

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

Инженерная школа природных ресурсов
Специальность 21.05.03 «Технология геологической разведки»
Отделение Геологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Детальные геофизические исследования с целью оценки благородной минерализации ультраосновных-щелочных пород Крестовской интрузии

УДК 553.411:550.832-047.74 (571.51)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Темирханов Мансур Мубаширханович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Колмаков Юрий Викторович	К.Г.-М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По геологической части

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тимкин Тимофей Васильевич	К.Г.-М.Н.		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пожарницкая Ольга Вячеславовна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Татьяна Анатольевна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Немирович-Данченко Михаил Михайлович	д.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

<i>Код результата</i>	<i>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</i>
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и инженерные знания в профессиональной деятельности
P2	Анализировать основные тенденции правовых, социальных и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности, демонстрировать компетентность в вопросах здоровья и безопасности жизнедеятельности и понимание экологических последствий профессиональной деятельности
P3	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
P4	Идентифицировать, формулировать, решать и оформлять профессиональные инженерные задачи с использованием современных образовательных и информационных технологий
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	Разрабатывать технологические процессы на всех стадиях геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, внедрять и эксплуатировать высокотехнологическое оборудование
P6	Ответственно использовать инновационные методы, средства, технологии в практической деятельности, следуя принципам эффективности и безопасности технологических процессов в глобальном, экономическом, экологическом и социальном контексте
P7	Применять знания, современные методы и программные средства проектирования для составления проектной и рабочей документации на проведение геологической разведки и осуществления этих проектов
P8	Определять, систематизировать и получать необходимые данные с использованием современных методов, средств, технологий в инженерной практике
P9	Планировать, проводить, анализировать, обрабатывать экспериментальные исследования с интерпретацией полученных результатов на основе современных методов моделирования и компьютерных технологий
P10	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой для решения профессиональных инновационных задач в соответствии с требованиями корпоративной культуры предприятия и толерантности
P11	Проводить маркетинговые исследования и разрабатывать предложения по повышению эффективности использования производственных и природных ресурсов с учетом современных принципов производственного менеджмента, осуществлять контроль технологических процессов геологической разведки и разработки месторождений полезных ископаемых

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

Инженерная школа природных ресурсов
 Специальность 21.05.03 «Технология геологической разведки»
 Отделение Геологии

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

 (Подпись) (Дата) Немирович-Данченко М.М.
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
223Б	Темирханов Мансур Мубаширханович

Тема работы:

Детальные геофизические исследования с целью оценки благородной минерализации ультраосновных-щелочных пород Крестовской интрузии
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>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></p>	<p>Разработка комплекса геофизических критериев, применительно к поискам золото-платиноносности ультраосновных-щелочных интрузий Маймеча-Котуйской провинции, с характеристикой геологического строения площади, расчётами необходимых объёмов времени и средств, расчетом сметной стоимости работ, обоснованием мероприятий по охране труда и окружающей среды.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(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).</i></p>	<p>Географо-экономический очерк района работ и его краткая геолого-геофизическая изученность. Стратиграфия. Тектоника. Интрузивный магматизм. Полезные ископаемые. Задачи геофизических исследований. Объект исследований. Выбор методов и обоснование геофизического комплекса. Методика проектных геофизических работ. Метрологическое обеспечение работ. Интерпретация</p>

	геофизических данных. Специальное исследование. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность. Заключение.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Обзорная карта района работ, тектоническая схема, схематические геологические разрезы, схемы геолого-геофизической изученности.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Геология	Тимкин Тимофей Васильевич
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Пожарницкая Ольга Вячеславовна
Социальная ответственность	Задорожная Татьяна Анатольевна
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Колмаков Юрий Викторович	к.г.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Темирханов Мансур Мубаширханович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
223Б	Гемирханову Мансуру Мубаширхановичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение геологии
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	21.05.03. Технология геологической разведки

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчёт стоимости проектных полевых и камеральных работ при проведении геофизических работ, включающих в себя: гравиразведку, манниторазведку, гамма-спектрометрию. Общая стоимость геологоразведочных работ составила 2 885 268 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	СНОР-93, ССН-93, ССН-1, СФР №1

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала инженерных решений (ИР)	На основании геофизических методов прошлых лет. Оценка перспективности проектных полевых и камеральных работ при проведении геофизических работ на Крестовском участке
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	Расчет затрат времени на проведение геологоразведочных работ по ССН-1 и СФР №1
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР	Расчеты стоимости спецоборудования, расходуемых материалов, амортизационных отчислений.
4. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	Общий расчёт сметной стоимости комплекса геологоразведочных работ

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Отсутствует

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пожарницкая Ольга Вячеславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Гемирханов Мансур Мубаширханович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
223Б	Темирханову Мансуру Мубаширхановичу

Инженерная школа	ИШПР	Отделение (НОЦ)	геологии
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	Технология геологической разведки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования и области его применения</p>	<p>По административному делению площадь работ входит в Хатангский район Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа Красноярского края.</p> <p>По характеру рельефа площадь работ характеризуется интенсивно расчлененным низкогорным рельефом с абсолютными отметками вершин 250-400 м и глубоко врезанными речными долинами. Климат района резко континентальный. Зима продолжается 8-8.5 месяцев с середины сентября до начала июня. Лето короткое, но довольно теплое. Оно длится с конца июня до середины августа.</p> <p>Целью данной работы является разработка комплекса геофизических критериев, применительно к поискам золото-платиноносности ультраосновных-щелочных интрузий Маймеча-Котуйской провинции.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 	<p>Вредные факторы:</p> <p>Полевой этап:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Отклонение показателей микроклимата на открытом воздухе; 2) Превышение уровня ионизирующих излучений. 3) Тяжесть и напряженность физического труда 4) Повреждения в результате контакта с животными, насекомыми, пресмыкающимися <p>Камеральный этап:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Отклонение показателей микроклимата в помещении; 2) Недостаточная освещенность рабочей зоны. 3) Превышение уровней электромагнитных излучений
<p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>Опасные факторы:</p> <p>Полевой этап:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Электрический ток; 2) Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования. <p>Камеральный этап:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Электрический ток. <p>Для всех выявленных опасных и вредных факторов рассмотреть мероприятия по защите.</p>

<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 	<p>При геофизических исследованиях скважин возможно негативное воздействие на: Атмосферу, гидросферу, литосферу. Разработать решения по обеспечению безопасности окружающей среды.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>В данном разделе рассмотреть понятие «чрезвычайная ситуация» (ЧС); классификация ЧС и одно из самых распространённых ЧС на месторождении – пожар.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Порядок проведения геофизических работ. Социальный пакет сотрудников. Правила безопасности при геологоразведочных работах..</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Задорожная Татьяна Анатольевна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
223Б	Темирханов Мансур Мубаширханович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 122, 23 рис., 19 табл., 47 источников.

Ключевые слова: Хатангский р-он Таймырского автономного округа, Маймеча-Котуйская провинция, Крестовский интрузив, золото-платиноносность ультраосновных-щелочных интрузий, магниторазведка, гамма-спектрометрия, гравиразведка, съемка, интерпретация.

Объектом исследования являются золото-платиноносность Крестовского щелочно-ультраосновного интрузива.

Цель работы – разработка комплекса геофизических критериев, применительно к поискам золото-платиноносности ультраосновных-щелочных интрузий Маймеча-Котуйской провинции.

В процессе исследования проводились сбор и анализ геолого-геофизических материалов, выбор методов для проведения поисковых работ, составление проектно-сметной документации.

В результате исследования был выбран участок для проведения полевых работ комплексом методов, составлена априорная ФГМ объекта работ, выбрана методика и техника полевых работ, а также способы обработки и интерпретации геофизических данных.

В специальной части дипломного проекта рассмотрен вопрос о целесообразности внедрения в комплекс геофизических методов дополнительного метода для увеличения эффективности проводимых работ.

ESSAY

Graduation qualification work 122 pages, 23 pictures, 19 tables, 47 sources.

Keywords: Khatanga area of Taymyrski autonomous district , Maimecha-Kotui province, Krestovsky intrusion, gold-platinum of alkaline-ultrabasic intrusions, magnetic survey, gamma spectrometry, gravity survey, surveying, interpretation.

The object of research is gold-platinum of Krestovsky alkaline-ultrabasic intrusion.

The purpose of work is to develop complex of geophysical criteria, as it applies to the searches gold-platinum of alkaline-ultrabasic intrusions Maimecha-Kotui province.

