, необходимо обязательное выполнение процедуры приведения исходных наблюдений к регулярной сети («*гридования*»).

Такие процедуры, а иногда и множество процедур, имеются во многих компьютерных технологиях обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, например «*kriging*». При этом, все известные методы «*гридования*», базируются на различных методах аппроксимации и интерполяции, для которых характерно сглаживание исходных наблюдений, то есть исключение высокочастотной компоненты и экстраполяция наблюдений в точки, где информация отсутствует.

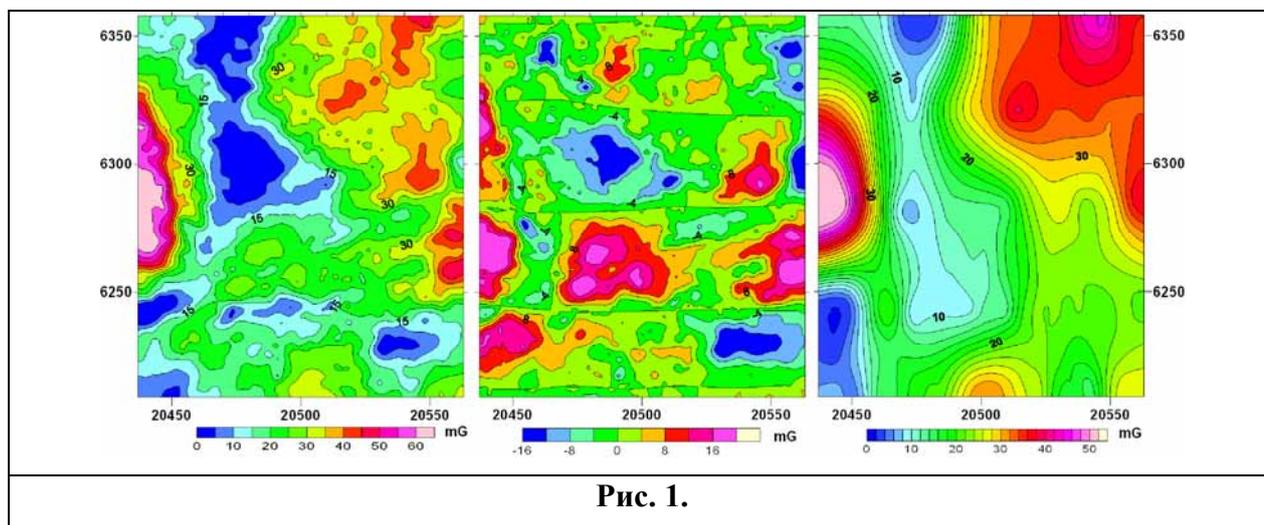
Отмеченные выше нежелательные эффекты, связанные с необходимостью предварительного «*гридования*» исходных наблюдений, в целом ряде случаев оказывают существенное влияние на качество конечных результатов. В то же время, при анализе данных потенциальных полей, с целью изучения глубинного строения земной коры, влияние высокочастотной составляющей поля, практически мало сказывается на качестве конечных результатов. Однако, если глубина исследований при интерпретации данных магниторазведки, определяется первой сотней метров, исключение из обработки высокочастотной компоненты приводит, к потере основной информации, содержащейся в исходных данных и необходимой для решения поставленной геологической задачи.

Именно поэтому часто для исследователя является предпочтительным отказаться от площадной обработки наблюдений, и использовать методы профильной обработки исходных данных. Но в любом случае, исключение высокочастотной компоненты из

исходных наблюдений, не является оправданным. Особенно это касается наиболее распространенных сегодня аэрогеофизических наблюдений и данных морской геофизики.

Известно, что столь востребованные сегодня исследования морского шельфа геофизическими методами с целью поиска и разведки углеводородов, проводятся по криволинейным профилям. При этом расстояние между соседними точками регистрации поля на профиле может составлять сантиметры. В то же время расстояние между морскими профилями иногда достигает сотен и тысяч метров. Та же картина, пусть в меньшей степени, наблюдается и при проведении аэрогеофизических наблюдений. Такой подход к выбору сетей наблюдения в первую очередь определяется экономическими причинами – стоимостью работ. Поэтому, создание данной компьютерной технологии представляет актуальную проблему.

На рисунке 1 слева показаны результаты приведения профильных данных к регулярной сети 250 x 250 м. Расстояние между профилями наблюдений равно приблизительно 1000 м, а между пикетами на профиле примерно 250 м. На этом же рисунке справа приведены результаты гридования тех же данных, но не по всем исходным профилям наблюдений, а по профилям расположенным на расстоянии 5000 м, то есть каждым пятым профилем. В центральной части рисунка приведено разностное поле, содержащее информацию, которая теряется после гридования разреженной сети наблюдений.



Анализ разностного поля показывает, что амплитуда аномалий разностного поля достигает 15 mG, а радиус аномалий изменяется от десятков метров до нескольких километров. Именно поэтому в некоторых случаях для исследователя является

предпочтительным, отказаться от площадной обработки наблюдений, и использовать методы профильной обработки исходных данных, так как исключение высокочастотной компоненты из исходных наблюдений, не является оправданным.

Компьютерная технология, рассматриваемая в диссертационной работе **«КОСКАД ПРОФИЛЬ»**, представляет технологию, ориентированную на анализ и обработку профильных данных, с использованием хорошо зарекомендовавших себя алгоритмов, составляющих функциональное наполнение технологии **«КОСКАД 3D»**.

Цели и задачи исследования. Основной целью исследований является создание компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа геофизических наблюдений, организованной в нерегулярные профильные сети наблюдений.

Достижение цели базируется на решении следующих задач:

-построение и программная реализация оптимальной структуры базы данных для эффективного обеспечения процесса обработки и интерпретации геофизической информации, организованной в нерегулярные профильные сети наблюдения;

-разработка оригинальных алгоритмов визуализации трехмерной информации, организованной в нерегулярные профильные сети наблюдений;

-построение программного интерфейса для работы с данными, организованными в трехмерные профильные сети;

-адаптация и модификация известных алгоритмов обработки и интерпретации геофизических наблюдений методами вероятностно-статистического подхода к анализу профильных наблюдений;

Научная новизна исследований определяется:

1.Созданием модификаций алгоритмов оценки статистических и спектрально-корреляционных характеристик геополей, линейной оптимальной фильтрации, обнаружения и комплексного анализа наблюдений, организованных в нерегулярные профильные сети;

2.Разработкой оригинальных алгоритмов оценки параметров аномалиеобразующих объектов и корреляционного зондирования по нерегулярным сетям наблюдений;

3.Созданием компьютерной технологии анализа, распознавания и классификации многопризнаковых наблюдений, организованных в трехмерные нерегулярные профильные сети;

Защищаемые положения:

1. Предложены и реализованы модификации алгоритмов оценки статистических, градиентных и спектрально-корреляционных характеристик, параметров аномалиеобразующих объектов, линейной оптимальной фильтрации, обнаружения слабых аномалий, классификации и распознавания образов для данных, организованных в профильные нерегулярные сети наблюдения, что существенно расширяет возможности анализа геофизических полей.

2. На основе предложенных алгоритмов создана компьютерная технология по обработке и интерпретации геофизической информации, организованной в профильные нерегулярные сети методами вероятностно-статистического подхода.

3. Применение созданной компьютерной технологии на базе методов вероятностно-статистического подхода к анализу данных существенно повышает эффективность обработки, качество и детальность конечной интерпретации аэрогеофизических наблюдений, данных морской геофизики, наблюдений по региональным профилям и другой геолого-геофизической информации, организованной в профильные нерегулярные сети наблюдений.

Практическая ценность работы состоит в создании компьютерной технологии по обработке данных организованных в профильные нерегулярные сети методами вероятностно-статистического подхода и внедрением программно-алгоритмического обеспечения в геологоразведочных организациях (РГГРУ, Аэрогеология, ВИМС). Применение созданной технологии существенно повышает результативность геофизических методов при проведении поисковых, разведочных и оценочных работ.

