

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы	
Разработка алгоритмического и программного обеспечения для картирования горных пород по их плотностным и магнитным свойствам	

УДК 004.415:552.1:53:528.92

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Огородников Алексей Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Гергет Ольга Михайловна	К. Т. Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШИТР	Коваль Т.В.	д. ф.-м. н.		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения по направлению подготовки

01.04.02 Прикладная математика и информатика

Код результата	Результат обучения
1	2
Общекультурные компетенции	
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу.
ОК-2	Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести Социальную и этическую ответственность за принятые решения.
ОК-3	Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК-1	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности.
ОПК-2	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия.
ОПК-3	Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение.
ОПК-4	Способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики.

Продолжение таблицы

1	2
ОПК-5	Способность использовать углубленные знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов.
Профессиональные компетенции	
ПК-1	Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива.
ПК-2	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач.
ПК-3	Способность углубленного анализа проблем, постановки и обоснования задач научной и проектно-технологической деятельности.
ПК-4	Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности.
ПК-5	Способность управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта.
ПК-6	Способность организовывать процессы корпоративного обучения на основе технологий и развития корпоративных баз знаний.
ПК-7	Способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов

Окончание таблицы

1	2
ПК-8	Способность разрабатывать корпоративные стандарты и профили функциональной стандартизации приложений, систем, информационной инфраструктуры.
ПК-9	Способность к преподаванию математических дисциплин и информатики в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования.
ПК-10	Способность разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения.
ПК-11	Способность разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной математики и информационных технологий.
ПК-12	Способность к взаимодействию в рамках международных проектов и сетевых сообществ.
ПК-13	Способность осознавать корпоративную политику в области повышения социальной ответственности бизнеса перед обществом, принимать участие в её развитии.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ71	Огородникову Алексею Сергеевичу

Тема работы:

Разработка алгоритмического и программного обеспечения для картирования горных пород по их плотностным и магнитным характеристикам	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	– Магнитные и гравитационные поля, формализованные геологические разрезы, топография и усреднённые характеристики намагниченностей и плотностей горных пород – Методы решения задач определения плотностных и магнитных характеристик горных пород на основе решения прямых и обратных задач магнито- и гравиразведки
---	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов – аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; – постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; – содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; – обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; – заключение по работе).	– Конструирование цифровой модели исследуемых объектов; – Визуализация геолого-геофизических данных в программе Surfer; – Разработка метода решения задачи определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород по данным магниторазведки;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	– Изображение интерфейса приложения – исходные данные к программе – презентация работы
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Алексеев Николай Архипович
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Методика работ	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Гергет Ольга Михайловна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Огородников Алексей Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ71	Огородникову Алексею Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– Оклад (руководителя 33664 руб. в месяц, магистра 12663 руб. в месяц) – Бюджет затрат НИИ 300000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию – 5.8 руб. за 1 кВт·ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 27.1 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ	– Сравнение с другими схожими материалами
2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – определение трудоемкости работ.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Бюджет научно-технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной платы исполнителей темы; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2019 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Огородников Алексей Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8БМ71	Огородников Алексею Сергеевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	Информационных технологий
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	01.04.02 Прикладная математика и информатика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, рабочая зона) и области его применения	Разработка алгоритмического и программного обеспечения для картирования горных пород по их плотностным и магнитным свойствам
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	1. Специальные правовые нормы трудового законодательства; 2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Вредные факторы: 1. Отклонения показателей микроклимата; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Превышение уровня шума; 4. Повышенный уровень электромагнитных излучений; Опасные факторы: 1. Электрический ток 2. Опасность возникновения пожара
3. Экологическая безопасность	Источники выбросов в атмосферу; Образование сточных вод и отходов. Мероприятия по снижению вредного воздействия на ОС
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Вероятные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения и меры по их предупреждению

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Алексеев Н.А.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Огородников Алексей Сергеевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 142с., 17 рис., 26 табл., 71 источник, 4 приложения.

Ключевые слова: магниторазведка, гравиразведка, модель, блок, параллелепипед, индуцированная намагниченность, остаточная намагниченность.

Объектом исследования является разработка алгоритмического и программного обеспечения для картирования горных пород в их естественном залегании по их плотностным и магнитным характеристикам на основе методов подбора путём решения системы алгебраических уравнений.

Цель работы – создание программного обеспечения с целью картирования горных пород по их плотностным и магнитным свойствам, позволяющее более продуктивно решать поставленные задачи, в частности – решать задачи по определению векторов индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород по данным магниторазведки для поиска полезных ископаемых.

В процессе исследования проводилось изучение методов оптимизации, таких как метод Ньютона, метод наискорейшего спуска, метод Флетчера-Ривса.

В результате исследования проведен сравнительный анализ методов поиска оптимального решения и выбран наиболее подходящий. Все рассматриваемые алгоритмы реализованы программно в среде визуального программирования на языке высокого уровня.

Основные конструктивные, технологические и эксплуатационные характеристики: высокий современный научный уровень, высокая степень новизны и оригинальности.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

Рабочий файл — текстовый файл (типа *.txt), который готовится в ручном режиме любым текстовым редактором или формируется самой программой GEOLAB;

Блок — квазиоднородный по величине кажущейся намагниченности (плотности) элемент цифровой модели, полученный, например, по способу характерных точек. Априори соответствует понятию геологический блок. В свою очередь блок аппроксимируется произвольным числом параллелепипедов, имеющих одинаковую горизонтальную мощность, которая зависит от расстояния до точки наблюдения ($H/2 \leq 2B \leq \text{бесконечность}$);

Разрез — совокупность блоков на плоскости. Плоскость расположена в крест простирания блоков. Количество разрезов не ограничено;

Профиль — массив точек гравитационного или магнитного поля. Положение профиля может не совпадать с положением разреза или совокупность профилей может сопровождать один «разрез»;

Индуктивная намагниченность - это намагниченность горных пород в современном магнитном поле;

Остаточная намагниченность - это намагниченность горных пород в древнем магнитном поле, в процессе формирования земной коры.

Картирование – Выявление и геометризация горных пород по их плотностным и магнитным свойствам. Геофизическое картирование - одно из видов картирования погребенных отложений, которые проводятся до начала буровых работ. Но, в некоторых случаях для того, чтобы определить основные геофизические параметры необходимо предварительно пробурить приличное количество скважин. Данный вид картирования строится на измерении разнообразных физических свойств пород, например, таких, как время распространения волн при использовании сейсмических методов отраженных и преломленных волн, магнитная восприимчивость при магнитометрических работах, плотность пород при гравиметрических работах и их радиоактивность при

картировании естественной радиоактивности. После проведённых измерений необходимо их интерпретировать для того, чтобы определить структуры, стратиграфии, глубины залегания и площади распространения отложений.

Оглавление

Введение.....	14
1 Обзор литературы	18
2 Постановка задачи	23
2.1 Содержательная постановка задачи	23
2.2 Математическая постановка задачи	23
2.2.1 Формула параллелепипеда (магниторазведка)	24
2.2.2 Формула параллелепипеда (гравиразведка)	27
3 Основные методы решения задач.....	28
3.1 Обзор и обоснование выбора метода решения	28
3.1.1 Метод Ньютона	28
3.1.2 Метод наискорейшего спуска	32
3.1.4 Метод Флетчера-Ривса	34
4. Методика работ	37
4.1 Подготовка плотностных и магнитных моделей начального приближения....	47
4.2 Разделение полей эффективной намагниченности на индуктивную и остатчную по наблюденному магнитному полю.	47
4.2.1 Проверка на теоретической модели	51
4.2.2 Практические примеры использования	56
5 Программный модуль	59
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	63
6.1 Предпроектный анализ	63
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	63
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	64
6.2 SWOT-анализ.....	68
6.3 Инициация проекта	70
6.3.1 Организационная структура проекта.....	71
6.3.2 Ограничения и допущения проекта.	72
6.4 План проекта.....	72
6.5 Разработка графика проведения НИОКР.....	74
6.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	75
6.7 Основная заработная плата исполнителей темы.....	77
6.8 Отчисления во внебюджетные фонды	78
6.9 Накладные расходы	79
6.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	79

6.11. Реестр рисков.....	80
6.12 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	81
7 Социальная ответственность	84
7.1 Производственная безопасность	85
7.2 Экологическая безопасность.....	97
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	98
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	100
8. Заключение	105
9. Список использованных источников	107
Приложение А	113
Приложение Б.....	116
Приложение В	118
Приложение Г	122

Введение

Геофизика, как одна из наук о Земле, сформировалась на принципах и достижениях физического подхода к исследованию окружающего мира и нацелена на выявление самой сущности или природы явлений и процессов, происходящих в Земле. Принято следующее определение. Геофизика - это комплекс наук, исследующих физическими методами формирование, эволюцию, свойства, строение и вещественный состав Земли, а также природные и техногенные процессы, которые происходят в ней. Объектом исследования геофизики (то есть, что в конечном итоге изучает геофизика) является:

- Земля в целом и ее сферические оболочки (например, литосфера, гидросфера, атмосфера);
- геологические процессы (перемещение литосферных плит, землетрясения);
- геологические среды (массивы горных пород и т. п.);
- геологические объекты (например, месторождения полезных ископаемых, определяющие итоги геофизических исследований).

Целью работы является создание программного обеспечения с целью картирования горных пород по их плотностным и магнитным свойствам, позволяющее более продуктивно решать поставленные задачи, в частности – решать задачи по определению векторов индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород по данным магниторазведки для поиска полезных ископаемых.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выбрать оптимальный метод минимизации
2. Создание начальной цифровой модели исследуемой площади, геометрические параметры и физические свойства которой соответствовали бы современному представлению о геологическом строении этой площади (используется вся имеющаяся геолого-геофизическая информация о строении этой площади, т.е. скважины, сейсмические методы, электроразведочные методы и др.)
3. На основе решения прямых и обратных задач магнито- и гравиразведки получить новую цифровую модель в соответствии со сходимостью

вычисленных и наблюдаемых полей.

4. Разделить эффективную намагниченность на векторы индуктивной и остаточной намагниченности.
5. По полю остаточной намагниченности построить структурно-тектоническую схему изучаемой (исследуемой) площади

Физические методы исследований непосредственно связаны с измерением физических величин, которые характеризуют свойства исследуемого объекта или процесса. В большинстве случаев, исследуемый процесс растянут во времени, а объект имеет пространственную протяженность. В связи с этим, чтобы их детально изучить необходимо измерить целые совокупности физических величин, именуемые физическими полями. Введём определение физическому полю. Физическое поле - это множество точек, которые распределены в пространстве, и которые, в свою очередь характеризуются конкретными (постоянными или переменными) значениями физических величин.

Геофизические исследования широко применяются при прогнозировании и поисках "открытого" и "скрытого" оруденения. Основу геофизических исследований, в условиях разных рудных районов и узлов, составляет анализ результатов аэро- и наземных магнитометрических и гравиметрических съемок в масштабах 1:50000... 1:25000, а при изучении рудных полей и месторождений в масштабах 1:10000... 1:2000 - материалов наземных магнитометрических и других геофизических методов.

Данные магнитометрии, гравиметрии, сейсморазведки позволяют уточнить или расшифровать геологические структуры, выявить скрытые рудоносные тела, рудолокализирующие структуры, выявить внутреннее строение вмещающего геологического пространства в физических полях. Все вышеперечисленное содействует прямому прогнозу рудоносных метасоматитов, крупных рудных залежей магнетитовых, сульфидных и прочих месторождений. Зоны метасоматоза (с этими зонами обычно связаны месторождения полезных ископаемых) с сульфидной минерализацией и рудные залежи в щелочных метасоматитах хорошо картируются методами ЕП, ВП, радиометрическими исследованиями (гамма-съемка, радиоактивный каротаж скважин и др.). Методика геофизических работ, их дальнейшая интерпретация описываются в специальных курсах и поэтому здесь их

рассматривать не будем.

Геофизические предпосылки прогнозирования и поисковые признаки отражают характер проявления физических полей, интенсивность и контрастность аномалий. Геологические объекты, которые создают разноконтрастные геофизические аномалии, могут выходить на дневную поверхность или залегать на глубине. С увеличением глубины залегания верхней кромки рудных залежей снижается интенсивность аномалий, в то же время ослабевает их контрастность. Если аномалии и прочие особенности наблюдаемых физических полей вызваны непосредственно объектом поиска (рудным полем, рудным телом, месторождением), то подобные геофизические аномалии необходимо анализировать как прямые поисковые признаки.

В качестве примера можно привести геофизические поля разнообразных типов рудных месторождений, рудных полей, узлов - медно-порфировых, сульфидных, золоторудных и др. Наиболее интенсивные аномалии фиксируются над залежами магнетитовых скарных и кварцитовых руд; радиометрические - над телами радиоактивных руд; аномалии ЕП, ВП - над сульфидными и графитовыми телами. Если в геофизических полях отражается не объект поиска, а структура, вмещающая его или же сопутствующий ему геологический признак, то аномалии, которые были выявлены, рассматриваются как косвенные поисковые признаки.

Поиски скрытого оруденения методами геофизики проводятся довольно часто крайне эффективно. Также необходимо не забывать, что при прогнозировании и поисках слепых рудных тел и месторождений различных формационных типов, выявляемых в разных регионах, иногда обладают сходством геофизических полей, а иногда нет. Нужно учитывать конкретные условия залегания и возможные параметры возмущающего тела - интрузив, структура, рудная залежь, и, также, глубину верхней и нижней его кромки, другие данные, которые способствуют пониманию геологической природы аномалий и оценке их перспектив.

Существенное значение при прогнозировании и поисках рудных объектов имеют исследования физических полей региональных и локальных, которые создаются от геологических структур разного ранга. Геофизические методы

предоставляют уникальную информацию, раскрывая связи явлений глубинного магматизма, метасоматоза, дианиризма и рудообразования при исследовании глобальных, региональных и локальных участков земной коры - линейных, кольцевых, дугообразных, купольных структур, магмо-флюидных рудообразующих систем. Геофизические данные, которые в тоге получены, дают возможность направлять поисковые работы на обнаружение новых рудных полей, рудных месторождений и рудных залежей в перспективных геологических структурах. При этом региональные геофизические исследования позволяют с большей уверенностью распознавать разноглубинные рудообразующие системы, разрабатывать их формационные и генетические модели и на этой основе выполнять прогнозно-поисковые работы в наиболее перспективных участках земной коры.

При проведении геофизических работ важнейшую роль занимает интерпретация полученных материалов, с помощью которой уточняются структурно-тектонические элементы земной коры, состав и геометрия прогнозируемых месторождений.

Если в самом начале интерпретация проводилась вручную, графическими методами или с помощью "палеток", то, с появлением электронно-вычислительных машин возможности интерпретации существенно расширились.

В настоящее время большой акцент сделан на разработку новых методик и программного обеспечения с целью распознавания, и прогнозирования расположения геологических объектов.

Процесс интерпретации потенциальных полей расшифрован в главе "Обзор литературы".

1 Обзор литературы

В теории интерпретации потенциальных полей следует выделить направления, связанные с развитием методов решения прямой задачи, интегральными методами, аналитическим продолжением вниз, методами решения собственно обратной задачи.

Решение прямых задач широко применяется при интерпретации гравитационного и магнитного полей. Поэтому им уделялось большое внимание на протяжении всего периода развития гравиметрии и магнитометрии.

Прямая задача гравиметрии и магнитометрии формулируется следующим образом: задано распределение масс, необходимо найти поле, вызванное этими массами [1]. В последние годы этому определению придается более точный смысл: задано распределение масс - задан носитель D масс и плотность (σ) или намагниченность (J) на этом носителе, найти поле - найти аналитические выражения или численные значения элементов гравитационного или магнитного полей в точках вне или внутри масс [2]. Это формулировка прямой задачи в частной постановке.

В начале 70-х годов В.Н.Страхов [3] предложил более общее определение прямой задачи, заключающееся в следующем. Вводится сначала понятие об основном элементе f гравитационного или магнитного поля, которое будем считать элементами некоторого полного линейного нормированного пространства. Оказывается, также, что значения величин, которые даются из измерений, а также величины, которые в основном используются при интерпретации аномалий, представляют собой значения функционалов Φ , определенных над пространством X , на элементе f . При этом Φ могут быть линейными или нелинейными, непрерывными или разрывными и т.д. Предлагается следующее общее определение прямой задачи гравиметрии, магнитометрии: задано распределение источников поля, требуется найти совокупность заданных функционалов Φ на элементе f . Нахождение функционалов сводится к тому, чтобы либо дать их аналитические выражения, либо определить их численные значения [4]. Так что, например, нахождение моментов масс [5] или интегральных преобразований [6] также относится к прямой задаче.

Отметим, что в большинстве работ по этой проблеме прямая задача

гравиметрии и магнитометрии рассматривается в частной постановке и сводится к нахождению элементов полей для данного распределения масс.

При аналитическом решении прямых задач исходными являются известные из теории потенциала интегральные представления потенциала и его производных в виде кратных интегралов - для объемных, поверхностных и линейных масс, а также их аналоги для двумерных масс [7]. В выражениях элементов поля гравитирующих масс интегрируется по пространственным координатам поле точечной массы, а для магнитных масс - поле диполя. В условиях однородной намагниченности используется соотношение Пуассона о связи гравитационного и магнитного потенциалов [8]. Для аналитических представлений элементов полей в виде кратных интегралов развита теория преобразования трехкратных интегралов в поверхностные, а затем и в линейные [9]. Для двумерных масс имеется представление поля в виде контурных интегралов [10]. При решении прямых двумерных задач используются также комплексные напряженности гравитационного и магнитного полей. Они впервые введены в отечественной геофизической литературе А.А.Заморевым [11, 12]. Удобно также представление комплексных напряженностей в виде интеграла типа Коши. Как недавно выяснилось, впервые представления внешнего поля в виде интеграла типа Коши получено Г.Герглотцем еще в 1914 г. [13]. Это оказалось неизвестным для отечественных исследователей и представления комплексных напряженностей гравитационного поля в виде интегралов типа Коши были получены в работах А.В.Цирульского [14, 15], Г.Я.Голиздры [16] и В.Н.Страхова [17]. В.Н.Страховым [18] выведено также представление комплексной напряженности внешнего поля интегралами типа Коши для масс, распределенных по бесконечной области, описанной, с одной стороны, кривой, а с другой — прямой, а также для магнитного потенциала [19]. М.С.Ждановым [20, 21] эти представления обобщены на трехмерный случай.

Если цель решения прямых задач — нахождение численных значений элементов поля, то нередко можно представить их в виде рядов по обратным степеням расстояния от точки исследования до точки внутри масс. Аппарат представления потенциала и его производных рядами хорошо развит в теории потенциала [8]. Недавно В.Н.Страховым [22] развита теория специальных рядов для решения задач

гравиметрии и магнитометрии. Для комплексных напряженностей полей используется известная из теории функций комплексного переменного главная часть ряда Лорана [13, 19].

При решении прямых задач приобрели значение также представления элементов поля в виде преобразований Фурье. По-видимому, впервые преобразование Фурье при решении гравиметрических задач из отечественных исследователей применил Н.С. Смирнов в 1934 г. [23], а из зарубежных — E.G.Kogbetliantz в 1944 г. [24]. Затем они записаны и исследованы во многих работах отечественных [2, 25, 26 и др.], а также зарубежных [27, и др.] исследователей.

Указанные выше различные представления элементов гравитационного и магнитного полей положены в основу многочисленных способов решения прямых задач.

Основы решения прямых задач гравиметрии и магнитометрии заложены в XIX веке параллельно с развитием теории потенциала. В минувшем веке получены аналитические выражения элементов поля многих простых распределений масс. Так, Ф.А.Слудский [28, 29, 30] решил прямые задачи гравиметрии для некоторых моделей масс, ограниченных плоскими гранями. F.W. Bessel [31] нашел притяжение параллелепипеда. В магнитных задачах R.Thalen в 1875 г., а затем Dahlblom в 1899 г. представляли рудную залежь в виде идеального стержнеобразного магнита с северным и южным полюсами [32]. H.L. Smyth в 1899 г. опубликовал результаты теоретических исследований, в которых залежи магнитной, руды рассматривались как плоские, одинаковой толщины слои [32]. Эти и другие исследования заложили в XIX веке основы методики решения прямых задач гравиметрии и магнитометрии. По сути определялись и типы моделей, для которых аналитически могут быть решены прямые задачи. В обстоятельном обзоре В.В.Колюбякина и М.И.Лапиной [33], а также в других публикациях, например, в [32, 34] содержится обширная библиография результатов решения прямых задач. При решении прямых двухмерных задач используются также комплексные напряженности гравитационного и магнитного полей. Они впервые введены в отечественной геофизической литературе А.А.Заморевым. Базовой основой для решения прямых задач являются обратные задачи.

Начиная с 30-х годов и по 50-е годы в геофизической литературе появился ряд работ, посвященных аналитическому продолжению наблюденного поля в направлении источников (вниз). Широкого распространения, однако, в то время эти методы не получили в связи с заметной неустойчивостью результатов и большим объемом необходимых вычислений. Лишь осознание того факта, что обратные задачи геофизики, а также аналитического продолжения в направлении источников - некорректные задачи - и создание А.Н.Тихоновым [35], М.М.Лаврентьевым [36, 37, 38, 39, 40], В.К.Ивановым [41, 42, 43], А.Н.Страховым [44] основ общей теории и методов решения некорректных задач и возможность использования ЭВМ привели к созданию ряда эффективных численных методов аналитического продолжения, нахождения расстояния до ближайших особенностей, нахождения первых моментов источников и т.д. Важную роль сыграла концепция особых точек, выдвинутая В.Н.Страховым [45, 46] и Г.Я.Голиздрой [47] в 1962-1963 гг., и разработка методов устойчивого определения особенностей - В.М.Березкин [48], Г.М.Воскобойников [49], В.Н.Страхов [50], Г.А.Трошков [51].

Под обратной задачей гравимагнитометрии, в самом широком смысле будем понимать задачу определения по наблюденному на некотором носителе гравитационному или магнитному полю геометрических и/или физических параметров аномального объекта (плотности, или намагниченности).

Методы решения обратных задач прошли в своем развитии путь от характерных точек и палеток до реализованных в системах интерпретации автоматизированных методов построения семейств решения обратной задачи. Задачу определения плотности, или намагниченности, тела при заданной геометрии объекта принято называть линейной обратной задачей. Задачу построения эквивалентного семейства тел, создающих с различными постоянными значениями плотности (намагниченности) одно и тоже поле, называют нелинейной обратной задачей.

Существенное значение имеют вопросы единственности решения обратной задачи. В математической постановке задачи плотность источников считается

заданной. Именно в такой постановке доказаны теоремы единственности решения обратной задачи [52, 53 и др.]. Исключением является работа Ю.А.Шашкина [54]. При решении практических задач плотность чаще всего неизвестна. Именно в связи с этим обстоятельством шары и софокусные эллипсоиды, являющиеся классическим примером единственности решения задачи в ее математической постановке, представляют собой столь же классический пример не единственности решения в геофизической теории интерпретации потенциальных полей, т.е. пример семейств областей, которые с постоянными, но различными плотностями создают тождественно равные внешние потенциалы. Такие семейства были названы эквивалентными. Понятно, что разработка теории эквивалентных семейств и в первую очередь таких вопросов, как нахождение необходимых и достаточных условий эквивалентности тел, выделение эквивалентных классов тел, а также эффективных алгоритмов их построения — стало важной задачей.

П.С.Новиков [55] доказал единственность решения обратной задачи для класса звездных тел, важные результаты были получены М.А.Атохаджаевым [56], В.К.Ивановым [57], А.И.Прилепко [58] и др. Однако исчерпывающими стали исследования А.С.Маргулиса [59], который доказал, что любая звездная область с кусочно-гладкой границей входит в непрерывные относительно плотности семейства.

Исторически первыми методами подбора были методы характерных точек и палеточные методы. Наибольший вклад в разработку автоматизированных методов подбора внесли С.В.Шалаев [60], Е.Г.Булах [61], В.И.Старостенко [62] и др.. Ограниченность этих методов состояла в том, что, как показал В.Н.Страхов, объекты, которыми подбирались наблюдаемые поля, входили в так называемые классы слабой единственности (т.е. если мы определяли параметры многогранника, а по какой-либо дополнительной информации он не мог быть истинным решением, то задачу нелинейной минимизации нужно было решать заново).

2 Постановка задачи

2.1 Содержательная постановка задачи

Основной целью работы является создание цифровой модели изучаемой площади (теоретической, расчётной) таким образом, чтобы магнитные или гравитационные модельные поля полностью соответствовали наблюдаемым магнитным или гравиметрическим полям.

При этом, полученная модель была тождественна геологическому строению исследуемого участка. Т.е. плотностные и магнитные свойства каждого блока цифровой модели были тождественны истинным.

Первым шагом к решению задачи был выбран метод подбора.

2.2 Математическая постановка задачи

Методы подбора основаны на решении прямых и обратных задач грави- и магниторазведки. Исходными условиями при разработке алгоритмов программ является учёт особенностей форм геологических объектов, систем разведки и рациональных способов аппроксимации объектов к совокупности элементов тел, а также максимальная простота задания цифровой модели.

Как показывает опыт работ, геологические объекты наиболее удобно аппроксимировать совокупностями параллелепипедов, ориентированных попаданием и простираанием возмущающих объектов. На Рисунке 1 показана схема представления рудных тел параллелепипедами.

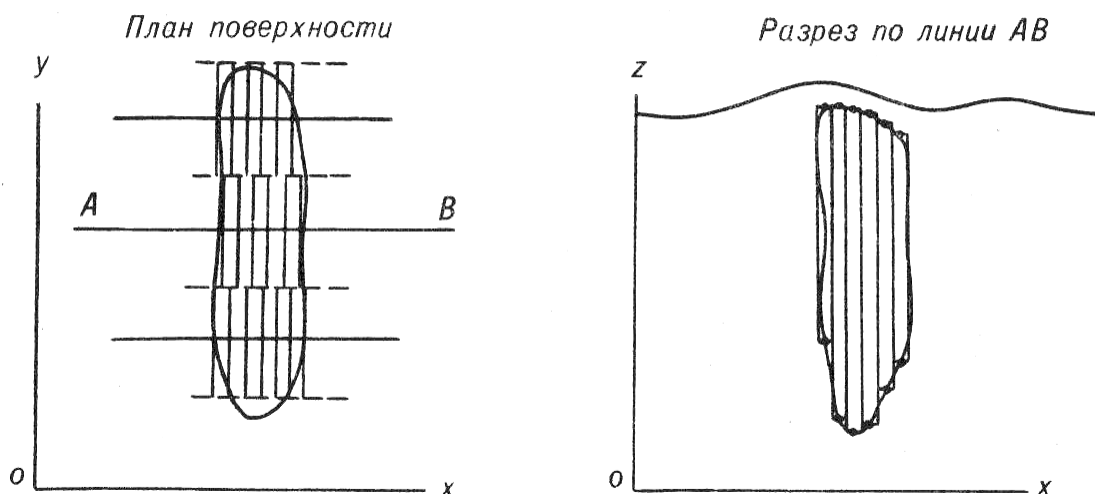


Рисунок 1 схема представления рудных тел параллелепипедами.

2.2.1 Формула параллелепипеда (магниторазведка)

Известно, что магнитные свойства любого возмущающего объекта почти всегда почти всегда являются неоднородными и как бы детально они не изучались, трудно воспроизвести картину их распределения по всему объекту. Поэтому в остаточном магнитном поле существуют допущения, обусловленные неточным учётом характера распределения магнитных свойств по объёму исследуемого объекта. Для того, чтобы эта ошибка была несущественной, необходимо при наделении модели магнитными свойствами соответствующим образом подобрать значения физических характеристик для возмущающих объектов. Величина намагниченности J должна быть выбрана таким образом, чтобы обусловленный ею магнитный момент M был бы равен истинному моменту $M_{\text{ист}}$, который можно определить из выражения:

$$M_{\text{ист}} = V_1 J_1 + V_2 J_2 + \dots + V_n J_n,$$

где $V_1 + V_2 + \dots + V_n = V$ — объём исследуемого объекта.

Тогда $M = M_{\text{ист}}$ или $VJ = V_1 J_1 + V_2 J_2 + \dots + V_n J_n$ и

$$J = \frac{V_1 J_1 + V_2 J_2 + V_n J_n}{V}.$$

Величина J , определённая таким способом, является средневзвешенной, где в качестве веса выступают объёмы отдельных частей объекта, имеющих однородную

намагниченность. При использовании средневзвешенной намагниченности можно избежать получения существенной ошибки в остаточном магнитном поле.

Получение средневзвешенной намагниченности пород и руд по данным измерений физических свойств образцов представляет значительные трудности, так как обычно сложно разделить породы и руды на магнитные и немагнитные разности и, тем более, надёжно установить границы их распространения. Однако для некоторых простых по строению возмущающихся объектов можно приблизительно получить величину средневзвешенной (эффективной) намагниченности по данным измерений магнитных свойств образцов представляет значительные трудности. Однако, для некоторых простых по строению возмущающихся объектов можно приблизительно получить величину средневзвешенной (эффективной) намагниченности по данным измерений магнитных свойств образцов по методу, изложенному выше в настоящем параграфе. По-видимому, более надёжным способом получения средневзвешенной (эффективной) намагниченности может быть метод подбора, основанный на использовании метода наименьших квадратов.

Решение прямой трёхмерной задачи магниторазведки для тел произвольной формы.