During the research process, there were collected and analyzed geologyco-geophysical materials, also was chosen the methods of searching works and composing design estimate documentation.

The findings of study were used to choose the area for fieldworks with a complex of methods, were created a priori FGM of objects of works, also was chosen the procedure of fieldworks and hardware for it, and the ways to analyze and interpretate the geophysical matters.

In Special part of my graduation work there were raised question about the possibility of adding other methods in complex of geophysical methods to increase the effectivity of fieldworks.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ	2
ЗАДАНИЕ на выполнение ВКР	3
РЕФЕРАТ	8
ВВЕДЕНИЕ.....	11
3. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАНЕЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	12
4. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	25
4.1. Выбор участка работ	25
4.2. Априорная ФГМ объекта и задачи работ	26
4.3. Выбор методов и обоснование геофизического комплекса	27
5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ.....	30
5.1. Методика и техника полевых работ	30
5.2. Метрологическое обеспечение проектируемых работ	35
5.3. Топогеодезические работы	36
5.4. Камеральные работы	38
5.5. Интерпретация геофизических данных	43
6. СПЕЦИАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ	48
6.1. Внедрение канадского гравиметра AUTOGRAV CG-5.....	48
6.2. Гравиметр AUTOGRAV CG-5.....	49
6.2.1. Краткое описание принципов работы гравиметра AUTOGRAV CG-5	51
6.3. Плано-высотное обеспечение геофизических работ.....	54
6.3.1. Введение в основы системы GPS	54
6.3.2. Компоненты GPS картографических систем	59
6.3.3. Дифференциальная коррекция	60
6.3.4. Параметры сбора данных	61
6.3.5. Процедуры сбора данных.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Щелочно-ультраосновные породы Маймеча-Котуйской провинции вызывают повышенный интерес уже на протяжении многих лет в силу уникальности своего петрографического состава и потенциальной рудоносности. Несмотря на достаточно хорошую изученность и многочисленные публикации в литературе, проведение более тщательных геологических исследований в регионе выявляет все новые объекты проявления данных образований и дополнительные аспекты их строения.

Крестовский щелочно-ультраосновной интрузив, расположенный в 170 км юго-западнее п.Хатанга, был обнаружен и получил свое название, в результате проведения комплексных аэрогеофизических работ, выполненных коллективом геофизической партии ЦАГРЭ в 1995-96 г.г. на Гулинской площади при создании геофизической основы для геологического картирования и поисков масштаба 1:50000. По результатам наземных заверочных, лабораторных и аналитических исследований было высказано предположение о высокой перспективности Крестовской интрузии на обнаружение благороднометалльного и редкоэлементного оруденения.

Целью данной работы является разработка комплекса геофизических критериев, применительно к поискам золото-платиноносности ультраосновных-щелочных интрузий Маймеча-Котуйской провинции. За основу были приняты материалы: комплексной интерпретации гравиметрической съемки масштаба 1: 50 000 на Гулинской площади, проведенной в 1996-2000 гг. ГПП ЦАГРЭ, в том числе, детальных работ на Крестовском интрузивном массиве; комплексной аэрогеофизической съемки масштаба 1:20 000 на Гулинской площади с целью оконтуривания Крестовского щелочно-ультраосновного интрузива, проведенной в 1999 г. Геофизической комплексной партией ЦАГРЭ; детальных геофизических работ Геофизической партии ПО «Норильскгеология» 1999 года; комплексных тематических исследований, проведенных в 1999-2000 г.г. на участке Крестовском, результаты которых отражены в отчете А.М. Сазонова (2001 г.).

Для достижения поставленной цели был намечен ряд задач, основная из которых – выделение необходимого комплекса геофизических исследований, а так же обоснование оптимальных методик их использования.

К числу других задач, подлежащих решению, определены связанные с изучением структуры геофизических полей изучаемого объекта, созданием петрофизической основы для определения природы геофизических аномалий и их корректной интерпретации (выделение петрофизических комплексов) и как итог построение физико-геологической модели обстановки благороднометалльной минерализации в пределах Крестовского массива.

3. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ РАННЕ ПРОВЕДЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ гравиметрических материалов. Гравитационное поле в региональном плане (рис. 3.1) в целом представляет собой высокоинтенсивную и высокоградиентную региональную аномалию, практически, без выхода в нормальное поле.

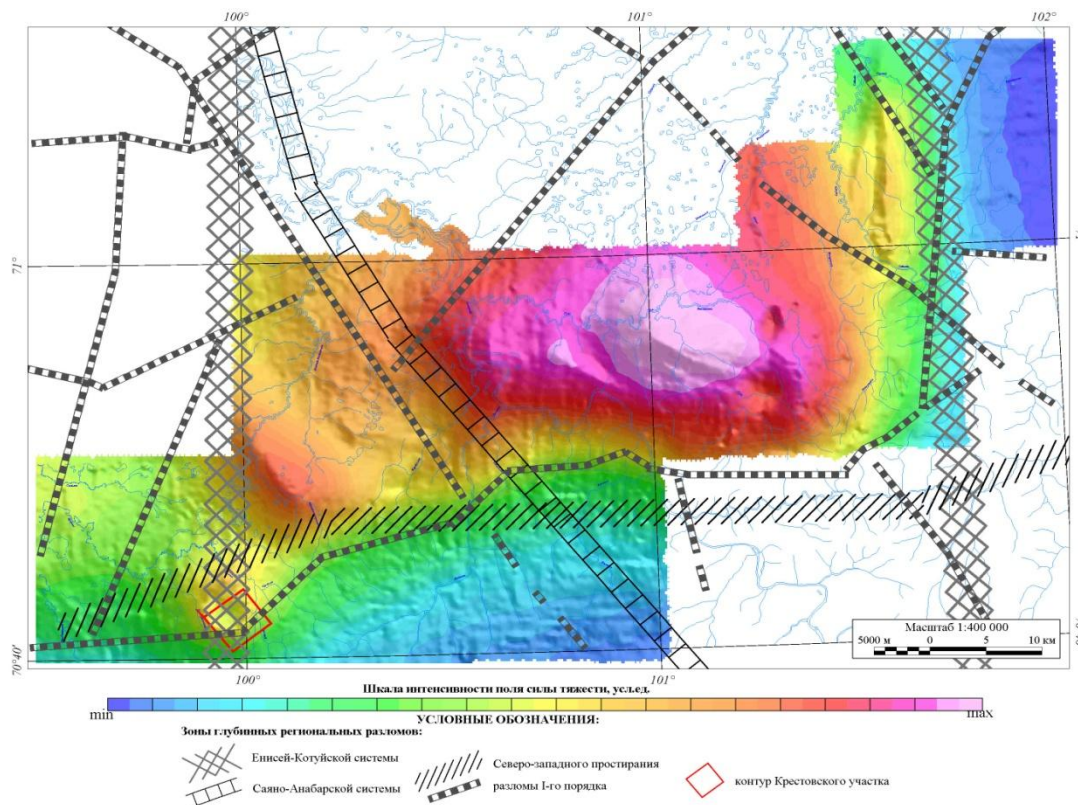


Рисунок 3.1 – Региональная карта поля силы тяжести

Очень высокая интенсивность суммарной Гулинской гравиметрической аномалии объясняется влиянием глубинных корней интрузии.

Гравитационное поле разделяется на две области:

- область положительных значений, занимающая центральную и северо-западную части площади и характеризующаяся сильно дифференцированным полем высокой интенсивности;
- область отрицательных значений, с относительно слабо дифференцированным малоинтенсивным полем, которая занимает восточную и южную части планшета.

Первая область соответствует собственно Гулинскому интрузивному массиву, вторая – вмещающей вулканогенно-осадочной толще. Границами между этими областями выступают региональные глубинные разломы I-го порядка: субмеридиональный разлом Саяно-Анабарской системы (Маймеча-Котуйский разлом) (Лазарев, 1998) и разлом северо-восточного простирания, относящийся к Енисей-Котуйской системе (Боганидский разлом по Четвергову А.П., 1978).

Зона глубинного разлома I-го порядка Енисей-Котуйской системы (Боганидский разлом) характеризуется сложной и интенсивной гравитационной ступенью и прослеживается от

верховьев р. Сабыда на юго-востоке площади до г. Крестовая на юго-западе, и, далее, пересекая р. Большая Романиха, уходит за пределы площади.