Личный вклад. Все положения, выносимые на защиту, выполнены автором или при его непосредственном участии. Автором проведены исследования по разработке базы данных (БД) и программной реализации модулей системы управления БД для эффективной работы с координатно-привязанной информацией, организованной в трехмерные профильные сети. Разработан оригинальный интерфейс и модули графического представления геолого-геофизической информации, организованной в трехмерные профильные сети наблюдения. Предложены новые и адаптированы известные алгоритмы анализа геолого-геофизической информации методами вероятностно-статистического подхода, для данных организованных в трехмерные профильные сети наблюдения.

Методы, используемые в диссертации. Методологическую основу исследования составляют современные подходы к разработке программного обеспечения в области обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, базирующиеся на использовании современных языков программирования, эффективной организации данных и файловой структуры, средств визуализации информации.

Алгоритмические решения способов обработки и интерпретации построены на использовании теории вероятностей и математической статистики, многомерного статистического и дисперсионного анализа, теории случайных процессов, кластерного анализа, спектрально-корреляционного анализа, оптимальной фильтрации.

В работе используются адаптированные процедуры компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «*КОСКАД 3D*».

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, доктору физико-математических наук, заведующему кафедрой геофизики РГГРУ, профессору Петрову Алексею Владимировичу, доктору физико-математических, профессору Никитину Алексею Алексеевичу за внимание, помощь и поддержку, оказываемые за годы совместной работы, Демуре Геннадию Владимировичу за советы и ценные замечания и, другим сотрудникам геофизического факультета РГГРУ, за моральную поддержку.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель исследования и его основные задачи, указаны научная новизна и положения, выносимые на защиту, приведены сведения о практической ценности.

В первой главе представлен обзор основных, существующих компьютерных технологий и используемых методов обработки геофизической информации, организованной в профильные сети.

В работе приведен обзор компьютерных систем построения согласованных моделей по геофизическим данным: Arc Info, ГИС ИНТЕГРО ГЕОФИЗИКА, ГИС ПАРК, Arc View; а также систем обработки геолого-геофизической информации «Пангея», GeoSoft GM-SYS, BRGM 3D GeoModeller и КОСКАД 3D.

Во второй главе диссертации рассматривается функциональное наполнение компьютерной технологии **«КОСКАД ПРОФИЛЬ»** в основе которого, лежат алгоритмы, входящие в состав программного комплекса статистического и спектрально-корреляционного анализа данных **«КОСКАД 3D»**.

Известно, что большинство способов обработки и интерпретации геофизических наблюдений методами вероятностно-статистического подхода первоначально были выполнены в профильном варианте. Это объясняется более простой алгоритмической схемой их реализации и возможностями компьютерной техники того времени. Профильные варианты многих способов обработки и интерпретации входят в состав современной версии компьютерной технологии **«КОСКАД 3D»**. Поэтому, с точки зрения их программной реализации, для данных организованных в нерегулярные профильные сети, необходимо было корректно решить задачу приведения исходной информации к регулярной вдоль профиля, без потери высокочастотной составляющей.

Такая задача была решена посредством линейной интерполяции и приведения исходных данных к регулярной (с постоянным значением интервала между соседними пикетами на профилях) сети. При этом, шаг между соседними пикетами, выбирался равным минимальному расстоянию между соседними точками на профилях, встречающемся в исходных данных. После приведения данных к регулярной, вдоль профилей, сети использование существующих одномерных алгоритмов сводится к решению чисто технологических задач. Полученные результаты можно привести к исходной, нерегулярной вдоль профилей сети, также посредством линейной интерполяции.

Отметим, что такой подход не приводит к потере высокочастотной информации, содержащейся в исходных данных и, вполне приемлем, с точки зрения, производительности современной компьютерной техники.

Приведение к регулярной трехмерной профильной сети позволяет использовать площадные алгоритмы технологии **«КОСКАД 3D»** так как в плоскости XZ (разреза вдоль профиля) исходные данные представляют собой регулярную сеть наблюдения.

Все функциональное наполнение компьютерной технологии **«КОСКАД ПРОФИЛЬ»** можно разбить на четыре раздела по характеру задач, решаемых с их помощью задач. Это **статистика, фильтрация, обнаружение и комплекс**.

Модули блока **статистика** дают возможность на современном уровне провести полный статистический, градиентный и спектрально-корреляционный анализ геоданных, выполнить расчет спектров Фурье и различных корреляционных функций, осуществить

вейвлет-преобразование. Кроме этого в состав этого блока включены программы оценки параметров аномалиеобразующих объектов, статистического и корреляционного зондирования, оценки глубины залегания главных гравимагнитных поверхностей, автоматического трассирования осей аномалий.

Раздел *фильтрация* представлен линейными оптимальными фильтрами, использование которых позволяет представить исходное поле набором составляющих с последовательным уменьшением доли низких частот. Уникальные алгоритмы адаптивной линейной фильтрации дают возможность корректно обрабатывать нестационарные по спектрально-корреляционным характеристикам геополя.

Программная реализация метода обратных вероятностей позволяет успешно решать задачу обнаружения слабых сигналов на фоне соизмеримых по амплитуде помех по каждому профилю сети и представляет блок *обнаружение*.

Алгоритмы раздела *комплекс* направлены на анализ нескольких геолого-геофизических признаков и предназначены для решения задач геологического районирования и картирования, на базе методов распознавания и классификации по данным комплексных геофизических, геохимических и геологических наблюдений.

Глава содержит детальное описание всех алгоритмов, составляющих функциональное наполнение компьютерной технологии *«КОСКАД ПРОФИЛЬ»*.

В третьей главе приводится описание разработанного программного обеспечения компьютерной технологии *«КОСКАД ПРОФИЛЬ»*. Исходной информацией для большинства функциональных модулей компьютерной технологии *«КОСКАД ПРОФИЛЬ»* и основным структурным элементом базы данных является *профильная сеть наблюдений*.

Под профильной сетью понимается сеть, содержащая определенное число профилей. При этом каждый из профилей сети характеризуется числом точек наблюдения, координатами X, Y, Z каждой точки профиля и значениями набора исследуемых признаков в каждой точке профиля, которых может быть несколько. Кроме этого все профили сети могут содержать определенное число слоев, расположенных друг от друга на постоянное расстояние dZ .

На рисунке 2, слева сверху, изображено основное меню технологии *«КОСКАД ПРОФИЛЬ»*. Основное меню содержит шесть функциональных блоков технологии, в названии которых отражается их функциональное наполнение. В меню высвечиваются

номера сетей из базы данных, при этом, если сеть существует, то соответствующая ей кнопка активна, в противном случае - кнопка заблокирована.