Известно, что любой возмущающий объект, который намагничен неоднородно, можно приближённо представить в виде совокупности однородно намагниченных его частей. тогда магнитное поле от возмущающего объекта будет равно сумме полей, полученных от этих частей, и составляющие напряжённости магнитного поля для каждой из них могут быть выражены через вторые производные гравитационного потенциала на основе формулы Пуассона:

$$\left. \begin{aligned} H_x &= J_x V_{xx} + J_y V_{xy} + J_z V_{xz}; \\ H_y &= J_x V_{yx} + J_y V_{yy} + J_z V_{yz}; \\ Z &= J_x V_{zx} + J_y V_{zy} + J_z V_{zz}; \end{aligned} \right\}$$

где H_x , H_y , Z - составляющие магнитной напряжённости

$V_{xx}, V_{xy}, V_{xz}, V_{yy}, V_{yz}, V_{zz}$ - вторые производные гравитационного потенциала. Вторые производные гравитационного потенциала можно получить интегрированием и дифференцированием выражений первых производных гравитационного потенциала от материальной точки. Приведём окончательные формулы вторых производных для прямоугольных параллелепипедов.

Формулы для вычисления магнитного поля от возмущающего объекта, представленного совокупностью параллелепипедов.

Для вычисления вторых производных гравитационного потенциала от возмущающего объекта, аппроксимированного совокупностью прямоугольных параллелепипедов, можно использовать следующие формулы:

$$\begin{aligned}
 V_{xx}(x, y, z) &\approx \sum_{i=1}^n \operatorname{arctg} \frac{(y - \eta)(z - \varsigma)}{(x - \xi)\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \varsigma)^2}} \frac{x_{1i}y_{1i}z_{1i}}{x_{2i}y_{2i}z_{2i}}; \\
 V_{xy}(x, y, z) &\approx - \sum_{i=1}^n \ln \left[\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \varsigma)^2} + (z - \varsigma) \right] \frac{x_{1i}y_{1i}z_{1i}}{x_{2i}y_{2i}z_{2i}}; \\
 V_{xz}(x, y, z) &\approx - \sum_{i=1}^n \ln \left[\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \varsigma)^2} + (y - \eta) \right] \frac{x_{1i}y_{1i}z_{1i}}{x_{2i}y_{2i}z_{2i}}; \\
 V_{yy}(x, y, z) &\approx \sum_{i=1}^n \operatorname{arctg} \frac{(x - \xi)(z - \varsigma)}{(y - \eta)\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \varsigma)^2}} \frac{x_{1i}y_{1i}z_{1i}}{x_{2i}y_{2i}z_{2i}}; \\
 V_{yz}(x, y, z) &\approx - \sum_{i=1}^n \ln \left[\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \varsigma)^2} + (x - \xi) \right] \frac{x_{1i}y_{1i}z_{1i}}{x_{2i}y_{2i}z_{2i}}; \\
 V_{zz}(x, y, z) &\approx \sum_{i=1}^n \operatorname{arctg} \frac{(x - \xi)(y - \eta)}{(z - \varsigma)\sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 + (z - \varsigma)^2}} \frac{x_{1i}y_{1i}z_{1i}}{x_{2i}y_{2i}z_{2i}};
 \end{aligned}$$

В процессе решения подставляются значения пределов x_{1i}, y_{1i}, z_{1i} , затем x_{2i}, y_{2i}, z_{2i} , при этом $x_{1i} > x_{2i}, y_{1i} > y_{2i}, z_{1i} > z_{2i}$, где $i \in [1; n]$. Исходными данными являются массивы чисел, характеризующие параметры прямоугольных параллелепипедов.

На основе приведённых уравнений составляется СЛАУ (1):

$$\begin{aligned}
I_x V_{zx1} + I_y V_{zy1} + I_z V_{zz1} &= Z_1; \\
I_x V_{zx2} + I_y V_{zy2} + I_z V_{zz2} &= Z_2; \\
I_x V_{zx3} + I_y V_{zy3} + I_z V_{zz3} &= Z_3; \\
&\dots \\
I_x V_{zxk} + I_y V_{zyk} + I_z V_{zzk} &= Z_k;
\end{aligned} \tag{1}$$

Аналогично плотностные характеристики определяются для гравirazведки.

2.2.2 Формула параллелепипеда (гравirazведка)

Гравитационное действие однородного прямоугольного параллелепипеда, грани которого параллельны координатным плоскостям, определяется в точках оси x по формулам (2):

$$\begin{aligned}
\Delta g &= -G\sigma[(\xi - x) \ln(\eta + R) + \eta \ln[(\xi - x) + R] + \zeta \operatorname{arctg} \frac{\eta}{\zeta} \\
&\quad - \zeta \operatorname{arctg} \frac{(\xi - x)\eta}{\zeta R} |_{\xi_1}^{\xi_2} |_{\eta_1}^{\eta_2} |_{\zeta_1}^{\zeta_2}, \\
V_{xx} &= G\sigma[\ln(\eta + R) |_{\xi_1}^{\xi_2} |_{\eta_1}^{\eta_2} |_{\zeta_1}^{\zeta_2}, \\
V_{zz} &= -G\sigma[\operatorname{arctg} \frac{(\xi - x)\eta}{\zeta R} |_{\xi_1}^{\xi_2} |_{\eta_1}^{\eta_2} |_{\zeta_1}^{\zeta_2},
\end{aligned}$$

где $R = \sqrt{(\xi - x)^2 + \eta^2 + \zeta^2}$.

3 Основные методы решения задач

При решении конкретной задачи минимизации в первую очередь нужно выбрать математический метод, который бы приводил к конечным результатам с наименьшими затратами на вычисления или давал возможность получить наибольший объем информации об искомом решении. Наибольшее использование при решении обратных задач получили методы Ньютона и методы наискорейшего спуска. Однако для решения данной задачи наилучшим образом подходит метод Флетчера-ривса. Приведем известные методы и обоснуем наш выбор.

3.1 Обзор и обоснование выбора метода решения

3.1.1 Метод Ньютона

Если целевая функция $f(x)$ дважды дифференцируема в R^n , то результативность процесса поиска точки x^* ее минимума можно повысить, применяя информацию не только о градиенте этой функции, но также и о ее матрице Гессе $H(x)$. Направление поиска, которое соответствует наискорейшему спуску, связано с линейной аппроксимацией целевой функции. Методы, которые используют вторые производные, возникли из квадратичной аппроксимации целевой функции: $f(x)$, которую можно получить, если разложить функцию в ряд Тейлора 2-го порядка,

$$\varphi(x) = f(x^k) + \nabla f(x^k)(x - x^k) + \frac{1}{2}(x - x^k)^T H(x^k)(x - x^k),$$

где $H(x^k)$ матрица Гессе (вторых производных). Минимум $f(x)$ (если он имеется) достигается там же, где и минимум квадратичной формы $\varphi(x)$.

Если матрица Гессе $H(x^{(k)})$ целевой функции, вычисленная в точке $x^{(k)}$, является определенной положительно, то точка $x^{(k)}$ минимума функции $\varphi(x)$ единственна и может быть найдена из следующего условия: ее градиент равен нулевому вектору: $\nabla \varphi = \nabla f(x^{(k)}) + H(x^{(k)})(x - x^{(k)}) = 0$, следовательно, $x^{(k)} = x^{(k-1)} - H^{-1}(x^{(k-1)})\nabla f(x^{(k-1)})$.

Алгоритм оптимизации, в котором направление поиска определяется из этого соотношения, называется методом Ньютона, а направление $p_k =$

$-H^{-1}(x^{(k-1)})\nabla f(x^{(k-1)})$ — ньютоновским направлением, составляет с вектором градиента тупой угол (Рисунок 2).

В задачах поиска минимума произвольной квадратичной функции с положительной матрицей вторых производных метод Ньютона дает решение за одну итерацию независимо от выбора начальной точки.

Недостатком является то, что для применения метода Ньютона необходимо близкое к точному решению начальное приближение. Если начальное приближение задано грубо, то метод может разойтись или привести к другому решению.

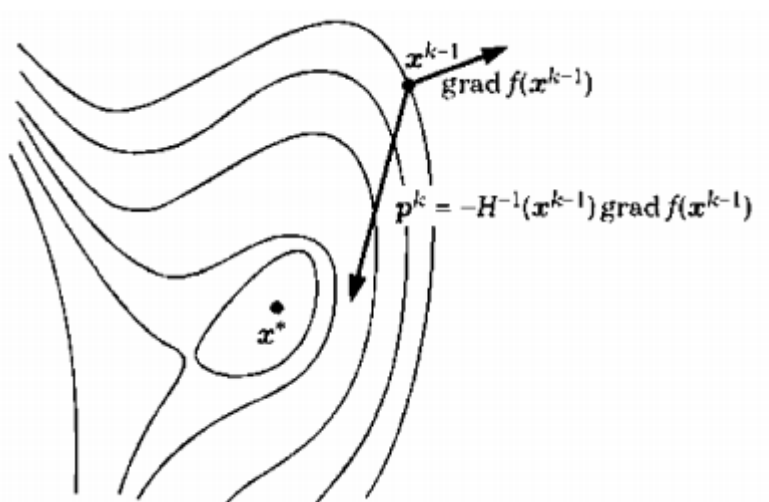


Рисунок 2 Метод Ньютона

Модификации метода Ньютона

Если целевая функция $f(x)$ дважды дифференцируема в R^n , то результативность процесса поиска точки x^* ее минимума можно повысить, применяя информацию не только о градиенте этой функции, но также и о ее матрице Гессе $H(x)$. Направление поиска, которое соответствует наискорейшему спуску, связано с линейной аппроксимацией целевой функции. Методы, которые используют вторые производные, возникли из квадратичной аппроксимации целевой функции: $f(x)$, которую можно получить, если разложить функцию в ряд Тейлора 2-го порядка,

$$\varphi(x) = f(x^k) + \nabla f(x^k)(x - x^k) + \frac{1}{2}(x - x^k)^T H(x^k)(x - x^k),$$

где $H(x^k)$ матрица Гессе (вторых производных). Минимум $f(x)$ (если он имеется) достигается там же, где и минимум квадратичной формы $\varphi(x)$.

Если матрица Гессе $H(x^{(k)})$ целевой функции, вычисленная в точке $x^{(k)}$, является определенной положительно, то точка $x^{(k)}$ минимума функции $\varphi(x)$ единственна и может быть найдена из следующего условия: ее градиент равен нулевому вектору: $\nabla\varphi = \nabla f(x^{(k)}) + H(x^{(k)})(x - x^{(k)}) = 0$, следовательно, $x^{(k)} = x^{(k-1)} - H^{-1}(x^{(k-1)})\nabla f(x^{(k-1)})$.

Алгоритм оптимизации, в котором направление поиска определяется из этого соотношения, называется методом Ньютона, а направление $p_k = -H^{-1}(x^{(k-1)})\nabla f(x^{(k-1)})$ — ньютоновским направлением, составляет с вектором градиента тупой угол (Рисунок 3).

В задачах поиска минимума произвольной квадратичной функции с положительной матрицей вторых производных метод Ньютона дает решение за одну итерацию независимо от выбора начальной точки.

Недостатком является то, что для применения метода Ньютона необходимо близкое к точному решению начальное приближение. Если начальное приближение задано грубо, то метод может разойтись или привести к другому решению.

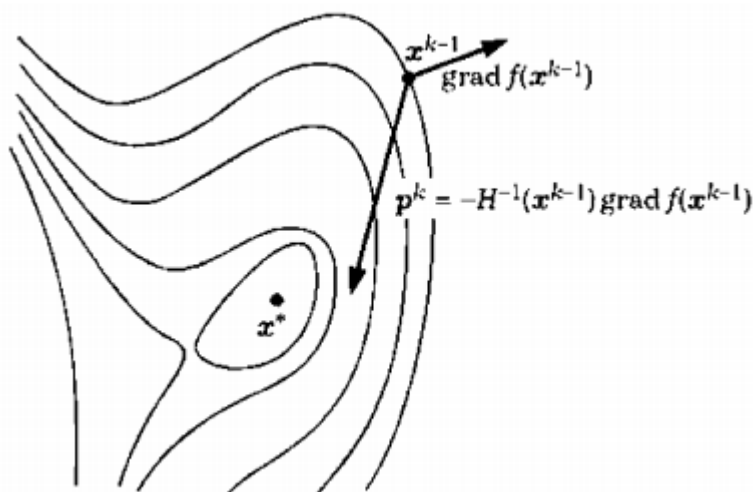


Рисунок 3 Метод Ньютона

Модификации метода Ньютона

Метод Ньютона считается эталонным. С этим сравнивают все разрабатываемые оптимизационные процедуры. Для того, чтобы применить метод Ньютона матрица Гессе должна быть положительно определена и хорошо обусловлена (, её определитель должен быть существенно больше нуля, т.е. отношение наибольшего и наименьшего собственных чисел должно быть близко к единице). Но также, матрица Гессе может быть вырожденной и у неё может отсутствовать обратная матрица. Для того, чтобы решить эту проблему, можно направлению спуска задавать вектором $p_k = (\beta_k I - H(x^{(k-1)}))^{-1} \nabla f(x^{(k-1)})$, где I - единичная матрица порядка n , а β_k — параметр, выбираемый так, чтобы в точке $x^{(k-1)}$ матрица $H_k = \beta_k I - H(x^{(k-1)})$ была положительно определена.

В связи с этим более основательной проблемой является необходимость вычисления и обращения на каждой итерации матрицы порядка n , что в случае большой размерности пространства R^n является достаточно трудоемким процессом. На практике обычно не вычисляют матрицу, обратную к положительно определенной матрице H_k , а вектор p_k находят из решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) $H_k p_k = -\nabla f(x^{(k-1)})$. Эту систему линейных алгебраических уравнений возможно решить различными численными методами, например, прямыми и итерационными. Данные приемы называются модификацией метода Ньютона, они используют ньютоновские направления по мере возможности и уклоняющиеся от них только тогда, когда это нужно. Общий принцип модификаций метода Ньютона заключается в следующем: на каждой итерации вначале строится некоторая "связанная" с $H(x^k)$, положительно определенная матрица H_k , после этого направление спуска S_k вычисляется по формуле $H_k S_k = -\nabla f(x^k)$. Так как H_k определена положительно, то направление S_k непременно будет направлением спуска. Процедуру построения H_k формируют так, чтобы она совпадала с матрицей Гессе, если она является положительно определенной. Данные процедуры строятся на основе некоторых матричных разложений.

Опишем **алгоритм варианта метода Ньютона**, для поиска точки x^* минимума дважды дифференцируемой целевой функции $f(x)$, в котором направление спуска определяется путем решения системы линейных алгебраических уравнений.

Шаг 0. Зададим начальную точку $x^{(0)}$, начальную величину шага $\lambda_0 = 1$, коэффициент дробления шага $1 \leq \nu < 0$, точность ε , номер итерации $k = 0$.

Шаг 1. Вычислим $\nabla f_k = \nabla f(x^{(k)})$, $H_k = H(x^{(k)})$, если выполнено условие $\|\nabla f_k\| \leq \varepsilon_\nabla$ и H_k — положительно определенная, то конец и $x^* = x^{(k)}$, иначе если H_k положительно определенная, то на шаг 3, иначе шаг 2.

Шаг 2. Подбираем β_k , так чтобы $H_k = \beta_k I - H(x^{(k)})$ была положительно определенной, переходим на шаг 3.

Шаг 3. Находим направление спуска p_k из решения СЛАУ

$$H_k p_k = -\nabla f(x^{(k)}).$$

Шаг 4. Вычисляем $x^{k+1} = x^{(k)} + \lambda_k p_k$ и $f(x^{k+1})$.

Шаг 5. Если $f(x^{k+1}) \geq f(x^{(k)})$ то полагаем $\lambda_k = \nu \lambda_k$ и переходим к шагу 4, иначе к шагу 6.

Шаг 6. Проверка любого условия окончания поиска

$$\|x^{k+1} - x^{(k)}\| \leq \varepsilon_x \quad \text{или} \quad \|f(x^{k+1}) - f(x^{(k)})\| \leq \varepsilon_f.$$

Если оно выполнено, то $x^* = x^{k+1}$, иначе $k = k + 1$ и вернемся к шагу 1.

При произвольном выборе начальной точки x^0 метод Ньютона обладает квадратичной скоростью сходимости, и имеет место оценка

$$\|x^{(k)} - x^*\| \leq \frac{L}{\lambda_1} \|x^{(k-1)} - x^*\|^2, k \in \mathbb{N}.$$

Здесь λ_1 — оценка наименьшего собственного числа матрицы Гессе в λ_1 окрестности точки x^* и $\|H(x) - H(y)\| \leq L \|x - y\|$.

3.1.2 Метод наискорейшего спуска

Впервые такой метод рассмотрел и использовал О. Коши в XVIII в. Идея

метода проста: градиент целевой функции $f(x)$ в любой точке есть вектор в направлении наибольшего увеличения значения функции. Следовательно, антиградиент будет обращен в сторону наибольшего убывания функции и является направлением наискорейшего спуска. Антиградиент (и градиент) ортогонален поверхности уровня $f(x)$ в точке x . Пусть в точке x требуется определить направление наискорейшего спуска (то есть направление наибольшего локального уменьшения $f(x)$). Разложим $f(x)$ в ряд Тейлора в окрестности точки x и отбросим члены второго порядка по Δx и выше $f(x) = f(x^{(k)}) + (\nabla f(x^{(k)}), \Delta x) \dots$

Локальное уменьшение $f(x)$ определяется вторым слагаемым, т. е. наибольшее уменьшение $f(x)$ будет тогда, когда $(\nabla f(x^{(k)}), \Delta x)$ будет иметь наибольшую отрицательную величину. Этого можно добиться выбором $\Delta x^{(k)} = -\nabla f(x^{(k)})$. Этот случай соответствует наискорейшему локальному спуску $x^{(k+1)} = x^{(k)} - \alpha_k \nabla f(x^{(k)})$.

На рисунке 4 показана релаксационная последовательность, построенная по методу наискорейшего спуска.

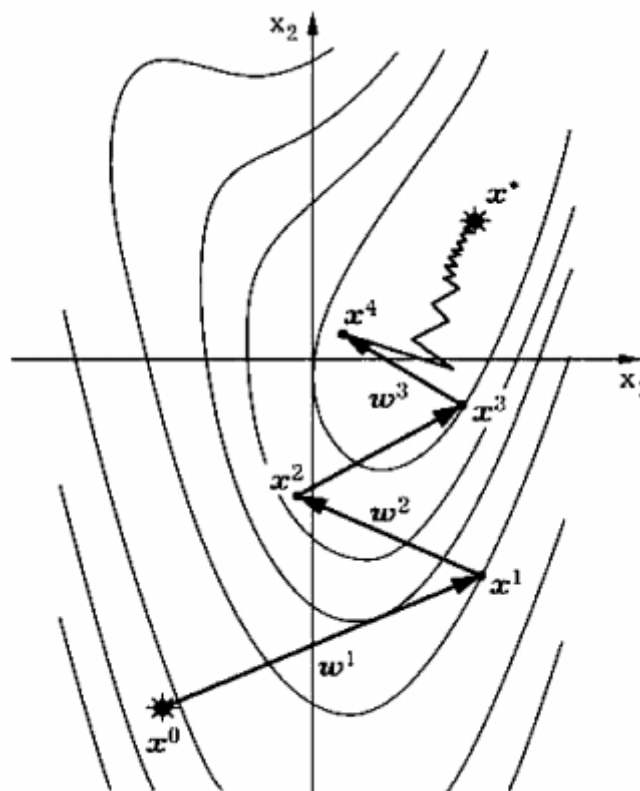


Рисунок 4 релаксационная последовательность, построенная по методу наискорейшего спуска.

Алгоритм метода наискорейшего спуска:

Шаг 0. Задать $\varepsilon > 0$, x^1 начальную точку. Положить $k = 1$.

Шаг 1. Если $\|\nabla f(x^{(k)})\| < \varepsilon$, то конец и оптимум $x^* = x^{(k)}$ иначе
вычислить, $S^{(k)} = -\frac{\nabla f(x^{(k)})}{\|\nabla f(x^{(k)})\|}$.

Шаг 2. Решить задачу одномерной оптимизации $\min_{\lambda} f(x^{(k)} + \lambda S^{(k)}) \rightarrow \lambda_k$
Положить

Шаг 3. Положить $k = k + 1$ перейти на шаг 1.

Недостатки: один из недостатков данного метода - он сходится к любой стационарной точке, в том числе и седловой, которая не может быть решением. Также отмечена очень медленная сходимость наискорейшего спуска в общем случае. Дело в том, что спуск является "наискорейшим" в локальном смысле. Если гиперпространство поиска сильно вытянуто ("овраг"), то антиградиент устремлен почти ортогонально дну "оврага", т. е. наилучшему направлению достижения минимума. В этом смысле прямой перевод английского термина "steepest descent", т. е. спуск по наиболее крутому склону, более соответствует положению дел, чем термин "наискорейший", принятый в русскоязычной специальной литературе. Метод наискорейшего спуска обладает большой надёжностью, но медленную сходимость вблизи точки минимума устранить нельзя. Поэтому метод самостоятельно обычно не используется, а используется как предварительная процедура для более сложных методов.

Достоинство: на каждой k -ой итерации $f(\vec{x}^{k+1}) < f(\vec{x}^k)$ выполняется свойство убывания функции.

3.1.4 Метод Флетчера-Ривса

В методе сопряженных направлений происходит отклонение направления наискорейшего спуска путем добавления к нему направления, которое используется на предыдущем шаге. В методе сопряженного градиента строится последовательность направлений поиска $S^{(k)}$, являющихся линейными

комбинациями градиента текущего направления наискорейшего спуска, и предыдущих направлений поиска, т. е.

$$S^{(k+1)} = -\nabla f(x^{(k)}) + \sum_{i=1}^k \alpha_i S^{(i)}.$$

Величины α_j выбираются так, чтобы новое направление $S^{(k)}$ было сопряжено со всеми предыдущими направлениями.

При этом критерием окончания поиска является выполнение условия: $\nabla^2 f(x^{(k)}, S^{(k)}) = 0$. Доказано, что

$$a_1 = a_2 = \dots = a_{k-1} = 0, \quad a_k = \frac{\|\nabla f(x^{(k)})\|^2}{\|\nabla f(x^{(k-1)})\|^2},$$

и это очень ценный результат, позволяющий строить быстрый и эффективный алгоритм оптимизации.

Алгоритм Флетчера-Ривса

Шаг 0. Задать $\varepsilon > 0$, x_1 начальную точку, $S^1 = -\nabla f(x^{(1)})$.

Положить $y^{(1)} = x^{(1)}$, $k = j = 1$.

Шаг 1. Если $\|\nabla f(x^{(k)})\| < \varepsilon$, то конец и оптимум $x^* = y^{(j)}$

иначе одномерная оптимизация $\min_{\lambda} f(y^{(j)} + \lambda S^{(j)}) \rightarrow \lambda_j$

положить $y^{(j+1)} = y^{(j)} + \lambda_j S^{(j)}$.

Шаг 2. Если $j < n$ перейти к шагу 3, иначе к шагу 4.

Шаг 3. Положить $S^{(j+1)} = -\nabla f(y^{(j+1)}) + \frac{\|\nabla f(y^{(j+1)})\|^2}{\|\nabla f(y^{(j)})\|^2} S^{(j)}$, $j = j + 1$

перейти к шагу 1.

Шаг 4. Положить $x^{(k+1)} = y^{(n+1)}$, $y^{(1)} = y^{(n+1)}$,

$S^{(1)} = -\nabla f(y^{(1)})$, $k = k + 1$, $j = 1$, перейти к шагу 1.

Метод обладает квадратичной сходимостью. Преимуществом алгоритма Флетчера-Ривса является то, что он не требует обращения матрицы и экономит память ЭВМ, так как ему не нужны матрицы, используемые в Ньютоновских методах, но в то же время почти столь же эффективен как квазиньютоновские

алгоритмы. Так как направления поиска взаимно сопряжены, то квадратичная функция будет минимизирована не более, чем за n шагов. В общем случае используется рестарт, который позволяет получать результат. Алгоритм Флетчера-Ривса чувствителен к точности одномерного поиска, поэтому при его использовании необходимо устранять любые ошибки округления, которые могут возникнуть. Кроме того, алгоритм может отказать в ситуациях, где Гессиян становится плохо обусловленным. Гарантии сходимости всегда и везде у алгоритма нет, хотя практика показывает, что почти всегда алгоритм приводит к приближенному оптимуму.

На Рисунке 5 представлена блок-схема алгоритма Флетчера-Ривса.

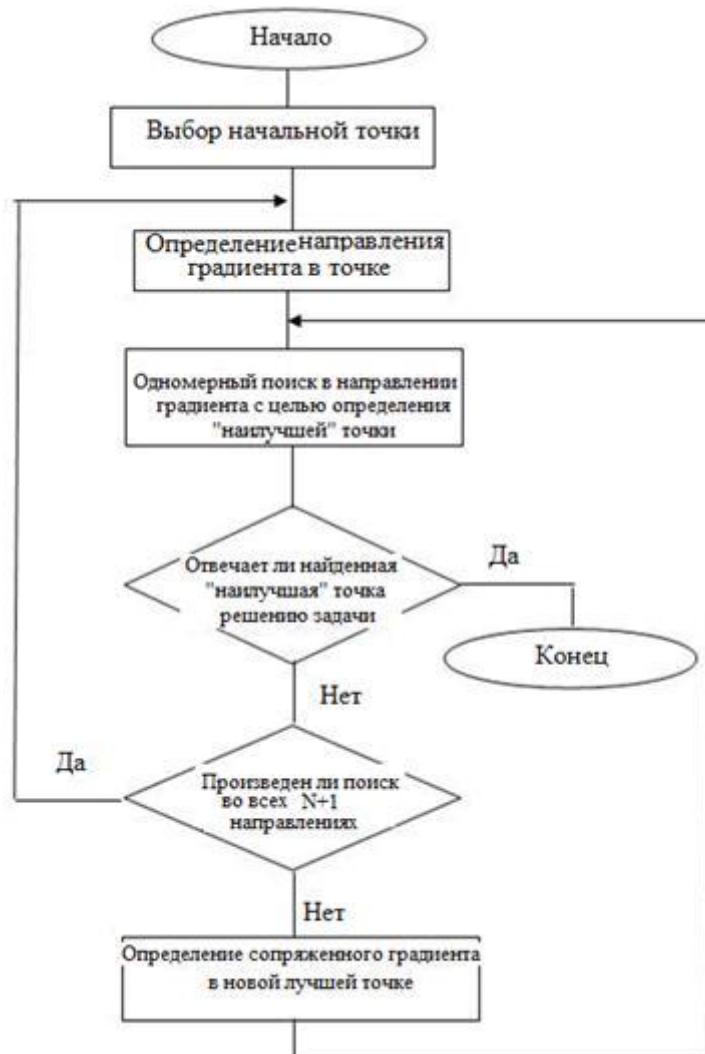


Рисунок 5 Блок-схема алгоритма Флетчера-Ривса

Для дальнейшей работы был выбран алгоритм Флетчера-Ривса.

4. Методика работ

В Сибирском научном исследовательском институте геологии, геофизики и минерального сырья (далее СНИИГГиМС), г. Новосибирск, разработана методика моделирования полей плотности и намагниченности, которая на основе использования всех имеющихся магнитных и гравитационных съемок и геологофизического, геологического строения земной коры, позволяет находить контуры плотностных и магнитных массы не только в плане, но и картировать их на глубину. Плотностные и магнитные массы изображаются в виде изолиний на погоризонтных планах и разрезах, которые отождествляются с конкретными геологическими породами и служат основанием для построения геолого-геофизических моделей.

В отличие от традиционных методик, позволяют получить плотностные и магнитные модели сплошных сред, а не отдельные локальные плотностные и магнитные объекты. Моделирование геологических сред проводится основываясь на вычислениях плотностных и магнитных характеристик этих геологических сред методами подбора путем решения СЛАУ (системы линейных алгебраических уравнений) в опережающем или сопровождающем режимах. В опережающем режиме самостоятельно определяется положение плотностных или магнитных границ, распределение полей плотности или намагниченности. В сопровождающем режиме – в рамках известных границ, в частности, сейсмических, определяются их плотностные и магнитные характеристики. Выявляются области, соответствующие интрузивным образованиям, тектоническим элементам, а также определяется вещественный состав пород на основании их скоростных, плотностных и магнитных характеристик.

От задач рудного типа данная задача для класса сложного распределения масс отличается тесным прилеганием задаваемых объектов друг к другу, полностью заполняя изучаемое пространство и, моделируют сплошную геологическую среду по аналогии задач структурного типа. Но в отличие от структурных задач у задачи сложного распределения масс отсутствуют слои, протяженные вдоль всего геологического разреза. Подобный смешанный класс

значительно лучше соответствует вполне определенным наблюдаемым полям, особенно если имеется тесная связь формирования моделей с геологическим содержанием, как на начальном этапе, так и в процессе подбора моделей.

Работы по глубинному математическому моделированию начались в СНИИГГиМСе в 60-х годах в первую очередь по железорудным объектам. Это было обусловлено необходимостью дать оценку прогнозным запасам и ресурсам известных месторождений в полном объеме. Первым этапом была разработка пакета программ для моделирования локальных высокомагнитных тел, впоследствии он был пополнен программами для слабо- и немагнитных объектов для моделирования сплошных сред. Благодаря этому круг решаемых геологических задач значительно расширился. Удалось промоделировать слабомагнитные полиметаллические месторождения (Горевское), золоторудные (Олимпиадинское, Легостаевское и др.), фосфоритовые и апатитовые (Селигдарское), и даже углеводородные (Тарасовское, Талаканское). В помощь геокартированию были построены серии глубинных геолого-геофизических разрезов стратифицированных и магматических образований (Салаир, Горный и Рудный Алтай, Приполярный Урал). Для изучения глубинного строения земной коры Западной и Восточной Сибири были составлены региональные и межрегиональные профили до границы Мохоровичича (профили 1-ДВ, 2-ДВ, 1-СБ и др.).