Аномалия от Гулинского плутона осложнена целым рядом положительных и отрицательных локальных аномалий, связанных с интрузивными телами и зонами метасоматитов, контрастно проявляющимися в гравитационном поле. Локальными аномалиями отражаются следующие основные геологические объекты (структурно-вещественные комплексы):

–Штоки и дайки неизмененных гипербазитов, штокообразные тела щелочных ультрамафитов и метасоматитов – положительными аномалиями.

–Штоки карбонатитов и зоны изменения ультрамафитов, сопровождающиеся понижением плотности – отрицательными аномалиями.

Крестовская интрузия выделяется в гравитационном поле наиболее выразительно. Различие в плотности плутонических ультраосновных пород с вмещающими эффузивами в среднем $0,3 \div 0,4 \text{ г/см}^3$ (рис. 3.2). Это привело к образованию контрастной аномалии силы тяжести, по которой можно судить об общей конфигурации интрузии и её границах. Интрузия имеет слабовыраженную эллипсоидальную форму, вытянутую в субмеридиональном направлении с осями 6 и 5 км.

Структура гравитационной аномалии осложнена наличием изометричного минимума второго порядка в центральной её части и локальными минимумами более высокого порядка на северо-западе и северо-востоке.

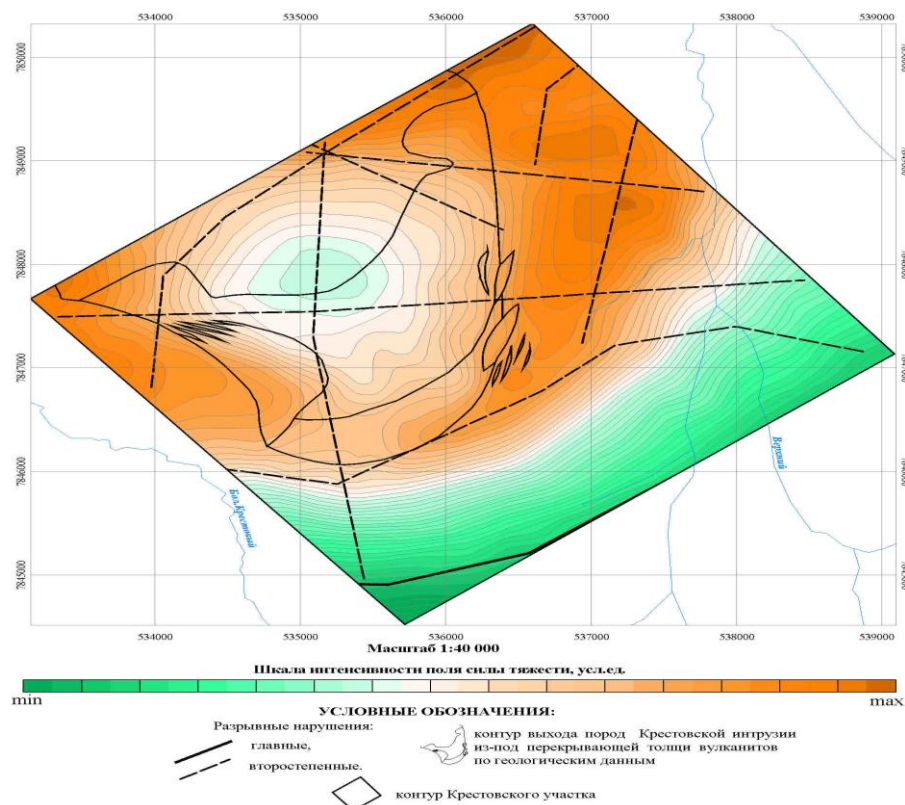


Рисунок 3.2 – Поле силы тяжести Крестовского участка

Анализ магнитного поля. Магнитное поле регионального плана (рис. 3.3) разделяется на три области – центральную (восточнее р. Маймеча до руч. Олений), которая характеризуется сложным, высокоинтенсивным полем с рядом линейных и изометричных аномалий разных знаков; северо-западную (район р. Контай-Балаганах), характеризующуюся спокойным интенсивным положительным полем; и третью область, занимающую южную и восточную части участка, которая характеризуется спокойным, знакопеременным полем, интенсивностью от - 500 до 500 нТл (Лазарев, 1998).

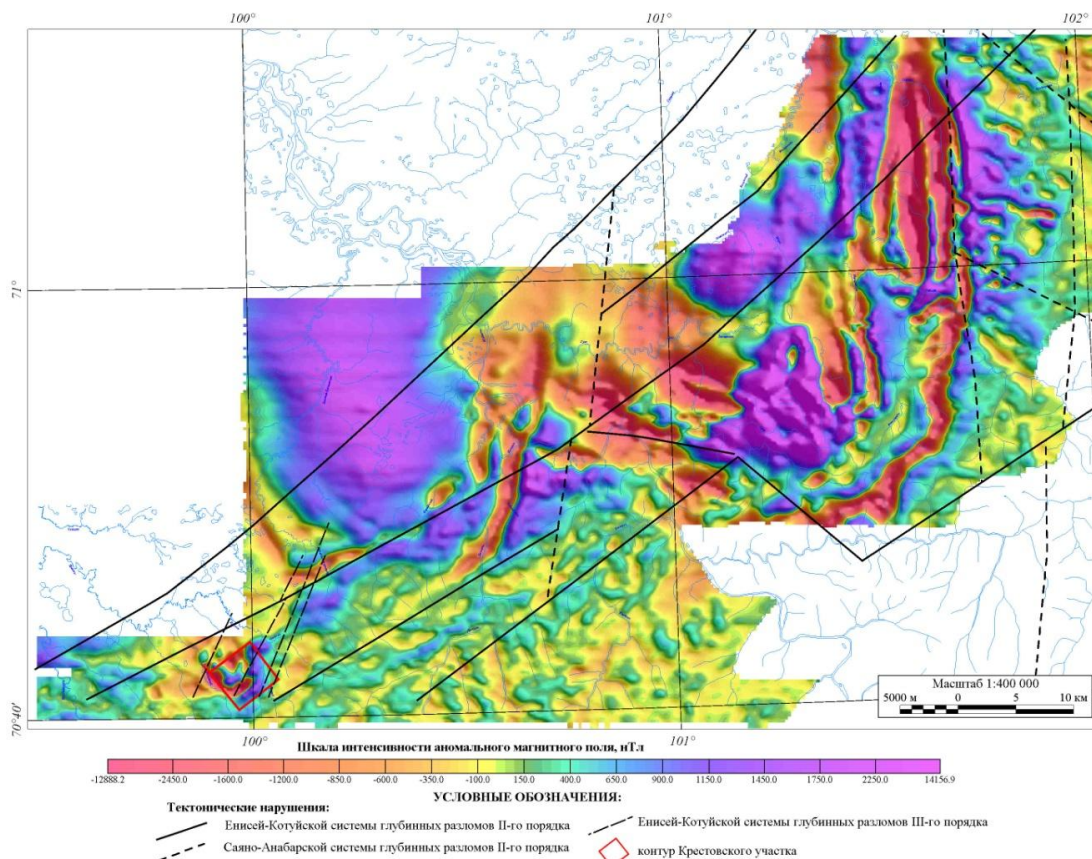


Рисунок 3.3. – Региональная карта аномального магнитного поля

Линейными интенсивными отрицательными аномалиями (менее 2000 нТл), сопряженными с интенсивными положительными (более 2000 нТл) на востоке площади выделяется зона граничного глубинного разлома Саяно-Анабарской системы.

Зона граничного разлома Енисей-Котуйской системы выделяется менее контрастно серией линейных, вытянутых в северо-восточном направлении аномалий, прослеживаемых от Крестовского интрузива.

Магнитная аномалия Крестовского массива имеет изометричную форму диаметром около пяти километров, осложнённую несколькими апофизами в северо-западном и северо-восточном направлениях. Северо-западная и северо-восточная границы аномалии являются практически прямыми линиями, что свидетельствует о тектоническом характере контакта интрузива.

Высокоградиентное знакопеременное магнитное поле в пределах контура массива (рис. 3.4) и геологические данные о составе пород говорят о резкой неоднородности интрузивного тела.