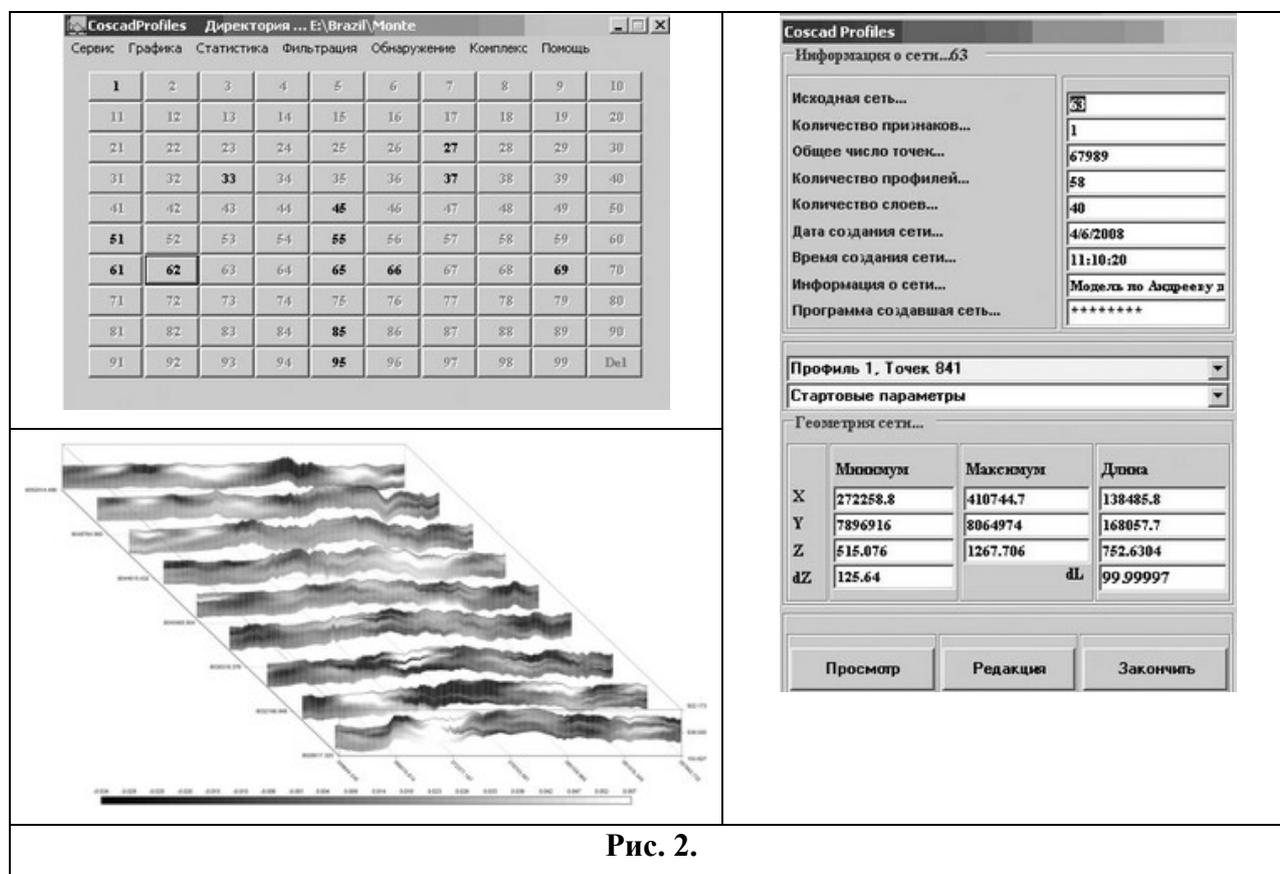


Рис. 2.

Каждой кнопке соответствует конкретная профильная сеть. Выбрав кнопку, существующей сети можно получить информацию о параметрах сети, представленную в таблице на рисунке 2 (справа).

В таблице приводится:

- номер исходной сети;
- количество признаков сети;
- общее число точек на всех профилях сети;
- количество профилей и слоев сети;
- дата и время создания сети;
- дополнительная информация о сети, которая задается пользователем;
- имя модуля, с помощью которого была создана сеть.

Кроме этого имеется возможность получить информации о числе точек на каждом из профилей сети и значениях стартовых параметров, программы, с помощью которой была

создана сеть. В нижней части таблицы содержится информация о геометрических характеристиках сети, таких как минимальные и максимальные значения координат XYZ , расстоянии между слоями, средним значением между точками на профилях dL . Слева внизу на рисунке 2 изображена трехмерная сеть, состоящая из 9 профилей и нескольких слоев.

Начало главы содержит описание структуры базы данных (БД) технологии «КОСКАД ПРОФИЛЬ», которая играет важную роль в технологии обработки геоданных, организованных в профильные сети. От качества и характеристик БД зависит эффективность функционирования создаваемой технологии обработки и интерпретации в целом.

Анализ особенностей полей, используемых в процессе обработки и моделирования геолого-геофизических разрезов для создания 3D модели земной коры, учет специфики координатно-привязанной геологической информации, позволил в качестве оптимальной структуры базы данных выбрать профильную модель.

Профильная модель предполагает хранение информации в точках определенного числа криволинейных профилей, по которым проводились геофизические наблюдения. Выбор такой модели БД был сделан исходя из следующих соображений:

-большинство геофизических наблюдений, которые предполагается использовать в процессе построения модели земной коры, осуществляются вдоль профилей.

--профильная модель позволяет работать с информацией, организованной как в регулярные, так и нерегулярные сети наблюдений.

-профильная модель БД позволяет эффективно организовать работу с разрезами земной коры.

Основным элементом предлагаемой БД является сеть, которая соответствует площади исследований, ограниченной *прямоугольными координатами* $X_{мин.}, X_{макс.}, Y_{мин.}, Y_{макс.}$. Каждая сеть содержит определенное *число профилей* M , по которым имеется геофизическая или оцифрованная геологическая информация, а каждый из M профилей содержит определенное число N_i пикетов (точек наблюдения).

С позиций координатной привязки по площади, каждая точка профиля характеризуется значениями *трех координат* X, Y, Z , *определяющих ее положение в пространстве.*

Важной характеристикой сети, является значение размерности признакового пространства данных в БД или *количество признаков сети*. Данный параметр определяет количество содержательных признаков в каждой точке профиля. При этом этот параметр

является общим для всех профилей конкретной сети. Если по какому-то признаку сети на отдельных профилях информация отсутствует, то соответствующие поля в БД заполняются «кодом неизмерения», значение которого принимается равным 131313E13.

Кроме этого, каждая сеть характеризуется *числом слоев*, при этом считается, что каждый слой располагается на определенной глубине параллельно поверхности рельефа. *Расстояние между соседними слоями dZ* , как и количество слоев, является постоянным для всех профилей сети. Введение понятия слоя позволяет эффективно решать задачи трехмерного моделирования, при этом постоянство расстояния между отдельными слоями повышает эффективность решения большого числа задач, возникающих в процессе моделирования.

В отдельно выбранной директории можно хранить 99 различных профильных сетей.

Таким образом, выбранная модель структуры БД позволяет работать с многопризнаковой 3D информацией, организованной в профильные сети. В ней учитываются:

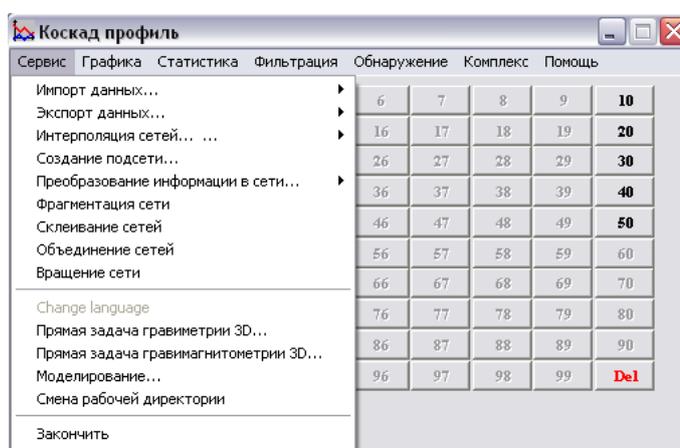
-характерные особенности, свойственные координатно-привязанной геолого-геофизической информации;

-специфические детали процесса обработки и интерпретации геолого-геофизической информации и 3D моделирования;

-эффективность работы содержательных программных модулей с данными из БД;

-возможности средств визуализации информации и интерфейса пользователя;

Программное обеспечение компьютерной технологии «*КОСКАД ПРОФИЛЬ*» разделены на шесть разделов: *сервис, графика, статистика, фильтрация, обнаружение и комплекс*. В названии каждого из разделов содержится информация о характере задач, решаемых с помощью, входящих в него модулей.



Программы раздела **«Сервис»** предназначены для выполнения стандартных функций системы управления базой данных.

С их помощью осуществляется импорт/экспорт содержательной информации, объединение и фрагментация сетей, интерполяция сетей, различные преобразования с данными. Полный список сервисных процедур представлен на рисунке.

Комплекс спектрально-корреляционного анализа данных **«КОСКАД ПРОФИЛЬ»** оснащен удобным графическим интерфейсом, позволяющим оперативно просматривать одномерную, двумерную и трехмерную информацию из базы данных на экране дисплея в виде растровых карт, отдельных графиков, карт графиков и т.д..



Модуль **визуализации схемы расположения профилей** предназначен для просмотра схемы расположения профилей сети.

Модуль представления информации в виде растровой карты позволяет просматривать информацию из базы данных в виде растровой карты, при этом каждая точка сети отображается в круга, определенного радиуса и цвета. Модуль работает в режиме многодокументного интерфейса (MDI), позволяющего просматривать информацию в нескольких окнах одновременно.