Предназначение программы GEOLAB (см. главу "**Программный модуль**") - решение прямых 2D- или 3D- задач магнито- и гравиразведки для тел произвольной конфигурации с использованием наземных, воздушных и скважинных съемок (в раздельном или совместном режимах) на основе всей имеющейся геолого-геофизической информации. Задачи решаются как для локальных объектов, так и для сплошных сред. Есть возможность задавать и определять фоновые составляющие с помощью полинома 1-го порядка. Поле распределения (плотности) намагниченности вычисляется в двух вариантах:

первый вариант рассчитывается методом подбора на основе максимального приближения, модельного и наблюдаемого полей как суперпозиция полей от

аппроксимационных элементов и определен как «кажущаяся» намагниченность;

второй вариант получается путем пересчета первого варианта с учетом взаимного влияния сильно магнитных тел, коэффициента размагничивания каждого возмущающего объекта, а также внутренних магнитных полей этих тел. Этот вариант определен как «истинная» намагниченность.

При решении обратных задач применяются градиентные методы минимизации функции на основе СЛАУ.

Выходные данные могут экспортироваться в программу SURFER. Программа GEOLAB (*см. главу "Программный модуль"*) на основе методов подбора позволяет получить с высокой степенью достоверности пространственное распределение расчетных параметров намагниченности или плотности в ограниченном объеме, который определяется постановкой геологической задачи, объемом памяти и производительностью ЭВМ.

Программа позволяет строить плотностные и магнитные модели, параметры которых определяются следующими требованиями:

- Используется вся имеющаяся геолого-геофизическая информация, гравитационные и магнитные поля, рельеф поверхности, рельеф съемок и результаты петрофизических исследований.
- Модельное поле в высокой степени должно соответствовать наблюдаемому.
- Должна быть сведена к минимуму неоднозначность решения обратных задач, которая сводится за счёт введения дополнительных ограничений по геометрии тел, интервалу подбора плотности и/или намагниченности для каждого тела, или введение дополнительных полей (повысотных и скважинных).

На основе методов моделирования определяются геометрические параметры геологических объектов, строятся структурные планы распределения расчетных плотности или намагниченности изучаемых территорий (объектов) на глубину, определенную геологическим заданием и протяженностью потенциальных полей.

Полнота извлечения информации зависит, в основном, от объема имеющихся геологических материалов. Объем априорной информации определяет количество вариантов решения обратной задачи и ее фундаментальные

характеристики – единственность и устойчивость. Сходимость модельного и наблюдаемого полей определяет окончательное решение обратной задачи. Из опыта работ известно, что наиболее устойчиво определяется плотность или намагниченность, а также форма объектов, находящихся в непосредственной близости к точкам наблюдения. Как показывает опыт, количество эквивалентных решений уменьшается при совместном использовании скважинных, наземных и повысотных потенциальных полей. Это соответствует и теоремам единственности для гармонических функций, ибо для выявления изменения закономерностей напряженности потенциального поля необходимо знать ее значения в части трехмерной области существования поля.

Таким образом, формирование модельных представлений в предлагаемой методике основано на решении некорректно поставленной задачи, позволяющей на некоторых множествах найти единственное и устойчивое ее решение. В основе разработанной методики приняты следующие допущения:

- Геологическая среда есть единое сложно построенное тело, состоящее из разноплотностных, разнонамагниченных и немагнитных элементов, количественная оценка этих элементов и является задачей моделирования. Модельные представления основываются на блоковом строении земной коры, причем каждый блок, который расположен к точке наблюдения, рассматривается более детально, чем ниже лежащий.
- Каждый блок аппроксимируется набором параллелепипедов, параметры которых и определяются.
- Потенциальные поля рассматриваются как сумма полезного сигнала и регионального фона. Ошибка измерений компенсируется ошибкой определения параметров модели.
- Конструирование модели осуществляется последовательно: от обобщенной до детальной. Степень детальности модели целиком определяется масштабом съемки и достоверностью исходных материалов.
- Используются объемные потенциальные поля, которые позволяют сократить количество эквивалентных решений.

Принятые допущения определяют конструкцию моделей и последовательность их конструирования с использованием трех типов вспомогательных моделей: блоковой, детализационной и комплексной.

Блоковая (однородно плотностная/намагниченная) модель позволяет определять среднюю плотность (намагниченность) каждого блока, а также формы их верхних и нижних кромок. Определение этих параметров осуществляется на основе метода подбора: путем поиска минимума функции среднеквадратического расхождения наблюдаемого и теоретического полей. На этом этапе, как правило, отбраковывается начальная или «нулевая» модель или же, наоборот, она принимается и используется для дальнейших трансформаций и детализаций. Методика трансформаций и детализаций «нулевой» модели основывается на последовательном подборе средней плотности (намагниченности) и построению геометрических параметров моделей от приближенного к более точному результату с последующей детализацией, определяемой масштабом съемки, а точность решения оценивается количеством итераций и задаваемой точностью подбора;

Детализационная (неоднородно плотностная/намагниченная) модель позволяет определять неоднородную плотность (намагниченность) в каждом блоке, а также более конкретно оценивать каждый блок по характеру неоднородности распределения плотности (намагниченности) в нем;

Технологическая схема применения GEOLAB осуществляется в следующем порядке.

1. В рамках **блоковой** модели:

- ввод параметров модели (предусмотрен ручной и автоматизированный ввод.) Сюда относятся ввод наблюдаемых значений магнитного или гравиметрического поля, рельефа поверхности, рельефа съемки, геометрических параметров модели в трехмерном измерении, а также их физических свойств: плотности или намагниченности и их интервалы подбора. Возможно также закрепление отдельных параметров некоторых элементов модели при наличии горнобуровых и уверенных геофизических данных;

- решение прямой задачи и анализ полученных результатов с целью избегания грубых ошибок в построенной модели;
- определение плотности или намагниченности блокового варианта модели с закрепленными геометрическими параметрами;
- определение плотности или намагниченности блокового варианта модели с одновременным подбором положения плоских верхних или нижних границ блока или группы блоков;
- определение формы верхних или нижних границ блоков с заданными физическими параметрами;
- определение размеров по простирацию каждого блока в случае задания трехмерной модели;

– Наличие априорных сведений об изучаемом разрезе или группы разрезов (в трехмерном варианте) позволяют наложить целый ряд ограничений на решение обратной задачи. Таковыми являются:

- задание интервалов определения физических параметров каждого блока, в пределах которых осуществляется режим подбора этих параметров;
- задание интервалов значений границ верхних или нижних кромок блока (блоков). При этом режим подбора формы и глубины границ осуществляется таким образом, что каждая нижняя граница вышележащего слоя является верхней границей нижележащего слоя;
- закрепление отдельных геометрических элементов блока или их физических свойств, в случае если эти параметры известны.

Помимо этого, в зависимости от информативности априорных сведений возможно изменение технологического расчета. Например, задание физических свойств на основе массовых измерений по образцам и скважинам для конкретных геологических комплексов; оценка средней намагниченности или плотности для тел с известной формой по наблюдаемым потенциальным полям; оценка формы объекта при известных физических свойствах и т.д.

Решение обратной задачи считается формально законченным, если среднеквадратическая ошибка между теоретическим и экспериментальным полем

не превышает тройной погрешности съемки; если повторное решение обратной задачи по теоретическому полю определит конструкцию модели полностью или с незначительными погрешностями; если полученная модель попадает в концепцию геологических представлений об объекте.

Таким образом, решение обратной задачи есть сложный многовариантный процесс последовательного перехода от общего к частному, основанный лишь частично на его формализации, а в большей мере базирующийся на интуиции и опыте исследователя.

Основным недостатком разработанной блоковой (однородно плотностной/ намагниченной) модели является ее упрощенная конструкция, подчеркивающая однородность блока. В природе, как известно, отсутствуют объекты с однородными физическими свойствами. Этот факт сужает область применимости метода. Однако в сравнении с существующими методами последний позволяет рассматривать геологический разрез как сплошную среду, состоящую из сложнопостроенных геологических тел в их естественном залегании.

2. В рамках детализационной модели:

- подбирается неоднородная плотность или намагниченность каждого блока. С учетом недостатков блоковой модели, для которой намагниченность или плотность каждого блока принимается постоянной, нами разработан эвристический алгоритм определения детализационной (неоднородно плотностной/ намагниченной) модели. Выбранный нами градиентный метод позволяет, автоматизировано, независимо от интерпретатора, определять коэффициент регуляризации Тихонова. Помимо этого, использование «овражного» метода позволяет за нулевую точку отсчета принять имеющуюся блоковую модель с таким расчетом, чтобы моменты блоковой и детализационной модели были примерно одинаковы. Оценка локального минимума определяется с различными шагами подбора. Одинаковые или близкие решения различных вариантов обуславливают единственность решения задачи.

В отличие от других способов подбора, неоднородные физические свойства не определяются заранее заданной функциональной зависимостью, а только

изменчивостью измеренных потенциальных полей. Опробование на теоретических и практических моделях показало, что физические свойства наиболее надежно определяются на известных (закрепленных) геометрических параметрах объектов, хотя ошибки в задании формы в некоторой степени компенсируются структурой распределения намагниченности или плотности. В целом, если расчетные физические свойства в пределах разреза представить в виде изолиний, то они более наглядно позволяют судить о структурных особенностях разреза.

С помощью плана распределения изолиний физических свойств, можно ликвидировать и аппаратные погрешности, что, на наш взгляд, наиболее благоприятно сказывается на конечном результате. Традиционно аппаратную ошибку удаляют на начальной стадии интерпретации, а отсутствие знаний функциональных свойств аппаратной ошибки может внести в наблюдаемое поле дополнительную погрешность.

Основным недостатком предлагаемого метода является наличие теоретической и практической эквивалентности при отсутствии знаний о форме объектов, участвующих в создании потенциальных полей. Однако последний, в сравнении с существующими методами, позволяет судить о характере распределения физических свойств в объеме только по структурным особенностям изменчивости потенциальных полей, выделять структурно-морфологические особенности геологического разреза, судить о геологических процессах, формирующих исследуемый разрез.

Наибольший интерес представляет использование метода в разрезах с хорошо изученными границами раздела на основании результатов буровых, сейсмических, электроразведочных работ, где по характеру распределения физических свойств в сопоставлении с петрофизическими исследованиями и начальной геологической моделью можно судить о составе пород, а также воздействии на них вторичных геологических процессов.

Значительный интерес в изучении геологического строения земной коры является предложенная новая разработка по разделению эффективной намагниченности на индуктивную и остаточную (Патент №2683817 Способ

определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород по данным магниторазведки. Садур О.Г. от 05.04.2018 г.), что позволяет получить геологические объекты, намагниченные современным магнитным полем земли (индуктивная) и древним (остаточная).

Остаточная намагниченность наиболее чувствительна к тектоническим воздействиям, что позволяет уверенно обнаружить тектонические нарушения земной коры.

В создании этой методики активное участие принимал автор данной диссертации со времени поступления на работу в СНИИГГиМС.

Более подробное описание методики разделения полей эффективной и остаточной намагниченности на индуктивную и остаточную в главе 4.2.

Технологическая схема решения обратной задачи аналогична предыдущей: от общего - к частному.

Завершение решения определяется:

- среднеквадратической ошибкой между теоретической и экспериментальной кривой, не превышающей удвоенной погрешности съемки;
- решением обратной задачи по модельному полю. При сопоставлении каждого аппроксимационного элемента по их геометрическим параметрам и физическим свойствам теоретической и практической моделей – до получения минимальной среднеквадратической ошибки между ними;
- концепцией геологических представлений об исследуемых объектах, укладывающихся в рамки представлений выбранной модели.

Таким образом, разработанная программа ***в сравнении с существующими обладает целым рядом преимуществ.*** Во-первых, позволяет определять геометрические параметры возмущающих объектов, получать двух или трехмерное распределение значений физических свойств (плотности и намагниченности). Во-вторых, использование объемных потенциальных полей, ввод в задачу вспомогательных моделей и постоянно проводимый контроль за ходом решения обратных задач позволяют не только значительно расширить круг решаемых задач, но и сузить области их эквивалентности.

Как показывает практика, увеличение размерности решаемых задач, т.е. увеличение количества точек поля и использование более сложных аппроксимационных стратегий при построении моделей исследуемых объектов уменьшает «овражность» минимизируемых целевых функций. Результатом этого является повышенная сходимость итерационного процесса подбора и повышенная точность восстановления искомых параметров. В-третьих, простота вводимой информации в текстовом режиме позволяет достаточно оперативно использовать ее для решаемого круга задач.

Для целей региональных работ глубинное моделирование геологических сред вполне возможно на основе имеющихся геологических и гравимагнитных карт масштаба 1:200000, а для более детальных моделей необходимы крупномасштабные материалы.

Геологическая интерпретация (или отождествление с геологическим разрезом) модельных полей распределений плотности и намагниченности формально определяется априорными сведениями о геологическом строении исследуемой территории и знанием петрофизических свойств, а практически, в большей степени, опытом исполнителя работ, уровнем его знаний по строению региона и конкретных объектов. В первую очередь определяются глубинные разломы и крупные нарушения, ограничивающие блоки с контрастными физическими свойствами. (При этом предпочтение отдается полю распределения плотности как более устойчивому признаку по сравнению с намагниченностью). На модельных разрезах местоположение и ориентировка разломов, как правило, фиксируются более точно, нежели на геологических картах поверхности. В ряде случаев исключаются недостоверные тектонические границы, а в других – выделяются пропущенные разломы.

Анатомия каждого структурно обособленного блока представляет особо трудный вариант отождествления его с геологией. В целом геометрические параметры блоков определяет структура распределения плотности и намагниченности. Однако здесь не всегда удается достичь однозначного решения. Число возможных вариантов обычно не превышает двух – трех, из которых

специалист выбирает наиболее предпочтительный.

4.1 Подготовка плотностных и магнитных моделей начального приближения

Как нами уже отмечалось ранее, модель готовится в цифровом виде. Подготовка модели состоит из задания поля (магнитного и гравиметрического). Рельефа съемки, рельефа модели (цифровое изображение рельефа местности), геометрических параметров плотностных и магнитных тел, которые по возможности должны соответствовать геологическим телам, а также магнитные и плотностные характеристики этих тел и возможные интервалы изменения этих границ. В соответствии с этим должна быть построена начальная модель, границы которой характеризовали бы не только геологические, но и геофизические параметры. Всем методам подбора свойственно заранее иметь проект, конструируемой модели, как это делается при строительстве зданий, инженерных сооружений и т.д. Следует особо отметить, что корректность задания начальной модели, в целом, определяет весь последующий процесс моделирования. Отсутствие дополнительной информации о геологическом строении исследуемого участка создает дополнительные трудности и определяет «вариантность» моделирования. Большую роль в формировании моделей играют также и знание физических свойств, их вариации, свойственные определенному типу пород.

4.2 Разделение полей эффективной намагниченности на индуктивную и остатчную по наблюдаемому магнитному полю.

(Патент №2683817 Способ определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород по данным магниторазведки. Садур О.Г. от 05.04.2018 г.)

Одной из проблем при изучении магнитных свойств геологического разреза, является необходимость разделения индуцированной и остаточной намагниченностей в горных породах, так как интерпретация аномалий, связанных только с индуцированным намагничиванием, даёт более уверенную информацию о морфологии аномальных объектов и их магнитной восприимчивости. Сильное искажающее влияние остаточной намагниченности не позволяет по данным

измерений постоянного магнитного поля над объектами оценить их магнитные свойства.

Индуктивная намагниченность - это намагниченность горных пород в современном магнитном поле.

Остаточная намагниченность - это намагниченность горных пород в древнем магнитном поле, в процессе формирования земной коры.

Известны различные способы раздельного определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород в лабораторных условиях на образцах с помощью аstaticеских магнитометров или магнитных весов (см., например, «Физические свойства горных пород и полезных ископаемых» (петрофизика). Справочник геофизика./ Под ред. Н.Б. Дортман, — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984, стр. 102 — 143). Однако данные способы являются достаточно трудоёмкой и затратной задачей и, в целом, дают лишь точечную информацию о поведении индуцированной и остаточной намагниченности в породе.

Определение индуцированной намагниченности осуществляется также электроразведочными методами на основе искусственного подмагничивания с использованием постоянного или низкочастотного переменного токов. Сущность метода искусственного подмагничивания пород состоит в том, что с помощью расположенного на поверхности земли незаземленного контура с постоянным или пульсирующим током малой частоты (около 0,7 Гц) возбуждается магнитное поле. Породы, подмагниченные этим полем, создают дополнительный (вторичный) эффект, величина которого зависит от магнитной восприимчивости, глубины до поверхности руд и их формы. Определению подлежит вторичное магнитное поле, создаваемое подмагниченными породами. Для этого непосредственно измеряют магнитное поле на исследуемом участке при отсутствии в контуре тока, при прохождении в контуре тока, а также нормальное поле контура над немагнитными породами (на контрольном участке). По вычисленному вторичному магнитному полю определяют магнитную восприимчивость пород или руд участка. Определение индуцированной намагниченности при применении низкочастотной индуктивной электроразведки, представлено в («Теоретические основы

комплексной магниторазведки», Ю. И. Блох, © 2012, стр. 4 — 29). Однако данное техническое решение хотя и решает задачу определения векторов индуцированной и остаточной намагниченностей, но только на небольшие глубины, не более нескольких сотен метров, в результате чего не обеспечивается эффективность задач магниторазведки при глубинных исследованиях.

Известны многочисленные способы определения эффективной намагниченности методами подбора на основе решения обратных задач магниторазведки, разработанные еще в прошлом веке (см., например, «Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике». Справочник геофизика. Под ред. В. И.) Дмитриева. М., Недра, 1982. стр. 89 — 98.)

Определённая тем или иным образом эффективная намагниченность изучаемого объекта не соответствует действительной, так как действительная намагниченность представляет сумму векторов индуцированной и остаточной намагниченностей. В целом, вектор индуцированной намагниченности совпадает с направлением вектора нормального магнитного поля Земли, а вектор остаточной намагниченности определяется системой иных механизмов намагничивания, таких как, фактор времени, температура, механические напряжения, химические преобразования, которые происходят в присутствии магнитного поля. Направление суммарного вектора будет зависеть от соотношения величин намагниченностей (отношение Кеннингсберга). Если величина остаточной намагниченности будет значительно преобладать над величиной индуцированной намагниченности, то направление намагниченности геологических объектов будет отличаться от направления современного геомагнитного поля, что может в свою очередь привести к ошибочным результатам интерпретации аномальных магнитных полей.

Задачей является повышение эффективности использования магниторазведочных данных за счёт их более углубленной интерпретации.

Технический результат выражается в получении магнитных моделей изучаемого разреза, обусловленных только индуцированной намагниченностью ($\vec{j}_i$) и только остаточной намагниченностью ($\vec{j}_r$).

Способ определения индуцированной и остаточной намагниченностей

горных пород и руд по данным магниторазведки, характеризуется тем, что

- по наблюдаемому магнитному полю создают цифровую модель разреза, как совокупность отдельных блоков, заполняющих изучаемое пространство и имеющих квазиоднородные магнитные свойства. Каждый блок представляет собой неделимый элемент модели, который помимо пространственных параметров характеризуется еще двумя: значением намагничивания и углом намагничивания.

- для каждого указанного блока на основе решения обратной задачи определяют значения вычисленной намагниченности

- после чего уточняют геометрические параметры каждого составляющего разрез блока и соответствующие значения эффективной намагниченности (с углами намагничивания, совпадающими с направлением вектора нормального магнитного поля Земли),

- полученную цифровую модель разреза копируют, с получением второй идентичной модели разреза. При этом один разрез идентифицируется только с индуцированной намагниченностью, а второй — только с остаточной,

- после чего осуществляют процедуры определения значений индуцированной и остаточной намагниченностей для каждого блоков обоих разрезов путём решения обратных задач, последовательно изменяя направление вектора остаточной намагниченности,

- при каждом указанном изменении угла намагничивания в каждом блоке вычисляются значения индуцированной и остаточной намагниченностей, а также значение целевой функции, характеризующей степень сходимости модельного и наблюдаемого магнитных полей. Полученные значения записывают в отдельный файл,

- для каждого блока формируют файл, включающий изменения значений индуцированной, остаточной намагниченностей и целевой функции, в зависимости от изменения направления вектора остаточной намагниченности,

- выделяют минимальные значения целевой функции для каждого блока, которые соответствуют истинному направлению вектора остаточной намагниченности, а по известному направлению вектора — истинные значения

индуцированной и остаточной намагниченностей,

- изменения указанных углов повторяют за несколько полных итерационных циклов до получения минимального значения целевой функции, при этом полученные значения углов и намагниченностей определяют соответствующим векторам искомых индуцированной и остаточной намагниченностей

Пример цифровой модели приведён в **Приложении А**.

4.2.1 Проверка на теоретической модели

На Рисунке (6-12) Представлен модельный пример.

На Рисунке 5 показана принятая, исходная модель магнитного объекта, разделённая в данном примере на два разреза, в каждом из которых содержится по три пронумерованных блока: (1и - 3и) — разрез с заданной индуктивной намагниченностью и (1о - 3о) — разрез с заданной остаточной намагниченностью. В каждом из блоков заданы значения намагниченностей и углы намагничивания.

$\vec{J}_i$ -индуцированная намагниченность в А/м,

i_{ix} – направление вектора индуцированной намагниченности ($\vec{J}_i$) в градусах,

$\vec{J}_r$ - остаточная намагниченность в А/м,

i_{rx} — направление вектора остаточной намагниченности ($\vec{J}_r$) в градусах.

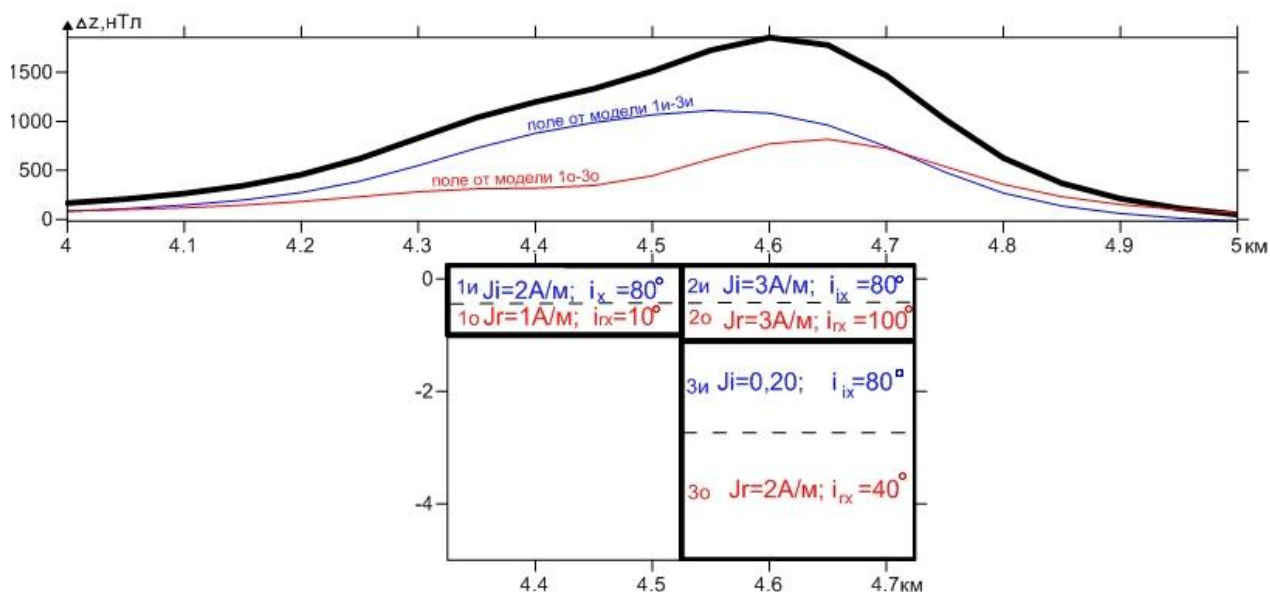


Рисунок 6 Исходная модель

Как это видно из Рисунка 5, все значения остаточной намагниченности ()

положительны и находятся в нижнем полупространстве, то есть направления векторов i_{rx} остаточной намагниченности ($\vec{J}_r$) меняются от 0° до 180° . От модели, представляющей совокупность двух разрезов с индуктивной ($\vec{J}_i$) и остаточной ($\vec{J}_r$) намагниченностями посчитана прямая задача и получено поле от модели ΔZ . Аналогично посчитано поле ΔZ от разрезов с индуцированной и остаточной намагниченностью.

На Рисунке 6 приведены графики, показывающие результаты первого итерационного цикла при определении векторов намагничивания ($\vec{J}_i$, $\vec{J}_r$) для блоков (1и и 1о) исходной модели.

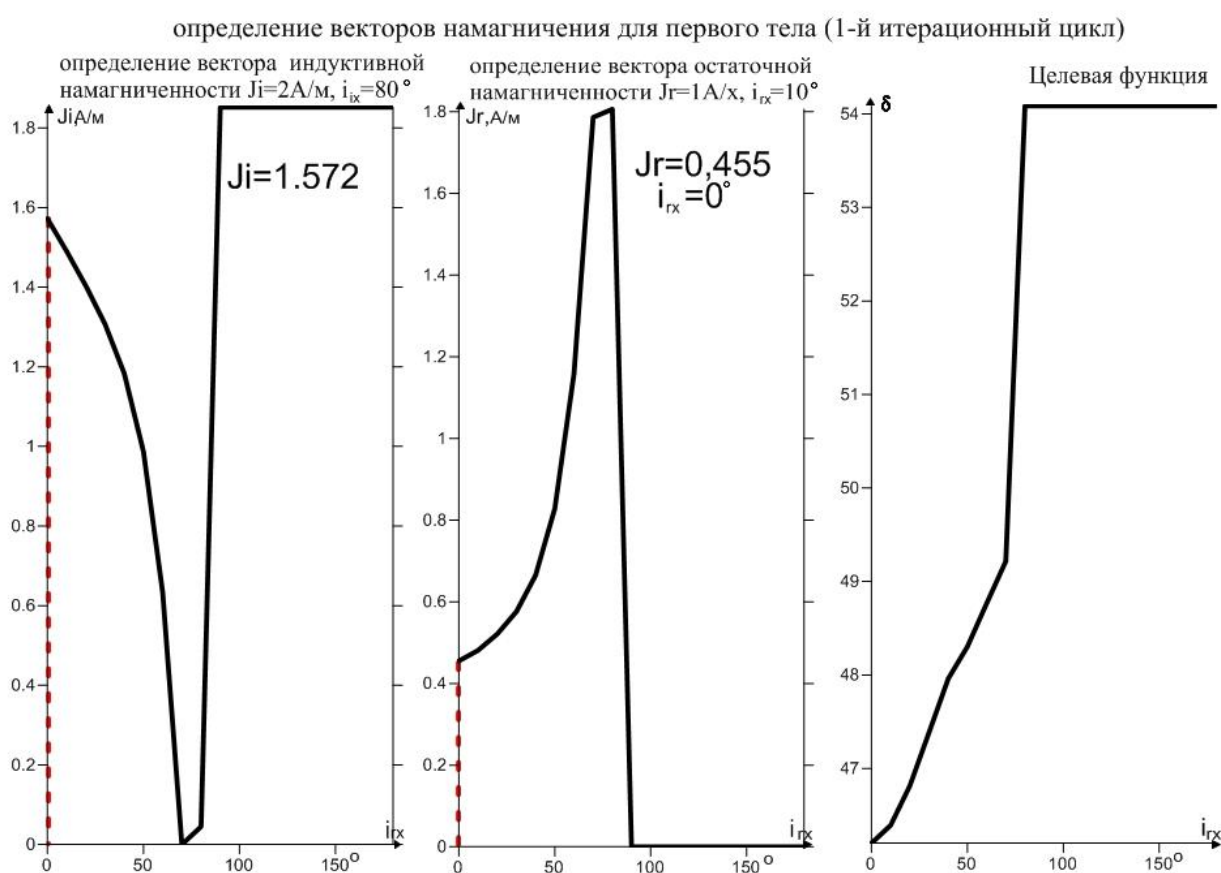


Рисунок 7 Результаты первого итерационного цикла

На графиках представлено: изменение параметров намагничивания от изменения углов направления вектора остаточной намагниченности. Показано, что в первом итерационном цикле для блоков (1и) минимум целевой функции составил 46.2. При этом значение индуцированной намагниченности ($\vec{J}_i$) составило 1.572

A/м (задано 2 A/м), угол (i_{rx}) остаточной намагниченности — 0° , значение $\vec{J}r$ — 0,455 A/м (при заданных значениях, соответственно, 10° , и 1 A/м).

На Рисунке 7 приведены графики, иллюстрирующие результаты второго итерационного цикла определения векторов намагничивания для блоков (2и и 2о) исходной модели.