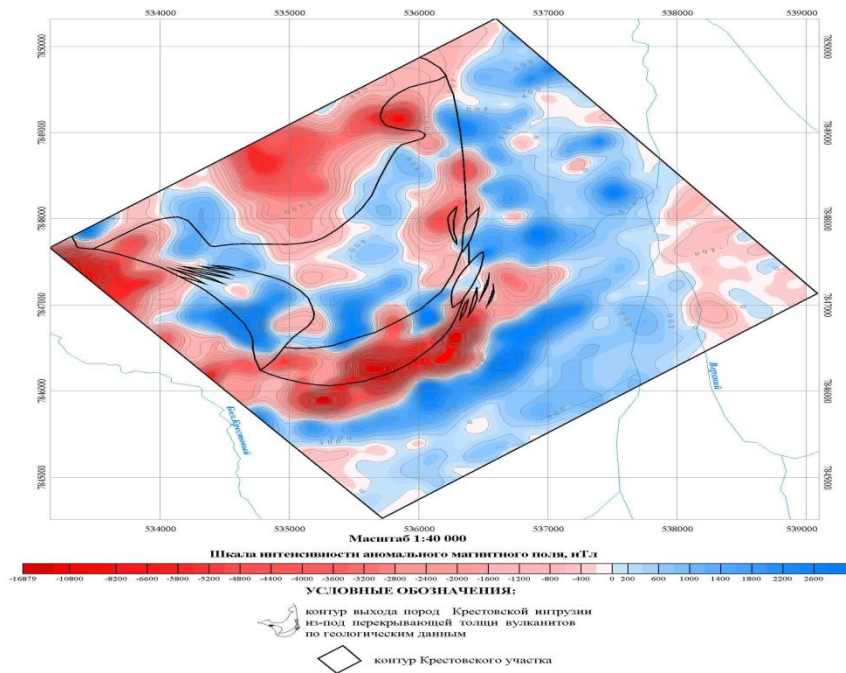


Рисунок 3.4 – Аномальное магнитное поле Крестовского участка

Комплексный анализ геофизических материалов по гравитационным и магнитным данным. Крестовский интрузивный массив ультраосновных и щелочно-ультраосновных пород характеризует положительная магнитная аномалия (до 2000 нТл), осложненная контрастной отрицательной интенсивностью до $-10\,000$ нТл, которая совпадает с локальной положительной гравитационной аномалией интенсивностью до 10 мГл. Площадь магнитной и гравитационной аномалий значительно превышает площадь выхода пород массива на поверхности по геологическим данным, что свидетельствует о слабой эродированности.

От него прослеживается серия линейных, вытянутых в северо-восточном направлении, отрицательных магнитных аномалий, сопряженных с зонами прямолинейного простирания изолиний локального гравитационного поля. Они интерпретируются как дизъюнктивные нарушения II-го порядка, входящие в зону Боганидского глубинного разлома. Зона разлома шириной 10–12 км состоит из серии тектонических нарушений, ориентированных в основном в северо-восточном направлении. Субмеридиональными разломами зона делится на ряд кулисообразно расположенных сегментов, что свидетельствует о наличии, наряду с вертикальными подвижками, и горизонтальных деформаций.

С целью контрастного расчленения пород, слагающих Крестовский интрузив, был произведен расчёт вертикальной производной магнитного поля и псевдоплотностной характеристики приповерхностного слоя (Лазарев, 1999). Сопоставление полученных результатов с данными о физических свойствах горных пород района, позволило выделить в пределах контура массива три разновидности пород с отличающимися магнито-плотностными характеристиками.

Основная масса интрузива, характеризующаяся общим повышением магнитного поля и незначительным повышением эффективной плотности, интерпретируется как оливиниты, дуниты.

По периметру массива располагаются вытянутые высокоградиентные отрицательные магнитные аномалии, совпадающие со значительными повышениями псевдоплотности, что соответствует петрофизической характеристике рудных пироксенитов. Пироксениты, не содержащие рудного вещества, отмечаются понижением псевдоплотности.

Третья разновидность пород, пространственно приуроченная к геометрическому центру интрузии, характеризуется пониженной псевдоплотностью и не вносит существенного вклада в значения магнитного поля. В связи с тем, что центральная часть массива перекрыта современными отложениями, можно предположить несколько вариантов вещественного состава данной разновидности. Во-первых, возможно присутствие в основной массе интрузива ксенолита вмещающих пород или фрагмента обрушенной кровли магматической камеры. Во-вторых, по аналогии с Гулинским массивом, возможно, предположить наличие карбонатитового тела как крайнего магматического дифференциата. Аналитическое продолжение потенциальных полей в нижнее полупространство продемонстрировало наличие объемного немагнитного тела пониженной плотности, имеющего распространение на глубину до 1,5 км. Подобными свойствами обладают карбонатиты Гулинского массива (Лазарев, 1998).

Трактовка геологических образований, выделенных по магнито-плотностным характеристикам, может быть неоднозначной. С целью повышения достоверности результатов интерпретации должны быть привлечены данные гамма-спектрометрии. Совместный анализ распределения ЕРЭ и результатов интерпретации потенциальных полей позволит наиболее подробно охарактеризовать геологическую обстановку территории, уточнить границы геологических объектов на дневной поверхности и выявить участки эпигенетических преобразований горных пород.

Анализ радиогеохимических данных. Анализируя наблюденные значения концентраций ЕРЭ (рис. 3.5–3.8), можно выделить некоторые особенности их распределения, геологического содержания:

–Крестовский интрузив картируется значительным понижением концентрации калия, аномально высокими и неравномерными распределениями Th и U, что подтверждает неоднородность и зональное строение массива:

–пропорциональным повышением ЕРЭ отмечаются неизменённые отложения тыванкитской толщи;

–ороговикование эффузивов в экзоконтактовой части массива отображается дугообразными, протяжёнными аномалиями калия и соответствующими повышениями концентрации урана и тория.