Программный модуль **«Карта профилей»** предназначен для отображения графиков вдоль криволинейных профилей. Модуль работает в режиме многодокументного интерфейса (MDI). Пример визуализации информации в виде карты графиков представлен на рисунке 3.

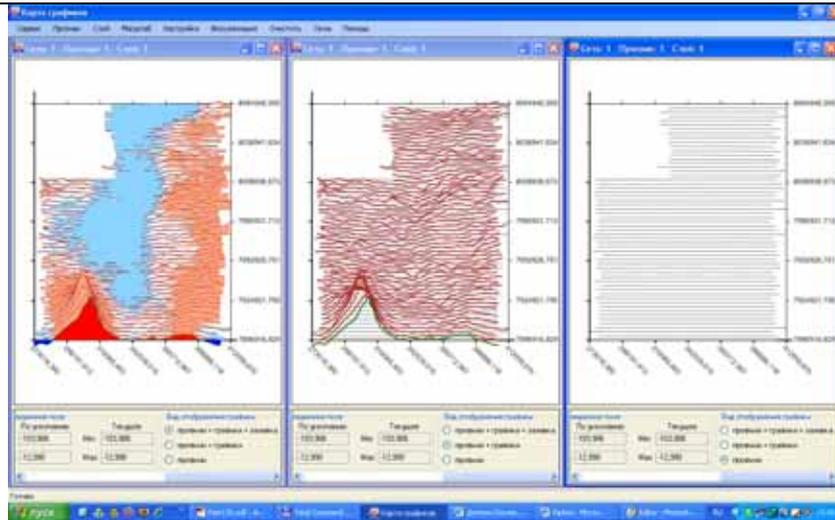


Рис. 3.

Модуль просмотра информации в виде разрезов предназначен для просмотра информации из двух, совпадающих по геометрии сетей. При этом информация из первой сети представлена в виде графика вдоль профиля сверху, а вторая сеть представлена в виде разреза для соответствующего профиля снизу.

Программный модуль просмотра трехмерных профильных сетей в проекции XYZ предназначен для отображения 3D сетей путём просмотра разрезов в направлении простирания профилей. Модуль работает в режиме многодокументного интерфейса (MDI), позволяющего просматривать информацию в нескольких окнах одновременно. Пример визуализации в проекции XYZ представлен на рисунке 4.

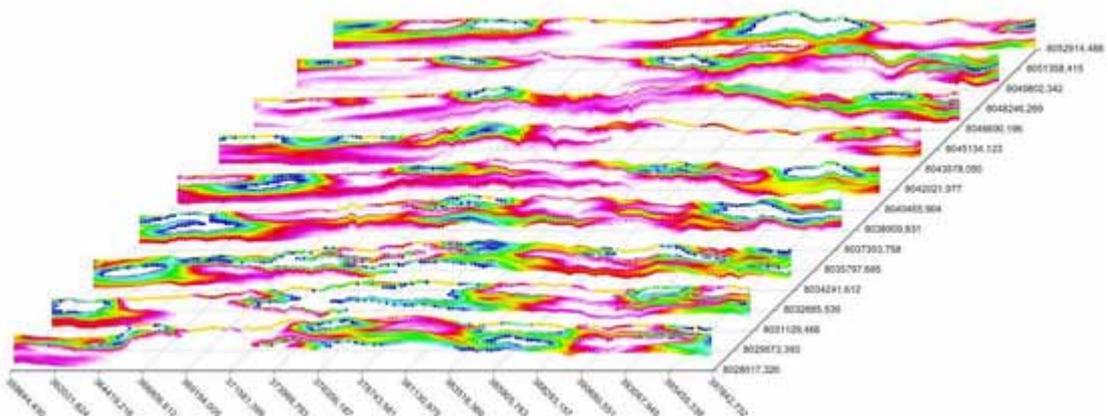
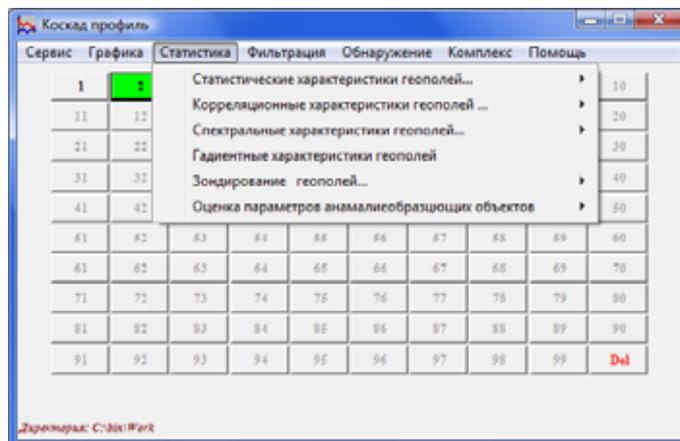


Рис. 4.

Модуль просмотра данных из сетей различной геометрии предназначен для просмотра информации из нескольких, несовпадающих по геометрии сетей. При этом профильная информация представлена в виде графика вдоль профиля сверху, а разрез представлен снизу. Количество одновременно представленных графиков неограниченно, при этом их идентификация осуществляется по таблице в нижней части окна.

Блок «*Статистика*» включает программы оценки статистических, спектрально-корреляционных и градиентных характеристик геополей.



Модули оценки корреляционных характеристик позволяют рассчитать функцию автокорреляции вдоль профилей сети и оценить коэффициент корреляции в скользящем окне между двумя признаками одной сети.

Программы оценки спектральных характеристик позволяют рассчитать одномерный спектр Фурье по каждому из профилей сети и оценить в скользящем окне мощность сигнала.

Блок программ вейвлет-преобразования профильных наблюдений реализует алгоритмы, базирующиеся на теории вейвлет-анализа, позволяющие корректно оценивать спектры нестационарных полей, при этом оценивать не только наличие сигналов определенных частот, но и указывать их расположение. В программах реализован алгоритм вейвлет-преобразование для каждого профиля исходной сети, кроме этого имеется возможность сделать интегральное вейвлет преобразование, которое является аналогом спектра Фурье, но дает более корректный результат при обработке нестационарных наблюдений.

В модулях статистического и корреляционного зондирования реализован оригинальный подход к оценке изменения статистических и корреляционных характеристик поля с глубиной на основе их вычисления в скользящих окнах различных размеров.

Пример преобразованного корреляционного зондирования вдоль одного из профилей приведен на рисунке 5.