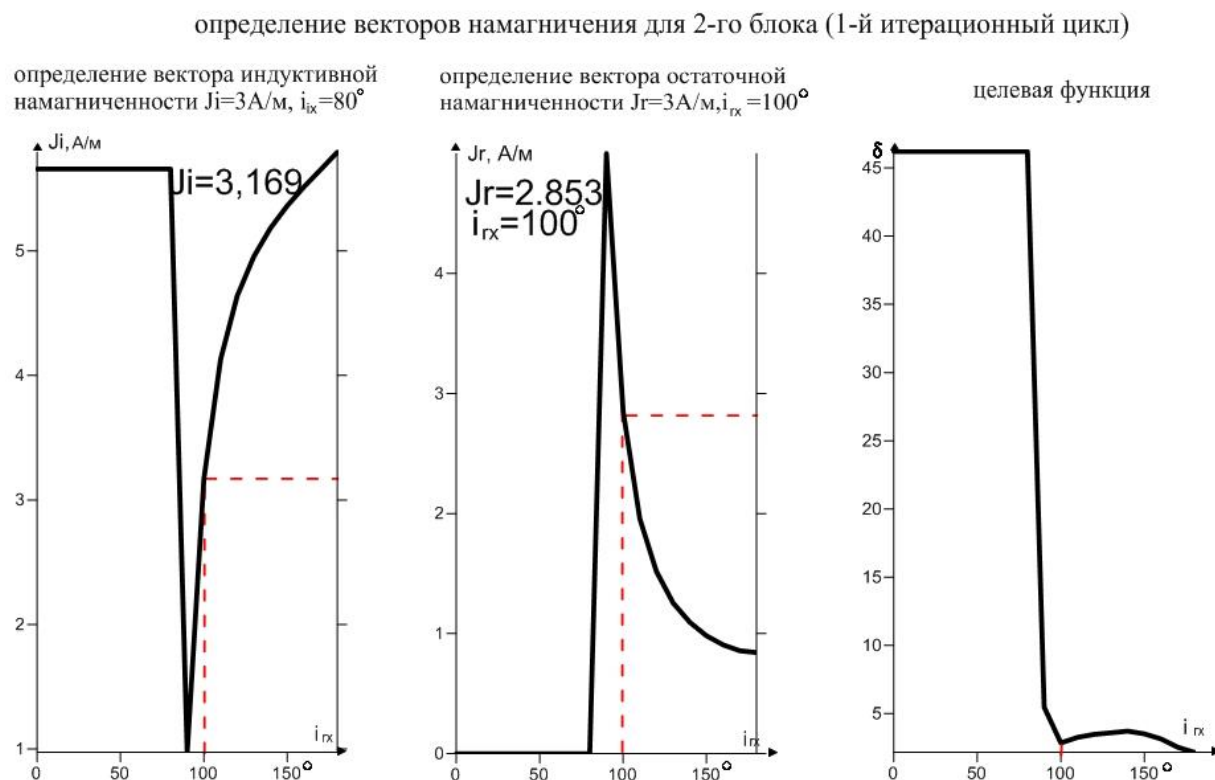


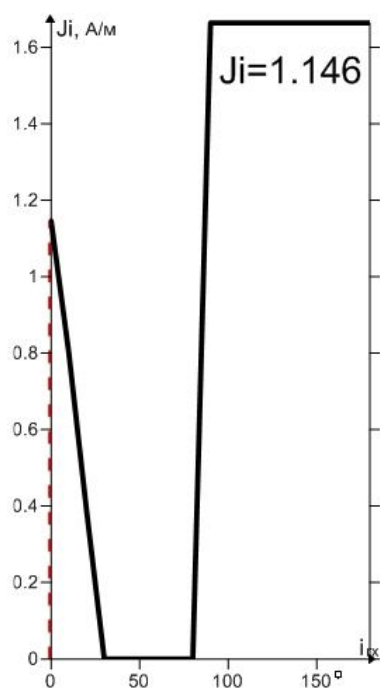
Рисунок 8 Результаты второго итерационного цикла

Согласно иллюстрации видно, что в первом итерационном цикле искомые значения намагниченностей $\vec{J}i$ и $\vec{J}r$ не совпадают с заданными, хотя направление вектора (i_{rx}) остаточной намагниченности ($\vec{J}r$) уже соответствует модельному.

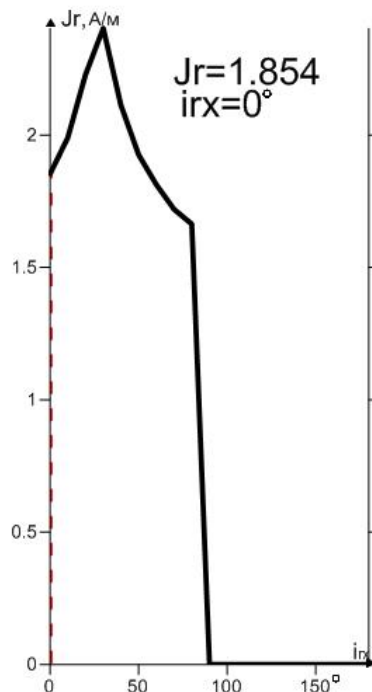
Аналогичная ситуация сложилась и для блока 3 (Рисунок 8). При значении целевой функции 0.56, значения намагниченностей $\vec{J}i$, $\vec{J}r$ и направление вектора i_{rx} остаточной намагниченности ($\vec{J}r$) не совпадают с модельными.

определение векторов намагничивания для 3-го блока (1-й итерационный цикл)

определение вектора индуктивной намагниченности $J_i=0,2$, $i_{ix}=80^\circ$



определение вектора остаточной намагниченности $J_r=2$ A/m, $i_{rx}=40^\circ$



целевая функция

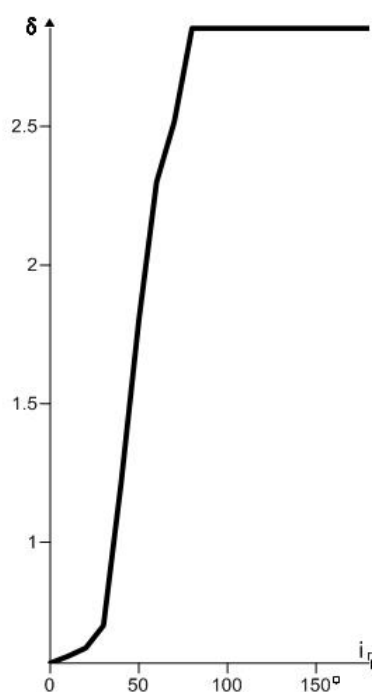


Рисунок 9 Определение векторов намагничивания для 3-го блока

Последующее уменьшение значений целевой функции за счет использования полного второго итерационного цикла (Рисунок 9 –11) позволило получить значения и углы намагничивания практически, которые совпадают с модельными.

определение векторов намагничивания для 1-го блока (2-й итерационный цикл)

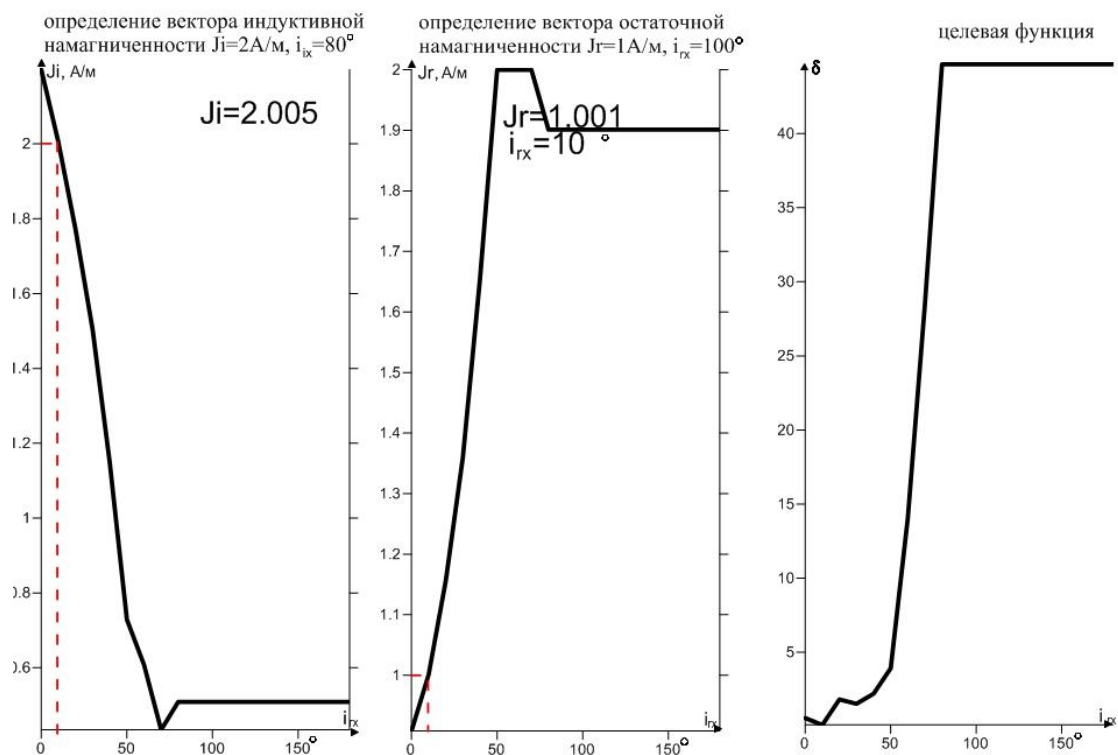


Рисунок 10 Определение векторов намагничивания для 1-го блока

определение векторов намагничивания для 2-го блока (2-й итерационный цикл)

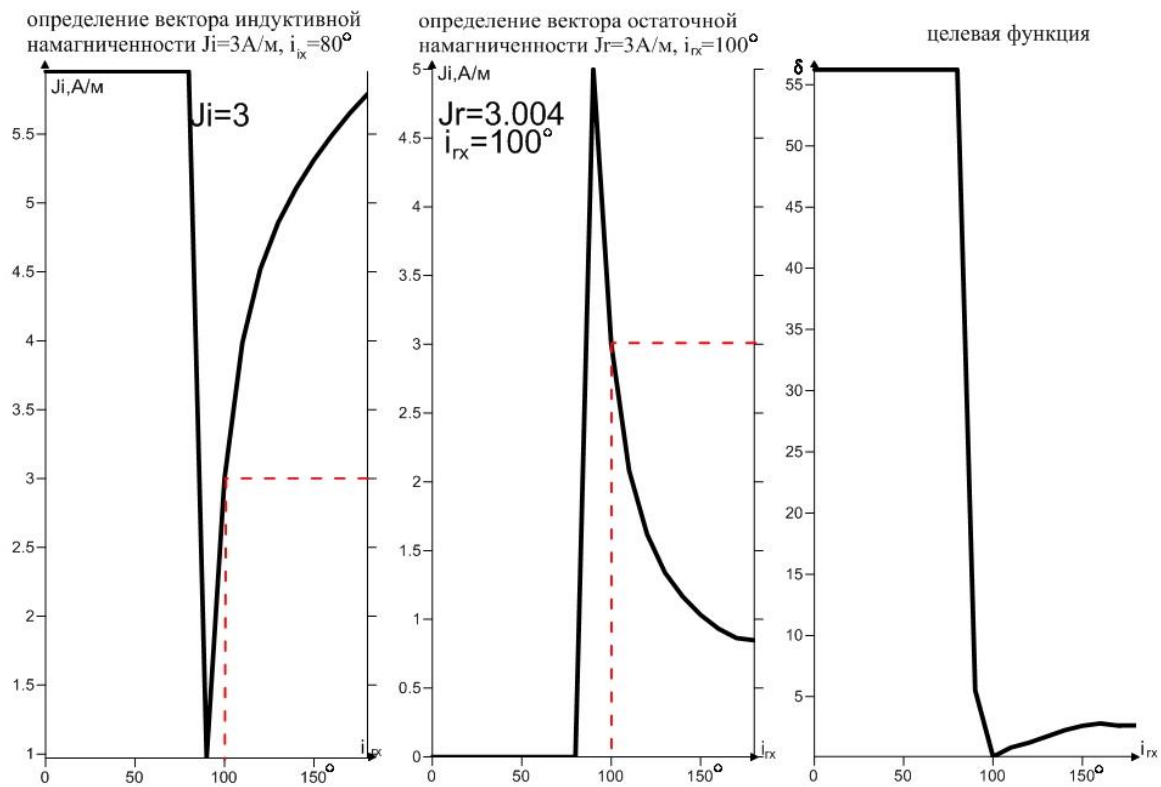


Рисунок 11 Определение векторов намагничивания для 2-го блока

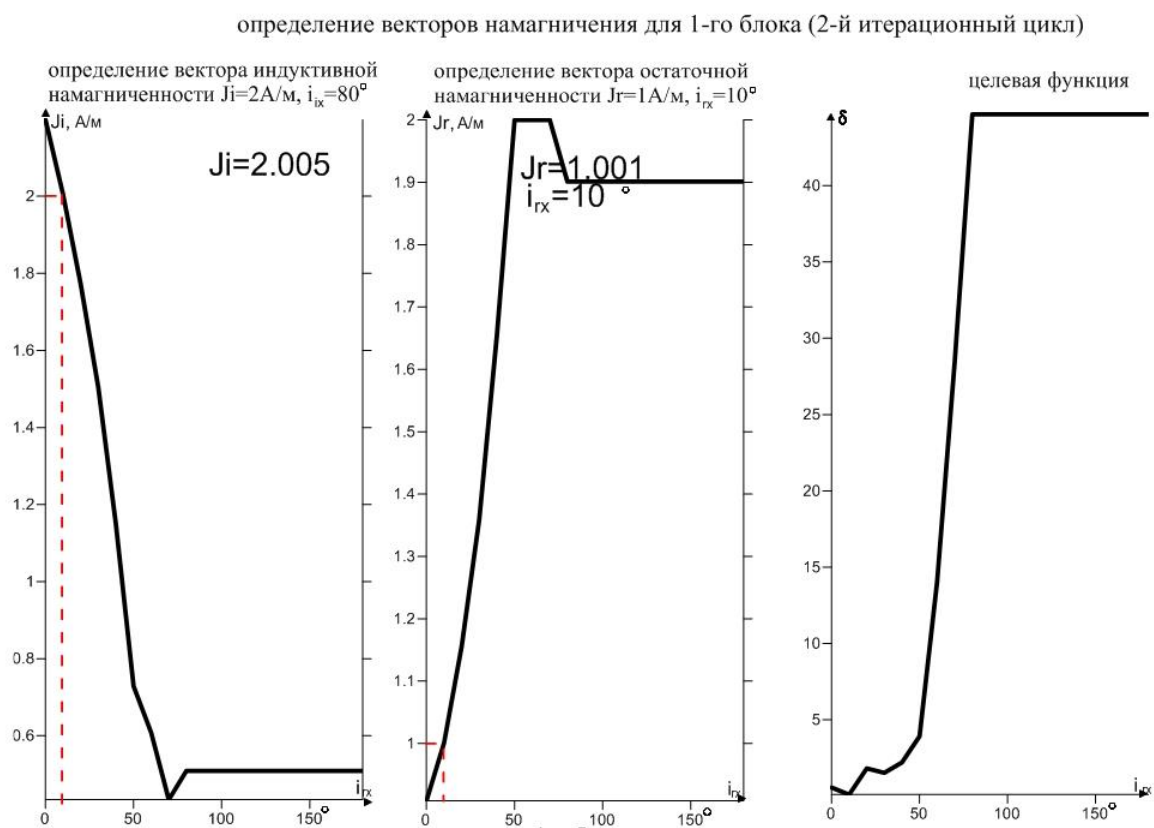


Рисунок 12 Определение векторов намагничения для 1-го блока

Таким образом, опробованный на **многочисленных** моделях способ разделения эффективной намагниченности на две составляющие: индуцированную намагниченность ($\vec{J}_i$), и остаточную ($\vec{J}_r$), позволяет получить **удовлетворительные** результаты и тем самым повысить качество интерпретации магниторазведочных данных.

4.2.2 Практические примеры использования

На рисунке 12, в **Приложении Б** показан практический пример построения геоплотностной (Рисунок 12, А) и геомагнитных моделей (Рисунок 12, Б, В, Г) в северной части Предверхоянского прогиба (Якутия) по сейсмопрофилю 140305. По данным МОГТ – разрез двухслойный, имеет блоковое строение. Он состоит из осадочных пород (чехол) пермтриасовского, юрского и мелового возрастов примерно одинакового состава: песчаников, глин, аргиллитов и, ограниченно, карбонатных горных пород. Плотностные характеристики (сверху вниз) увеличиваются от 2.54 г/см³ до 2.66 г/см³, а магнитная восприимчивость меняется от 0 до $2.5 \cdot 10^{-5}$ СИ. Кристаллический фундамент выполнен породами позднего

архей с наложенными впадинами вулканоплутоническими поясами раннего протерозоя. На разрезе пробурена скважина, вскрывшая фундамент. По сейсмопрофилю создана конструкция геоплотностной и трех геомагнитных моделей.

На геоплотностной модели (Рисунок 13,А) верхняя часть (чехол) делится на две части: северо-западная часть, попадающая на Оленекское поднятие (ПК 0 – 140 км) сравнительно однородная и составляет 2.74 г/см³ и неоднородная юго-восточная часть (ПК 140 – 280 км, совпадающая по координатам с Предверхоянским прогибом, с изменением плотностей от 2.54 до 2.66 г/см³. Нижняя часть осадочных отложений в юго-восточной части разреза (от 240 км до окончания разреза) представлена увеличенными значениями плотностных характеристик от 2.64 до 2.76 г/см³ с изменением направления изолиний плотности вплоть до горизонтального, что соответствует предполагаемому надвигу, сформированному складчатыми образованиями Верхоянского и Сетте-Дебанского антиклинория. Кристаллический фундамент по структурно-морфологическим особенностям плотностного поля разбивается на три блока: первый блок (0- 100 км) характеризуется плавным увеличением поля плотности на глубину (2.74 до 2.96 г/см³); второй блок (100 – 280 км) характеризуется волнообразным изменением увеличением плотности на глубину (2.74 до 2.96 г/см³); третий блок характеризуется также увеличением плотности на глубину, но с меньшими значениями (от 2.72 до 2.76 г/см³).

Геомагнитные модели конструируются в трех модификациях: поле эффективной намагниченности, индуктивной и остаточной. Эффективная намагниченность определяется векторной суммой индуктивной и остаточной намагниченности. Индуктивная и остаточная намагниченности определяются из наблюдаемого поля. Не вдаваясь в подробности геолого-геофизического строения этого разреза, здесь рассматривается только новая информация, полученная в результате интерпретации моделей (Рисунок 13, В, Г) Субвертикальное распределение изолиний индуцированной и остаточной намагниченностей в центральной части разреза.

На сконструированной геомагнитной модели с полученной эффективной намагниченностью (Рисунок 13, Б) в верхней части разреза отдельно присутствует только надвиговая зона, отмеченная на геоплотностной модели. Нижняя часть разреза (кристаллический фундамент, граница уточнена на основе решения обратной задачи) по структурно-морфологическим особенностям поведения изолиний намагниченности разбивается на четыре блока: первый блок (от 0 до 90 км) определяется двумя локальными аномалиями намагниченности с увеличением значений от периферии к центру от 0,55 до 0,6 А/м. Второй блок (от 90 до 200 км) представлен куполообразной локальной аномалией с понижением значений намагниченности с глубиной от 0,45 до 0,15 А/м и субвертикальной апофизой, прорывающую кровлю фундамента. Третий блок (от 200 до 280 км) характеризуется двумя сближенными куполообразными аномалиями со повышающимися значениями намагниченностей на глубину от 0,55 до 1,3 А/м. Границы четвертого блока на восток выходят за пределы разреза. Отличительной чертой структуры этого поля намагниченностей определяется их пониженными значениями (от 0,5 до 0,45 А/м).

Рассматривая совместно все геомагнитные модели (Рисунок 13, Б,В,Г) видно, что наиболее дифференцировано и неоднородно поле остаточной намагниченности (Рисунок 13, Г), которая является наиболее чувствительной к структурно-тектоническим неоднородностям разреза. Векторная картина поля остаточной намагниченности достаточно неоднозначная (направления векторов несколько искажены, так как вертикальный масштаб в пять раз крупнее горизонтального), что говорит о сложных геологических условиях, в процессе которых формировался геологический разрез.

Углубленный геологический анализ имеющихся материалов, очевидно, позволит определить условия формирования разреза во времени и тем самым улучшить качество прогноза при поисках полезных ископаемых.

5 Программный модуль

В АО СНИИГГиМС, г. Новосибирск, в отделе обработки и интерпретации геологоразведочных данных, с 2000 года разрабатывается вычислительный комплекс GeoLab на языке программирования Delphi. Программа написана на языке DELPHI-6, использовалась под Windows 98, 2000, XP и Vista. На данный момент программа переведена на Delphi 10.1 Berlin, и работает также на версиях Windows 7, 8, 10, автоматизирован расчёт подбора однородной намагниченности/плотности, в том числе сохранение полного лога расчёта в документ CSV, сохранение файлов формата *.bln с данными намагниченности и данными ошибки при смене углов намагничения, сохранение данных в формате *.dat для последующего построения векторов.

Все вычисления, приведённые в данной работе проводились в GeoLab.

В **Приложении В** приведён листинг решения обратной задачи методом Флетчера-Ривса.

Приведём скриншоты программы GeoLab.

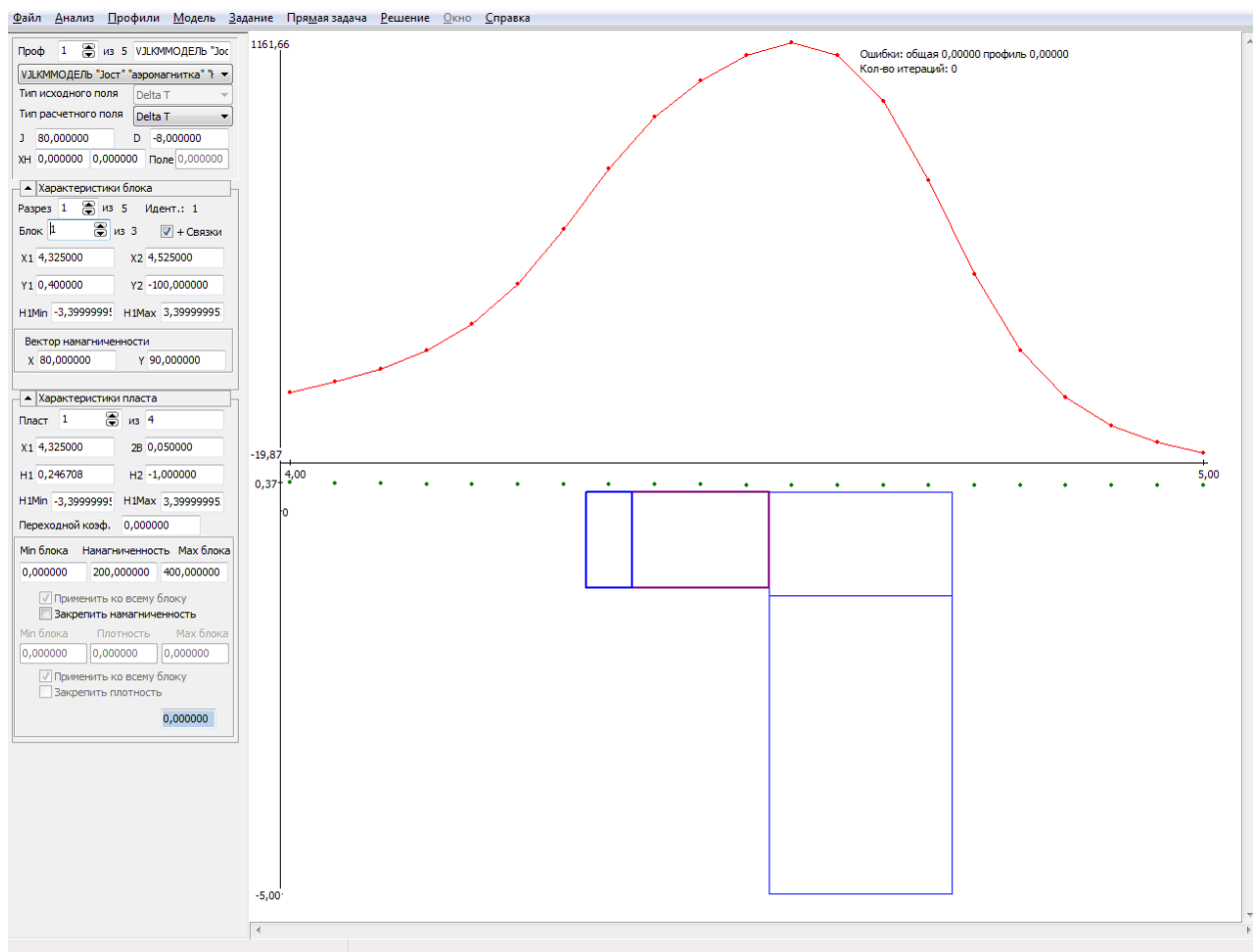


Рисунок 13 Главное окно программы

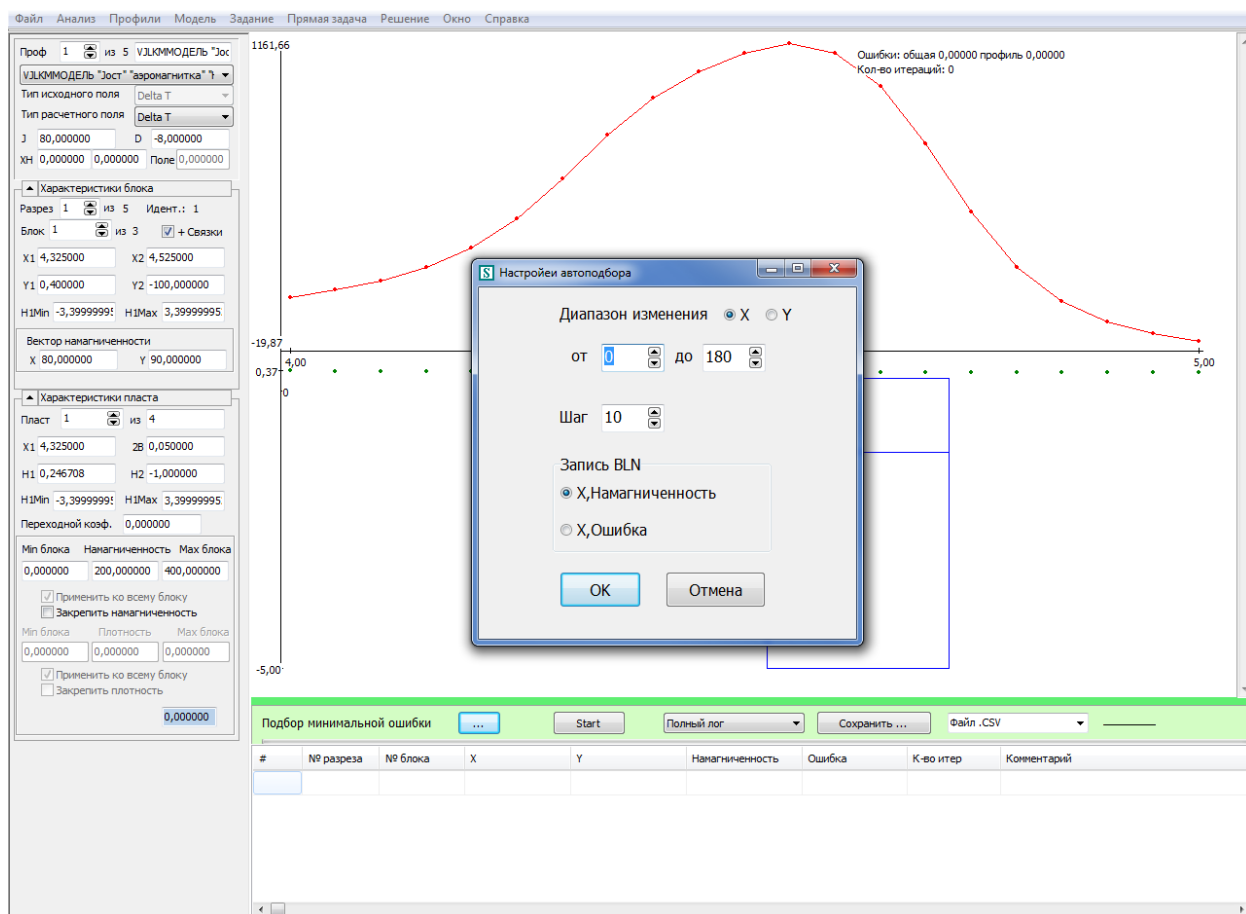


Рисунок 145 Автоматический подбор векторов X и Y

Выбор задачи [X]

Тип задачи

- ☒ Расчет поля (прямая задача)
- ☐ Подбор однородной намагниченности (плотности)
- ☐ Подбор кромки блоков и намагниченности (плотности)
- ☐ Подбор кромок пластов
- ☐ Подбор неоднородной намагниченности (плотности)
- ☐ Подбор плотности опорного разреза
- ☐ Подбор высоты съемки
- ☐ Подбор горизонтального фона
- ☐ Подбор положения индикатора
- ☐ Подбор 2b

Точность вычислений: 0,0000100000

Мин. и макс. количество итераций: 0 500000

Масштаб (для гравитки): 1,000000

Шаг оценки подбора однородной намагниченности (плотности): 0,100000

Ограничение по максимуму Шаг по глубине: 1,000000

Ограничение по минимуму

☐ Оценка точности решения без ограничений (затем УБРАТЬ новый алгоритм)

☒ Точные формулы ☐ Стоп-ограничения

☒ Новый алгоритм вычислений намаг.(плотности) - учет ограничений

☐ Показать объем требуемой памяти ☐ Бэке-версия

☒ Пропускать пласт при совпадении по Н с точкой съемки

OK Отмена

Рисунок 156 Выбор задачи

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка потенциала разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса. Таким образом была проведена оценка затрат, потенциала и академической привлекательности проводимого исследования.

