

На правах рукописи

**НАТАЛЬЧИШИН ТАРАС АНАТОЛЬЕВИЧ**

**ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ПАРАМЕТРОВ АНОМАЛИЕОБРАЗУЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ  
ГРАВИРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ**

Специальность 25.00.10

Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

МОСКВА - 2012

Работа выполнена в Российском государственном геологоразведочном Университете им. Серго Орджоникидзе (МГРИ - РГГРУ)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,  
профессор Петров Алексей Владимирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук  
Галуев Владимир Иванович

кандидат технических наук  
Трусов Алексей Андреевич

Ведущая организация: ФГУП «Аэрогеология»

Защита состоится « 21 » июня 2012 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д 212.121.07 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе по адресу: 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, РГГРУ, ауд. 4-73.

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

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » мая 2012г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
доктор физико-  
математических наук



А. Д. Каринский

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Существует разнообразное программное обеспечение осуществляющее построение геолого-геофизических моделей. Часто такие модели строятся на основе данных сейсморазведочных и каротажных работ, однако достоверность в таком случае не всегда максимальна. Применение данных гравиразведки и магниторазведки при построении комплексных моделей приобрело большую значимость, так как позволяет оценить распределение плотностных и магнитных масс в моделируемых объектах, что даёт возможность увеличить достоверность модели.

Программы корректировки моделей по гравитационным и магнитным полям в массе своей являются интерактивными, т.е. интерпретация практически полностью происходит вручную. Однако с появлением мощных вычислительных систем и реализацией новых алгоритмов решения прямых задач стало актуальным создание программного обеспечения способного в автоматическом, или полуавтоматическом режиме осуществлять уточнение геологических моделей, используя для этого данные гравитационных и магнитных измерений на основе дополнительной априорной информации.

Для решения проблем поиска, а уточнение моделей является именно задачей поиска, используются алгоритмы, основанные на градиентных и стохастических методах. Эти алгоритмы являются оптимизационными и используются, когда требуется обработка значительного объема данных с минимальными затратами времени на вычисления. При решении прямых и обратных геофизических задач часто используются алгоритмы стохастического подхода по причине случайного поведения рассматриваемых структур.

Генетические алгоритмы (ГА) – современные стохастические методы оптимизации, обладающие рядом свойств, которые делают их применение более эффективным. Программы, построенные на базе таких алгоритмов, дают довольно хорошие результаты и используются в различных сферах науки и инженерии. ГА реализуют элементы конкуренции, это свойство выражается в создании поколения решений и последующего выбора лучшего из них. Однако генетические алгоритмы практически не применяются при интерпретации геофизических данных. Например, на основе таких алгоритмов можно создавать программное обеспечение, которое при использовании априорных данных будет производить полную либо частичную корректировку моделей.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что применение генетических алгоритмов для решения обратных задач гравитационной и магнитной разведок является актуальным.

### **Цели и задачи исследования.**

Основной целью исследований является создание программно-алгоритмического обеспечения для использования генетического алгоритма при построении моделей относительного распределения плотностных масс.

Достижение цели исследования базируется на решении следующих задач:

- оценка возможностей применения генетического алгоритма для определения параметров аномалиеобразующих тел по гравитационному и магнитному полю.
- создание на основе генетического алгоритма процедур, осуществляющих поиск параметров аномалиеобразующих объектов простой формы по данным гравитационной разведки.
- разработка программы построения тестовых моделей для отработки и исследования параметров алгоритма.
- модификация генетического алгоритма для уточнения сеточных моделей на основе дополнительной априорной информации
- программная реализация модуля автоматической полной либо частичной коррекции гравитационной сеточной модели.

### **Научная новизна.**

- Разработанное программное обеспечение производит достаточно точный поиск параметров аномалиеобразующих тел простой формы. Реализован метод комплексного поиска, т.е. поиска параметров для различного количества простых тел одного типа. Возможна модернизация программы для поиска большого количества тел различных типов.
- Создана программа, позволяющая на основе генетического алгоритма производить уточнение геолого-геофизических моделей по гравитационному полю.

### **Защищаемые положения.**

- Созданное программное обеспечение и предложенные оригинальные алгоритмы, базирующиеся на эволюционных методах, повышают эффективность процесса построения плотностных и магнитных моделей за счет включения принципов конкуренции в процедуру поиска параметров аномалиеобразующих объектов.

- Предложенная методика уточнения плотностных характеристик моделей первого приближения на основе генетических алгоритмов, повышает эффективность процедуры автоматической корректировки конечной гравитационной модели.

### **Практическая ценность.**

Использование программного обеспечения на основе генетических алгоритмов позволяет сократить сроки и затраты на уточнение моделей и поиск параметров простых тел по гравитационным полям.

### **Апробация работы.**

Основные положения диссертации докладывались на IX и X международных конференциях “Новые идеи в науках о земле” (2009г., 2011г.), на 37й и 38й сессиях международного семинара имени Д.Г.Успенского (2010г., 2011г.). По теме опубликовано 6 работ.

### **Благодарности.**

Автор искренне благодарит научного руководителя, доктора физико-математических наук, профессора Петрова Алексея Владимировича; доктора физико-математических наук, профессора Никитина Алексея Алексеевича за внимание к работе и предоставленные материалы; кандидата технических наук Зиновкина Сергея Владимировича за помощь, предоставленные материалы; сотрудников геофизического факультета РГГРУ и многих других.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

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

**Первая глава** содержит описание основных методов оптимизации и поиска, краткое описание генетических алгоритмов.

Обработка и интерпретация геофизических данных являются одними из наиболее ресурсоёмких процессов, данные гравиразведки и магниторазведки не являются исключением. Для решения разнообразных задач требуется достаточно быстрое манипулирование данными, поэтому часто применяются методы оптимизации. Такие методы, в основном, делят на детерминированные, стохастические и комбинированные, эти методы так же делятся на группы.

Детерминированные методы, это - градиентные методы, методы последовательных приближений и др. Достаточно часто в геофизике применяются градиентные методы

Основная идея градиентных методов заключается в том, чтобы идти по области решений в направлении наискорейшего спуска:

$$x_i^{[j+1]} = x_i^{[j]} + \lambda^{[j]}v_i^{[j]},$$

где  $v^{[j]}$  – коэффициент указывающий направление спуска;  $\lambda^{[j]}$  отвечает за длину шага и может быть:

- постоянной величиной, в этом случае метод может расходиться;
- длина шага в процессе спуска может делиться на некое число;
- вычисляться через формулу наискорейшего спуска:

$$\lambda^{[j]} = \operatorname{argmin}_{\lambda} F(x^{[j]} - \lambda F'(x^{[j]}))$$

Существует несколько модификаций метода градиентной оптимизации применительно к дискретным вычислениям.