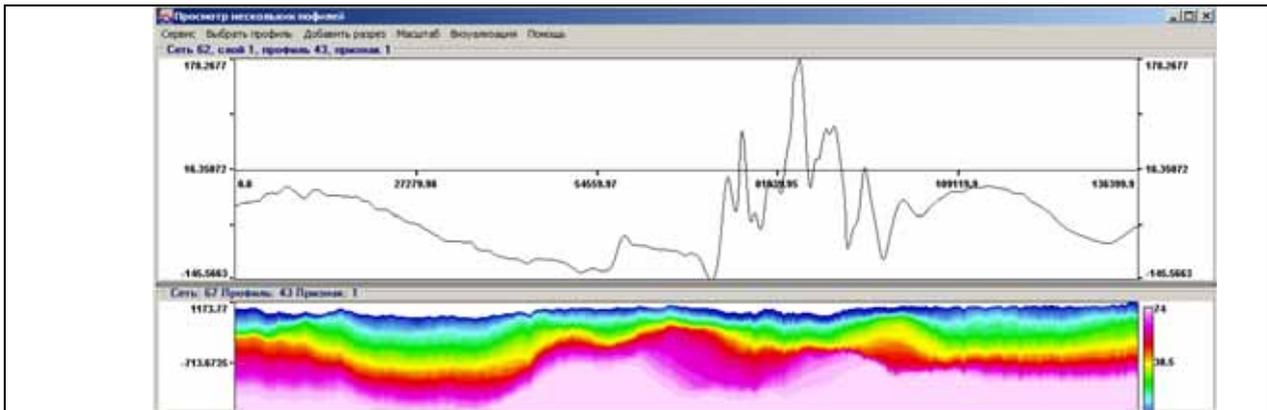
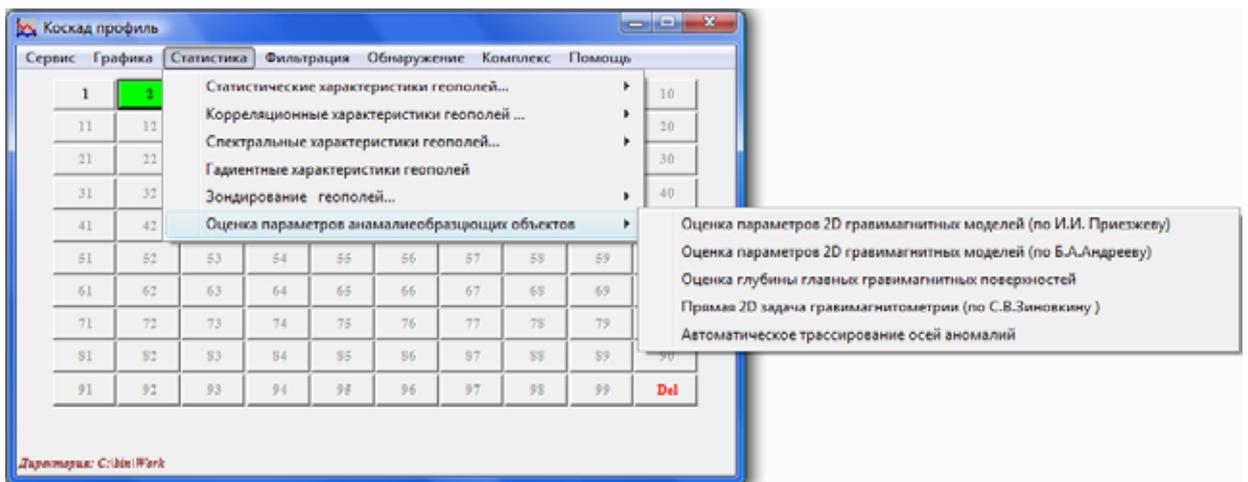
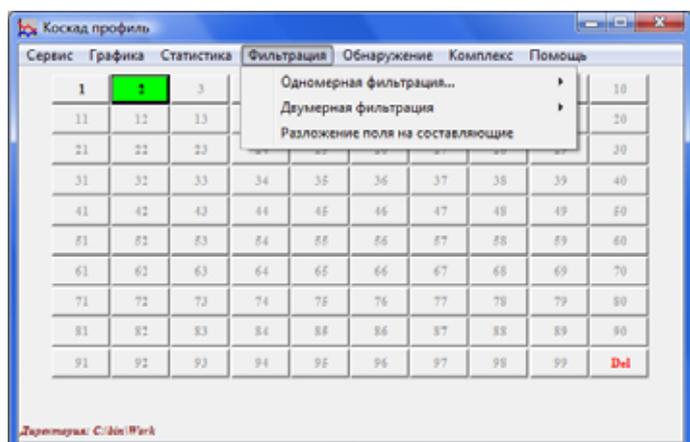


Рис. 5.

Программы *оценки параметров аномалиеобразующих объектов* позволяют оценить параметры относительное распределение магнитных и гравитационных масс посредством использования как вероятностно-статистических методов, так и подходов, базирующихся на аналитических продолжениях поля в нижнее полупространство.



Программа *оценки глубины положения главных магнитоактивных поверхностей* предназначена для оценки положения глубины главных магнитоактивных поверхностей на основе анализа радиуса корреляции в скользящем окне "живой" формы. В результате работы программы образуется сеть, в которой содержится оценка положения верхней



кромки главной магнитоактивной поверхности.

Программы, реализующие методы линейной оптимальной фильтрации объединены в блоке **фильтрация**. В программах данного раздела программного комплекса реализованы наиболее распространенные в разведочной геофизике линейные оптимальные фильтры, позволяющие решать задачи разложения поля на составляющие, исключения тренда, оценки формы аномалий. Особый интерес представляют уникальные адаптивные фильтры, позволяющие корректно обрабатывать нестационарные по спектрально-корреляционным характеристикам геофизические поля.

Модуль **«Одномерной фильтрации в скользящем окне фиксированного размера»** предназначен для по-профильной фильтрации данных в сети. В программе реализованы профильные варианты **энергетической, энтропийной, корреляционная и трендовой фильтрации**.

Модуль **«Одномерная полиномиальная фильтрация»** предназначен для по-профильной фильтрации отдельного признака сети, используя аппроксимацию значений поля на профиле полиномами степеней от 1 до 49. Достоинством алгоритма является возможность изменять частотные характеристики сигнала на выходе фильтра, изменяя значение степени аппроксимирующего полинома. Так, чем меньше степень полинома, тем меньше высокочастотных составляющих остается в выходном сигнале фильтра.

Программа **«Одномерная адаптивная фильтрация в окне живой формы»** предназначена для фильтрации геополей **адаптивным фильтром**, настраивающимся на изменение спектрально-корреляционных свойств поля вдоль профиля. Одномерный адаптивный фильтр позволяет эффективно обрабатывать нестационарные вдоль профилей поля. В отличие от обычных фильтров, которые не меняют свои параметры в процессе фильтрации, данный фильтр автоматически изменяет значения весовых коэффициентов и размер окна фильтрации в зависимости от изменения спектрально-корреляционных характеристик в окрестностях базового окна каждой точки поля. Это позволяет корректно обрабатывать нестационарные, по спектрально-корреляционным характеристикам, геополы.

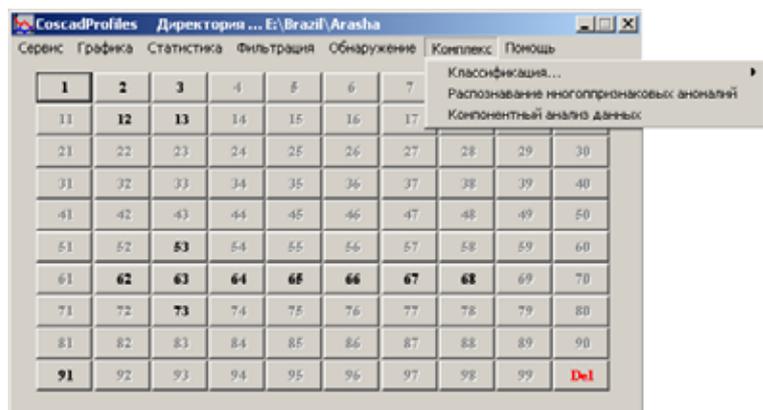
Программы двумерной фильтрации предназначены для работы с информацией в плоскости разреза по каждому из профилей сети. Реализованы программы реализующие **«Фильтрацию в фиксированном окне», «Двумерную полиномиальную фильтрацию», фильтрацию «В скользящем окне «живой» формы»**.

Помимо непосредственно программ фильтрации в раздел входит модуль разложения поля на составляющие. В программе реализована технология автоматического разложения

поля на составляющие посредством одномерной адаптивной фильтрации. Исходной информацией для данной процедуры является лишь номер исходной сети, тип фильтра и конечное число составляющих.

Программная реализация способа обратных вероятностей представляет раздел **обнаружение**. В программе реализован метод обратных вероятностей в профильном варианте, который используется для обнаружения слабых однопризнаковых или комплексных аномалий в условиях, когда имеется информация об их форме (эталонная аномалия). За эталонную аномалию чаще всего принимается фрагмент профиля любой сети из базы данных комплекса, включая исходную, где достоверно известно о наличии аномалии.

Обработка комплексных наблюдений осуществляется с использованием программ из раздела **«Комплекс»**. Использование программ этого раздела позволяет решать задачи



разбиения разреза вдоль профиля сети на однородные области (классы) с равными средними значениями признаков, распознавания комплексных аномалий по эталонной аномалии. Кроме этого возможно проведение компонентного анализа

многопризнаковых данных.