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

При осуществлении любой проектной и научно-исследовательской деятельности большую роль играет экономическое обоснование работ. Понятие «экономическое обоснование работ» включает в себя: определение потенциальных потребителей и сегмента рынка

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором в будущем будет продаваться разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Объектом исследования является горные породы в их естественном залегании.

Выбор математического метода решения задачи оптимизации, приведёт к конечным результатам с наименьшими затратами на вычисления, или же даст возможность получить наибольший объём информации об искомом решении,

разработка алгоритмического и программного обеспечения для картирования горных пород по их плотностным и магнитным характеристикам на основе методов подбора путём решения системы алгебраических уравнений поможет ускорить процесс оптимизации, а представленный в программном обеспечении способ разделения индуцированной и остаточной намагниченностей повысит эффективность использования магниторазведочных данных за счёт их более углубленной интерпретации.

Таблица 1– Карта сегментирования рынка услуг

		Организации		
		Коммерческие организации	Исследовательские институты (СНИИГГиМС, другие организации, занимающиеся геологической деятельностью)	Научные издательства
Область применения	Разделение полей эффективной намагниченности на индуктивную и остаточную			
	Научно-исследовательская работа			
	Картирование			

Из карты сегментирования услуг видно, что целевым рынком данного исследования будут организации, которые занимаются геологической деятельностью, в том числе – СНИИГГиМС.

К коммерческим организациям можно отнести все организации, так или иначе выполняющие горно-буровые работы.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на

рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В настоящее время известны различные способы отдельного определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород в лабораторных условиях на образцах с помощью астатических магнитометров или магнитных весов (см., например, «Физические свойства горных пород и полезных ископаемых» (петрофизика). Справочник геофизика./ Под ред. Н.Б. Дортман, — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984, стр. 102 — 143). Однако данные способы являются достаточно трудоёмкой и затратной задачей и, в целом, дают лишь точечную информацию о поведении индуцированной и остаточной намагниченности в породе. Определение индуцированной намагниченности

осуществляется также электроразведочными методами на основе искусственного подмагничивания с использованием постоянного или низкочастотного переменного токов.

К1 – первый конкурент, это способ определения с помощью аstaticеских магнитометров или магнитных весов.

Достаточно трудоёмкая и затратная задача и, в целом, даёт лишь точечную информацию о поведении индуцированной и остаточной намагниченности в породе.

К2 – второй конкурент, это электроразведочные методы на основе искусственного подмагничивания с использованием постоянного или низкочастотного переменного токов.

Сущность метода искусственного подмагничивания пород состоит в том, что с помощью расположенного на поверхности земли незаземленного контура с постоянным или 44 пульсирующим током малой частоты (около 0,7 Гц) возбуждается магнитное поле. Породы, подмагниченные этим полем, создают дополнительный (вторичный) эффект, величина которого зависит от магнитной восприимчивости, глубины до поверхности руд и их формы. Определению подлежит вторичное магнитное поле, создаваемое подмагниченными породами. Для этого непосредственно измеряют магнитное поле на исследуемом участке при отсутствии в контуре тока, при прохождении в контуре тока, а также нормальное поле контура над немагнитными породами (на контрольном участке). По вычисленному вторичному магнитному полю определяют магнитную восприимчивость пород или руд участка. Однако данное техническое решение хотя и решает задачу определения векторов индуцированной и остаточной намагниченностей, но только на небольшие глубины, не более нескольких сотен метров, в результате чего не обеспечивается эффективность задач магниторазведки при глубинных исследованиях.

Способ определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород и руд по данным магниторазведки, представленный в работе, характеризуется тем, что

- по наблюдаемому магнитному полю создают цифровую модель разреза, как совокупность отдельных блоков, заполняющих изучаемое пространство и имеющих квазиоднородные магнитные свойства. Каждый блок представляет собой неделимый элемент модели, который помимо пространственных параметров характеризуется еще двумя: значением намагничивания и углом намагничивания.

- для каждого указанного блока на основе решения обратной задачи определяют значения вычисленной намагниченности

- после чего уточняют геометрические параметры каждого составляющего разрез блока и соответствующие значения эффективной намагниченности (с углами намагничивания, совпадающими с направлением вектора нормального магнитного поля Земли),

- полученную цифровую модель разреза копируют, с получением второй идентичной модели разреза. При этом один разрез идентифицируется только с индуцированной намагниченностью, а второй — только с остаточной,

- после чего осуществляют процедуры определения значений индуцированной и остаточной намагниченностей для каждого блока обоих разрезов путём решения обратных задач, последовательно изменяя направление вектора остаточной намагниченности,

- при каждом указанном изменении угла намагничивания в каждом блоке вычисляются значения индуцированной и остаточной намагниченностей, а также значение целевой функции, характеризующей степень сходимости модельного и наблюдаемого магнитных полей. Полученные значения записывают в отдельный файл,

- для каждого блока формируют файл, включающий изменения значений индуцированной, остаточной намагниченностей и целевой функции, в зависимости от изменения направления вектора остаточной намагниченности,

- выделяют минимальные значения целевой функции для каждого блока, которые соответствуют истинному направлению вектора остаточной намагниченности, а по известному направлению вектора — истинные значения индуцированной и остаточной намагниченностей,

- изменения указанных углов повторяют за несколько полных итерационных циклов до получения минимального значения целевой функции, при этом полученные значения углов и намагниченностей определяют соответствующим векторам искомым индуцированной и остаточной намагниченностей

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	5	3	3	1	0,2	0,6
2. Точность результатов	0,2	5	4	4	0,9	0,7	0,6
3. Возможность модернизации	0,05	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Время достижения результата	0,04	5	4	4	0,2	0,2	0,4
5. Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,6	0,3	0,4
6. Конкурентоспособность	0,1	5	4	4	0,3	0,2	0,2
7. Потребность в большом объеме входных данных	0,1	4	5	5	0,4	0,4	0,5
8. Доступность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,2
9. Уровень проникновения на рынок	0,06	5	4	4	0,2	0,25	0,15
10. Перспектива рынка	0,1	5	4	4	0,5	0,35	0,4
Итого	1	44	40	37	4,85	3,2	3,85

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 2, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

6.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 3. - SWOT - анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Низкие денежные затраты на разработку С2. Снижение трудозатрат работников;	Сл1. Большой срок выхода на рынок; Сл2. Уровень проникновения на рынок;
Возможности: В1. Дальнейшая модернизация схемы; В2. Возможность продать разработку; В3. Возможность интегрировать с другими системами.	1. Автоматизация процесса решения задачи оптимизации; 2. Возможность продажи разработки.	1. Расширение программы; 2. Обеспечение поддержки; 3. Повышение стоимости конкурентов.
Угрозы: У1. Отсутствие коммерческого интереса к проекту; У2. Отсутствие спроса на доработку	1. Отсутствие спроса на расширение; 2. Отказ от технической поддержки и последующее снижение цены.	1. Возникновение трудностей при расчёте большого количества данных. 2. Отсутствие спроса понижает уровень проникновения на рынок.

С помощью данного анализа были обозначены проблемы, стоящие перед разработчиками. Эти проблемы обусловлены имеющимися сильными и слабыми сторонами проекта, а также имеющимися внешними угрозами и возможностями. Согласно этому можно обозначить следующие направления по улучшению разработки:

- расширение функциональных возможностей разрабатываемого программного комплекса;
- повышение точности результатов работы;
- привлечение денежных ресурсов для расширения функционала и продвижения разработки на рынок.

6.3 Инициация проекта

Цели и результат проекта. В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в таблице 4

Таблица 4–Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Томский политехнический университет	Функционирующее ПО дл картирования горных пород по их плотностным и магнитным характеристикам.
СНИИГГиМС	

В таблице 5 необходимо представить информацию о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица5– Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка алгоритмического и программного обеспечения для картирования горных пород.
Ожидаемые результаты проекта:	ПО для картирования горных пород по их плотностным и магнитным характеристикам.
Критерии приемки результата проекта:	- Технически реализованное ПО с соответствующей технической документацией; - Точность расчётов.

Требования к результату проекта:	Требование:
	Функционирующее программное обеспечение
	Простота использования
	Достоверность полученных результатов
	Высокая скорость работы ПО
	Простой графический интерфейс

6.3.1 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Данная информация представлена в таблице 6.

Таблица 6– Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Гергет О.М. кандидат техн. наук, доцент кафедры ПМ, ИШИТР, ТПУ	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	42
2	Огородников А.С. Магистрант, инженер СНИИГГиМС	Исполнитель по проекту	Выполнение отдельных работ по проекту.	558
ИТОГО:				600

В ходе реализации научного проекта, помимо магистранта, задействован ряд специалистов:

Руководитель проекта – отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта. В большинстве случаев эту роль выполняет руководитель магистерской

диссертации.

Исполнитель проекта – специалист, выполняющий отдельные работы по проекту. В случае, если магистерская работа является законченным научным исследованием – исполнителем проекта является магистрант. В случае, если магистерская работа является частью научного проекта, исполнителей может быть несколько.

6.3.2 Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 7– Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	300000 руб.
1.1. Источник финансирования	СНИИГГиМС
2. Сроки проекта:	06.06.2019
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2019
2.2. Дата завершения проекта	03.06.2019

Примечания: К прочим ограничениям могут относиться ограничения на количество ресурсов (например, ограничения по времени использования научного оборудования, времени работы участников проекта), ограничения, связанные с законодательством, окружающей средой и т.д.

6.4 План проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8–План проекта с этапами работ и распределением исполнителей по их видам

Номер работы	Название	Длительность , дни	Дата начало работ	Дата окончани я работ	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение технического задания	2	01.02.2019	02.02.2019	Руководитель
2	Подбор материала, его анализ и обобщение	17	03.02.2019	22.02.2019	Магистр
3	Выбор методов выполнения работы	5 6	23.02.2019	02.03.2019	Руководитель , Магистр
4	Календарное планирование работ по теме	4	03.03.2019	07.03.2019	Магистр
5	Разработка информационно й системы	5	08.03.2019	15.03.2019	Магистр
6	Применение информационно й системы на реальных данных	5	16.03.2019	21.03.2019	Магистр
7	Разработка системы картирования	18	22.03.2019	11.04.2019	Магистр
8	Составление отчёта о проделанной работе	8 20	12.04.2019	13.05.2019	Руководитель , Магистр

9	оценка полученных данных	6 18	14.05.201 9	03.06.201 9	Руководитель , Магистр
Итоги		95			

6.5 Разработка графика проведения НИОКР

Для удобства и наглядности была выбрана «Диаграмма Ганта».

Календарный план-график строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен в таблице 9

Таблица 9 – Диаграмма Ганта

Код рабо ты	Вид работ	Исполни тели	Тк , ка л, дн .	Продолжительность выполнения работ															
				февраль				март				апрель				май			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление технического задания	Руководи -тель	2																
2	Изучение литературы и анализ существующих ПИ	Магистр	19																
3	Поиск инновационног о решения, опираясь на поставленные задачи	Руководи -тель Магистр	5, 7				 												
4	Изучение конструкторск их чертежей ИПИ	Магистр	7																
5	Создание чертежа модернизира нного ИПИ с учетом инновационног	Магистр	7																

	о решения																		
6	Покупка комплектующих для создания ИПИ	Магистр	7																
7	Сборка ИПИ в единое целое	Руководитель Магистр	21																
8	Диагностика и испытание ИПИ	Руководитель Магистр	15, 30																
9	Анализ полученных результатов	Магистр Руководитель	14, 7																

 - руководитель,  - студент

6.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

Основные работы для ВКР проводились за персональным компьютером (ноутбуком). Время, проведенное работой у компьютера, примем равным 800 часам. Мощность ноутбука: 0,35 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = \Pi_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot 0,35 \cdot 558 = 1132,$$

где $\Pi_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5.8 руб. за 1 кВт·ч); P – мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 1132 рубля.

**Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты
(за вычетом отходов)**

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье заносятся в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Ноутбук	Шт.	1	40000	40000
Монитор	Шт.	1	15000	15000
Бумага	Лист	500	1,5	750
Картридж для принтера	Шт.	1	1000	1000
Итого				56750

Таблица 11 – Цифровые продукты.

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Delphi Rio professional	Лицензия	1	88000	88000
Windows 10 Домашняя	Лицензия	1	12 884	12 884
Internet	Оплата за 1 месяц	3	400	1200
Microsoft Office	Подписка на 1 месяц	3	375	1125
Итого				103209
С учетом статьи С_м				159959

6.7 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6.1)$$

где, $З_{осн}$ – основная заработная плата, $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (6.2)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника, T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн., $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (6.3)$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
-----------------------------	--------------	---------

Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (6.4)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $З_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.13.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб.	$З_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.	$З_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	33664	0,3	-	1,3	56892	2357	7	16499	1650
Магистр	12663	0	-	1,3	16462	682	93	63426	6343
Итого $З_{\text{осн}}$								79925	7993

*Дополнительная з/п 10% от основной для руководителя и инженера.

6.8 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (6.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

(пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.), дополнительная зарплата отсутствует.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в таблице 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Магистр
Основная заработная плата, руб.+дополнит.	18149	69769
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	0,271
Сумма отчислений	4918	18 907
Итого	23825	

6.9 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозяйинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнение темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (6.6)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (69769 + 18149) = 26375 \text{руб.}$$

6.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	159959
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	79925
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	7993
4. Отчисления во внебюджетные фонды	24 578
5. Прочие прямые затраты (электроэнергия)	1132
6. Накладные расходы	26375
Бюджет затрат НТИ	299962

6.11. Реестр рисков

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу была сведена в таблицу 16.

Таблица 16 - Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность	Влияние	Уровень риска*	Способы смягчения риска
1	Недостаточная точность результата	Большая ошибка при сравнении модельных и	1	3	Низкий	Выбор другого математического метода подбора.

	в вычислени й	реальных данных				
2	Поломка ноутбука	Невозможность проведения вычислений определённое время	2	4	Выше среднего	Предоставление студенту рабочего местас компьютером и необходимым ПО

6.12 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (6.7)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} –максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (6.8)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i-го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен в форме таблицы (табл. 17).

Исп. 1 - Способ определения индуцированной и остаточной намагниченностей горных пород и руд по данным магниторазведки, путём решения прямых и обратных задач на цифровой модели;

Исп. 2 - Способы раздельного определения индуцированной и остаточной намагниченностей электроразведочными методами на основе искусственного подмагничивания с использованием постоянного или низкочастотного переменного токов.

Таблица 17 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Точность расчёта	0,25	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,20	5	3
3. Повышение производительности труда пользователя	0,20	5	4
4. Потребность в ресурсах памяти	0,20	4	3
5. Время проведения расчёта	0,15	5	4
ИТОГО	1	24	20

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 = 4,8, \quad (6.9)$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 = 3,2, \quad (6.10)$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д., } (6.11)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}, \quad (6.11)$$

Таблица 18 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.8	3.2
3	Интегральный показатель эффективности	4.8	3.2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.5	0.6

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

7 Социальная ответственность

Введение

В данном разделе проанализированы проблемы, связанные с организацией рабочего места инженера – программиста в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности, охраны труда и окружающей среды. Все вышеупомянутые аспекты регламентируются рядом соответствующих документов.

Рабочая зона программиста – офисное помещение, рабочее место – компьютерный стол с персональным компьютером.

Инженеру - программисту необходимо реализовать различные варианты решения задач на поиск оптимального управления для организма человека. Оптимальное управление представляет собой набор воздействий, применяемых к пациенту в различные моделируемые моменты времени. Алгоритмы решения оптимизационных задач различают по скорости работы, требовательности к памяти компьютера и размеру начальных данных. Разработанная система интеллектуальной поддержки принятия решения может быть полезна для сотрудников медицинских учреждений и исследовательских институтов. В данном разделе представлены вредные и опасные факторы, которые оказывают негативное влияние на организм программиста при выполнении работы за персональным компьютером. Так же описаны ЧС, которые могли случиться на рабочем месте и действия, которые необходимо выполнить в случае их возникновения.

7.1 Производственная безопасность

Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-программиста

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003 - 74) [63]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа за персональным компьютером в офисном помещении	1) Повышенный уровень шума на рабочем месте; 2) повышенная или пониженная влажность воздуха; 3) отсутствие или недостаток естественного света; 4) повышенный уровень электромагнитных излучений; 5) повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; 6) недостаточная освещенность рабочей	1) Повышенный уровень статического электричества; 2) короткое замыкание; 3) опасность поражения эл.током	1) Шум. Общие требования безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [64]. 2) Показатели микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.2.548-96 [65]. 3) Нормы освещения устанавливаются СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 [66]. 4) Допустимые уровни напряженности электростатических

	зоны; 7) статические физические перегрузки; 8) умственное перенапряжение 9) монотонность труда.		полей устанавливается ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ [67]. 5) ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [68]. 6) Электробезопасность устанавливается по ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ [69]. 7) ГОСТ 12.0.003-74 8) ГОСТ 12.0.003-74 9) ГОСТ 12.0.003-7
--	---	--	---

Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

Повышенный уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте инженера-программиста в офисном помещении, исходя из ГОСТ 12.1.003–83*2+, действует постоянный шум. Шум возникает в помещении кондиционерами и вентиляторами при охлаждении нагреваемых частей ЭВМ и т.д. Основной характеристикой шума является уровень звукового давления в активной полосе частот.

Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли,

головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость и т. д. При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ *2+. Допустимый уровень шума для работы программиста представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Предельно допустимые уровни звукового давления по ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ

Вид трудовой деятельности/ Частоты	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Научная деятельность, конструирование и проектирование, программирование, программистов вычислительных машин и т.д.	86	71	61	54	49	45	42	40	38

Если уровень шума в помещении выше допустимого, то необходимо принимать меры по снижению его уровня. Например, для снижения шума систем вентиляции и кондиционирования воздуха можно использовать различные глушители, ограничение скорости воздуха на воздухораспределительных устройствах. Средства индивидуальной защиты органов слуха работающих установлены ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ [70] *12+ - это наушники, заглушки, вкладыши. Однако они должны использоваться лишь как дополнение к коллективным средствам защиты, когда последние не могут решить проблему борьбы с шумом.

Защита от шумов – заключение вентиляторов в защитный кожух и установление их внутри корпуса ЭВМ. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц *12+.

Вывод: на рабочем месте уровень шума не должен превышать 50 Дб. В помещении, в котором работает инженер-программист, основным источником шума является кулер системного блока компьютера. Общий уровень шума компьютера не превышает 30 Дб, что не превышает допустимой нормы.

Отклонение показателей микроклимата

Выполняемые работы программистом, по степени физической тяжести, относятся к категории легких работ *3+. Оптимальные и допустимые значения показателей температуры, влажности воздуха и скорости движения воздуха в производственном помещении с ВДТ и ПЭВМ представлены в таблицах 20 и 21 соответственно, согласно СанПиН 2.2.4.548-96 [3].

Таблица 20 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
Тёплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1

Таблица 21 – Допустимые величины показателей микроклимата по СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Тем-ра поверхностей, °С	Относ. влажн. воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не

						более	величин, не более** Холодный
Холодный	la (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0	15-75*	0,1	0,1
Тёплый	la (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0	15-75*	0,1	0,2

В помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В аудитории установлена вентиляция, которая поможет регулировать температуру в помещении в летнее время. Также имеются окна, которые способствуют проветриванию помещения.

Вывод: в помещении предусмотрена система отопления, функционирующая в зимнее время. Система обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В кабинете установлена вентиляция, которая поможет регулировать температуру в помещении в летнее время. Имеются окна, которые способствуют проветриванию помещения.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [71], в рабочих помещениях с ПЭВМ необходимо ежедневно проводить влажную уборку и каждый час проветривать помещение. Система вентиляции и отопления соответствует нормативным рекомендациям.

Недостаточная освещённость рабочей зоны

При плохой освещенности у работников ощущается усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. Часто причинами являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано на рабочих местах. Головные боли могут быть вызваны пульсацией освещения, что является результатом использования электромагнитных пускорегулирующих

аппаратов (ПРА) для газоразрядных ламп, работающих на частоте 50 Гц. Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы; равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней; отсутствие пульсации светового потока; оптимальная направленность светового потока и оптимальный спектральный состав; все элементы осветительных установок должны быть долговечны, взрыво-, пожаро-, электробезопасны. Работа за ПК относится к зрительным работам высокой точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [72], такие помещения должны удовлетворять требованиям, представленным в таблице 22.

Таблица 22 – Нормы освещенности по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03

По-меще-ния	Рабочая поверхнос ть плоскость нормирова ния КЕО и освещенно сти (Г - горизонтал ьная, В - вертикальн ая) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение КЕО еН, %		Совмещённое освещение КЕО еН, %		Искусственное освещение				
		при верхн е м или комби н ирова нн ом освещ е нии	при боковом освещени	при верхнем или комби- ниро ванном освеще- нии	при боково м освеще ни и	Освещенность, лк		Объед иненн ый показа тель дискон форта, UGR, не более	Коэф ф ициен т пульс а ции освещ е нност и, Кп, %, не более	
						при комбини- рованно м освещении				
						Все- го	от обще- го			
										при обще м освещ ении
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Административные здания (министерства, ведомства, комитеты, префектуры, муниципалитеты управления, конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения и тому подобное)										

Кабины, рабочие комнаты, офисы, представительс тва	Г-0,8	3,0	1,0	1,8	0,6	400	200	300	21	15
---	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

Освещенность рабочего помещения

В данном рабочем помещении используется комбинированное освещение — искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД. Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Длина $A = 7$ м (7000 мм.), ширина $B = 5$ м (5000 мм.), высота $H = 2.8$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0.75$ м. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1– 1,3.

Выбираем светильники типа ШОД.

На первом этапе определим значение индекса освещенности i .

$$i = \frac{S}{(A + B) * h},$$

где S - площадь помещения;

h - расчётная высота подвеса светильника, м;

A и B - длина и ширина помещения, м.

Высота светильника над рабочей поверхностью h

$$h = H - h_p - h = 2.8 - 0.75 - 0.3 = 1.75 \text{ м.} = 1750 \text{ мм}$$

где H - высота помещения, м.

h_p - высота рабочей поверхности, м.

В результате проведенных расчетов, индекс освещенности i равен

$$i = \frac{S}{(A + B) * h} = \frac{35}{12 * 1.75} \approx 1.6$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1.1 * 2.95 = 1.9 \text{ м.} = 1900 \text{ мм}$$

$$L/3 \approx 0.6 \text{ м} = 600 \text{ мм}$$

Размещаем светильники в 3 ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильника, при этом разрывы между светильниками в ряду составят 30 см. (300 мм.). Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении $N=24$. (Рисунок 17).

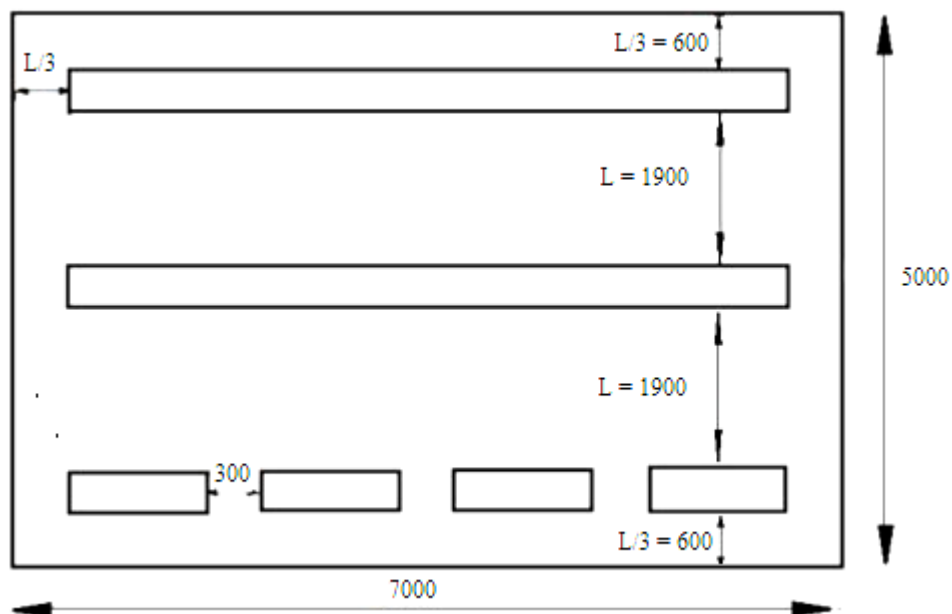


Рисунок 16 План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H * S * K * Z}{N * n}$$

где E_H - нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;

S – площадь освещаемого помещения, м² ;

K – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;

Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение E_{cp} / E_{min} . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;

N – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

Данное помещение относится к типу помещения со средним выделением пыли, в связи с этим $K = 1,5$; состояние потолка – свежепобеленный, поэтому значение коэффициента отражения потолка $\rho_p = 70$; состояние стен – побеленные бетонные стены, поэтому значение коэффициента отражения стен $\rho_c = 50$. Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_p = 70 \%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1$ равен $\eta = 0,4$.

Нормируемая минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами должна быть 300-500лк.

$$\Phi = \frac{E_H * S * K * Z}{N * n} = \frac{300 * 35 * 1,5 * 1,1}{24 * 0,4} = 1804 \text{ Лм.}$$

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2200 \text{ Лм.}$

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{расч}}{\Phi_{ЛД}} * 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{2200 - 1804}{2200} * 100\% = 18\%$$

$$-10\% \leq 18\% \leq 20\%$$

Таким образом необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Повышенный уровень статического электричества

Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на человеческий организм, и не только в случае непосредственного контакта с зарядом, но и за счет действий электрического поля, которое возникает при заряде. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека. Тем не менее, вблизи экрана электризуется пыль и оседает на нем. В результате чего искажается резкость восприятия информации на экране. Кроме того, пыль попадает на лицо работающего и в его дыхательные пути. Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха. Также целесообразно применение полов из антистатического материала.

Короткое замыкание

Для защиты проводов от перегрева и предупреждения воспламенения окружающих предметов в цепь включаются аппараты защиты, например, плавкие предохранители. Основной причиной возникновения коротких замыканий является нарушения изоляции электрооборудования. Часто причиной повреждений в электрической части электроустановок являются неквалифицированные действия обслуживающего персонала. Последствия коротких замыканий следующие:

1. механические и термические повреждения электрооборудования.
2. возгорания в электроустановках.

3. снижение уровня напряжения в сети.
4. Электромагнитное влияние на линии связи, коммуникации и т.п.

Меры по предотвращению короткого замыкания:

1. не использовать старые провода с несоответствующей изоляцией;
2. устанавливать защитные устройства отключения – автоматические выключатели, устройства защитного отключения, дифавтоматы;
3. регулярно следить за состоянием электрических точек – розеток и выключателей (при необходимости сразу же заменять);
4. не эксплуатировать поврежденные электроприборы, от которых летят искры.

Опасность поражения электрическим током

К опасным факторам относят поражение электрическим током согласно ГОСТ 12.0.003-74. Компьютеры, расположенные в помещении, питаются от сети 220В переменного тока с частотой 50Гц. Помещение с ПЭВМ, где проводились работы, относится к помещениям без повышенной опасности, согласно классификации помещений по опасности поражения людей электрическим током, так как отсутствуют следующие факторы:

- сырость; - токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы;
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам и механизмам, и металлическим корпусам электрооборудования.

К мероприятиям по предотвращению возможности поражения электрическим током относятся:

1. обеспечение недоступности токоведущих частей путем использования изоляции в корпусах оборудования;
2. применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
3. применение защитного заземления;
4. применение защитного зануления;
5. применение защитного отключения;
6. использование устройств бесперебойного питания.
7. запрет на работы на задней панели при включенном сетевом напряжении;
8. проведение работ по устранению неисправностей только квалифицированным персоналом;
9. слежение за исправностью электропроводки.

В соответствии с ГОСТ 12.0.004-2015 обучение и инструктаж по безопасности труда носит непрерывный многоуровневый характер.

Профессиональная подготовка персонала, повышение его квалификации, проверка знаний и инструктажи проводятся в соответствии с требованиями государственных и отраслевых нормативных правовых актов по организации охраны труда и безопасной работы персонала.

Электротехнический персонал до допуска к самостоятельной работе должен быть обучен приемам освобождения пострадавшего от действия электрического тока, оказания первой помощи при несчастных случаях.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен пройти проверку знаний Правил безопасности и других нормативно-технических документов (правил и инструкций по технической эксплуатации, пожарной безопасности, пользованию защитными средствами, устройства электроустановок) в пределах требований, предъявляемых к соответствующей должности или профессии, и иметь соответствующую группу по электробезопасности.

Персонал обязан соблюдать требования Правил безопасности, инструкций по охране труда, указания, полученные при инструктаже. Инструктаж по характеру и времени проведения подразделяют на следующие виды:

- вводный инструктаж;
- первичный и повторный инструктажи на рабочем месте;
- внеплановый инструктаж;
- целевой инструктаж.

7.2 Экологическая безопасность

Работа за персональным компьютером не является экологически опасной работой. Негативного воздействия разрабатываемого объекта на окружающую среду не происходит. Средства, необходимые для разработки и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

В ходе данной работы были использованы следующие ресурсы:

- ЭВМ;
- принтер;
- бумага;
- люминесцентные лампы.