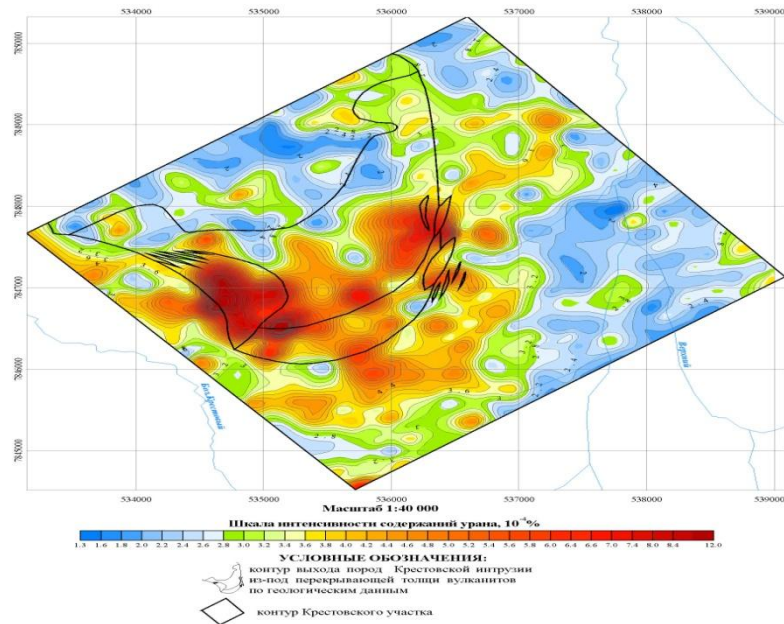


Рисунок 3.5 – Карта содержаний урана

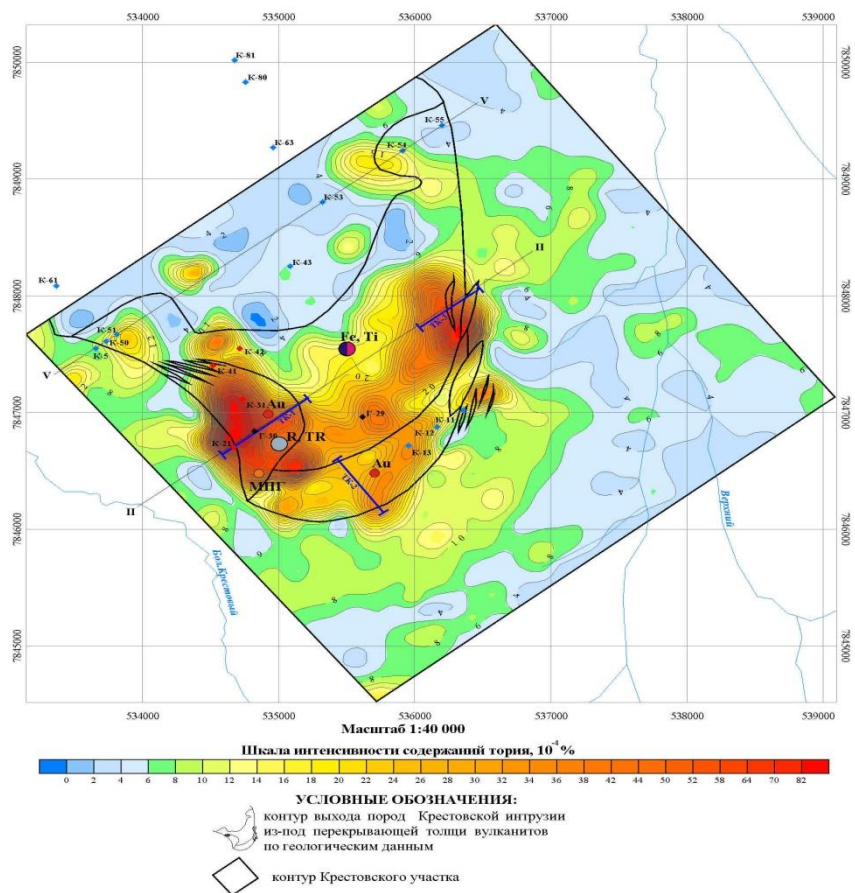


Рисунок 3.6 – Карта содержаний тория

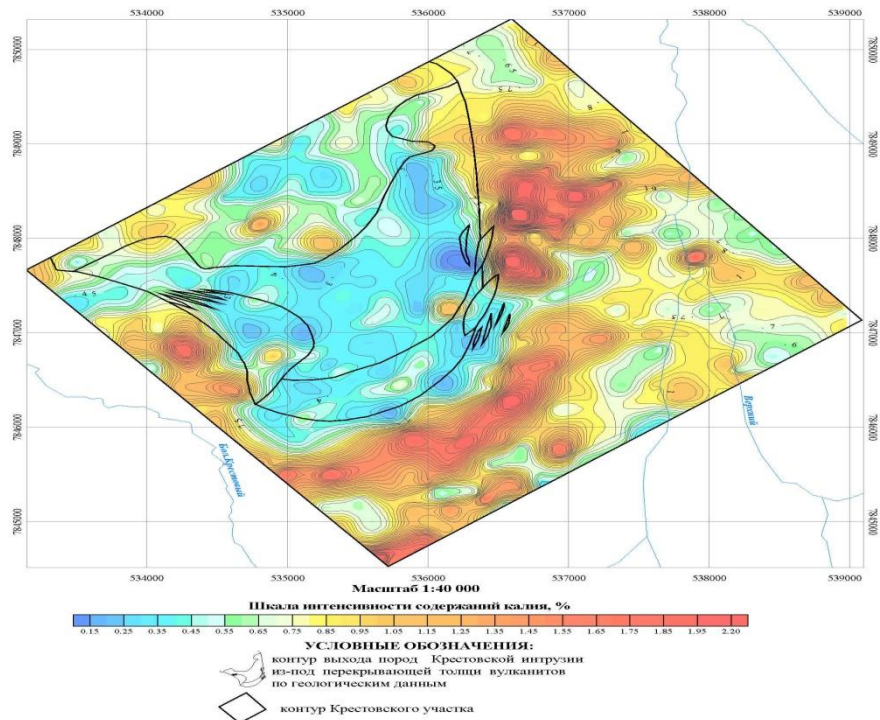


Рисунок 3.7 – Карта содержаний калия

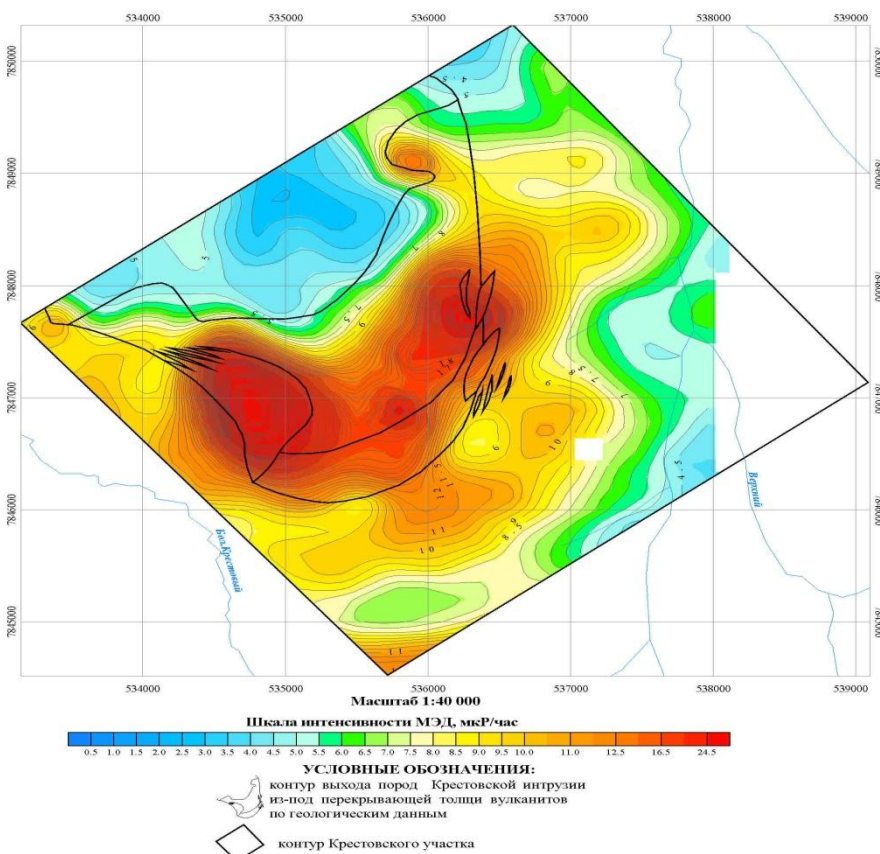


Рисунок 3.8 – Карта мощности экспозиционной дозы

Зарегистрированное гамма-поле (Лазарев, 2000) позволяет разделить площадь на две части - северо-западную и юго-восточную (рис. 3.8). Северо-западная часть участка исследований характеризуются аномально-пониженными значениями гамма-активности и являются площадью распространения четвертичных отложений различной степени

обводнённости. Обнажённость юго-восточной части площади значительно выше, это обстоятельство позволяет в полном объёме применять принципы радиогеохимического картирования.

В целом, высокая радиоактивность интрузии не характерна для пород ультраосновного состава. Наличие значительных концентраций тория и урана свидетельствует о том, что на дневной поверхности вскрыта незначительная апикальная часть интрузива, содержащая эти элементы, как в рассеянной форме, так и в виде изоморфных примесей в минералах.

Следует отметить явную линейную зависимость содержаний урана и тория, которая свидетельствует о том, что выделенные разновидности пород являются продуктами дифференциации единого исходного расплава. В пользу этого утверждения также говорит наличие пород смешанного состава.

Основываясь на том, что радиоактивность пород возрастает от ранних дифференциатов к поздним (Вахромеев, 1977), возможно реконструировать четыре стадии становления интрузива. Кристаллизация началась с основной массы оливинитов. Во вторую стадию раскристаллизовались пироксениты. Третья стадия завершается становлением тел мелилитолитов с максимальной концентрацией тория. Это объясняется переходом урана в шестивалентное состояние на заключительных этапах магматической деятельности и его большая миграционная способность. На четвёртой стадии становления происходило внедрение даек и жил щелочных сиенитов и кварцевых щелочных сиенитов. К сожалению, эти породы не отобразились в геофизических полях в силу их незначительных размеров.

Стадийность становления интрузива логично дополняют карбонатиты с ещё более высоким содержанием тория.

Анализ и геологическое истолкование геофизических данных. Основными региональными факторами, определяющими строение Крестовского интрузива и специализацию его на полезные ископаемые, являются:

1. Расположение в узле пересечения региональных разломов субширотного и меридионального простирания.
2. Приуроченность к южному контакту Романихинско-Гулинского мегаблока гипербазит-базитового состава с породами северного склона Тунгусской синеклизы.
3. Генетическая связь с породами центральной Гулинской интрузии.