К стохастическим методам относятся метод Монте-Карло, имитационный отжиг, генетические алгоритмы. Все эти методы базируются на генерации псевдослучайных чисел. Генетические алгоритмы становятся всё более популярными методами, ввиду роста многопроцессорных систем, т.к. достаточно хорошо распараллеливаются (кластеров, суперкомпьютеров, многоядерных персональных компьютеров).

Генетические алгоритмы являются результатом наблюдений и попыток копирования естественных процессов, происходящих в мире живых организмов, в частности, эволюции. Идею генетических алгоритмов высказал Дж. Холланд. Он заинтересовался свойствами процессов естественной эволюции (в том числе фактом, что эволюционируют хромосомы, а не сами живые существа) Холланд был уверен в возможности составить и реализовать в виде компьютерной программы алгоритм, который будет решать сложные задачи так, как это делает природа - путем эволюции. Эти алгоритмы имитировали эволюционные процессы в поколениях хромосом. В них были реализованы механизмы *селекции* и *репродукции*, аналогичные применяемым при естественной эволюции.

В главе описываются методы уточнения гравитационных и магнитных моделей. Эти методы могут быть как интерактивными (например, методика построения гравитационных и магнитных моделей геологического разреза осадочного чехла и консолидированной земной коры Зиновкина С.В.), так и автоматическими (Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля Приезжева И.И.).

**Во второй главе** подробно описываются генетические алгоритмы и их применение для определения параметров различных тел способных возмущать гравитационное или магнитное поля, рассмотрены теоретические принципы решения прямых задач гравитационной и магнитной разведок.

Генетические алгоритмы (ГА) - есть поисковые алгоритмы, основанные на механизмах натуральной селекции и натуральной генетики. Они реализуют

«выживание сильнейших» среди рассматриваемых структур, т.е. моделируют эволюцию. Генетические алгоритмы относятся к стохастическим методам, т.е. основаны на генерации случайных чисел и часто применяются для оптимизации процесса вычисления поставленной задачи.

Процесс поиска, основанный на генетическом алгоритме можно условно разделить на несколько ключевых этапов. На начальном этапе создается **ряд потенциальных решений** рассматриваемой задачи (Таблица 1). То есть, для каждого *неизвестного*, случайным образом, генерируется по одному вектору (X). Набор потенциальных решений задачи можно представить массивом **S** размерностью N\*L (**S=s(n,l)**), где N-количество неизвестных, а L – количество элементов (значений) в сгенерированном векторе. Допустим, что ряды массива представляют собой потенциальные решения задачи. Существует вероятность, отличная от нуля, что каждый из векторов будет содержать искомое значение. Эта вероятность возрастает с увеличением количества значений (т.е. при  $l \rightarrow \infty$ ).

№ решения	X1	X2	X3	...	XN
1	RND <sub>1,1</sub>	RND <sub>1,2</sub>	RND <sub>1,3</sub>	...	RND <sub>1,N</sub>
2	RND <sub>2,1</sub>	RND <sub>2,2</sub>	RND <sub>2,3</sub>	...	RND <sub>2,N</sub>
3	RND <sub>3,1</sub>	RND <sub>3,2</sub>	RND <sub>3,3</sub>	...	RND <sub>3,N</sub>
...	...	...	...	...	...
L	RND <sub>L,1</sub>	RND <sub>L,2</sub>	RND <sub>L,3</sub>	...	RND <sub>L,N</sub>

RND – случайным образом сгенерированное число  
X1-XN – не известные параметры задачи

**Таблица 1.** Случайно генерируемая матрица потенциальных решений.

При относительно маленьком L, вероятно, не найдется нужное приближение к искомому решению задачи, поэтому массив **S** необходимо пополнять новыми значениями. Произвести эту операцию можно путем замены одного или нескольких значений в массиве на случайно сгенерированное число, в этом заключается следующий (**второй**) этап работы генетического алгоритма. На этом этапе может произойти замена существующего решения на более оптимальное. Поэтому необходимо, по возможности, сохранить существующее, максимально приближенное к реальному, решение.

Сохранение лучшего решения (**третий этап**) в генетическом алгоритме осуществляется путем распространения параметров этого решения по всему массиву **S**. Описать процесс, происходящий на третьем этапе, можно следующим образом: к массиву потенциальных решений добавляется два пустых ряда ( $S_{(L+1)}$  и  $S_{(L+2)}$ ), затем производится копирование информации из двух случайно выбранных (существующих) рядов в созданные. Информация

копируется по частям так, чтобы новые решения содержали данные от обоих “родительских” объектов.

№ решения	X1	X2	X3	...	XN
1	S <sub>1,1</sub>	S <sub>1,2</sub>	S <sub>1,3</sub>	...	S <sub>1,N</sub>
2	S <sub>2,1</sub>	S <sub>2,2</sub>	S <sub>2,3</sub>	...	S <sub>2,N</sub>
-----					
L+1	S <sub>1,1</sub>	S <sub>2,2</sub>	S <sub>2,3</sub>	...	S <sub>1,N</sub>
L+2	S <sub>2,1</sub>	S <sub>1,2</sub>	S <sub>1,3</sub>	...	S <sub>2,N</sub>

S<sub>ij</sub> – значения параметра потенциального решения задачи  
 X1-XN – не известные параметры задачи

**Таблица 2.** Третий этап работы ГА. Копирование параметров из существующих “решений” в новые.

На конечном этапе работы алгоритма производится расчет задачи для каждого ряда массива **S**, затем высчитывается коэффициент **K**, определяющий насколько рассчитываемое значение близко к реальному. Например, для задачи поиска корней квадратного уравнения коэффициент будет являться разницей между левой и правой частью уравнения после подстановки параметров потенциального решения вместо неизвестных. Если отсортировать возможные решения (S<sub>i</sub>) в порядке возрастания коэффициента, то первый ряд (первый вариант решения) в массиве S окажется максимально приближенным на данной итерации. При последующем повторении этапов (начиная со второго) произойдет постепенное приближение к истинному решению задачи и, возможно, его нахождению. Операция поиска прекращается, когда коэффициент **K** достигает определённого критерия (установленного пользователем).