Современные персональные ЭВМ производят практически без использования вредных веществ, опасных для человека и окружающей среды. Исключением являются аккумуляторные батареи компьютеров и мобильных устройств. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты и щелочи, которые могут наносить ущерб окружающей среде, попадая в гидросферу и литосферу, если они были неправильно утилизированы.

Люминесцентные лампы представляют собой «чрезвычайно опасные» виды отходов. Содержание ртути в любых люминесцентных лампах составляет от трех до пяти миллиграмм ртути. С учетом этого необходимо обеспечивать определенные условия хранения, их эксплуатации и утилизации. Согласно санитарным нормам хранить ртутьсодержащие отходы необходимо в специальных герметичных контейнерах, доступ посторонним лицам к таким контейнерам должен быть запрещен. Транспортировка ламп на полигоны складирования должна выполняться организациями, которые специализируются на утилизации опасных отходов и имеют соответствующую лицензию. Перегоревшие люминесцентные

лампы можно отнести в свой районный ДЕЗ или РЭУ, где установлены специальные контейнеры.

Сточные воды здания относятся к бытовым сточным водам. За их очистку отвечает городской водоканал. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке, либо их принимают специализированные предприятия, для переработки и дальнейшего использования. Для утилизации электронной техники (ЭВМ, принтеров и т.п.) необходимо также обратиться в специальную компанию, которая занимается разборкой на детали, их сортировкой и вторичной переработкой.

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

Объект исследования не может быть причиной возникновения ЧС в связи с тем, что он нематериален. На стадии внедрения и эксплуатации объект также не сможет инициировать ЧС.

Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 [6] и ГОСТ 12.1.010-76. Компьютерный кабинет по пожарной безопасности относится к категории В, в нём находятся горючие материалы и вещества в холодном состоянии. По степени огнестойкости данное помещение относится к 3-й степени огнестойкости. Возможные причины пожара: перегрузка в электросети, короткое замыкание, разрушение изоляции проводников.

Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Пожарная безопасность обеспечивается системой пожарной защиты и системой предотвращения пожара. Основные мероприятия по предотвращению пожара представлены в таблице 23.

Таблица 23 - Основные мероприятия по предотвращению пожара

Помещение содержится в чистоте, мусор своевременно убирают. По окончании работы проводится влажная уборка всех помещений	Работа проводится при исправном оборудовании
Уходящий из помещения последним проверяет выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т.д. и отключает силовую и осветительную электрическую сеть	На видном месте вывешен план эвакуации из корпуса с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь

Соблюдение организационных мероприятий предполагает:

- правильную эксплуатацию приборов, установок;
- правильное содержание помещения;
- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;
- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий и т.п.

Рекомендации действий в случае возникновения пожара и его различных сценариях представлены в таблице 7.

Таблица 24. Рекомендации действий в случае возникновения пожара и его различных сценариях

1. При наличии телефона, "112" или "01" и сообщить о пожаре и своём местоположении;
2. Не входить в места с высокой концентрацией дыма и видимостью менее, чем 10 метров.

Если имеется возможность выйти из помещения (здания) наружу [7]:

- покинуть помещение, используя запасные и основные пути эвакуации;
- попутно отключить электроэнергию;
- передвигаться к выходу на четвереньках, при этом закрывая рот и нос подручными средствами защиты;
- плотно закрыть дверь при выходе

Если дым и пламя в соседних помещениях не позволяет выйти наружу [7]:

- не поддаваться панике;
- проверить возможности спуститься по пожарной лестнице или выйти на крышу;
- при отсутствии возможности эвакуироваться для защиты от дыма и тепла необходимо загерметизировать своё помещение:

- 1) закрыть плотно двери, заткнуть щели тканью, желательно мокрой;
- 2) закрыть окна и форточки.

- при наличии воды, постоянно смачивать двери и пол.
- при задымлении помещения, передвигаться только на четвереньках, прикрыв рот и нос влажным носовым платком или рукавом, в сторону окна и находиться возле окна, при этом привлекать к себе внимание людей на улице.

Пожарная безопасность обеспечивается в соответствии с требованиями ФЗ пожарной безопасности № 69-ФЗ от 21.12.1994 г., правилами противопожарного режима в РФ.

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Статические физические перегрузки

Статические перегрузки вызываются длительным пребыванием человека в вынужденной рабочей позе или длительным статическим напряжениям отдельных групп мышц при выполнении работ. Например, сидя или стоя с наклоненной головой (шейный и плечевой пояс); сидя или стоя с наклоненным туловищем (пояснично-крестцовый отдел); лежа (шейно-плечевая область); на коленках

(коленные суставы); на корточках (коленные и голеностопные суставы, сдавливание нервов); с упором на локоть (давление на локтевой сустав). Основным видом статической нагрузки при исследовательской работе в лаборатории, является нахождение в неподвижном состоянии, часто в неудобной позе при работе на ЭВМ.

При этом возникает локальная динамическая перегрузка пальцев и кистей рук. Статическим перенапряжениям мышц способствуют неподходящие эргономические параметры рабочего места и его компонентов (отсутствие подлокотников, пюпитра, подставки для ног), отсутствие возможности регулировки параметров рабочего стула, высоты рабочей поверхности стола, неудобное расположение клавиатуры и дисплея.

В данном случае, в качестве нормативов обеспечения безопасного рабочего процесса, следует принимать допустимые параметры рабочей зоны пользователя ЭВМ, в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 [9].

Таблица 25 – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с персональной ЭВМ (по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03)

Объект	Характеристика	Численное значение
Рабочий стол	Высота (при наличии возможности регулирования)	680-800мм
	Высота (при отсутствии возможности регулирования)	780 мм
	Размер рабочей поверхности – ширина (при высоте 780 мм)	800, 1000, 1200, 1400 мм
	Размер рабочей поверхности – глубина (при высоте 780мм)	800, 1000 мм
	Пространство для ног: – высота – ширина – глубина на уровне колен – глубина на уровне вытянутых ног	– не менее 600 мм – не менее 500 мм – не менее 450 мм – не менее 650 мм

Рабочий стул	Ширина и глубина поверхности сиденья	не менее 400 мм
	Регулировка высоты сиденья	400 – 550 мм
	Регулировка угла наклона сиденья	вперед до 15° и назад до 5°
	Высота опорной поверхности спинки	300 ± 20 мм
	Ширина опорной поверхности спинки	не менее 380 мм
	Радиус кривизны горизонтальной плоскости	400 мм
	Угол наклона спинки в вертикальной плоскости	± 30°
	Регулировка расстояния спинки от переднего края сиденья	260-400 мм
	Стационарные или съемные подлокотники: – длина – ширина	– менее 250 мм – 50-70 мм
	Регулировка подлокотников по высоте над сиденьем	230 ± 30 мм
	Регулировка внутреннего расстояния между подлокотниками	350-500 мм
Подставка под ноги	Ширина	не менее 300 мм
	Глубина	не менее 400 мм
	Регулировка по высоте	до 150 мм
	Угол наклона упорной поверхности	до 20°
	Высота бортика по переднему краю	10 мм

В качестве средства профилактики заболеваний, связанных с сидячим образом жизни, предлагается использовать физкультминутки (ФМ). ФМ способствует снятию локального утомления. По содержанию ФМ различны и предназначаются для конкретного воздействия на ту или иную группу мышц или систему организма в зависимости от самочувствия и ощущения усталости.

Монотонность труда

При работе с ПЭВМ основным фактором, влияющим на нервную систему инженера-программиста, является огромное количество информации, которое он должен воспринимать. Это является сложной задачей, которая очень сильно влияет на сознание и психофизическое состояние из-за монотонности работы. Поэтому меры, позволяющие снизить воздействие этого вредного производственного фактора, которые регулируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [9], являются важными в работе разработчика. Они позволяют увеличить производительность труда и предотвратить появление профессиональных болезней.

Организация работы с ПЭВМ осуществляется в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы [9]:

- группа А – работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом;
- группа Б – работа по вводу информации;
- группа В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ.

Работа инженера-программиста, разрабатывающего информационную систему поддержки принятия решений в данной работе относится к группам А и Б.

Категории трудовой деятельности, различаются по степени тяжести выполняемых работ. Для снижения воздействия рассматриваемого вредного фактора предусмотрены регламентированные перерывы для каждой группы работ [9] – таблица 8.

Таблица 26 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида категории трудовой деятельности с ПЭВМ

Категория работы с ПЭВМ	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	Группа А	Группа Б	Группа В	При 8-	При 12 –

				часовой смене	часовой смене
А	до 20 000	до 15 000	до 2	50	80
Б	до 40 000	до 30 000	до 4	60	110
В	до 60 000	до 40 000	до 6	90	140

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были рассмотрены опасные и вредные факторы на рабочем месте разработчика системы картирования горных пород. Были актуализированы действующие нормативы, их значения были сравнены с фактическими показателями рабочей зоны инженера-программиста (при такой возможности). Было выявлено, что разрабатываемый объект не влияет на окружающую среду на этапах его разработки, внедрения и эксплуатации. Единственная вероятная ЧС, пожар, не может быть вследствие действия ИС на любых этапах ее функционирования. Так как рабочее место может быть в поле действия возгорания, были проанализированы правовые и организационные вопросы обеспечения пожарной безопасности, показавшие отсутствие нарушений касемо рабочей области разработчика. Проанализировав помещение для работы, можно сделать вывод, что оно соответствует необходимым требованиям.

8. Заключение

Результатом работы магистерской диссертации является разработка и усовершенствование алгоритмического и программного обеспечения GeoLab, позволяющая картировать горные породы в их естественном залегании не только на основании вычисления плотности и эффективной намагниченности, но и разделения эффективной намагниченности на векторы индуктивной и остаточной намагниченности. Такое разделение позволяет более эффективно изучать структурно-тектонические элементы земной коры, дифференцированно выявлять типы пород: интрузивные, эффузивные и осадочные, и определять генетическую связь искоемых месторождений с этими типами пород.

Использование программы на железорудных месторождениях Якутии позволило сократить геологический поисково-разведочный этап от 50 до 5 лет, определить запасы принятое ГКЗ по промышленным категориям для Горкитского месторождения - по C_2 , а для Тарыннахского – по более высокой категории B , что позволило в значительной мере сократить объем горно-буровых работ.

Изучены методы минимизации, такие как метод Ньютона, метод наискорейшего спуска, метод Флетчера-Ривса. Проведён сравнительный анализ методов поиска и выбран для решения поставленной цели наиболее подходящий (метод Флетчера-Ривса). Использование этого метода в программе GeoLab позволяет с большей степени достоверности при изучении земной коры на основе магнитных и гравитационных съёмок позволяет локализовать, определять геометрию плотностных и магнитных масс не только в плане, но и на глубину.

Рассмотрен совершенно новый подход к разделению полей эффективной намагниченности на индуктивную и остаточную по наблюдаемому полю, что может в значительной мере повысить эффективность использования программы GeoLab для изучения земной коры не только на современном этапе, но и в процессе её развития.

В 19-20веках в результате аппаратного изучения векторов индуктивной и остаточной намагниченности был сформирован новый раздел геологии, называемый «тектоника плит», который совершенно по новому рассматривал

строение земной коры уже не в статистическом, а в динамическом режиме.

Методика опробована на теоретических моделях, показала отличные результаты и, в последствии, использовалась на практике, где также себя зарекомендовала.

На данный момент методика широко используется в пределах Сибири и Урала на разных стадиях геологических работ.

9. Список использованных источников

1. Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. М.: Недра, 1965, 495 с. 2
2. Страхов В.Н. Прямая и обратная задачи гравиметрии и магнитометрии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1989. №4. С.3-16. 154
3. Страхов В.Н. Универсальная схема линейного анализа потенциальных полей // Докл. АН СССР. 1973. Т. 211, № 1. С.90-93.
4. Страхов В.Н., Лапина М.И., Кузнецова О.А., О прямых задачах гравиметрии и магнитометрии // Прикл. геофизика. Вып. 75., М.: Недра, 1974. С.106-124.
5. Кудря А.В. Вычисление гармонических моментов и решение прямой задачи гравиметрии // Геология и геофизика. 1981. №10. С.76-83.
6. Гладкий К.В. Гравиразведка и магниторазведка. М.: Недра, 1967. 319 с.
7. Идельсон Н.И. Теория потенциала и её приложения к вопросам геофизики. Л.; М.; Гостехтеориздат, 1932. 348 с.
8. Идельсон Н.И. Теория потенциала и её приложения к вопросам геофизики. Л.; М.; Гостехтеориздат, 1932.
9. Белоголов В.Т. Вычисление магнитных и гравитационных полей при аппроксимации тел многоугольниками и многогранниками // Геофизические методы поисков и разведки месторождений рудных полезных ископаемых Сибири. Новосибирск, 1971. С.40-46. (Тр. СНИИГГиМС; Вып. 136)
10. Hubbert M.K. A line-integral method of computing the gravimetric effects of two-dimensional masses // Geophysics. 1964. Vol.13. P.245-249.
11. Заморев А.А. Исследование двухмерной обратной задачи теории потенциала // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1941. № 4/5. С.487-500.
12. Заморев А.А. Определение формы тела по производным внешнего гравитационного потенциала // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1942. № 1/2. С.48-54.
13. Цирульский А.В. Функции комплексного переменного в теории и методах потенциальных геофизических полей. Свердловск: УрО АН СССР, 1990,

132 с.

14. Цирульский А.В. О некоторых свойствах комплексного логарифмического потенциала однородной области // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1963. № 7. С.1072-1075.
15. Цирульский А.В. О решении прямой задачи гравиразведки // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1974. №3. С.84-90
16. Голиздра Г.Я. Особые точки аналитического продолжения гравитационного поля и их связь с формой возмущающих масс // Дополнительные главы курса гравиразведки и магниторазведки. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1966. С.273-388.
17. Страхов В.Н. Некоторые вопросы плоской задачи гравиметрии // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1970. № 12. С.32-44.
18. Страхов В. Н. К теории плоской задачи в случае источников постоянной плотности в бесконечных областях // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1980. № 5 С.40-43.
19. Страхов В.Н. Методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий // Учеб. Пособие по спецкурсу. Пермь: Изд-во ПГУ, 1984. 96 с.
20. Жданов М.С. Аналогии интегралов типа Коши в теории геофизических задач. М.: Наука, 1984. 326 с.
21. Жданов М.С. Аналогии интегралов типа Коши в теории геофизических задач. М.: Наука, 1984. 326 с.
22. Страхов В.Н. Специальные ряды теории потенциала при решении задач гравиметрии и магнитометрии // Изв.АН СССР. Физика Земли. 1989. №4. С.3-16
23. Смирнов Н.С. Об одном классе линейных интегральных уравнений // Тр. Второго Всесоюз мат. съезда. Л., 1934.
24. Kogbetlian E.G Qantitative interpretation of magnetic and gravitational anomalies // Geophisics. 1944. Vol. 9, №4. P.463-493.
25. Гладкий К.В. Гравиразведка и магниторазведка. М.: Недра, 1967. 319 с
26. Серкерев С.А. Спектральный анализ в гравиразведке и магниторазведке. М.: Недра. 1991. 278 с.
27. Jung K. Schwerkraftverfahren in der ange-wandten Geophysik. Leipzig,

1961. 384 p.

28. *Маловичко А.К.* Сто лет работы Ф.А.Слудского о притяжении однородных многогранников // *Вопр. обработки и интерпретации геофизических наблюдений.* Пермь, 1963. № 4

29. *Слудский Ф.А.* Об уклонении отвесных линий: Дис. на соискание степени магистра астрономии. М.: Унив. тип., 1863. 53 с.

30. Слудский Ф.А. К вопросу о местной московской аттракции // *Изв. Рус. геогр. о-ва.* 1893. Т. 29, вып. 4. С.269-273.

31. Bessel F.W. Attraction eines Parallelepipedums. Abhandl. Hesg. Von R. Engelman. 2. Leipzig, 1876, S.353-354.

32. Прикладная геофизика. Магнитометрия. М.; Л.: ОНТИ, 1936. 180 с.

33. Колубакин В.В., Лапина М.И. Обзор способов решения прямой и обратной задач магнитной разведки. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 362 с. (Тр. ИФЗ АН СССР; № 13 (180)).

34. Шванк О. А., Люстих Е.Н. Интерпретации гравитационных наблюдений. М.: Гостоптехиздат, 1947. 400

35. Иванов В.К. О линейных некорректных задачах // *Мат. Сб.* Т. 61 С.211-223.

36. Лаврентьев М.М. О задаче Коши для уравнения Лапласа // *Изв. АН СССР. Сер. мат.* 1956, №20. С.53-60

37. Лаврентьев М.М. К вопросу об обратной задаче теории потенциала // *Докл. АН СССР.* 1956. Т. 106. С,861-864.

38. Лаврентьев М.М. Об интегральных уравнениях первого рода // *Докл. АН СССР.* 1960. Т. 133. С,1102-1105.

39. Лаврентьев М.М. Об одном классе обратных задач для дифференциальных уравнений Докл. АН СССР. 1965. Т. 160. №1. С32-35.

40. Лаврентьев М.М. О некоторых некорректных задачах математической физики. Новосибирск, 1962. 92 с.

41. Иванов В.К. О линейных некорректных задачах // *Докл. АН СССР.* 1932. Т. 145. С.270-272.

42. Иванов В.К. О некорректно поставленных задачах // *Мат. сб.* Т.61. С.211-223.

43. Иванов В.К. Об интегральных уравнениях Фридгольма первого рода // Дифференц. уравнени. 1967. Т. 3. С410-421.
44. Страхов В.Н. Функциональные уравнения плоской обратной задачи потенциала и численные приближённые значения этой задачи // Докл. АН СССР. 1974. Т.213, №1. С.863-866.
45. Страхов В.Н. Решение линейной обратной задачи гравиметрии и магнитометрии // Докл. АН СССР. 1990. Т. 310 №6. С.1348-1352.
46. Страхов В.Н. Корреляционных метод решения задачи обратной задачи гравиметрии и магнитометрии // Докл. АН СССР. 1990. Т. 311. №1. С63-64.
47. Голиздра Г.Я. О связи особых точек гравитационного потенциала с формой возмущающих масс // Геофиз. сб. АН УССР. 1963. Вып. 5 (7). С.3-9,
48. Березкин В.М. Использование полного вертикального градиента силы тяжести для определения глубины до источников гравитационных аномалий // Разведочная геофизика, 1967. Вып. 18. С.69-79.
49. Воскобойников Г.М., Начапкин Н.И. Метод особых точек для интерпретации потенциальных полей // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1969. №5. С24-39.
50. Страхов В.Н. К теории плоской обратной задачи логарифмического потенциала при переменной намагниченности. Изв. АН СССР. Физика Земли. 1970. №3. С.25-33.
51. Трошков Г.А. О количественной геологической интерпретации сложных двухмерных гравитационных и магнитных аномалий // Вопрос. развед. геофизики. 1964. Вып. 3.
52. Прилепко А.И. О единственности определения формы и плотности тела в обратных задачах теории потенциала // Докл. АН СССР. 19570. Т. 193, №2. С,37-40.
53. Рапопорт И.М. О некоторых достаточных условиях единственности решения обратной задачи теории потенциала // Докл. АН СССР. 1940. Т.5. С23-30.
54. Шашкин Ю.А. К вопросу об обратной задачи теории потенциала // Докл. АН СССР. 1958. Т. 118. С21-25.
55. Новиков П.С. О единственности обратной задачи теории потенциала // Докл. АН СССР. 1938. Т.18., №3. С1012-1014.

56. Атохаджаев М.А. О единственности решения обратной смешанной задачи теории потенциала. // Сиб. мат. журн. 1966. №2. С.455-458.
57. Иванов В.К. Интегральное уравнения обратной задачи логарифмического потенциала // Докл. АН СССР. 1956. Т. 105. №4. С.409-412.
58. Прилепко А. И. О единственности определения формы по значениям внешнего потенциала // Докл. АН СССР. 1965. Т. 160. С.41-44.
59. Маргулис А.С. Теория потенциала для плотностей класса и её применение в обратных задачах гравиметрии // Теория и практика интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. Киев: Наук. думка, 1983. С.188-197.
60. Шалаев С.В. Применение линейного программирования в геофизики // Зап. ЛГИ. 1965. №5. С.71-77.
61. Булах Е.Г. Об автоматическом подборе контура возмущающего тела на ЭЦВМ // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1965. №8. С.21-25.
62. Старостенко В.И. Дядюра В.А. Об интерпретации гравитационного поля методом подбора // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1975. №4. С.42-48.
63. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
64. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
65. СанПиН 2.2.2.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
66. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
67. ГОСТ 12.1.045–84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
68. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
69. ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
70. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
71. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-

вычислительным машинам и организации работы».

Приложение А

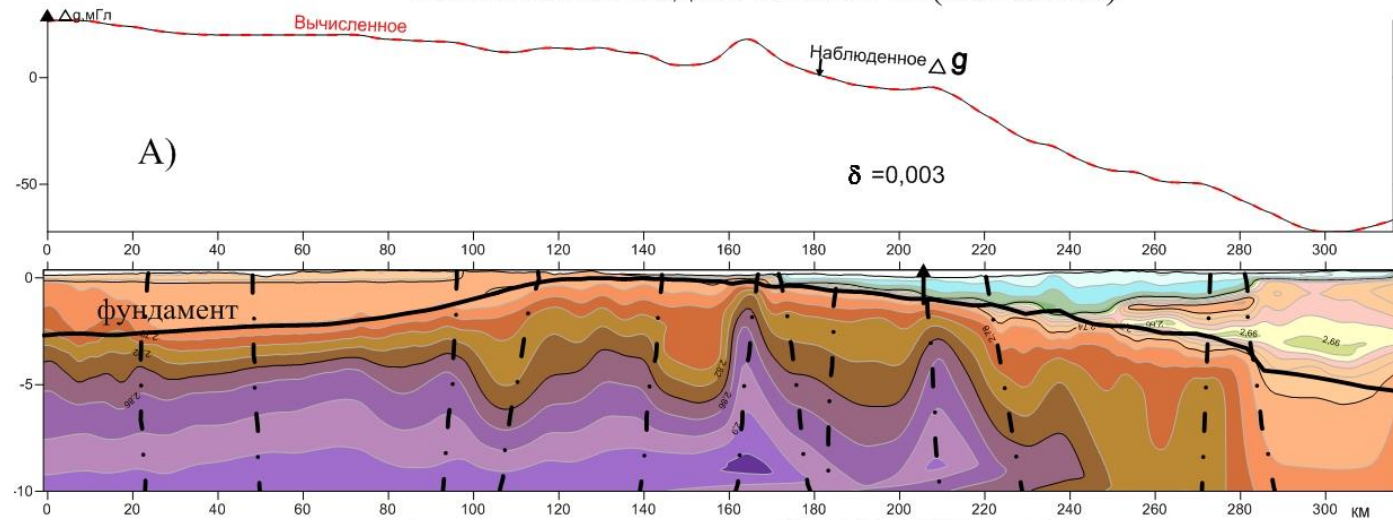
формат	профиля:	1	строка:	xuhmg	2	строка:	набор	Иденти- фикатор	фон	Коли- чество	точек
1											
xha											
1	1	1	21	4	0	0	5	0	0	2	80
VJLKММОДЕЛЬ	Юст	аэромагнитка	Нпол=50м	1:25000							
4	0,36719	165,7623									
4,05	0,361693	207,3634									
4,1	0,356926	263,6277									
4,15	0,352828	342,1383									
4,2	0,350587	456,0796									
4,25	0,349956	620,0757									
4,3	0,34982	830,8243									
4,35	0,349025	1038,4									
4,4	0,346708	1197,38									
4,45	0,343248	1332,843									
4,5	0,340802	1511,395									
4,55	0,339811	1726,016									
4,6	0,339664	1855,012									
4,65	0,339794	1778,849									
4,7	0,339928	1466,653									
4,75	0,339994	1020,758									
4,8	0,340009	625,9692									
4,85	0,34	367,8983									
4,9	0,339991	210,999									
4,95	0,340005	113,0052									
5	0,340072	49,16544									

формат	фона:	идентификатор	тип	c0	c1	x0	x1				
1	0	0	0	0	0						
формат	тела:	разрез	номер	кол-во	пластов	x1	x2	y1	y2		
намагниченность	ее	пределы	углы								
плотность	ее	пределы									
пласты:	верхняя	и	нижняя	кромки	намагниченность	плотность					
6											
1	1	4	4,325	4,525	100	-100	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$			
200	0	400	80	90							
0	0	0									
0,246708	-1	200	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,243248	-1	200	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,240802	-1	200	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239811	-1	200	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
1	2	4	4,525	4,725	100	-100	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$			
300	0	660	80	90							
0	0	0									
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
1	3	2	4,525	4,725	100	-100	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$			
20	0	1000	80	90							
0	0	0									
-1,1	-5	20	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
-1,1	-5	20	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
200	1	4	4,325	4,525	100	-100	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$			
100	0	400	10	90							
0	0	0									

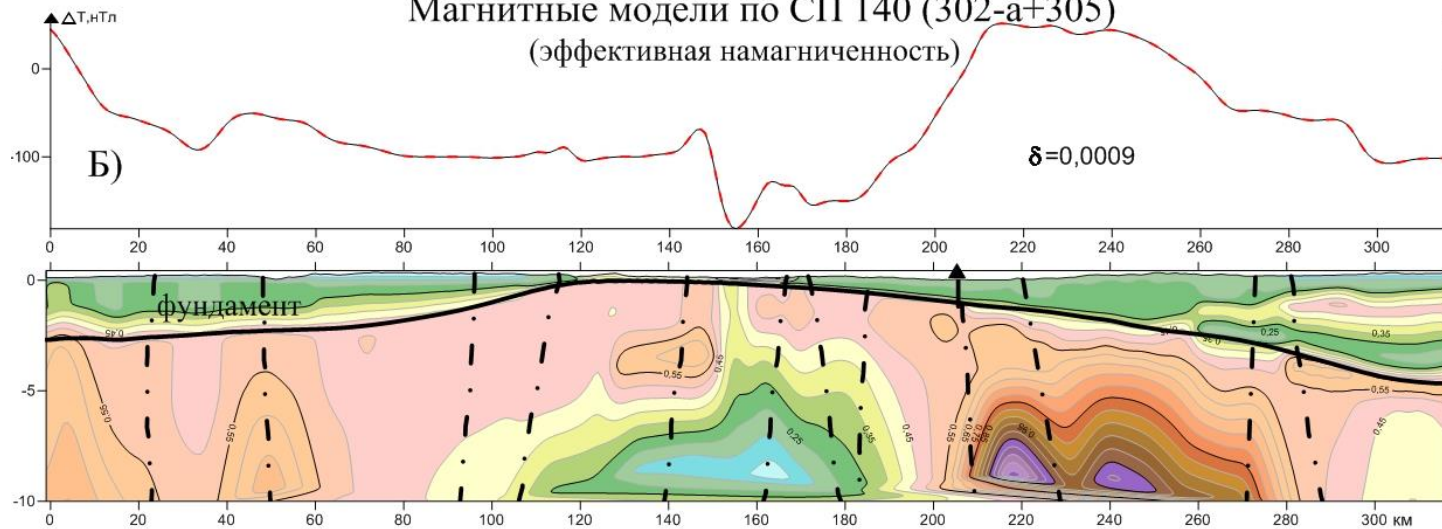
0,246708	-1	100	0	$-3,4 \times 10^{38}$	3,4E+38	1	1				
0,243248	-1	100	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,240802	-1	100	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239811	-1	100	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
200	2	4	4,525	4,725	100	-100	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$			
300	0	660	100	90							
0	0	0									
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
0,239994	-1,1	300	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
200	3	2	4,525	4,725	100	-100	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$			
200	0	1000	40	90							
0	0	0									
-1,1	-5	200	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				
-1,1	-5	200	0	$-3,4 \times 10^{38}$	$3,4 \times 10^{38}$	1	1				