Крестовский массив, рассматриваемый по совокупности данных как интрузия центрального типа, принадлежит маймеча-котуйской провинции и тектонически связан с центральным Гулинским плутоном через зону субширотных-северо-восточных разломов.

При сопоставлении Крестовской и Гулинской многофазных интрузивов, отчетливо видно подобие этих массивов, проявляющееся в геофизических полях, связанных с ними. Но на

Гулинском интрузивном массиве проявлены семь фаз ультраосновного-щелочного магматизма и вскрыты карбонатитовые штоки. На Крестовском участке по гравиметрическим данным подобный шток предполагается на глубине свыше 400 м. По-видимому, уровень эрозионного среза Крестовского интрузива по сравнению с Гулинским значительно меньше. По мнению авторов отчета (Кошевой, 2002), г.Крестовая представляет собой юго-восточный блок апикальной части многофазного интрузивного массива, северо-западный блок опущен и скрыт под четвертичными отложениями и толщей вулканитов небольшой мощности.

Для Крестовского массива преобладающими являются кольцевые и радиальные направления разрывной тектоники. Метасоматическая деятельность в пределах массива контролируется этими структурами.

В региональном плане, при анализе гравитационного и магнитного полей, Крестовская интрузия представляется массивом, сложенным интенсивно - и обратно - намагниченными породами аномально высокой плотности, соответствующими по физическим свойствам рудным клинопироксенитам и перидотитам. Отрицательная аномалия силы тяжести второго порядка, как уже говорилось, объясняется предполагаемым штокообразным телом пониженной плотности. Положительные магнитные аномалии второго порядка в центре массива связаны с распространением рудных оливинитов и мелилитолитов. Источники положительных магнитных аномалий имеют относительно небольшое распространение на глубину (до 600м) и связаны, вероятно, с дифференциатами в верхней части интрузивного массива.

Слабоположительное спокойное магнитное поле отражает распространение комплекса пород, преимущественно, оливинитового состава. Слабоотрицательное магнитное поле при понижении интенсивности гравитационного в восточном и южном углах детального участка связано с возрастанием мощности толщи вулканитов, перекрывающих интрузию. Сочетание интенсивного отрицательного магнитного поля и пониженного гравитационного на западе участка связано, по-видимому, с блоком серпентинитов по рудным клинопироксенитам с аномально низкой для них плотностью.

По радиогеохимическим характеристикам Крестовская интрузия подобна центральной Гулинской, но есть и некоторые различия. Аномалии радиоактивности над Крестовским массивом более интенсивны, чем над гулинскими карбонатитовыми штоками. Природа радиоактивности тоже несколько отличается: при общем характере торий - и торий-урановой природы аномалий, на Крестовском участке отсутствуют аномалии существенно урановой природы. Это указывает на различные типы минерализации, несущие радиоактивные элементы.

При выполнении задачи оконтуривания мелилитолитовых пород по геофизическим данным, выяснилось, что этот интрузивный комплекс в грави-магнитных полях однозначно не проявляется. Контур мелилитолитов и сходных с ними по комплексным геофизическим

характеристикам пород оттрассирован по корреляции таких геофизических признаков, как торий-урановое, калий-урановое отношение и вертикальный градиент поля силы тяжести. Контуры мелилитолитоподобных (по геофизическим характеристикам) пород в областях распространения других структурно-вещественных комплексов (рудных клинопироксенитов и оливинитов) связаны, по-видимому, с зонами метасоматической деятельности, контролирующей размещение радиоактивной и редкой минерализации.

Перспективы Крестовского интрузивного массива на поиски месторождений полезных ископаемых. С Крестовским массивом могут быть связаны традиционные для интрузий центрального типа полезные ископаемые: редкие элементы, Ta-Nb, апатит и флогопит. В этом смысле представляется важным слабая эродированность Крестовского интрузива. Дополнительным фактором, повышающим перспективы площади нахождение месторождений полезных ископаемых, являются региональные зоны разломов, в узле которых находится Крестовская интрузия. Как известно из литературы (Малич, 1997), месторождения полезных ископаемых, характерные для ультраосновных-щелочных массивов центрального типа, могут быть удалены от них на значительные расстояния и контролироваться зонами тектонических нарушений.

Генетическая связь благороднометального оруденения с массивами дифференцированных гипербазитов подробно освещена в отчёте Ф.Д. Лазарева (1998).

Связывая накопление основного объёма рудного вещества с завершающими стадиями становления интрузива, можно локализовать направление прогнозного анализа на области распространения мелилитовых пород и пироксенитов. Приведённая выше физико-радиогеохимическая характеристика названных пород свидетельствует о различной природе их радиоактивности.

В результате трансформирования исходных полей рассчитаны следующие параметры (Лазарев, 2000):

- коэффициент ковариации надфоновой составляющей урана и второй вертикальной производной магнитного поля как индикатор неоднородного строения пироксенитов;
- коэффициент ковариации надфоновой составляющей тория и второй вертикальной производной магнитного поля как характеристика строения мелилитовых пород;
- коэффициент ковариации модуля «D» и второй вертикальной производной магнитного поля в качестве общего показателя неравновесного соотношения физико-радиогеохимических свойств горных пород.

Локальная составляющая псевдоплотностного поля.

Наложение рассчитанных трансформационных параметров (рис 3.9) позволило выделить три участка совмещения аномалий в южной части массива. Наиболее контрастным

является участок №1, что позволило присвоить ему высокую степень перспективности на обнаружение золото-платинового оруденения. По данным ПО «Норильскгеология», в районе этого участка отобрана проба протолочка № 2784 с содержанием золота 16 г/т и технологическая проба Т-2 с содержаниями Pt до 50 г/т, Rb до 0,7 г/т, Rh до 0,2 г/т, Ir до 8 г/т, Ru до 0,8 г/т (Сазонов, 2001), что служит подтверждением сделанного вывода. На участках № 2 и 3 совмещаются менее контрастные аномалии, расположенные на площади главного мелилитового тела. Перспективность этих участков так же подтверждается высоким содержанием благородных металлов в отобранных пробах (Сазонов, 2001).

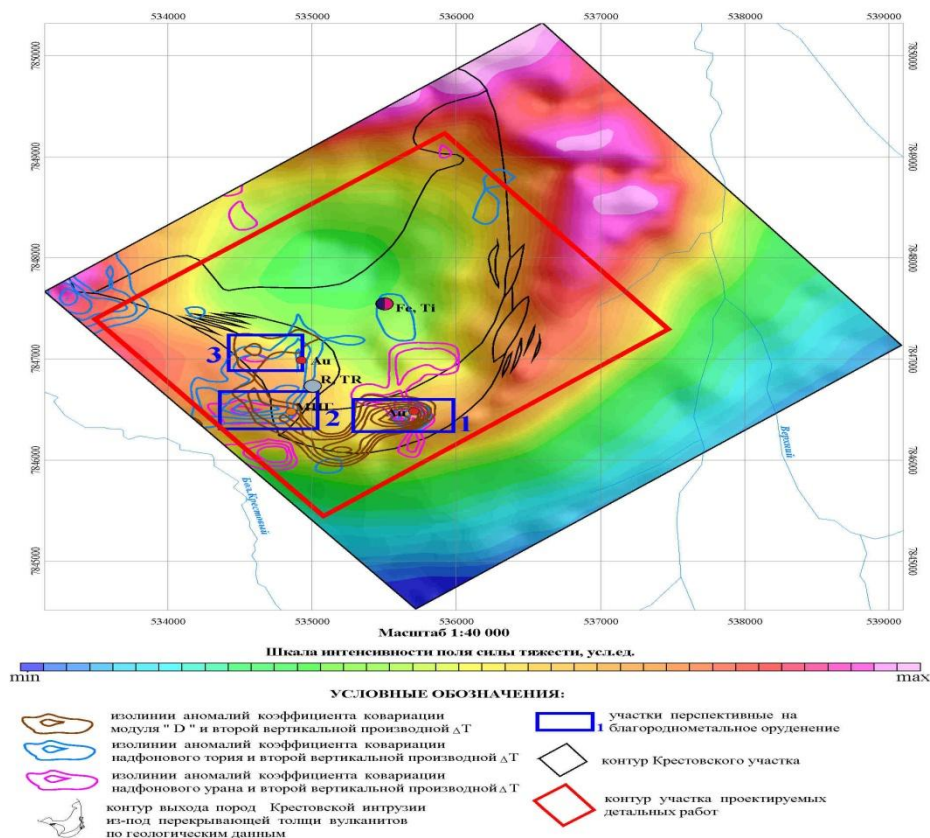


Рисунок 3.9 – Карта совмещения трансформационных геофизических параметров

Кроме того, обращают на себя внимание две крупные аномальные области коэффициента ковариации тория и второй вертикальной производной магнитного поля в юго-западной части интрузива. Аномалии соответствуют двум крупным телам мелилитолитов: главного, вскрытого на поверхности, и западного, погребённого под чехлом четвертичных отложений.