В терминологии генетического алгоритма этап создания ряда потенциальных решений называется **созданием начальной популяции**. Второй этап (замена значений массива **S** случайно сгенерированными числами) – **мутация**. **Скрещивание** – это метод распространения максимально подходящих параметров по массиву S. Последний этап выбора наиболее подходящих решений задачи называется – **отбор**. Любой ряд массива **S** называется **хромосомой**.

Особенность генетического алгоритма заключается в кодировании параметров потенциальных решений булевыми векторами, тогда хромосомой будет считаться бинарный вектор, и операции мутации и скрещивания будут проводиться над последним.





Рис 1. Блок-схема генетического алгоритма

В диссертации рассматривается поиск массы материальной точки по известному гравитационному полю. В данном случае в качестве параметра задачи выступает переменная  $m$  (масса). Множество  $\{m_a, m_{a+1}, \dots, m_b\}$  составляет пространство поиска и одновременно множество потенциальных решений задачи. Каждое из  $(b-a)$  чисел, принадлежащих к этому множеству, называется точкой пространства поиска, фенотипом. Следует отметить, что решение, оптимизирующее функцию, называется наилучшим или оптимальным решением. Значения параметра  $m$  можно закодировать булевым вектором. Если  $m$  – это не целое число, то в памяти компьютера оно будет представлено либо 32 разрядами, либо 64, что достаточно много (алгоритм построенный таким образом будет требовать больших вычислительных ресурсов). Если учесть, что разница  $m_b - m_a$  практически всегда много меньше числа закодированного 32 разрядами, то диапазон от  $m_a$  до  $m_b$  можно поделить на  $N$  равных участков ( $U_n$ ) и закодировать эти участки меньшим числом бит, например: четырьмя. **Хромосома** в данном случае будет состоять из четырёх бит, и принимать одно из значений из  $N$  участков. **Популяция** – набор из случайно сгенерированных  $4x$  битовых векторов (хромосом).

Процесс **мутации** представляет собой изменение одного, или нескольких бит в хромосоме, а **скрещивание** – создание новой хромосомы в которую копируются данные из двух уже существующих в популяции. После этого необходимо произвести **отбор**, здесь главным является функция приспособленности  $K_{fit}$ , она для задачи с точечным источником выглядит так:

$$K_{fit} = \text{Max}(|Wu - Wn|),$$

где  $W_u$ -рассчитанный гравитационный потенциал,  $W_n$ -исходное поле,  $Max()$  – функция поиска максимума. Т.е. коэффициент приспособленности для точечного источника, как и в большинстве случаев рассмотренных в диссертации, является отклонением рассчитанного поля от исходного.

Значения исходного поля даны изначально, а рассчитанного вычисляются по следующей формуле (прямая задача):

$$W_u = GM \frac{h}{(\sqrt{x^2 + h^2})^3},$$

$G$  – Гравитационная постоянная,  $M$  – масса,  $h$  – глубина залегания точки.

## Определение параметров тел на основе ГА по данным гравirazведки и магниторазведки.

### Сфера

У точечного источника в примере была только одна переменная – масса, но на самом деле переменных может быть больше. Объект сферы обладает параметрами координат положения ( $x$ ,  $h$ ), радиуса ( $R$ ), плотности ( $\sigma$ ). Радиус и плотность входят в формулу массы сферы:

$$M = V\sigma = \frac{4}{3}\pi R^3 \sigma.$$

Формула для массы однородного шара при вертикальном намагничивании выглядит аналогично:

$$M = VI = \frac{4}{3}\pi R^3 I,$$

где  $I$ -намагниченность шара.

Вертикальная составляющая намагниченного шара определяется следующим выражением:

$$Z_u = M \frac{2h^2 - x^2}{(x^2 + h^2)^{5/2}}$$

Далее, задача поиска будет рассматриваться для данных гравитационной разведки, так как поиск параметров намагниченного шара отличается только функцией приспособленности:

$$K_{fit} = Max(|Z_u - Z_n|),$$

и заменой плотности на намагниченность (как искомого параметра).

При помощи генетического алгоритма можно задавать критерии поиска для каждого параметра в отдельности.

Для поиска  $\mathbf{x}$ ,  $\mathbf{h}$ ,  $\mathbf{R}$  и  $\sigma$  требуется создать по одной хромосоме на параметр. Операции мутации и скрещивания проводятся над каждой хромосомой в отдельности, решение прямой задачи и функция приспособленности такие же, как и в случае с точечным источником.

Работа генетического алгоритма демонстрируется на примере нескольких сфер. Для случая с несколькими объектами необходимо составить массив с параметрами для разных сфер (хромосому). Так же требуется создать два массива с пределами поиска для каждого параметра. В таком случае можно будет задавать критерии поиска для каждой сферы в отдельности.

Требуется отметить, что рассматривается случай, в котором параметры всех объектов (сфер) собраны в одной хромосоме, поэтому её можно представить одним массивом, тем самым упростив описание работы алгоритма. Все операции над хромосомой проводятся как над массивом. Функция генерации (мутации) параметра в хромосоме будет выглядеть следующим образом:

$$Arr_x(i) = RANDOM * (Arr_{max}(i) - Arr_{min}(i)) + Arr_{min}(i),$$

где  $RANDOM$  – генерация случайного не целого числа в диапазоне от 0 до 1;  $Arr_x$  -массив с параметрами сфер,  $Arr_{min}$  - минимальные критерии поиска;  $Arr_{max}$  - максимальные критерии поиска. Функция скрещивания примет вид:

$$\begin{cases} Arr_{cx}(i) = Arr_{cp1}(i), \text{ где } 0 < i \leq S \\ Arr_{cx}(j) = Arr_{cp2}(j), \text{ где } S < j \leq L \end{cases}$$

$$L = LEN(Arr_{cx});$$

$$S = RANDOM_{ц}(L).$$

$Arr_{cx}$  – хромосома-потомок, порождённая от двух родительских хромосом  $Arr_{cp1}$  и  $Arr_{cp2}$ ;  $RANDOM_{ц}$  – функция генерации целого случайного числа в диапазоне от 1 до  $L$ ,  $LEN$  – функция возвращающая количество элементов в массиве.