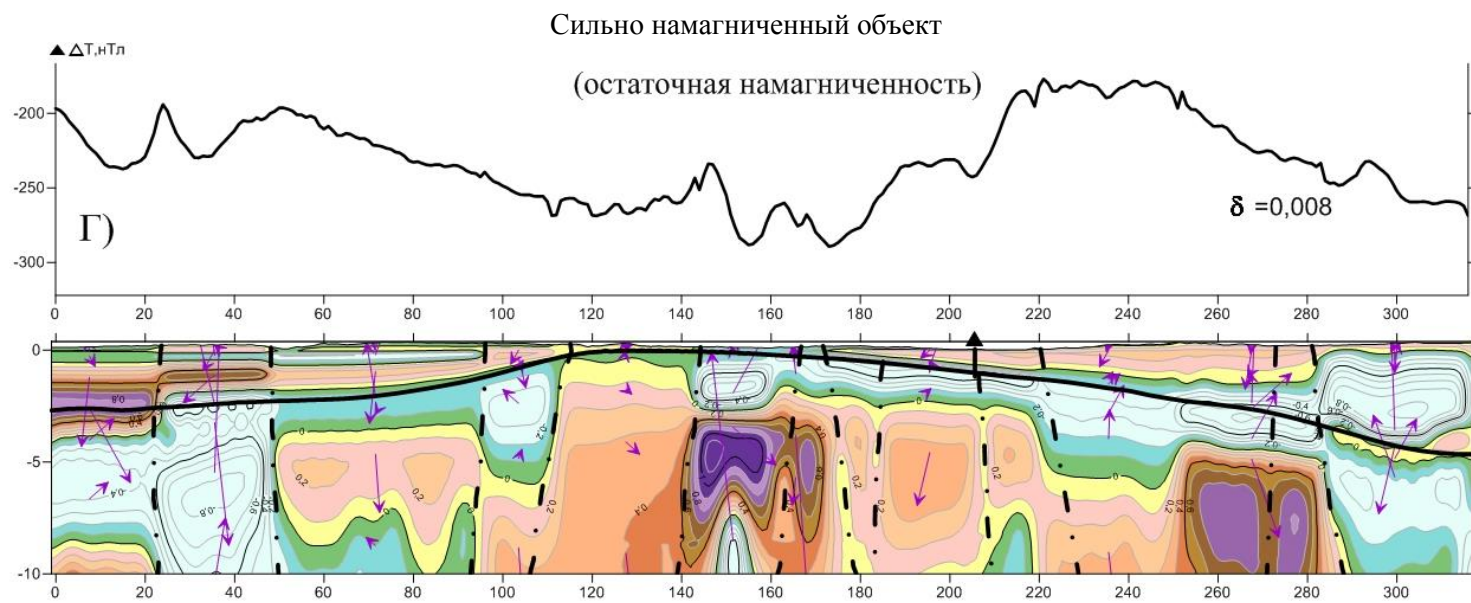
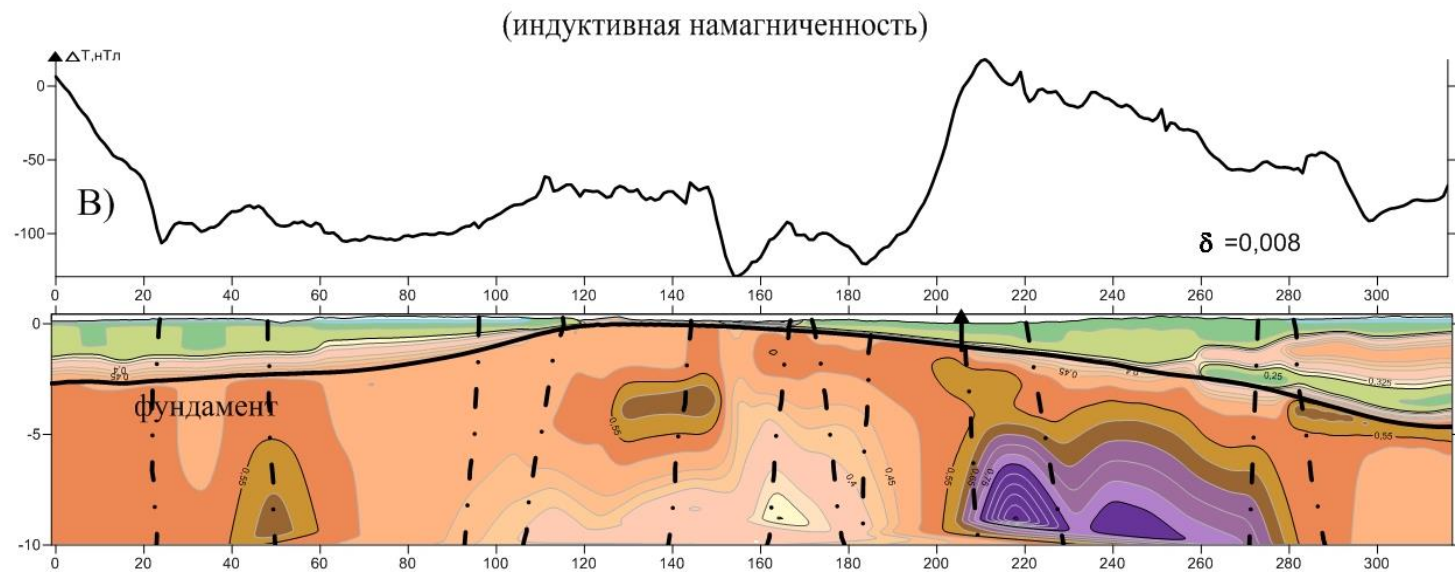
Приложение Б

Плотностная модель по СП 140 (302-а+305)



Магнитные модели по СП 140 (302-а+305)
(эффективная намагниченность)





Приложение В

```
procedure Flefo;
{расчет намагниченности методом Флетчера-Ривса}
var
  blnSave: boolean;
  s, t, p, c0, i, j, j1, l1, iter, ic: integer;
  // masv:array [1..MAX_TEL0] of integer;
  r1, r2, fr, rf, alfa, delta: TFloat;
  jnam, xback, jold, grv, grn: array of single;
  fh, f0, f1, x: array of extended;
  gn2, gn2prev: extended;
  smes: string;
var
  a: TMatrix;

procedure InitBc;
  {подготовка матрицы и правой части уравнения  $Vx=c$ , где  $V=A'A$  и  $c=A'b$ }
var
  f, p, i, j, t, t1, t2, c1, c2, m, max: integer;
  ksum, ksumx, ac1, ac2, rp: TFloat;
begin
  frmMain.StatusBar1.Panels[0].Text := Format('Вычисление матрицы для %u тел', [c0]);
  frmMain.StatusBar1.Repaint;

  for p := 0 to High(Profile) do
    if Profile[p].use then
      with Profile[p] do {... цикл по всем ...}
        for i := 0 to High(pole) do
          begin
            if ('3adem'.contains(Profile[p].prftype2)) then
              for j := 0 to High(pole[i].a) do
                pole[i].a[j] := pole[i].adz[j];
            if ('tbc'.contains(Profile[p].prftype2)) then
              for j := 0 to High(pole[i].a) do
                pole[i].a[j] := pole[i].adt[j];
            if (Profile[p].prftype2 = '1') then
              for j := 0 to High(pole[i].a) do
                pole[i].a[j] := pole[i].adx[j];
            if (Profile[p].prftype2 = '2') then
              for j := 0 to High(pole[i].a) do
                pole[i].a[j] := pole[i].ady[j];
          end;

  max := 0;
  for p := 0 to High(Profile) do
    if Profile[p].use then
      with Profile[p] do {... цикл по всем ...}
        for i := 0 to High(pole) do
          if pole[i].u then
            Inc(max);

  frmMain.panProgress.Visible := False;
  frmMain.PrBar.Max := max;
  frmMain.PrBar.Step := 1;
```

```

frmMain.panProgress.Visible := True;

for i := 0 to High(b) do
  b[i] := 0.0;
for i := 0 to High(c) do
  c[i] := 0.0;

for i := 0 to High(c) do
  for j := 0 to High(c) do
    a[i, j] := ABSNIL;

if Fon <> nil then
begin
  for f := 0 to High(Fon) do
  begin {для каждого фона ...}
    Fon[f].InitializeSumA(Telo.Count - 1 + 1);
    if (Fon[f].fontype = 1) or (Fon[f].fontype = 2) then
      {горизонтальный или наклонный фон}
      for p := 0 to High(Profile) do
        if Profile[p].use then
          with Profile[p] do {... цикл по всем ...}
            if Fon[f].foniden = foniden then {... его (фона) профилям}
              for i := 0 to High(pole) do
                if pole[i].u then
                  begin {... и его точкам}
                    c0 := 0;
                    for t := 0 to Telo.Count - 1 do
                      if Telo[t].use then
                        begin
                          Fon[f].sum_a[c0] := Fon[f].sum_a[c0] + pole[i].a[c0];
                          if Fon[f].fontype = 2 then {наклонный фон}
                            Fon[f].sum_ax[c0] := Fon[f].sum_ax[c0] + pole[i].a[c0] * pole[i].x;
                          Inc(c0);
                        end;
                      end;
                    end;

for p := 0 to High(Profile) do
  if Profile[p].use then
    with Profile[p] do {... цикл по всем ...}
      if Fon[f].foniden = foniden then {... его (фона) профилям}
        for i := 0 to High(pole) do
          if pole[i].u then
            begin {... и его точкам}
              frmMain.PrBar.stepIt;
              if TaskIsCancelled then
                Exit;
              if Fon[f].fontype = 2 then
                begin
                  ksum := (Fon[f].sumxx - pole[i].x * Fon[f].sumx) / Fon[f].k;
                  ksumx := (pole[i].x * Fon[f].kp - Fon[f].sumx) / Fon[f].k;
                end;

                c1 := 0;
                for t1 := 0 to Telo.Count - 1 do

```

```

    if Telo[t1].use then
    begin
        ac1 := pole[i].a[c1];
        if Fon[f].fontype = 1 then
            ac1 := ac1 - Fon[f].sum_a[c1] / Fon[f].kp;
        if Fon[f].fontype = 2 then
            ac1 := ac1 - Fon[f].sum_ax[c1] * ksumx - Fon[f].sum_a[c1] * ksum;
        c2 := 0;
        for t2 := 0 to Telo.Count - 1 do
            if Telo[t2].use then
            begin
                if c2 >= c1 then
                begin
                    m := c1 * (2 * c0 - c1 - 1) div 2 + c2;
                    {массивы от 0}
                    ac2 := pole[i].a[c2];
                    if Fon[f].fontype = 1 then
                        ac2 := ac2 - Fon[f].sum_a[c2] / Fon[f].kp;
                    if Fon[f].fontype = 2 then
                        ac2 := ac2 - Fon[f].sum_ax[c2] * ksumx - Fon[f].sum_a[c2] * ksum;
                    b[m] := b[m] + ac1 * ac2;

                    a[c1, c2] := a[c1, c2] + ac1 * ac2;
                    if not (c1 = c2) then
                        a[c2, c1] := a[c2, c1] + ac1 * ac2;

                    end;
                    Inc(c2);
                end;
                {правая часть уравнения A'A'x=A'b}
                rp := pole[i].n - Fon[f].c1 * pole[i].x - Fon[f].c0;
                if Fon[f].fontype = 1 then
                    rp := rp - Fon[f].sumn / Fon[f].kp;
                if Fon[f].fontype = 2 then
                    rp := rp - Fon[f].sumnx * ksumx - Fon[f].sumn * ksum;
                c[c1] := c[c1] + ac1 * rp;
                Inc(c1);
            end;
        end;
    end;
else
begin
    for p := 0 to High(Profile) do
        if Profile[p].use then
            with Profile[p] do {... цикл по всем ...}
                for i := 0 to High(pole) do
                    if pole[i].u then
                        begin {... и его точкам}
                            frmMain.PrBar.stepIt;
                            if TaskIsCancelled then
                                Exit;
                            c1 := 0;
                            for t1 := 0 to Telo.Count - 1 do
                                if Telo[t1].use then
                                    begin

```

```

ac1 := pole[i].a[c1];
c2 := 0;
for t2 := 0 to Telo.Count - 1 do
  if Telo[t2].use then
    begin
      if c2 >= c1 then
        begin
          m := c1 * (2 * c0 - c1 - 1) div 2 + c2; {массивы от 0}
          ac2 := pole[i].a[c2];
          b[m] := b[m] + ac1 * ac2;

          a[c1, c2] := a[c1, c2] + ac1 * ac2;
          if not (c1 = c2) then
            a[c2, c1] := a[c2, c1] + ac1 * ac2;

          end;
          Inc(c2);
        end;
      {правая часть уравнения A'A'x=A'b}
      rp := pole[i].n;
      c[c1] := c[c1] + ac1 * rp;
      Inc(c1);
    end;
  end;
end;
frmMain.panProgress.Visible := False;
end;

```

Приложение Г

(справочное)

4. Methods of work

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8БМ71	Огородников Алексей Сергеевич		

Консультант отделения информационных технологий ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Гергет Ольга Михайловна	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ИШИТР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШИТР	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н.		

4. Methods of work

In the Siberian Scientific Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (hereinafter referred SNIIGGIMS), Novosibirsk, has developed a methodology for modeling density and magnetization, which, using all available magnetic and gravitational surveys and the geological, geological structure of the earth's crust, allows finding the density contours and magnetic masses not only in terms of, but also to map them to depth. Density and magnetic masses are depicted as isolines on horizontal plans and sections, which are identified with specific geological rocks and serve as the basis for constructing geological and geophysical models.

In contrast to traditional methods, they allow to obtain density and magnetic models of continuous media, rather than separate local density and magnetic objects. The modeling of geological media is carried out on the basis of the calculation of their density and magnetic characteristics by the selection methods by solving the SLAE (a system of linear algebraic equations) in advanced or accompanying modes. In advance mode, the position of density or magnetic boundaries, the distribution of density fields or magnetization are independently determined. In the accompanying mode, within the limits of known boundaries, in particular, seismic, their density and magnetic characteristics are determined. The areas corresponding to the intrusive formations, tectonic elements are identified, and the material composition of the rocks is determined on the basis of their speed, density and magnetic characteristics.

This task differs from ore-type tasks for a class of complex mass distribution in that the specified volumes closely adjoin each other, completely filling the studied space and simulate a continuous geological environment in the same way as in problems of structural type. However, unlike structural problems, the problem of a complex mass distribution does not have layers extended along the entire geological section. Such a mixed class corresponds much better to well-defined observed fields, especially if there is a close connection between the formation of models and geological content, both at the initial stage and in the process of selecting models.

Work on deep mathematical modeling began in SNIIGGIMS in the 60s, primarily on iron ore objects. This was dictated by the need to assess the projected reserves and resources of known deposits in full. At the first stage, a software package was developed for modeling local highly magnetic bodies, and then it was supplemented with programs

for weakly and non-magnetic objects in order to simulate continuous media. Due to this, the range of solved geological problems has expanded significantly. It was possible to simulate low-magnetic polymetallic deposits (Gorevskoye), gold (Olympiadinskoye, Legostaevskoye and others), phosphoritic and apatite (Seligdarskoye), and even hydrocarbon (Tarasovskoye, Talakanskoye). A series of deep geological and geophysical sections of stratified and magmatic formations (Salair, Gorny and Rudny Altai, Polar Urals) were built to help geographic mapping. To study the deep structure of the Earth's crust in Western and Eastern Siberia, regional and interregional profiles were drawn up to the border of Mokhorovichich (profiles 1-DV, 2-DV, 1-SB, etc.).

The GEOLAB program (**see the chapter "Program Module"**) is designed to solve direct 2D or 3D magnetic and gravity exploration tasks for arbitrary configuration bodies using surface, aerial and borehole surveys (in separate or joint modes) based on all available geological geophysical information. Problems are solved both for local objects and for continuous media. It is possible to set and determine the background components using the 1st order polynomial. The field of distribution (density) of magnetization is calculated in two variants: the first is calculated by the method of selection based on the maximum approximation, model and observed fields as a superposition of fields from approximation elements and defined by us as “apparent” magnetization; The second variant is obtained by recalculating the first variant, taking into account the mutual influence of strongly magnetic bodies, the demagnetization coefficient of each perturbing object, and the internal magnetic fields of these bodies. This option is defined by us as the "true" magnetization.

In solving inverse problems, gradient methods of minimizing functions based on systems of linear algebraic equations (SLAE) are used.

Output can be exported to SURFER. The GEOLAB program (**see the chapter "Program Module"**), **based** on selection methods, makes it possible to obtain with a high degree of certainty the spatial distribution of the calculated parameters of magnetization or density in a limited volume, determined by the formulation of the geological problem, the memory capacity and the performance of the computer.

The program allows you to build density and magnetic models, the parameters of which are determined by the following requirements:

- All available geological and geophysical information, gravitational and magnetic fields, surface relief, relief of surveys and results of petrophysical studies are used.
- The model field should correspond to the observed one to a high degree.
- The ambiguity of solving inverse problems should be minimized, which is reduced by introducing additional restrictions on the geometry of the bodies, the density selection interval and / or magnetization for each body, or the introduction of additional fields (elevation and borehole).

On the basis of modeling methods, the geometrical parameters of geological objects are determined, structural plans are developed for the distribution of the calculated density or magnetization of the studied territories (objects) to a depth determined by the geological assignment and the length of potential fields.

The completeness of information retrieval depends mainly on the amount of available geological materials. The amount of a priori information determines the number of solutions to the inverse problem and its fundamental characteristics - uniqueness and stability. The final solution of the inverse problem is determined by the convergence of the model and the observed fields. From the experience of the work it is known that the density or magnetization, as well as the shape of objects in close proximity to the observation points, is determined most steadily. Experience shows that the number of equivalent solutions is reduced when sharing well, surface and elevation potential fields. This also corresponds to the uniqueness theorems for harmonic functions, because to identify changes in the laws of the potential field strength, it is necessary to know its values in the part of the three-dimensional field of existence of the field.

Thus, the formation of model representations in the proposed method is based on the solution of an incorrectly stated problem, which makes it possible to find a unique and stable solution on some sets. The basis of the methodology developed by us is the following assumptions:

- The geological environment is a single complexly constructed body consisting of different-density, differently-magnetized and non-magnetic elements, the quantitative evaluation of which is the task of modeling. Model representations are based

on the block structure of the earth's crust, with each block closer to the observation point being considered in more detail than the lower one.

- Each block is approximated by a set of parallelepipeds, the parameters of which are determined.
- Potential fields are considered as the sum of the useful signal and the regional background. Measurement error is compensated by the error in determining the parameters of the model.
- The design of the model is carried out sequentially: from generalized to detailed. The degree of detail of the model is entirely determined by the scale of the survey and the reliability of the source materials.
- Volumetric potential fields are used to reduce the number of equivalent solutions.

The accepted assumptions determine the design of models and the sequence of their design using three types of auxiliary models: block, detailed and complex.

The block (uniformly density / magnetized) model allows determining the average density (magnetization) of each block, as well as the shape of their upper and lower edges. The determination of these parameters is carried out on the basis of the selection method: by searching for the minimum of the function of the mean-square difference of the observed and theoretical fields. At this stage, as a rule, the initial or “zero” model is rejected or, on the contrary, it is accepted and used for further transformations and detalizations. The method of transformations and details of the “zero” model is based on the consistent selection of the average density (magnetization) and the construction of the geometric parameters of the models from an approximate to a more accurate result with subsequent detailing determined by the scale of the survey, and the accuracy of the solution is estimated by the number of iterations and the specified accuracy of selection;

The detalization (non-uniform density / magnetized) model allows to determine the heterogeneous density (magnetization) in each block, and more specifically to evaluate each block by the nature of the non-uniform density distribution (magnetization) in it;

The technological scheme of application of GEOLAB is carried out in the following order.

1. Within the framework of the block model:

- input of model parameters (manual and automated input is provided.) This includes input of observed values of magnetic or gravimetric field, surface relief, survey relief, geometric parameters of the model in three-dimensional measurements, as well as their physical properties: density or magnetization and their selection intervals. It is also possible to fix the individual parameters of some elements of the model in the presence of mining and confident geophysical data;
- solving a direct problem and analyzing the results obtained in order to avoid gross errors in the constructed model;
- determination of the density or magnetization of the block variant of the model with fixed geometrical parameters;
- determination of the density or magnetization of the block variant of the model with simultaneous selection of the position of the flat upper or lower boundaries of the block or group of blocks;
- determining the shape of the upper or lower boundaries of blocks with given physical parameters;
- determination of dimensions along the strike of each block in the case of specifying a three-dimensional model;
- The presence of a priori information about the studied section or group of sections (in the three-dimensional version) allows to impose a number of restrictions on the solution of the inverse problem. These are:
 - setting the intervals for determining the physical parameters of each block, within which the selection mode of these parameters is carried out;
 - setting the intervals of the boundaries of the upper or lower edges of the block (s). The mode of selection of the shape and depth of the borders is carried out in such a way that each lower boundary of the overlying layer is the upper boundary of the underlying layer;
 - securing individual geometric elements of the block or their physical properties, if these parameters are known.

In addition, depending on the informativeness of a priori information, it is possible to change the technological calculation. For example, setting physical properties based on mass measurements of samples and wells for specific geological

complexes; evaluation of the average magnetization or density for bodies with a known shape by the observed potential fields; evaluation of the shape of the object with known physical properties, etc.

The solution of the inverse problem is considered formally complete if the root-mean-square error between the theoretical and experimental fields does not exceed the triple error of the survey; if the repeated solution of the inverse problem according to the theoretical field determines the construction of the model completely or with minor errors; if the resulting model falls into the concept of geological representations of the object.

Thus, the solution of the inverse problem is a complex multivariate process of a sequential transition from the general to the particular, based only partially on its formalization, and to a greater extent based on the intuition and experience of the researcher.

The main disadvantage of the developed block (uniformly density / magnetized) model is its simplified design, emphasizing the homogeneity of the block. In nature, as is well known, there are no objects with uniform physical properties. This fact narrows the field of applicability of the method. However, in comparison with existing methods, the latter allows us to consider a geological section as a continuous medium consisting of complex geological bodies in their natural occurrence.

2. Within the framework of the detailed model:

- non-uniform density or magnetization of each block is selected. Taking into account the drawbacks of the block model, for which the magnetization or density of each block is assumed to be constant, we have developed a heuristic algorithm for determining the detailed (inhomogeneous density / magnetized) model. The gradient method chosen by us allows, automatically, irrespective of the interpreter, to determine Tikhonov's regularization coefficient. In addition, the use of the "ravine" method makes it possible to take the existing block model as the zero point of reference so that the moments of the block and detail model are approximately the same. The local minimum estimate is determined with different selection steps. The same or similar solutions of various options determine the uniqueness of the solution to the problem.

Unlike other methods of selection, inhomogeneous physical properties are not determined by a predetermined functional dependence, but only by the variability of the measured potential fields. Testing on theoretical and practical models showed that the physical properties are most reliably determined on the known (fixed) geometrical parameters of objects, although errors in specifying the form are to some extent compensated for by the structure of the distribution of magnetization or density. In general, if the calculated physical properties within the section are presented in the form of isolines, then they more clearly allow us to judge the structural features of the section.

Using the plan of distribution of isolines of physical properties, it is possible to eliminate instrumental errors, which, in our opinion, most favorably affect the final result. Traditionally, the hardware error is removed at the initial stage of interpretation, and the lack of knowledge of the functional properties of the hardware error can introduce an additional error in the observed field.

The main disadvantage of the proposed method is the availability of theoretical and practical equivalence in the absence of knowledge about the shape of the objects involved in the creation of potential fields. However, the latter, in comparison with existing methods, makes it possible to judge the nature of the distribution of physical properties in the volume only by the structural features of the variability of potential fields, to distinguish the structural and morphological features of the geological section, to judge the geological processes that form the section under study.

Of greatest interest is the use of the method in sections with well-studied interfaces based on the results of drilling, seismic, electrical exploration, where the nature of the distribution of physical properties in comparison with petrophysical studies and the initial geological model can be judged on the composition of rocks, as well as the impact of secondary geological processes.

Considerable interest in studying the geological structure of the earth's crust is the proposed new development for the separation of effective magnetization into inductive and residual (Patent No. 2683817 Method of determining induced and residual magnetization of rocks according to magnetic prospecting. Sadur OG from 05.04.2018) that allows to obtain geological objects magnetized by the modern magnetic field of the earth (inductive) and ancient (residual).

Residual magnetization is most sensitive to tectonic influences, which allows you to confidently detect tectonic disruption of the earth's crust.

The author of this thesis took an active part in the creation of this methodology from the time he started working at SNIIGGiMS.

A more detailed description of the method of separation of the fields of effective and residual magnetization into inductive and residual in chapter 4.2.

The technological scheme for solving the inverse problem is similar to the previous one: from the general to the particular.

The completion of the decision is determined by:

- mean square error between the theoretical and experimental curve, not exceeding the doubled shooting error;
- solution of the inverse problem for the model field. When comparing each approximation element by their geometrical parameters and physical properties of theoretical and practical models - until the minimum mean square error between them is obtained;
- the concept of geological representations of the objects under study, which fit into the framework of the representations of the selected model.

Thus, the developed program ***in comparison with the existing has a number of advantages***. Firstly, it allows one to determine the geometrical parameters of perturbing objects, to obtain a two or three-dimensional distribution of the values of physical properties (density and magnetization). Secondly, the use of volumetric potential fields, the introduction of auxiliary models into the problem and the ongoing monitoring of the solution of inverse problems allow not only to significantly expand the range of problems to be solved, but also to narrow the areas of their equivalence.

Increasing the dimension of the tasks being solved, i.e. an increase in the number of field points and the use of more complex approximation strategies in the construction of models of objects under study, as practice shows, reduces the “ravine” of minimized objective functions. The consequence of this is an increased convergence of the iterative selection process, as well as an increased accuracy of restoring the desired parameters. Thirdly, the simplicity of the entered information in text mode allows you to use it fairly quickly for a range of tasks.

For the purposes of regional work, in-depth modeling of geological media is quite possible on the basis of available geological and gravity-magnetic maps of 1: 200,000 scale, and for more detailed models large-scale materials are needed.

The geological interpretation (or identification with the geological section) of the model fields of density and magnetization distributions is formally determined by a priori information about the geological structure of the studied territory and knowledge of petrophysical properties, and practically, to a greater extent, the experience of the performer, his level of knowledge on the structure of the region and specific objects. First of all, deep faults and major violations are determined, which limit the blocks with contrasting physical properties. (In this case, preference is given to the distribution field density as a more stable feature compared to magnetization). On model sections, the location and orientation of faults are usually recorded more accurately than on geological surface maps. In some cases, unreliable tectonic boundaries are excluded, while in others, missing faults are identified.

The anatomy of each structurally separate block is a particularly difficult variant of its identification with geology. In general, the geometrical parameters of the blocks are determined by the structure of the density distribution and magnetization. However, it is not always possible to achieve a unique solution. The number of possible options usually does not exceed two to three, of which the specialist chooses the most preferable.

4.1 Preparation of density and magnetic models of the initial approximation

As we noted earlier, the model is being prepared in digital form. Model preparation consists of setting the field (magnetic and gravimetric). The relief of the survey, the relief of the model (digital image of the terrain), the geometrical parameters of the density and magnetic bodies, which, if possible, should correspond to the geological bodies, as well as the magnetic and density characteristics of these bodies and possible intervals of variation of these boundaries. In accordance with this, an initial model should be constructed, the boundaries of which would characterize not only geological, but also geophysical parameters. It is common for all selection methods to have in advance a design, a constructed model, as is done in the construction of buildings, engineering structures, etc. It should be noted that the correctness of the initial

model, in general, determines the whole subsequent modeling process. The lack of additional information about the geological structure of the study area creates additional difficulties and determines the "variation" of the simulation. An important role in the formation of models is also played by the knowledge of physical properties, their variations inherent in a certain type of rocks.

4.2 Separation of the fields of effective magnetization into inductive and residual according to the observed magnetic field.

(Patent No. 2683817 Method of determining induced and residual magnetizations of rocks according to magnetic prospecting data. Sadur OG dated 04/05/2018)

One of the problems in studying the magnetic properties of a geological section is the need to separate the induced and residual magnetizations in rocks, since the interpretation of anomalies associated only with induced magnetization gives more confident information about the morphology of anomalous objects and their magnetic susceptibility. The strong distorting effect of the residual magnetization makes it impossible to estimate their magnetic properties from measurements of a constant magnetic field over objects.

Inductive magnetization is the magnetization of rocks in a modern magnetic field.

Residual magnetization is the magnetization of rocks in the ancient magnetic field, in the process of formation of the earth's crust.

Various methods are known for the separate determination of induced and residual magnetizations of rocks under laboratory conditions on samples using astatic magnetometers or magnetic weights (see, for example, "Physical Properties of Rocks and Minerals" (petrophysics). Geophysics Handbook. / Ed. H B. Dortman, - 2nd ed., Revised and extra - Moscow: Nedra, 1984, pp. 102 - 143). However, these methods are quite time-consuming and expensive task, and, in general, provide only point information about the behavior of the induced and residual magnetization in the rock.

Determination of induced magnetization is also carried out by electrical exploration methods based on artificial biasing using constant or low frequency alternating currents. The essence of the method of artificially magnetizing rocks is that an ungrounded contour with a constant or pulsating current of low frequency (about 0.7 Hz) located on the earth's surface excites a magnetic field. Rocks, magnetized by this field,

create an additional (secondary) effect, the value of which depends on the magnetic susceptibility, the depth to the surface of the ores and their shape. A secondary magnetic field is defined. created by magnetized rocks. To do this, directly measure the magnetic field in the test area in the absence of a current circuit, with the passage of current in the circuit, as well as the normal field of the circuit over non-magnetic rocks (in the control area). According to the calculated secondary magnetic field, the magnetic susceptibility of the rocks or ores of the site is determined. The definition of induced magnetization when using low-frequency inductive electrical prospecting is presented in ("Theoretical Foundations of Integrated Magnetic Surveillance", Yu. I. Blokh, © 2012, pp. 4 - 29). However, this technical solution, although it solves the problem of determining the vectors of induced and residual magnetizations, but only at small depths, no more than a few hundred meters, as a result of which the effectiveness of magnetic exploration tasks is not ensured in in-depth studies.

Numerous methods are known for determining the effective magnetization using selection methods based on solving inverse magnetic exploration problems developed in the last century (see, for example, "Computational Mathematics and Technique in Exploration Geophysics." Geophysics Reference Book. Ed. V. I.) Dmitriev. M., Nedra, 1982. p. 89 - 98.)

In one way or another, the effective magnetization of the object under study does not correspond to the real one, since the actual magnetization is the sum of the vectors of the induced and residual magnetizations. In general, the vector of induced magnetization coincides with the direction of the vector of the normal magnetic field of the Earth, and the vector of residual magnetization is determined by a system of other magnetization mechanisms, such as the time factor, temperature, mechanical stresses, chemical transformations occurring in the presence of a magnetic field. The direction of the total vector will depend on the ratio of the magnitudes of the magnetizations (the Kenningsberg ratio). If the magnitude of the residual magnetization will significantly prevail over the magnitude of the induced magnetization, then the direction of magnetization of geological objects will differ from the direction of the modern geomagnetic field, which may in turn lead to erroneous results of the interpretation of anomalous magnetic fields.