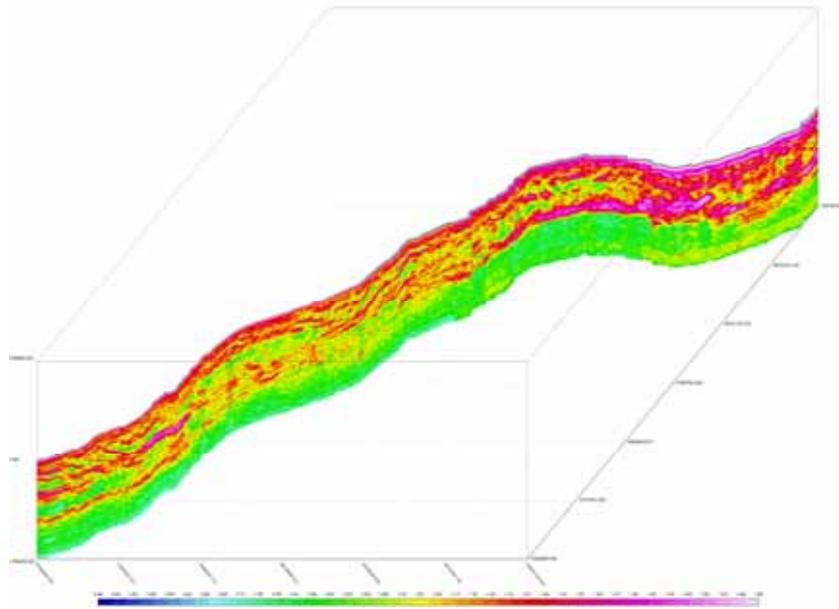
Для программ этой группы в качестве входной информации могут быть использованы значения различных геолого-геофизических признаков и их производных, полученных с помощью программ из других разделов комплекса.

В программном комплексе реализованы классификационные алгоритмы, позволяющие разбивать исследуемые территории на области, однородные по комплексу признаков с использованием метода динамических сгущений (k -средних) и разделения многомерных нормальных смесей.

В четвертой главе представлены примеры практического использования технологии **«КОСКАД ПРОФИЛЬ»**.

Изучение глубинного строения территории России – одна из приоритетных задач сегодняшней геологической службы Российской Федерации. В настоящее время с этой целью создается государственная сеть опорных региональных профилей, параметрических

и сверхглубоких скважин для дальнейшего использования полученной информации о строении недр широким кругом недропользователей. Результаты обработки сейсмической информации (рис.6), данных гравиразведки и магниторазведки (рис.7) рассматриваются в начале четвертой главы работы.



**Рис.6. Глубинный сейсмический профиль ЗДВ (Центральный участок, интервал 700-1409 км).
Мгновенная амплитуда**

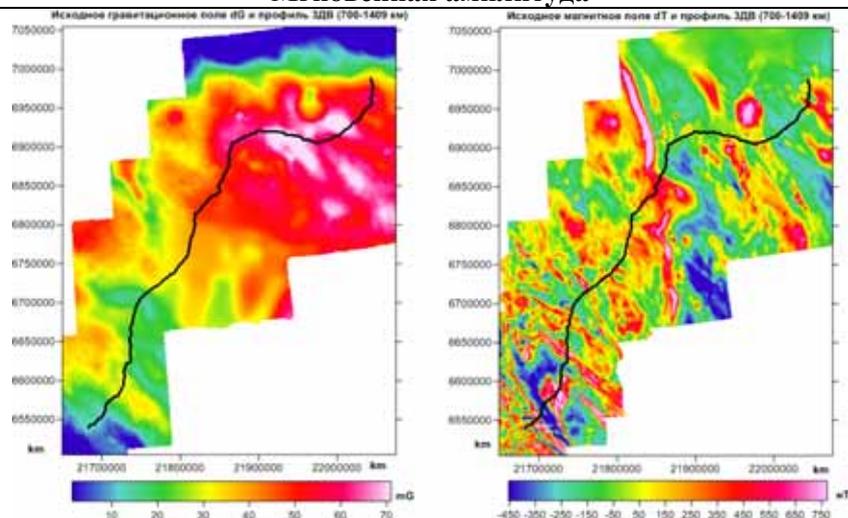


Рис.7. Исходное гравитационное поле dG (слева), магнитное поле dT (справа) и региональный профиль ЗДВ (Центральный участок, интервал 700-1409 км).

На рисунках 8 и 9 приведены соответственно гравитационная модель до глубины 80 км и модель относительного распределения магнитных масс до глубины 20 км в проекции ЗД.

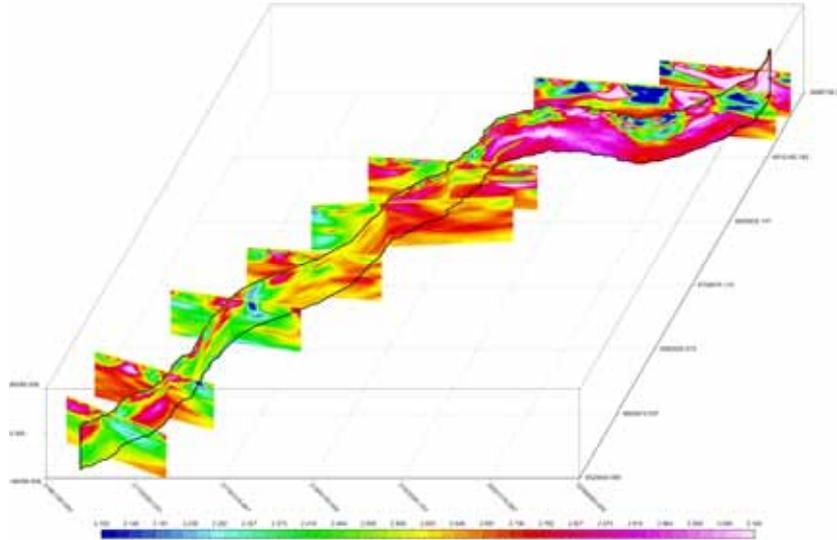


Рис.8. Модель относительного распределения плотности по профилю ЗДВ Центральный участок (интервал 700 -1409 км).