Фитнесс функция будет такая же, как и во всех остальных случаях:

$$K_{fit} = MAX(ABS(Wu - Wn))$$

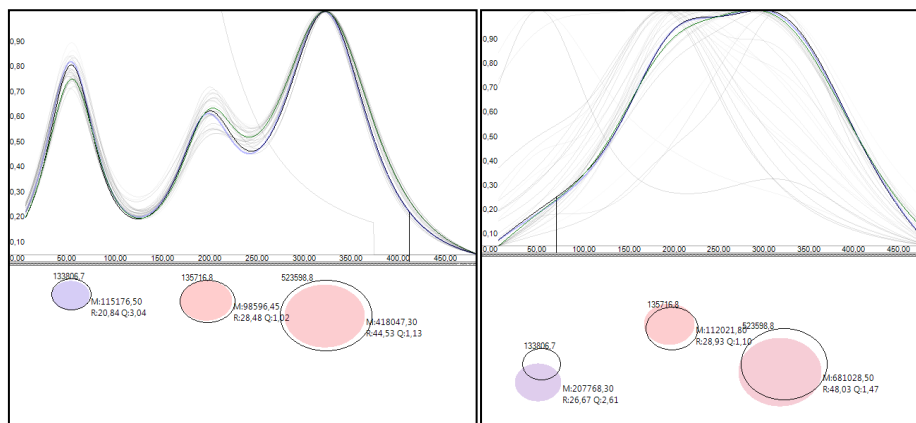
где  $Wu$ -рассчитанное поле,  $Wn$ -исходное поле,  $ABS$  - функция возвращающая модуль числа.

Прямая задача для нескольких сфер – есть сумма полей посчитанных для каждой сферы в отдельности:

$$Wu = \sum_{i=1}^N GM \frac{h_i}{(\sqrt{(x - x'_i)^2 + h_i^2})^3},$$

где  $x'_i$  – положение  $i$ -ой сферы по  $x$ ,  $h_i$  – глубина  $i$ -ой сферы.

Пример работы алгоритма можно видеть на **рис.2**. В диссертации проводится анализ подбора параметров для многих сфер по гравитационному полю.

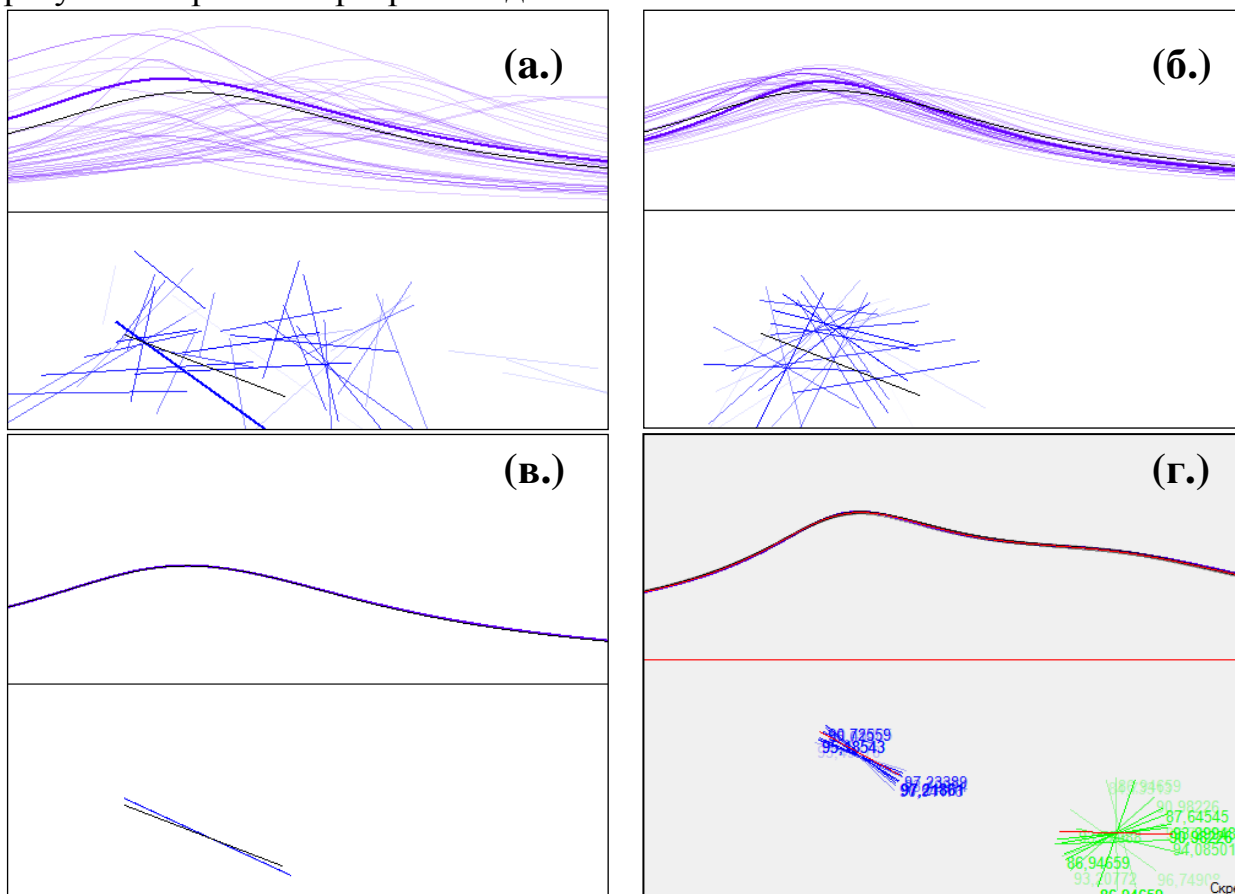


**Рис 2.** Результат поиска параметров сфер при помощи генетического алгоритма

### *Материальный стержень*

Рассматривается применение генетического алгоритма для материального стержня, прямая задача, выбор критерия поиска, и проблемы с этим связанные.

Ниже изображены примеры работы алгоритма для одного стержня. И результаты работы программы для нескольких объектов.



**Рис 3.** Результат поиска параметров одного и нескольких стержней при помощи генетического алгоритма: а, б, в) процесс поиска параметров стержня г) пример для двух стержней.

### Прямоугольный параллелепипед.

Прямоугольным параллелепипедом можно аппроксимировать различные геологические тела. Так же из общей формулы данного объекта можно получить частные случаи (вертикальный уступ). На его основе создаются палетки, которые используются в задачах 2D и 3D моделирования, так как из большого количества кубов можно составить любой объект произвольной формы.