В горных породах торий и уран присутствуют в трёх формах: в виде собственных минералов, в изоморфной примеси минералов и в рассеянной форме (Вахромеев, 1997). Преобладающими являются вторая и третья формы их нахождения. Следует отметить, что в рассеянной форме торий и уран наиболее подвижны и способны выщелачиваться при наложении метаморфических процессов, что объясняет насыщение этими изотопами экзоконтактной части Крестовского интрузива.

Наибольший интерес представляет изоморфная форма нахождения тория и урана. В силу того, что торий и уран имеют относительно большой ионный радиус, они не в состоянии изоморфно замещать петрогенные элементы породообразующих минералов, но широко распространён изоморфизм с редкоземельными элементами, лантаноидами и элементами других периодов: Ti, Zr, Hf, V, Nb и Ta (Вахромеев, 1997). На основании сказанного, возможно предположить наличие редкоземельной и благороднометальной минерализации в мелилитовых породах, что подтверждается результатами нейтронно-активационного анализа (Лазарев, 1998).

Перспективность Крестовского интрузива значительно возрастёт в случае подтверждения буровыми работами предположения о наличии карбонатитового тела в центре массива, так как верхняя апикальная часть карбонатитового тела может содержать значительный объём редкоземельной минерализации (Смирнов, 1989).

К основным результатам анализа геофизических работ прошлых лет можно отнести:

– размещение интрузива контролируется дизъюнктивами Енисей-Котуйской системы глубинных разломов;

– Крестовский интрузив имеет общий магматический очаг с Гулинским интрузивом и обладает подобным строением;

– породы, слагающие массив, являются продуктами дифференциации исходного вещества на этапе его становления и имеют зонально-концентрическое строение;

– незначительный уровень эрозионного среза предполагает сохранность участков рудной минерализации;

– мелилитовые породы, в целом, обладают высокой перспективой обнаружения редкоземельного и благороднометального оруденения;

– в центральной части массива возможно нахождения карбонатитового тела, насыщенного редкоземельной минерализацией;

– в пределах интрузива выделены три участка, имеющие перспективы на благороднометального оруденение.

4. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

4.1. Выбор участка работ

Оценкой перспектив Крестовской интрузии на благороднометальное оруденение в период с 1999–2000 гг. занимались коллективы ГПП ЦАГРЭ (Лазарев Ф.Д.), геофизической и Полярной партий ПО “Норильскгеология” (Трофимов В.Р.) и КГАЦМиЗ (Сазонов А.М.).

В отчете Лазарева Ф.Д. (1999г.) по результатам анализа комплексных статистических характеристик геофизических полей: коэффициентов ковариации модуля “Д” и второй вертикальной производной ΔT ; надфонового тория и второй вертикальной производной ΔT ; надфонового урана и второй вертикальной производной ΔT , выделены три участка, перспективных на благороднометальное оруденение (рис.3.9). Участки расположены в пределах тела клинопироксинитов в южном контакте интрузии (участок №1) и главного мелилитолитового тела (участки №2 и 3).

В информационных отчетах ПО “Норильскгеология” приводятся результаты анализов технологических проб основных разновидностей пород интрузии и делается вывод о перспективности мелилитовых пород на благородную минерализацию.

В отчете (2000г) и монографии (2001г) А.М.Сазонова и соавторов (8, 7), говорится, что золото и платиноиды обнаружены во всех породах интрузии, но практический интерес для опоскования представляют мелилитолиты, мелилитсодержащие ультрамафиты, монтичеллитолиты, карбонатиты, и рудные клинопироксениты. Геологически выдержанные тела образуют мелилитолиты и монтичеллитолиты, площадь выходов которых составляет 0,8км². Наиболее устойчивые концентрации в породах–рудах обнаруживают платина, палладий и иридий.. Характерной чертой пород массива является обогащение их редкоземельными элементами цериевой группы: лантаном, церием, неодимом, европием, а также танталом и, возможно, ниобием. Наиболее высокие концентрации суммы лантаноидов приурочены к участкам распространения мелилитолитов и рудных пироксенитов с перовскитовой минерализацией, достигая в мелилитовых породах 0,31%, а в рудных пироксенитах – 0,39 %.

Таким образом, Крестовская интрузия ультраосновных щелочных пород содержит комплексные руды благородных и редких металлов, которые связаны с мелилитолитами, мелилитсодержащими ультрамафитами и рудными пироксинитами. Следовательно, участок комплексных детальных (м-б 1:5000) геофизических работ (рис.1.3.2) необходимо разместить в месте распространения рудных клинопироксенитов и мелилитолитовых тел, с целью уточнения их границ и внутреннего строения. Так как формы мелилитолитовых тел – главного и малых восточных – близки к изометричным, направление профилей (310°) задано таким образом, чтобы они проходили вкрест простирания тела клинопироксенитов. Площадь участка проектируемых работ составит 7.5км².

4.2. Априорная ФГМ объекта и задачи работ

Результат моделирования геолого-геофизического разреза через центральную часть Крестовского интрузива по профилю 6 представлен на рис. 4.2.1. Здесь сохранены основные элементы глубинного строения объекта, принятые при построении региональной модели: предполагается, что видимая часть интрузии в виде горста отделяется на уровне 1000–1500 м от основного интрузива и выходит на поверхность в виде блока размером 2,5х3 км. Периферия интрузива, повторяя гравитационный кольцевой максимум, сложена плотными породами – клинопироксенитами и перидотитами. Они же дают интенсивные отрицательные магнитные аномалии. Дополнительный гравитационный эффект создается высокоплотными мелилитолитами ($3,32 \text{ г/см}^3$), но имеющими положительную намагниченность.