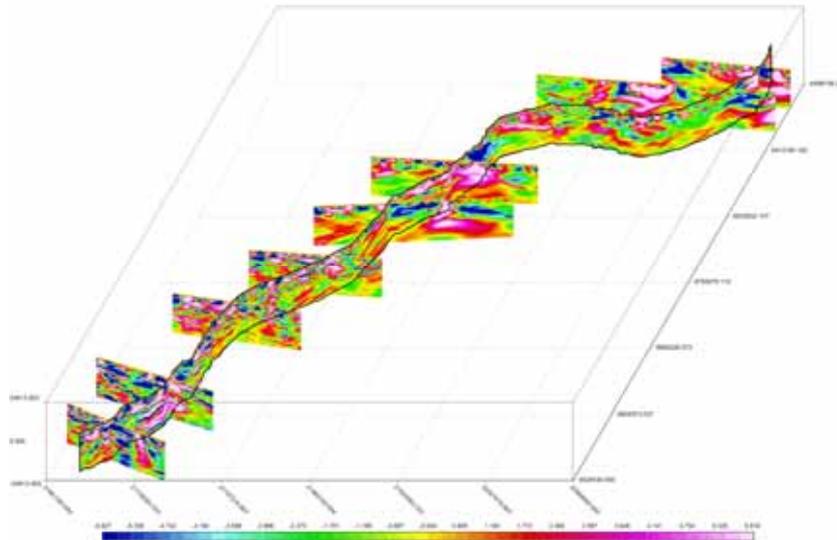
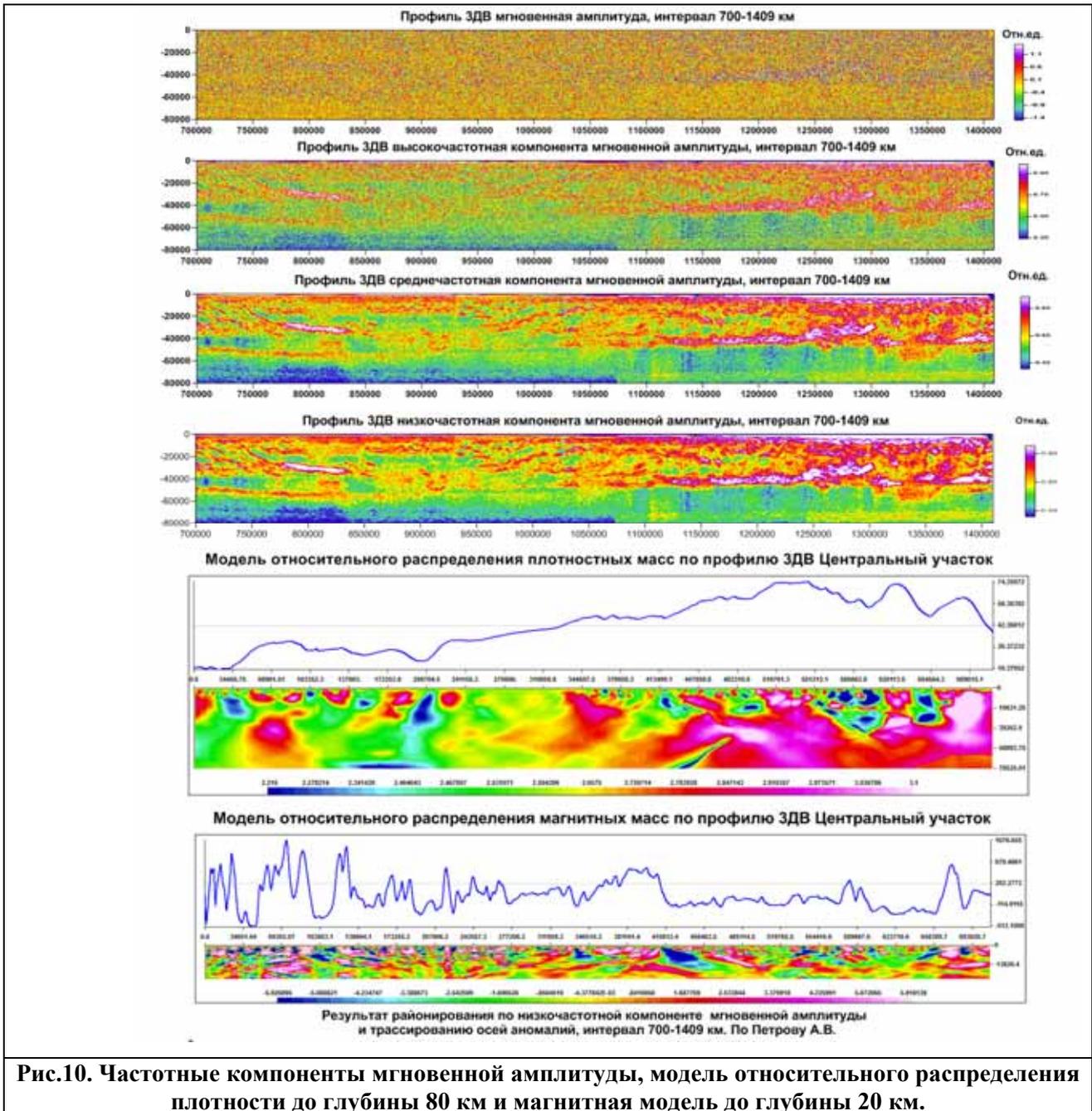


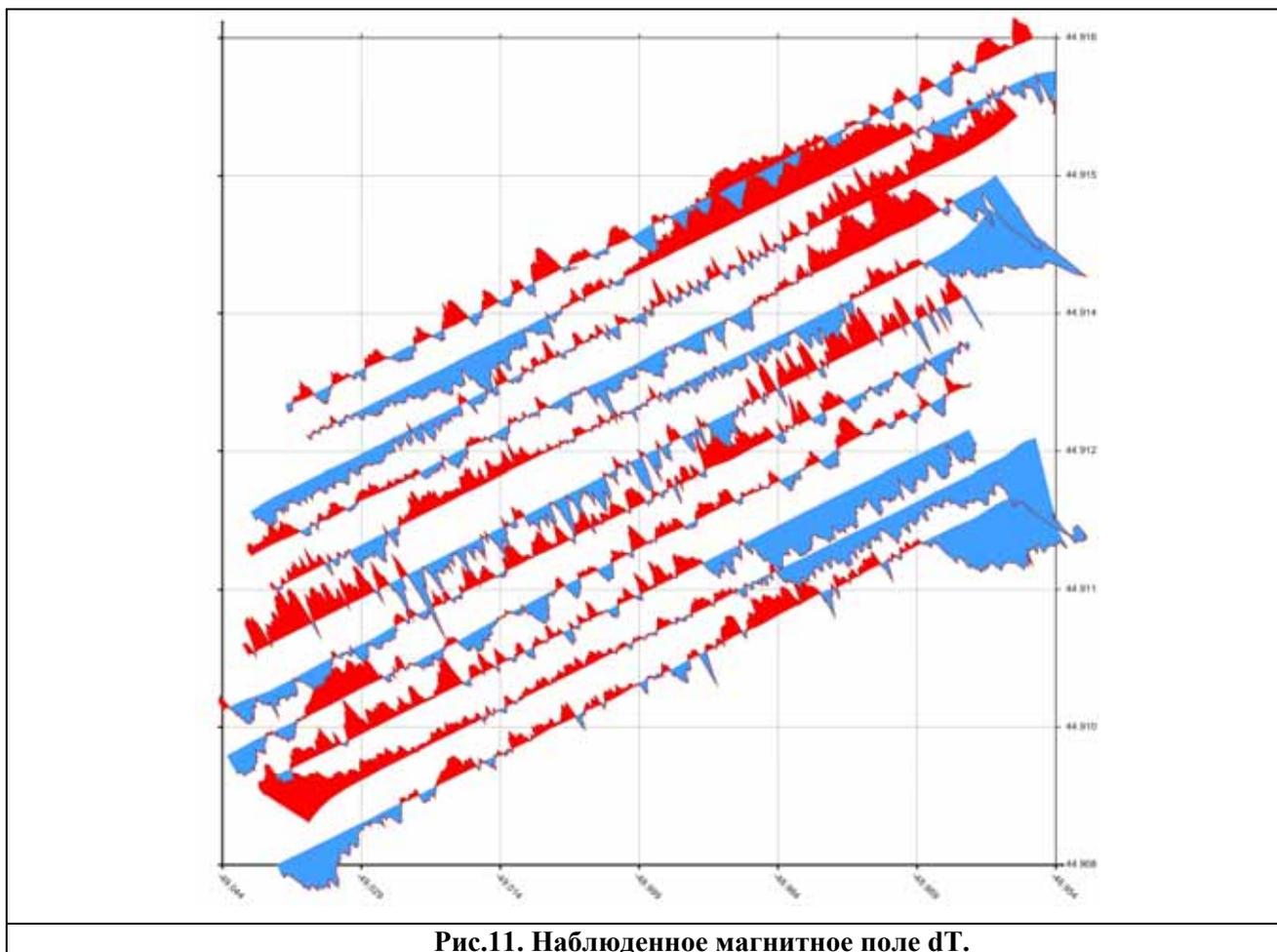
Рис.9. Модель относительного распределения магнитных масс по профилю ЗДВ Центральный участок (интервал 700 -1409 км). До глубины 20 км.

На рисунке 10 представлены результаты фильтрации в окне живой формы мгновенной амплитуды сейсмического разреза с целью выделения различных частотных компонент.



Как отмечалось выше технология «*КОСКАД ПОФИЛЬ*» востребована при обработке данных морской геофизики. На рисунках ниже приведен пример ее тестирования на материалах морской магниторазведке в акватории Черного моря.

Созданное программное обеспечение было протестировано на данных морской геофизики. На рисунке 11 представлено наблюдаемое магнитное поле, после увязки его значений на отдельных профилях с использованием процедуры «Нормирование и центрирование» специально разработанной для решения задач учета вариаций магнитного поля.



На рисунке 12 представлены результаты применения метода Андреева Б.А. для создания модели относительного распределения магнитных масс вдоль профилей наблюдений до глубины 100 м. Результаты по - профильного вейвлет разложения на рисунке 13.