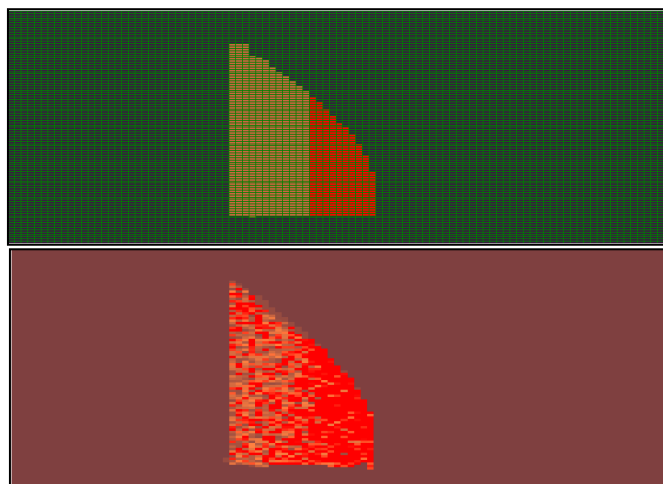
Формула для расчета производной гравитационного потенциала по  $Z$  для параллелепипеда ограниченного плоскостями  $x = \xi_1$  и  $\xi_2$ ,  $y = \eta_1$  и  $\eta_2$ ,  $z = \zeta_1$  и  $\zeta_2$  выглядит так:

$$U_z(0,0,0) = -G\sigma \left[ \xi \ln(\eta + R) + \eta(\xi + R) + \zeta \arctg \frac{\zeta R}{\xi \eta} \right] \Big|_{\xi_1, \eta_1, \zeta_1}^{\xi_2, \eta_2, \zeta_2};$$
$$R = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2}.$$

Для расчета гравитационного влияния горизонтальной бесконечной призмы используются формулы прямоугольного параллелепипеда:

$$U_z(0,0) = G\sigma \left[ \xi \ln(\xi^2 + \zeta^2) + 2\zeta \arctg \left( \frac{\xi}{\zeta} \right) \right] \Big|_{\xi_1, \zeta_1}^{\xi_2, \zeta_2};$$

$$U_z(0,0) = G\sigma \left[ \xi_1 \ln \left( \frac{\xi_1^2 + \zeta_2^2}{\xi_1^2 + \zeta_1^2} \right) - \xi_2 \ln \left( \frac{\xi_2^2 + \zeta_2^2}{\xi_2^2 + \zeta_1^2} \right) \right. \\ \left. + 2\zeta_2 \left( \arctg \left( \frac{\xi_1}{\zeta_2} \right) - \arctg \left( \frac{\xi_2}{\zeta_2} \right) \right) + 2\zeta_1 \left( \arctg \left( \frac{\xi_2}{\zeta_1} \right) - \arctg \left( \frac{\xi_1}{\zeta_1} \right) \right) \right].$$



**Рис 4.** Вверху - модель объекта, внизу - результат работы генетического алгоритма.

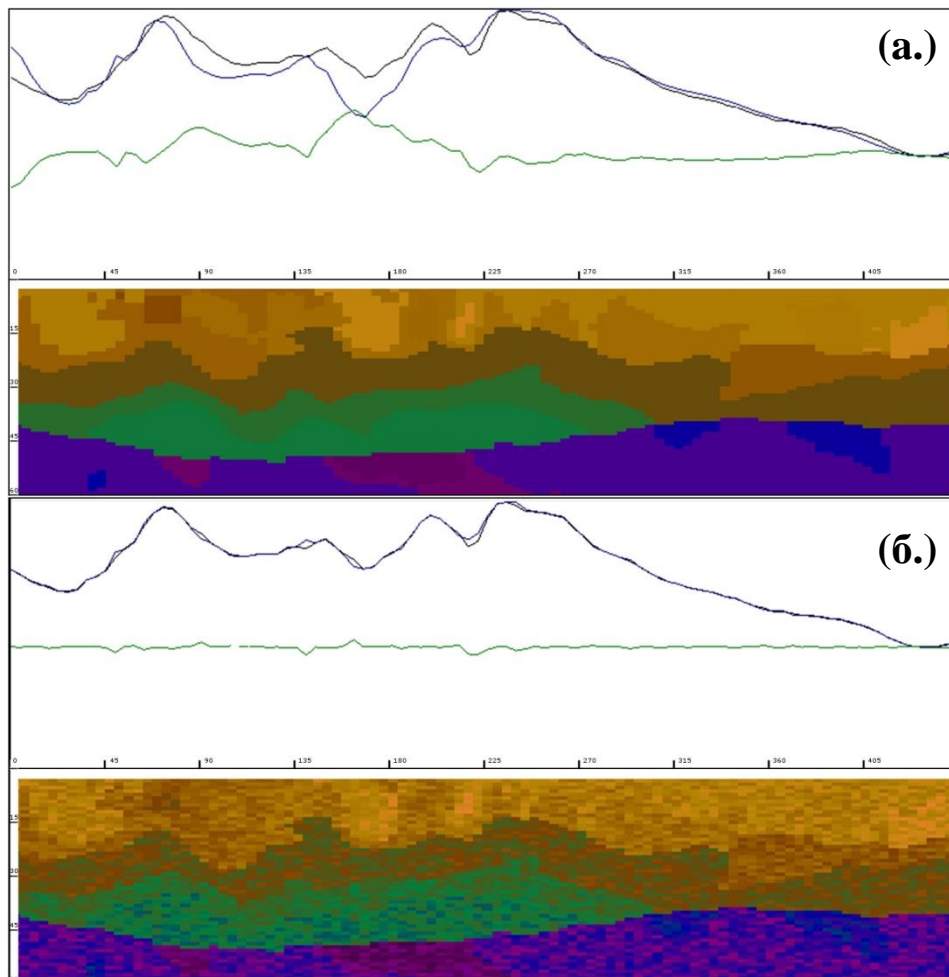
Рассматривается построение сети параллелепипедов для моделирования сложных объектов, или плотностных разрезов. Так же производится построение

генетического алгоритма для такой сети. На рисунке 4 показан пример работы генетического алгоритма для подбора параметров сеточной модели. Следует уточнить, что в примере предполагается, что форма объекта известна и подбирается только локальное распределение плотностей объекта.