The goal is to increase the efficiency of using magnetic data due to their more in-depth interpretation.

The technical result is expressed in obtaining magnetic models of the studied section, due only to induced magnetization () and only residual magnetization ().

The method for determining the induced and residual magnetizations of rocks and ores according to magnetic survey data is characterized by the fact that

- using the observed magnetic field, they create a digital model of the section, as a set of separate blocks that fill the studied space and have quasi-uniform magnetic properties. Each block is an indivisible element of the model, which in addition to the spatial parameters is characterized by two more : the magnetisation value and the magnetization angle.

- for each specified block, based on the solution of the inverse problem, determine the values of the calculated magnetization

- after that, the geometrical parameters of each block making up the section and the corresponding values of the effective magnetization (with the magnetization angles coinciding with the direction of the vector of the normal magnetic field of the Earth) are specified,

- the obtained digital model of the section is copied, with obtaining the second identical model of the section. In this case, one section is identified only with induced magnetization, and the second - only with residual,

- then carry out procedures for determining the values of induced and residual magnetizations for each blocks of both sections by solving inverse problems, sequentially changing the direction of the residual magnetization vector,

- at each specified change in the angle of magnetization in each block, the values of induced and residual magnetizations are calculated, as well as the value of the objective function characterizing the degree of convergence of the model and observed magnetic fields. The resulting values are written in a separate file.

- for each block form a file, including changes in the values of induced, residual magnetization and the objective function, depending on the change in the direction of the vector of residual magnetization,

- select the minimum values of the objective function for each block, which correspond to the true direction of the vector of residual magnetization, and the known

values of the direction of the vector - the true values of the induced and residual magnetizations,

- the changes of the indicated angles are repeated for several complete iteration cycles until the minimum value of the objective function is obtained, while the obtained values of the angles and magnetizations are determined by the corresponding vectors of the induced and residual magnetizations

An example of a digital model is given in **Appendix A** .

4.2.1 Verification on the theoretical model

In Figure (5-11), a model example is presented.

In Figure 5 shows the adopted, initial model of a magnetic object, divided in this example into two sections, each of which contains three numbered blocks: (1i – 3i) —a section with a given inductive magnetization and (1 ° –3 °) —a section with a given residual magnetization. In each of the blocks, the values of magnetization and angles of magnetization are specified.

$\vec{J}_i$ -induced magnetization in A / m,

i_{ix} is the direction of the vector of induced magnetization ($\vec{J}_i$) in degrees,

$\vec{J}_r$ - residual magnetization in A / m,

i_{rx} is the direction of the residual magnetization vector ($\vec{J}_r$) in degrees.

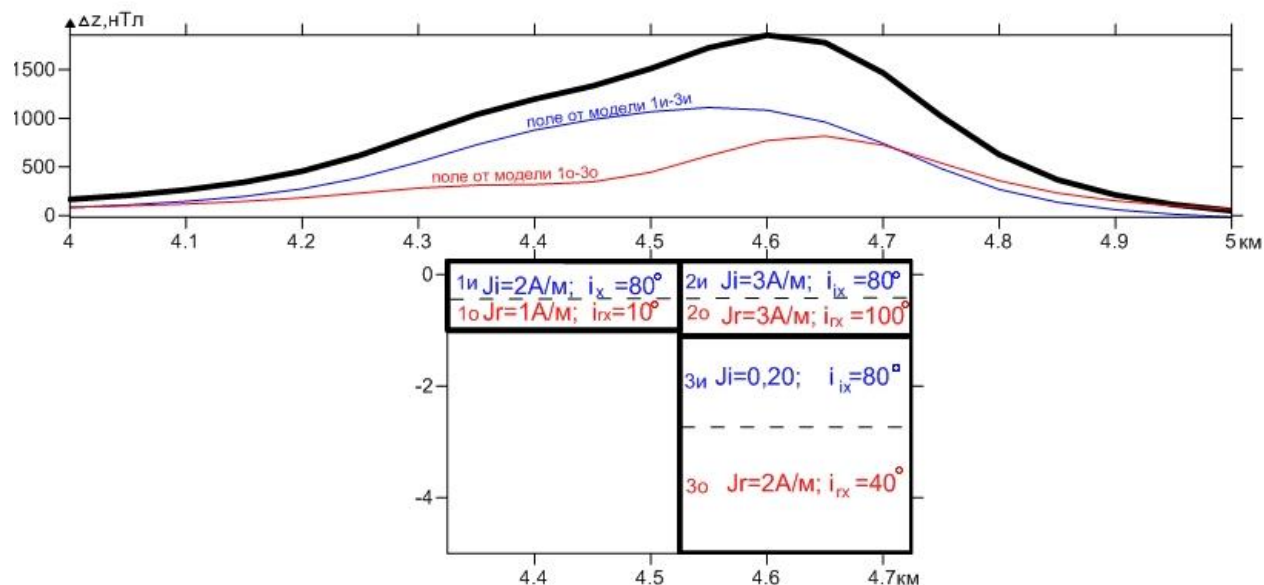


Figure 5 Source Model

As can be seen from Figure 5, all values of the residual magnetization ($\vec{J}_r$) are positive and are in the lower half-space, that is, the directions of the vectors i_{rx} of the residual magnetization ($\vec{J}_r$) vary from 0° to 180° . From the model representing a combination of two cuts with inductive ($\vec{J}_i$) and residual ($\vec{J}_r$) magnetizations, the direct problem was calculated and the field from the ΔZ model was obtained. The field ΔZ from the cuts with induced and residual magnetization was calculated in the same way.

Figure 6 shows graphs illustrating the results of the first iteration cycle in determining the magnetization vectors ($\vec{J}_i, \vec{J}_r$) for blocks (1i and 1o) of the original model.

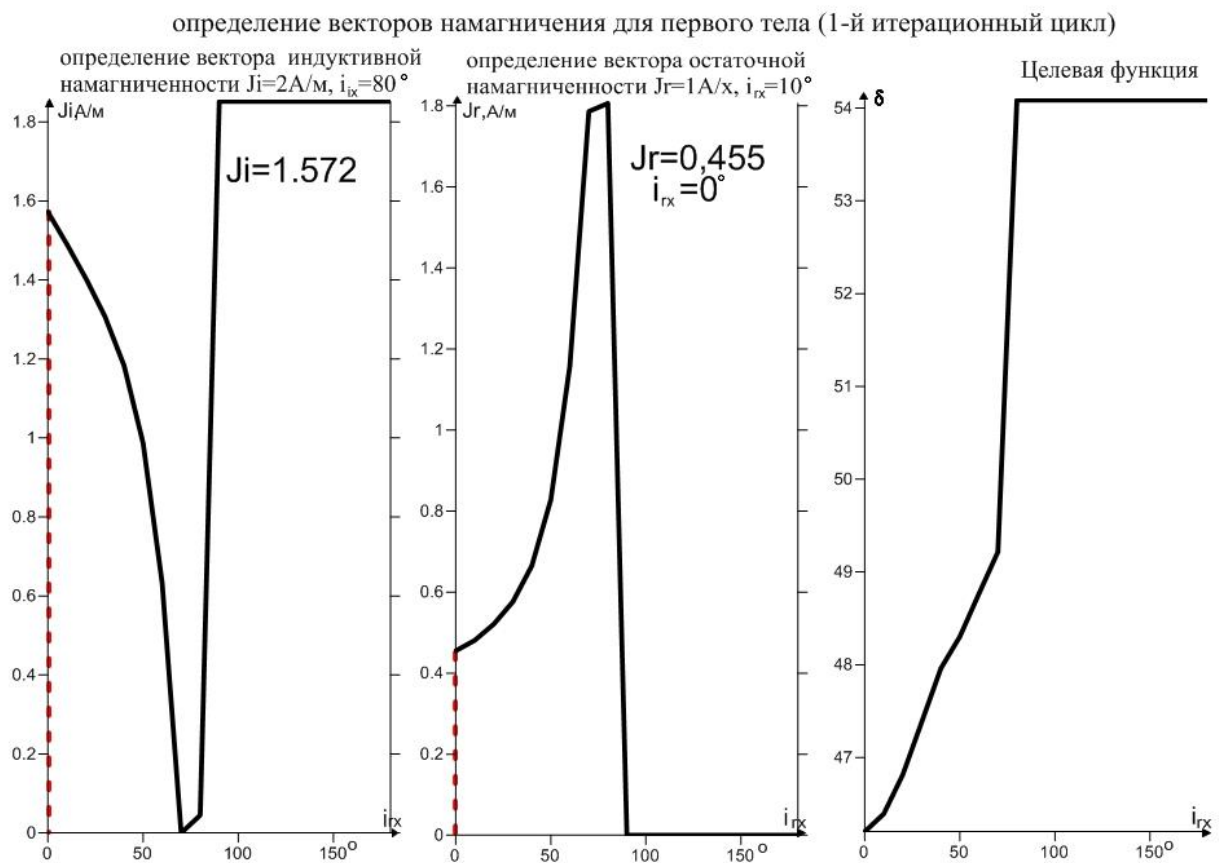


Figure 6 Results of the first iteration cycle

The graphs show: changing the magnetization parameters from changing the angles of the direction of the residual magnetization vector. It is shown that in the first iteration cycle for blocks (1i) the minimum of the objective function was 46.2. The value

of induced magnetization ($\vec{J}_i$) was 1.572 A / m (given 2A / m), angle (i_{rx}) of remanent magnetization - 0°, value $\vec{J}_r$ - 0.455 A / m (for given values, respectively, 10°, and 1 A / m).

Figure 7 shows graphs illustrating the results of the second iteration cycle for determining the magnetization vectors for the blocks (2i and 2o) of the original model.

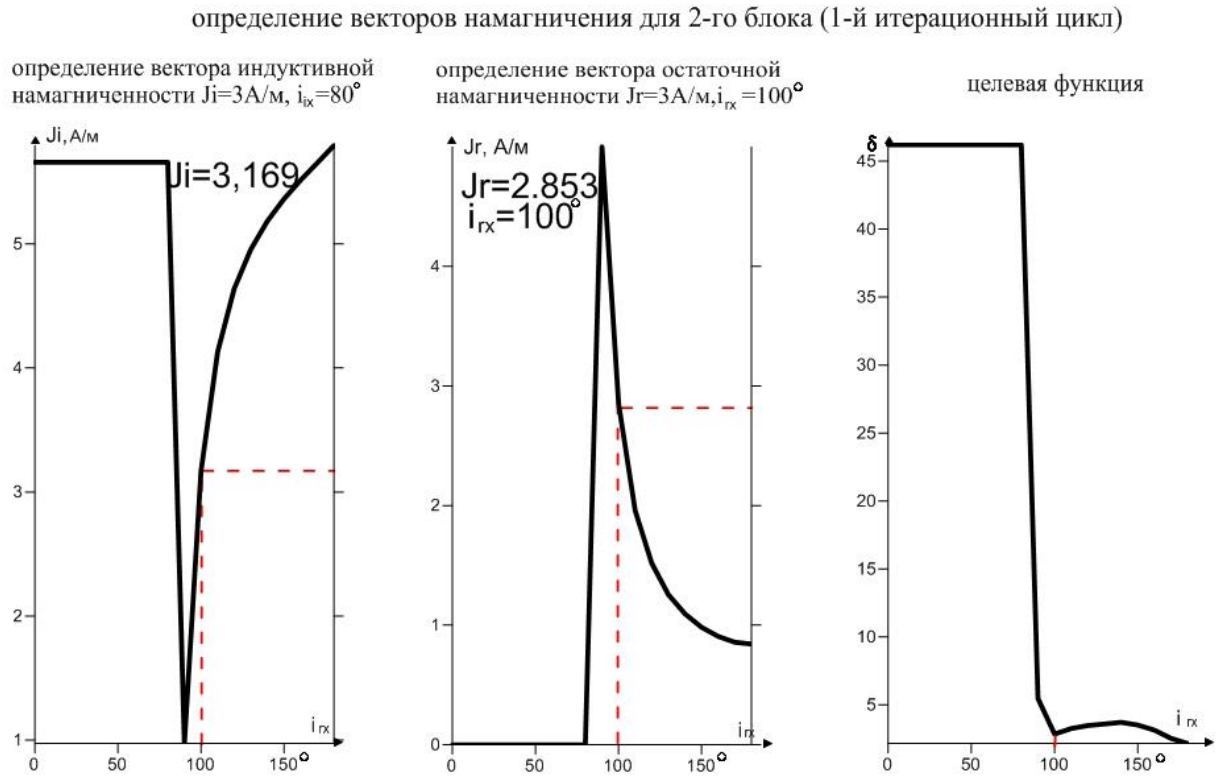


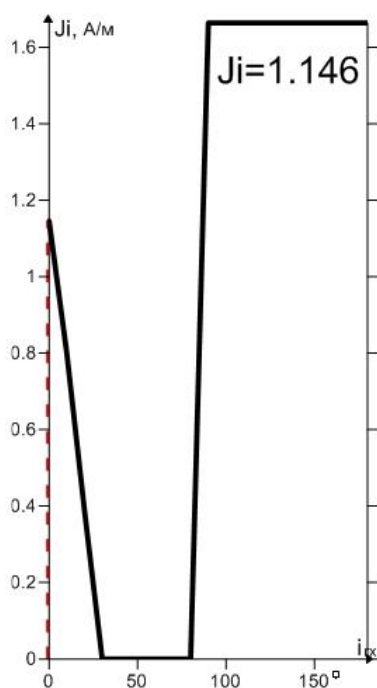
Figure 7 Results of the second iteration cycle

According to the illustration, it can be seen that in the first iteration cycle the required values of the magnetizations $\vec{J}_i$ and $\vec{J}_r$ do not coincide with the given, although the direction of the residual magnetization vector (i_{rx}) ($\vec{J}_r$) already corresponds to the model one.

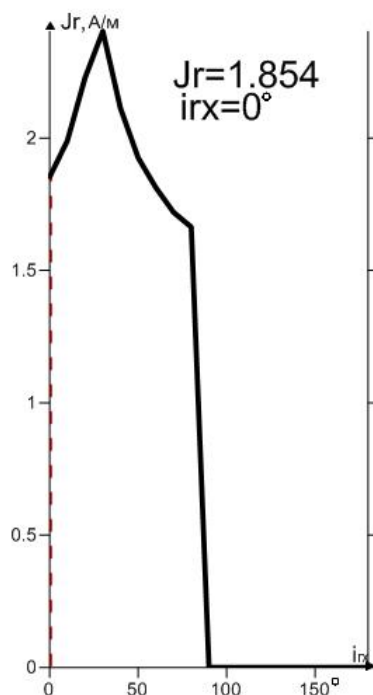
A similar situation exists for block 3 (Figure 8). When the value of the objective function is 0.56, the values of the magnetizations $\vec{J}_i$, $\vec{J}_r$ and the direction of the i_{rx} vector of the residual magnetization ($\vec{J}_r$) does not coincide with the model.

определение векторов намагничения для 3-го блока (1-й итерационный цикл)

определение вектора индуктивной
намагниченности $J_i=0,2$, $i_{ix}=80^\circ$



определение вектора остаточной
намагниченности $J_r=2$ A/m, $i_{rx}=40^\circ$



целевая функция

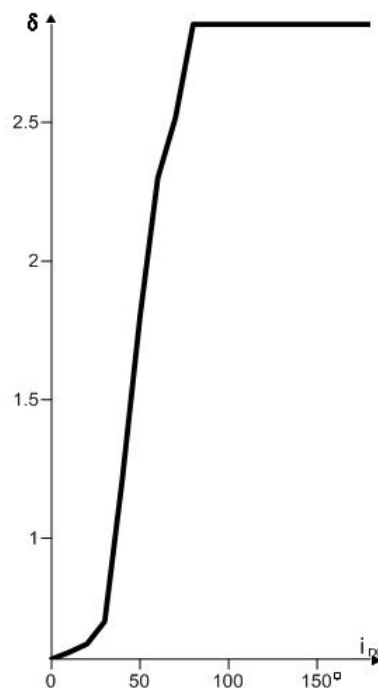


Figure 8 Determination of the magnetization vectors for the 3rd block

The subsequent reduction of the objective function values by using the second full iteration cycle (Figure 9 - 11) and yielded values practically magnetization angles which coincide with the model.

определение векторов намагничивания для 1-го блока (2-й итерационный цикл)

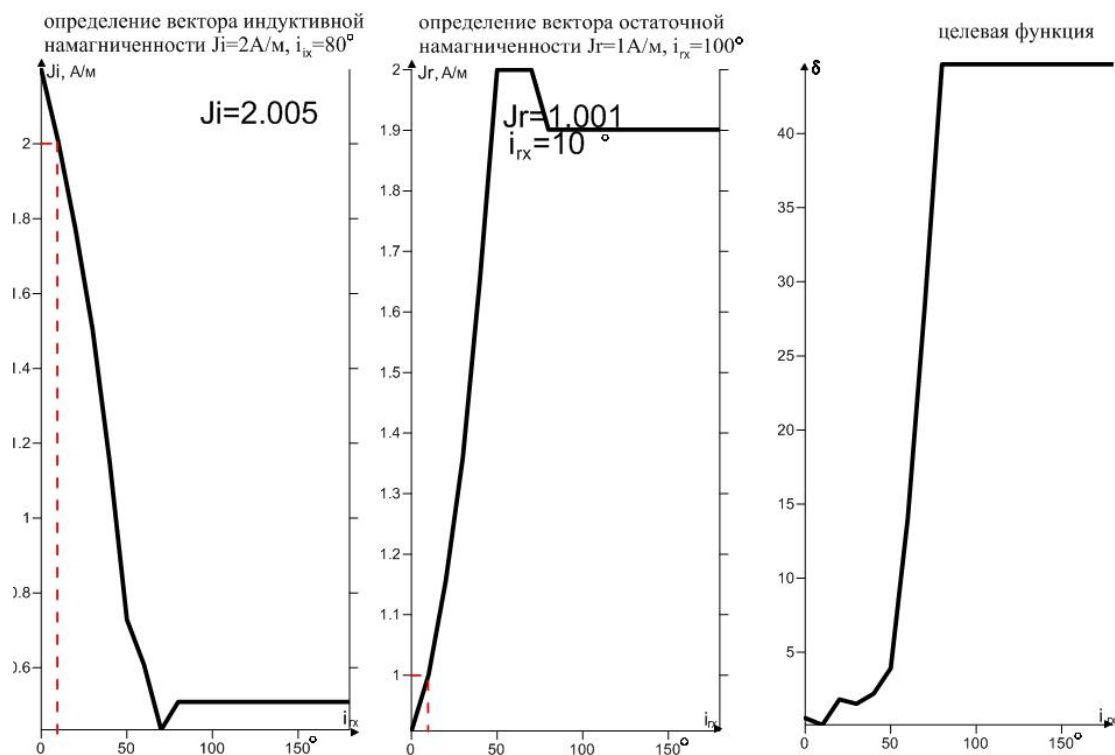


Figure 9 Determination of the magnetization vectors for the 1st block

определение векторов намагничивания для 2-го блока (2-й итерационный цикл)

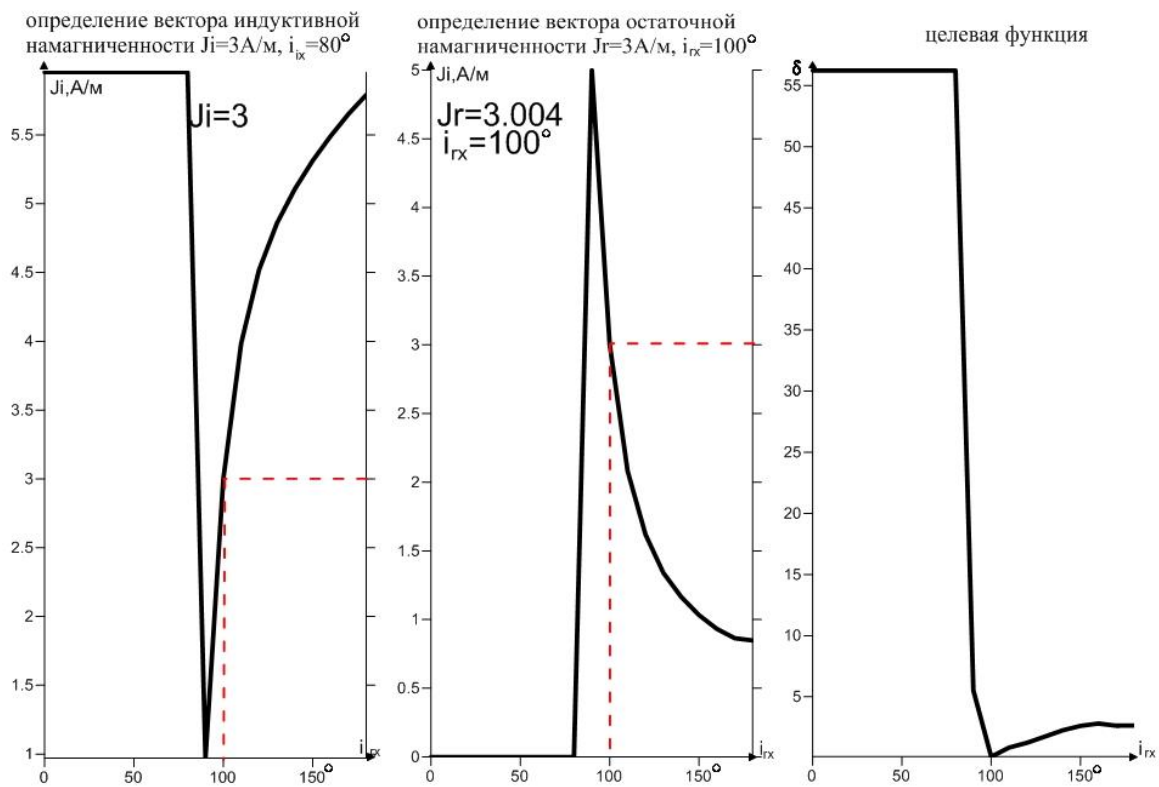


Figure 10 Determination of the magnetization vectors for the 2nd block

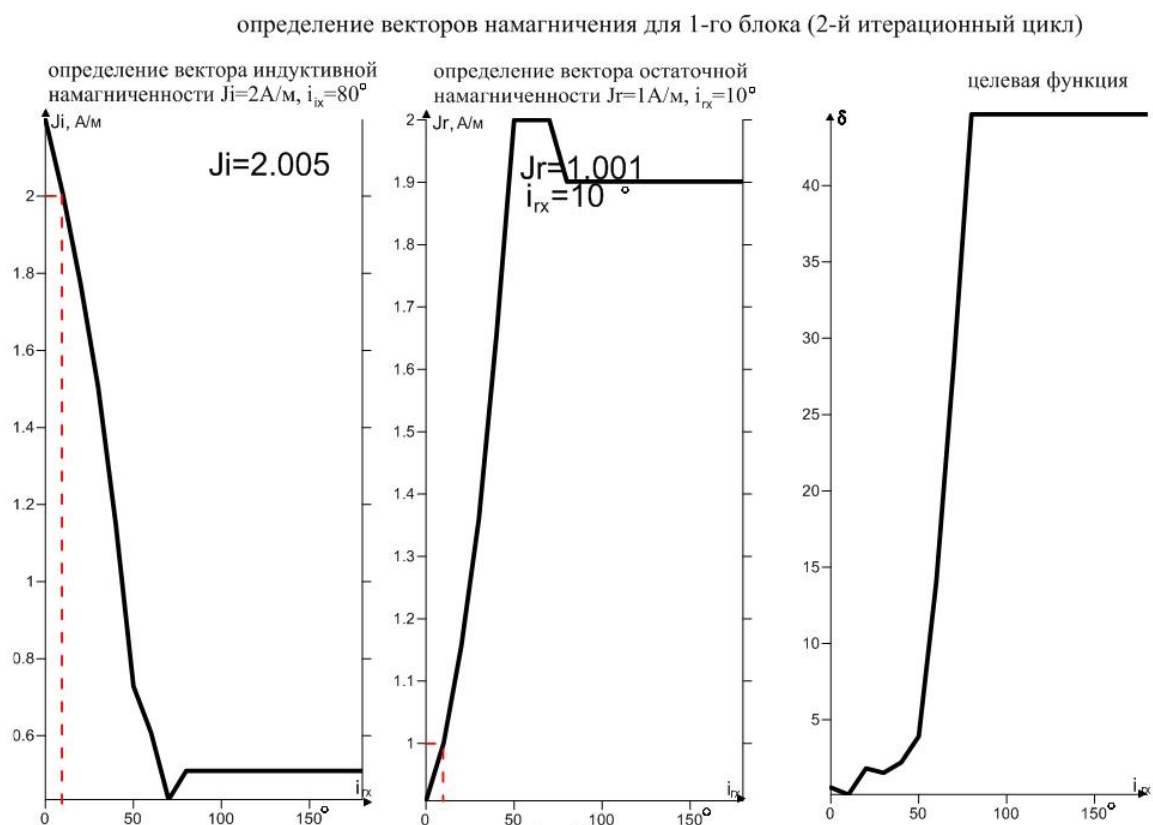


Figure 11 Determination of the magnetization vectors for the 1st block

Thus, the method of dividing the effective magnetization into two components , tested on **numerous** models: induced magnetization ($\vec{J}_i$), and residual ($\vec{J}_r$), allows to obtain **satisfactory** results and thereby improve the quality of interpretation of magnetic data.

4.2.2 Practical examples of use

In Figure 12, **Annex B** shows a practical example of building a geodensity (Figure 12, A) and geomagnetic models (Figure 12, B, C, D) in the northern part of the Pre-Verkhoyansk trough (Yakutia) according to seismic profile 140305. It has a block structure. It consists of sedimentary rocks (cover) of Permian, Triassic, Jurassic and Cretaceous ages of approximately the same composition: sandstones, clays, mudstones and, to a limited extent, carbonate rocks. Density characteristics (from top to bottom) increase from 2.54 g / cm³ to 2.66 g / cm³, and magnetic susceptibility varies from 0 to $2.5 \cdot 10^{-5}$ SI. The crystalline foundation is made of late Proterozoic rocks with superimposed volcano-plutonic belts of the early Proterozoic. A well was drilled in the section, revealing the

basement. According to the seismic profile, a geodensity structure and three geomagnetic models have been created.

On the geodensity model (Figure 12, A) the upper part (cover) is divided into two parts: the north-western part, falling on the Olenek uplift (PK 0 - 140 km) is relatively homogeneous and amounts to 2.74 g / cm^3 and the non-uniform southeast part (PK 140 - 280 km, which coincides in coordinates with the Pre-Verkhoyansk deflection, with a change in density from 2.54 to 2.66 g / cm^3 . The lower part of sedimentary sediments in the south - the eastern part of the section (from 240 km to the end of the section) is represented by increased density values from 2.64 to 2.76 g / cm^3 with a change in the direction of the density isolines up to the horizontal, which corresponds to the expected thrust formed by the folded formations of Verkhoyansk and Sette-Debansky anticlinorium. According to the structural-morphological features of the density field, the crystalline foundation is divided into three blocks: the first block (0-100 km) is characterized by a smooth increase in the density field to a depth (2.74 to 2.96 g / cm^3); the second block (100 - 280 km) is characterized by a wavy change in the increase in density to a depth (2.74 to 2.96 g / cm^3); the third block is also characterized by an increase in density to a depth, but with smaller values (from 2.72 to 2.76 g / cm^3).

Geomagnetic models are constructed in three versions: the field of effective magnetization, inductive and residual. The effective magnetization is determined by the vector sum of the inductive and residual magnetization. Inductive and residual magnetization are determined from the observed field. Without going into details of the geological and geophysical structure of this section, only new information obtained as a result of model interpretation is considered here (Figure 12, C, D). The subvertical distribution of the induced and residual magnetization isolines is in the central part of the section.

On the designed geomagnetic model with the obtained effective magnetization (Figure 12, B) in the upper part of the section is separately present only the thrust zone marked on the geodensity model. The lower part of the section (crystalline basement, the border is refined based on the solution of the inverse problem) is divided into four blocks according to the structural and morphological behavior of the isolines of the magnetization: the first block (from 0 to 90 km) is determined by two local anomalies of magnetization with increasing values from the periphery to the center from 0.55 to 0.6 A

/ m. The second block (from 90 to 200 km) is represented by a dome-shaped local anomaly with a decrease in the values of magnetization with a depth from 0.45 to 0.15 A / m and a subvertical apophysis breaking through the roof of the foundation. The third block (from 200 to 280 km) is characterized by two contiguous dome-shaped anomalies with increasing magnetization values to a depth of 0.55 to 1.3 A / m. The boundaries of the fourth block to the east extend beyond the section. A distinctive feature of the structure of this field of magnetization is determined by their low values (from 0.5 to 0.45 A / m).

Considering together all the geomagnetic models (Figure 12, B.V.G) it is clear that the most differentiated and non-uniform field of residual magnetization (Figure 12, D), which is the most sensitive to the structural-tectonic heterogeneity of the section. The vector picture of the residual magnetization field is rather ambiguous (the directions of the vectors are somewhat distorted, since the vertical scale is five times larger than the horizontal one), which indicates complex geological conditions during which the geological section was formed.

An in-depth geological analysis of the available materials will obviously make it possible to determine the conditions for the formation of the section over time and thereby improve the quality of the forecast when searching for mineral resources.