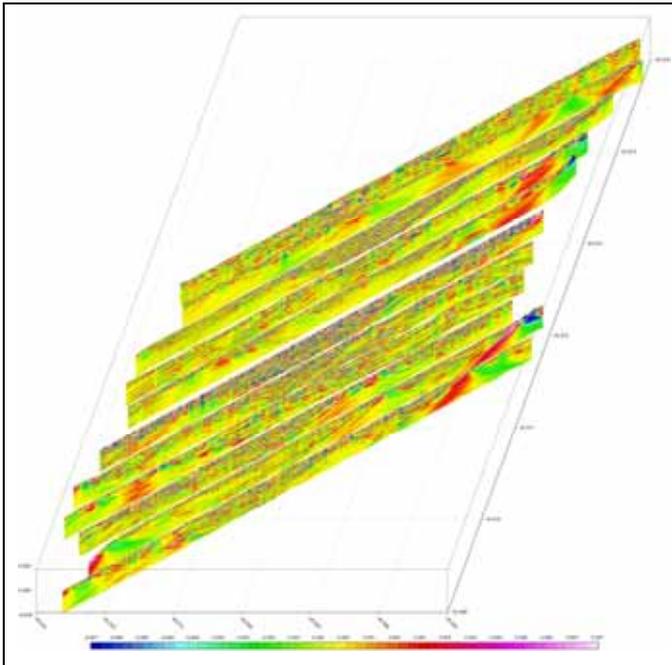


Рис. 12.

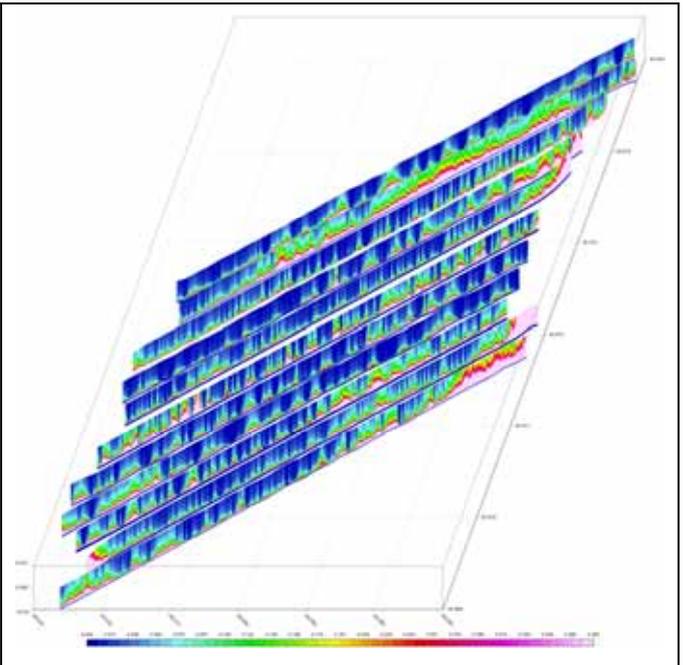


Рис. 13.

Результат оценки положения главной магнитоактивной поверхности представлен на рисунке 14 и корреляционного зондирования магнитного поля на рисунке 15.

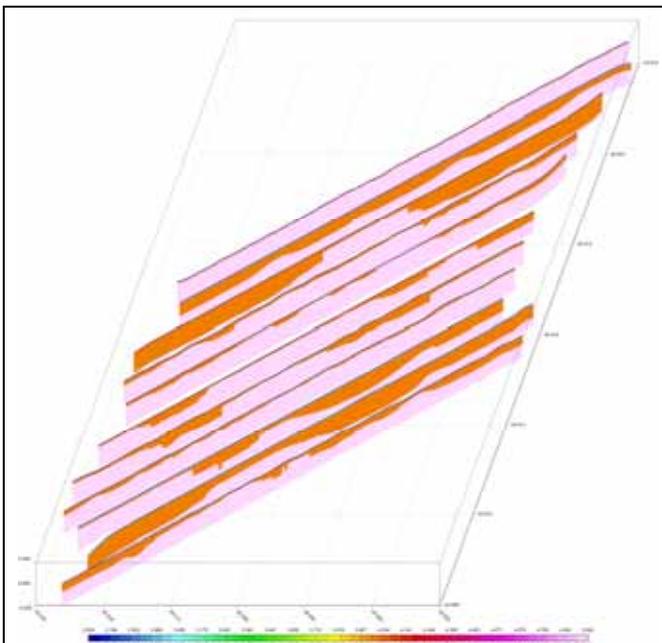


Рис. 14.

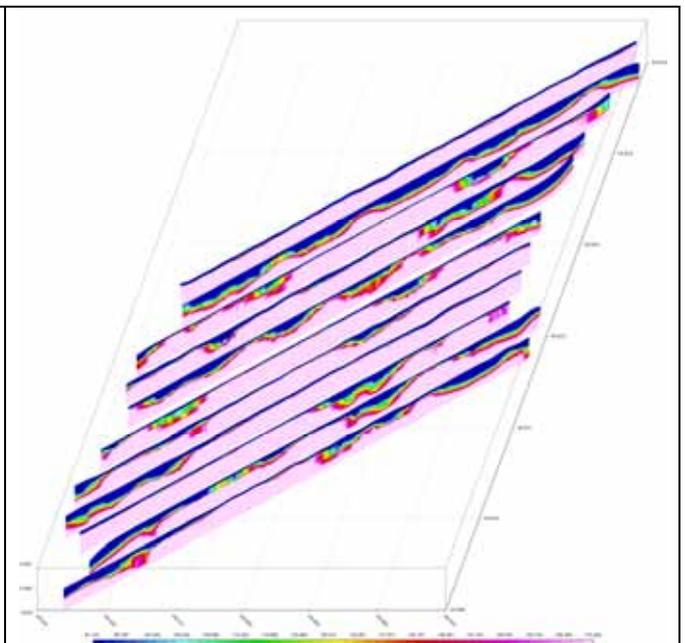


Рис. 15.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Основным результатом проведенных исследований можно считать создание компьютерной технологии обработки и интерпретации данных, организованных в профильные нерегулярные сети, методами вероятностно-статистического подхода.

Проведенные исследования по разработке компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа геоданных, организованных в профильные сети, ее тестирование и использование в процессе обработки и интерпретации данных вдоль региональных профилей при изучении глубинного строения земной коры, наблюдений морской геофизики позволили определить основные направления ее дальнейшего развития:

- совершенствование средств графического представления геолого-геофизической информации, организованной в трехмерные профильные сети;
- создание эффективной системы взаимодействия между базами данных компьютерных технологий «КОСКАД 3D» и «*КОСКАД ПРОФИЛЬ*»;
- разработка программного алгоритмического обеспечения для учета технологических особенностей аэрогеофизических наблюдений и морских геофизических съемок;
- совершенствование системы управления базой данных с целью повышения эффективности модельных построений по данным гравиразведки и магниторазведки в компьютерной технологии «КОСКАД МОДЕЛИРОВАНИЕ»;

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1.Петров А.В., Юдин Д.Б., Компьютерная технология статистического и спектрально – корреляционного анализа площадной геофизической информации, представленной профильными наблюдениями «Коскад - Профиль» Современные геофизические и геоинформационные системы. Москва 2008 г.

2.Петров А.В., Юдин Д.Б., Функциональное наполнение компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных, организованных в профильные сети «КОСКАД ПРОФИЛЬ». Материалы 37-й сессии Международного семинара им.Д.Г.Успенского Москва, ИФЗ 25 января-29 января 2010 г.

3.Петров А.В. Юдин Д.Б. Обработка данных методом вероятностно – статистического подхода в компьютерной технологии «Коскад - Профиль». Материалы 38-

й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского Пермь, ПГУ 24 января – 28 января 2011г.

4. Петров А.В., Юдин Д.Б., Хоу Сюели, Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно – статистического подхода с использованием компьютерной технологии «Коскад 3D». Вестник Краунц. Науки о земле. 2(16) 2010г.

5. А.В. Петров, С.В.Зиновкин, Д.Ю.Осипенков, Д.Б. Юдин «Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД 3D 2011». «Геоинформатика» №4 2011г.

Подпись автора _____ / Д.Б.Юдин /