Уточнение сложных моделей демонстрируется на примере, показанном на рисунке 5а. В данном случае по априорным данным был вручную построен разрез, невязка между рассчитанным от модели полем и исходным оказалась значительной. Модель была загружена в программу для стохастического уточнения, и для каждой ячейки был задан следующий диапазон генерации плотностей:

$$\begin{aligned}\sigma_{min}(i, j) &= \sigma(i, j) - C, \\ \sigma_{max}(i, j) &= \sigma(i, j) + C,\end{aligned}$$

где  $[\sigma_{min}; \sigma_{max}]$  – диапазон генерации плотности для ячейки,  $C$ -константа (для данного случая равна  $0.07 \text{ г/см}^3$ ).



**Рис 5.** а) Модель объекта, б) результат корректировки модели программой на основе генетического алгоритма.

Результат работы алгоритма приведён на рисунке 56. По сравнению с первоначальной моделью невязка между исходным полем и полем от уточнённой модели значительно меньше. Несмотря на зашумлённость, основные объекты модели достаточно хорошо просматриваются.

### Производительность алгоритма

Многопроцессорные системы получили достаточно большое распространение в современном мире, поэтому *распараллеливание генетического алгоритма* является достаточно актуальной задачей и рассматривается в диссертации.

Для оценки производительности генетического алгоритма был произведён ряд тестов на сеточной модели 100X100 (рис. 8), результаты изображены на рисунке 6. В тестах ГА сравнивается, с многопоточным аналогом и с методом Монте-Карло (МК).

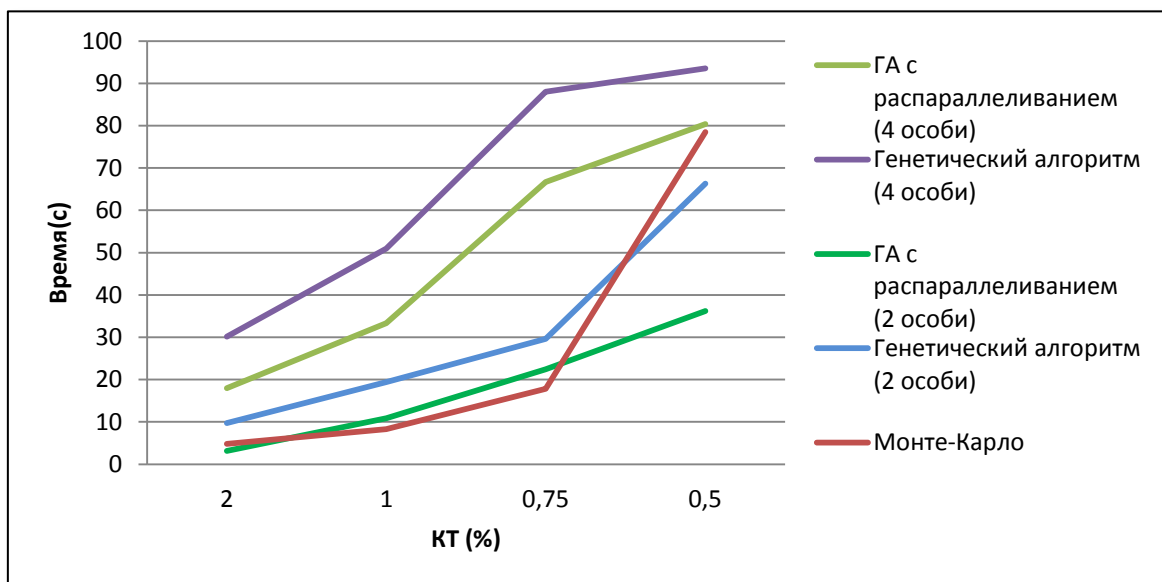


Рис 6. Графики производительности ГА и Монте-Карло

Коэффициент **КТ** – это показатель невязки между искомым и расчетным полями, чем он меньше, тем точнее они совпадают. Для вычисления коэффициента используется следующее выражение:

$$KT = 100 * \frac{K_{fit}}{Wn_{max}},$$

где  $Wn_{max}$ -максимальное значение исходного поля.

Исследование показало, что один цикл работы ГА занимает больше машинного времени, чем цикл работы МК, но, не смотря на это при

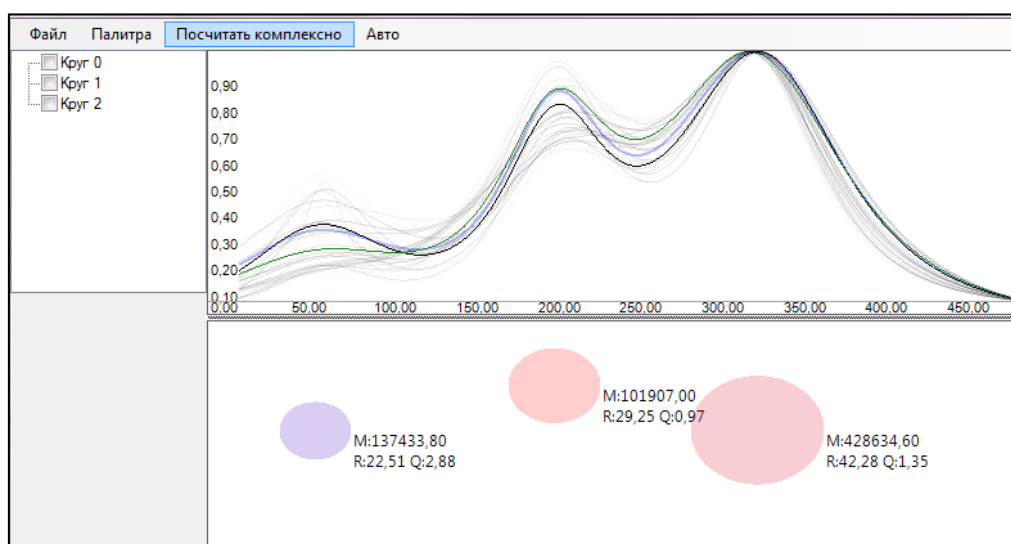


уменьшении невязки эффективность генетического алгоритма начинает преобладать.

**В третьей главе** описывается разработанное программное обеспечение. С целью оценки работы генетических алгоритмов было написано две программы:

- программа поиска параметров тел простой геометрической формы по данным гравитационной разведки;
- программа уточнения плотностной сеточной модели.

Программное обеспечение для оценки параметров тел простой формы спроектировано таким образом, чтобы можно было определять параметры, как для группы одинаковых простых тел, так и для группы различных объектов. Например: параметры сферы и вертикального уступа различны (сфера – объект в разрезе являющийся кругом; вертикальный уступ – тело ограниченное тремя плоскостями). Для реализации данного свойства программы потребовалось создать базовый класс для возмущающих тел, в котором реализуются все функции отображения, ввода-вывода параметров тел, решения прямой задачи, передачи необходимых параметров в процедуру поиска (генетический алгоритм). При этом для каждого типа простого тела создается свой класс, который наследует все свойства базового и дополняет его своими уникальными функциями. В главе рассматривается построение алгоритма поиска для решения задачи подбора параметров простых тел, интерфейс программы, метод поиска параметров аномалиеобразующих тел при помощи программного обеспечения.



**Рис 7.** Интерфейс программы осуществляющей поиск параметров простых тел.



В процессе изучения свойств и возможностей применения генетических алгоритмов для задач геофизики было разработано программное обеспечение способное на основе стохастических алгоритмов (в том числе и генетических алгоритмов) производить подбор плотностей сеточной модели на основе данных гравитационной разведки. Так же для моделирования объектов потребовалось создать программу построения плотностных разрезов.

Рассматриваемая программа уточнения позволяет добавить не существующие в ней алгоритмы, т.е. предоставляет своего рода модульный интерфейс для подпрограмм (в которых реализован тот или иной алгоритм уточнения плотностных разрезов). В программе уже существуют подпрограммы уточнения на основе генетического алгоритма, модификации ГА и метода Монте-Карло.

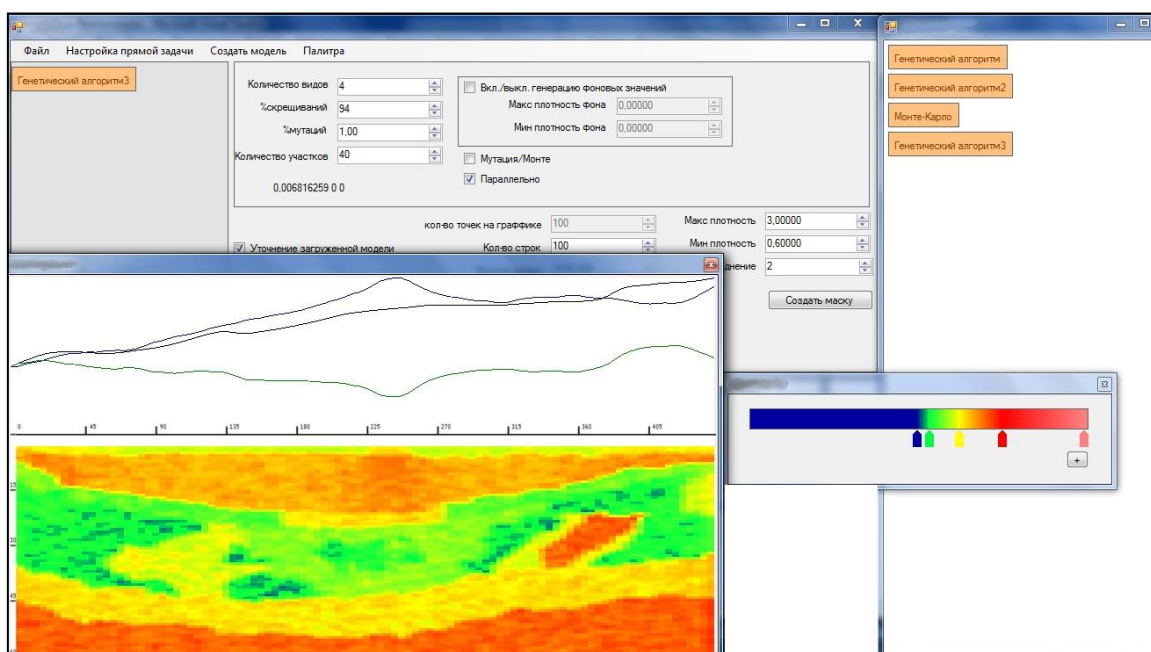
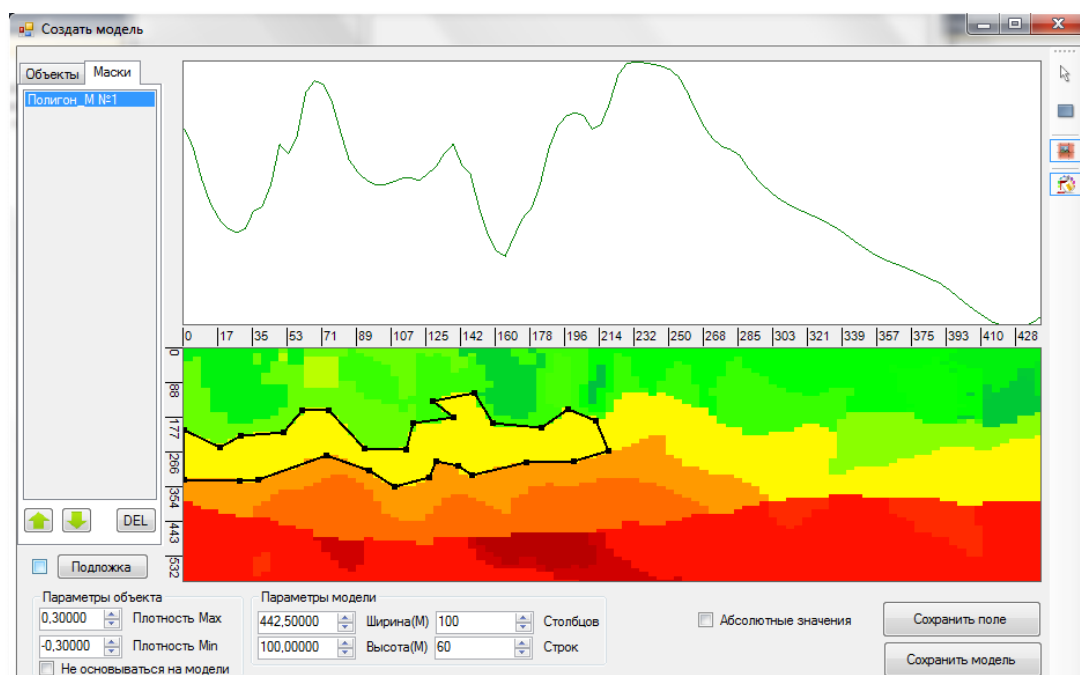


Рис 8. Интерфейс программы уточнения плотностных моделей.

Для проверки работоспособности алгоритмов уточнения необходимо было разработать программу построения сеточных плотностных моделей. Написанная программа обладает следующими функциями:

- Построение сеточной модели;
- Сохранение построенного плотностного разреза и рассчитанной кривой, а так же передача их в основную программу;
- Создание и редактирование максимальных ( $\sigma_{\max}$ ) и минимальных ( $\sigma_{\min}$ ) возможных значений плотности для ячеек модели;
- Возможность использования подложки.

Построение модели интерактивное, однако, программа не обладает теми функциями, которые есть, например, в PrMod (моделирование объектов при помощи полилиний, полигонов). Значение плотности конкретной ячейки можно менять щелчком мыши, другие варианты редактирования пока отсутствуют. Для проверки, автором была построена модель по данным растрового изображения “Енисейский участок, профиль Батолит” из работы Зиновкина С.В.



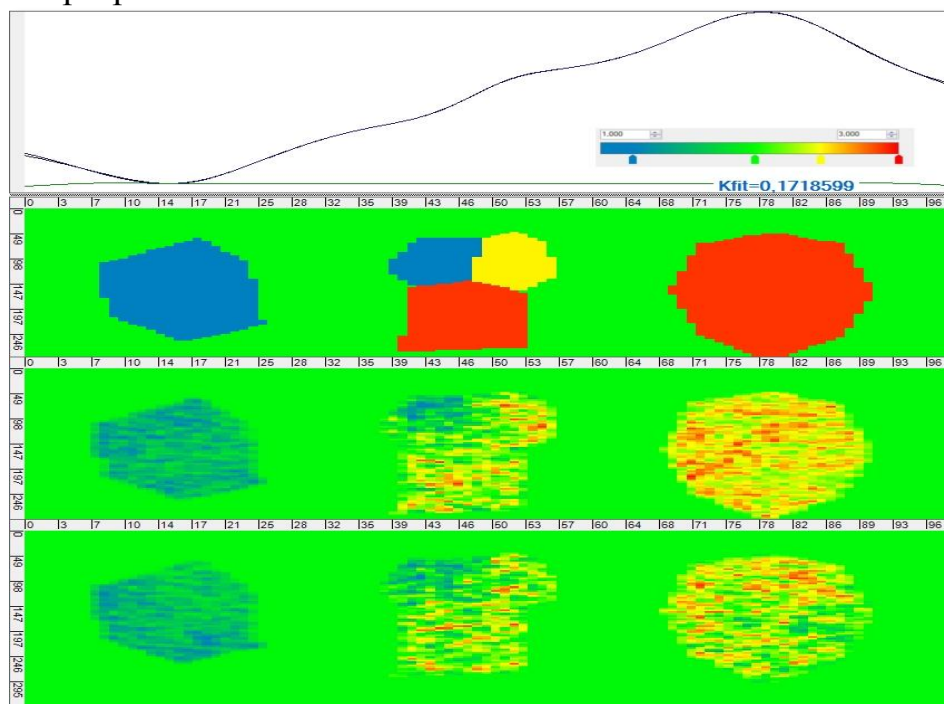
**Рис 9.** Интерфейс программы построения плотностных моделей.

Рассматривается методика построения модели и уточнение плотностного разреза с использованием существующего программного обеспечения. На приведённом ниже изображении (рис. 10) показана исходная модель (первый разрез сверху) и два варианта уточнения.

Была построена модель, состоящая из трёх объектов с различными параметрами плотности, затем посчитанное значение  $\Delta g$  для этой модели было сохранено. После этого объекты были удалены, и полученную модель вместе с данными производной гравитационного потенциала и информацией о форме объектов загрузили в программу уточнения.

Было проведено два эксперимента, в одном диапазон поиска для всех объектов был одинаков, во втором для каждого объекта выбирался индивидуальный диапазон. В обоих случаях уточнения невязка (зелёная кривая) между расчетным полем (синяя кривая) и исходным (чёрная) –

минимальна. Однако из-за различной априорной информации, подобранные плотностные разрезы отличаются.



**Рис 10.** Результаты работы алгоритмов уточнения. Исходная модель (вверху), результат с общим диапазоном поиска плотности (середина), результат с частным диапазоном.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

В данной работе рассмотрены преимущества и недостатки применения генетических алгоритмов для задач поиска параметров возмущающих тел по данным гравиразведки и магнитометрии. Проводится анализ производительности генетических алгоритмов, рассматривается многопоточный вариант ГА.

Основным результатом работы стала разработка программного обеспечения производящего поиск параметров аномалиеобразующих тел по гравитационному полю при помощи генетических алгоритмов. Разработанное программное обеспечение включает в себя три модуля:

- оценка параметров тел простой формы по гравитационному полю;
- уточнение плотностных разрезов;
- создание сеточных плотностных моделей.

Так же были сформулированы дальнейшие пути развития работы:

- совершенствование существующих алгоритмов, интерфейса разработанного программного обеспечения;
- разработка подпрограмм, способных осуществлять уточнение магнитных сеточных моделей;

- включение в созданное программное обеспечение алгоритмов расчета прямых задач в спектрально-волновой области;
- модификация алгоритмов, методик и программного обеспечения для корректировки трехмерных сеточных моделей.

## **ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Оценка параметров однородного материального стержня по гравитационному полю на основе генетического алгоритма. “Геоинформатика” №2, Москва, ВНИИГЕОСИСТЕМ, 2011г.

2. Применение генетических алгоритмов для уточнения сеточной модели по данным гравirazведки. “Геоинформатика” №2, Москва, ВНИИГЕОСИСТЕМ, 2012г.

3. Использование генетических алгоритмов для решения обратной задачи гравirazведки. IX Международная конференция Новые идеи в науках о Земле 2009г., Москва, РГГРУ, 2009.

4. Применение генетических алгоритмов для решения задачи оценки параметров аномалиеобразующих объектов по данным гравиметрии. Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д.Г. Успенского, Москва, 25-29 января 2010г. М.: ИФЗ РАН. 2010. 416 с. (соавтор Петров А.В.)

5. Оценка параметров аномалиеобразующих тел простой формы по гравитационному полю с применением генетического алгоритма. Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 38-й сессии Международного научного семинара имени Д.Г. Успенского, Пермь, 24-28 января 2011г. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. - 319 с.

6. Использование стохастических методов для оценки параметров аномалиеобразующих тел по гравитационному полю. X Международная конференция Новые идеи в науках о Земле 2011г., Москва, РГГРУ, 2011.

Подпись автора \_\_\_\_\_ /Натальчишин Т.А. /