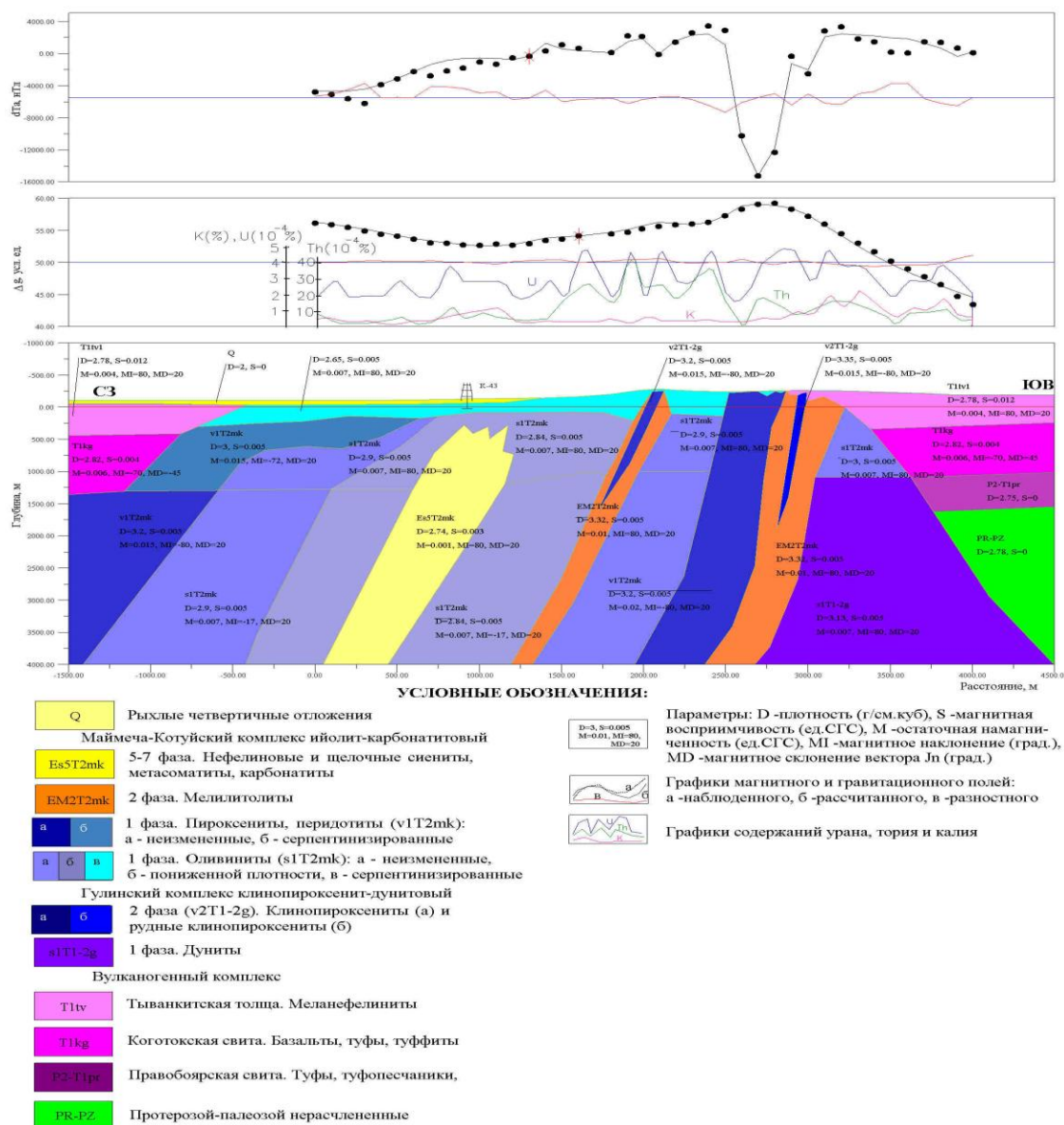


Рисунок 4.2.1 – Геолого-геофизический разрез по профилю №6 Крестовского уч.

В строении центральной части основную роль играют оливиниты, имеющие, как представляется, концентрически-зональное изменение плотности, понижающуюся от периферии к центру от 2,9 до 2,84 г/см³. По геологическим данным сверху оливиниты серпентинизированы и разуплотнены. Основной же дефицит плотности, по результатам интерпретации, создается низкоплотным, слабомагнитным, протяженным на значительную глубину центральным объектом, по петрофизическим свойствам близким к нефелиновым и щелочным сиенитам, метасоматитам и карбонатитам (породам 5–7 фазы). Глубина залегания верхней кромки объекта при допущении плотности 2,74 г/см³ оценивается порядка 400 м. Для построения более сложной модели имеющихся данных, в первую очередь геологических, недостаточно.

4.3. Выбор методов и обоснование геофизического комплекса

Основными геологическими задачами детальных геофизических работ на Крестовской интрузии являются:

- Уточнение детального геологического строения той части интрузии, где проявлен мелилитолитовый магматизм и локализованы рудные клинопироксениты.
- Картирование зон контактовой гибридизации ультрамафитов, вызванной проявлением мелилитолитового магматизма.
- Изучение внутренней структуры тел мелилитолитов, рудных клинопироксенитов и мелилитизированных верлитов и оливинитов: выявление и картирование апомелилитолитовых автометасоматитов и поздних гидротермально-метасоматических образований, проявившихся во всех породных разновидностях.

Эти задачи будут решаться комплексом геофизических методов, включающим в себя магниторазведку, гравиразведку и гамма-спектрометрию.

Мелилитовые породы, среди всех пород Крестовской интрузии, отличаются самыми высокими содержаниями Th и U и значениями мощности экспозиционной дозы. Поэтому для их картирования наиболее пригодным методом является гамма-спектрометрия. Характеристическими чертами рудных клинопироксенитов являются очень интенсивная обратная намагниченность и повышенная, среди остальных пород интрузии, объёмная плотность. Лучшими методами для их картирования являются магниторазведка и гравиразведка.

Мелилитизированные ультрамафиты тяготеют к участкам локализации мелилитолитовых тел и отличаются от неизменённым оливинитов и верлитов большими содержаниями Th и U, но в тоже время по содержаниям этих элементов значительно уступают

собственно мелилитолам. Таким образом, эти образования также могут быть закартированы с помощью гамма-спектрометрии.

Автоматоматические апомелилитолитовые скарны получили настолько широкое распространение, что пород без признаков постмагматических изменений среди мелилитолитовых тел не встречено. В качестве характерной черты в скарнах выявлено неоднократное переотложение титаномагнетита с образованием чередующихся слоев и линз пород с низким (менее 3–5 %) и высоким (иногда до 35–45 %) содержаниями названного минерала. В главном мелилитолитовом теле породам центральной и восточной частей свойственна значительно большая магнитная восприимчивость, чем породам западной части. Такое пространственное изменение магнитной восприимчивости мелилитолитов позволяет предполагать, что переотложение титаномагнетита в автореакционную стадию проявлено, не только локально, с образованием титаномагнетитовой полосчатости, но приобретает значительные масштабы, разделяя мелилитолиты по содержанию титаномагнетита на обогащенные и бедные. Другой характерной особенностью продуктов автореакционного скарнирования, проявленной также в масштабе всего мелилитового тела, является отчетливое разделение аномалий магнитной восприимчивости и мощности экспозиционной дозы.

Анализируя магнитное поле 1:25000 масштаба совместно с полем магнитной восприимчивости пород интрузии, полученными в результате измерений α сколкового материала, отобранного по сети 250x50м, было установлено, что аномалии магнитного поля Крестовской интрузии не являются простым отражением пород с различной магнитной восприимчивостью. По результатам термомагнитного анализа было установлено, что их природа является функцией индукционной намагниченности и остаточной, представляющей собой векторную сумму разнонаправленных намагниченностей ферромагнитных фаз нескольких генераций. Так породам главного мелилитолитового тела с наибольшей магнитной восприимчивостью отвечают крайне малоамплитудные отрицательные аномалии, а зачастую и вовсе “нулевые” значения ΔT . Таким образом, невзирая на то, что автореакционный метасоматоз привел к дифференциации мелилитовых пород на две их разновидности - обогащенные титаномагнетитом и обедненные, магниторазведка не решает задачи по их разделению. В тоже время мелилитолам, обогащенным титаномагнетитом, свойственна большая плотность, а мелилитолам с малым количеством титаномагнетита - наиболее высокие содержания Th. Такие особенности физических свойств автореакционных мелилитолитовых метасоматитов позволяют решать задачу их разделения с помощью гамма-спектрометрии и гравиразведки. По результатам аналитических исследований мелилитосодержащих пород было установлено, что их наиболее радиоактивные различия

специализированы на редкоземельное (цезиевой группы) оруденение, а наиболее плотные магнетитсодержащие мелилитовые породы – на благороднометальную минерализацию.

По результатам термомагнитного анализа пород интрузии (Сазонов, 2000) было установлено, что породам 1-ой магматической фазы (оливиниты, верлиты, клинопироксениты) и мелилитовым породам 2-ой магматической фазы свойственна обратная первичная термоостаточная намагниченность. В тоже время практически среди всех названных магматических пород встречены интенсивные локальные положительные аномалии. Детальное изучение вещественного состава образований, отражающихся в локальных положительных аномалиях ΔT , показало, что они представляют собой продукты наложенных гидротермальных процессов. Терморазмагничиванием было установлено, что повсеместно продукты гидротермальной деятельности, по каким бы породам они не развивались (оливинитам, верлитам или мелилитолитам), приобретают прямую намагниченность. Тем самым гидротермальные образования хорошо диагностируются в магнитном поле по локальным положительным аномалиям среди отрицательных магнитных аномалий, отвечающих обратнонамагниченным интрузивным породам 1-ой и 2-ой фазы.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

5.1. Методика и техника полевых работ

Комплекс детальных геофизических работ масштаба 1:5000 на Крестовской интрузии включает в себя гравиразведку, магниторазведку и гамма-спектрометрию. Методика и техника проведения полевых работ будет рассмотрена ниже отдельно по каждому из методов.

Гравиразведка

Площадь работ составит 7,5 км². При проведении работ масштаба 1:5000 будут применяться требования инструкции по гравиразведке (ИГ-80):

- -среднеквадратическая погрешность (СКП) определения аномалий силы тяжести в редукции Буге (ϵ_a): $\pm 0,04$ мгал;
- -среднеквадратическая погрешность определения наблюденных значений силы тяжести (ϵ_g): $\pm 0,03$ мгал;
- полная погрешность интерполяции ($\epsilon_{\text{инт.}}$): $\pm 0,07$ мгал;
- сечение изоаномал отчетных гравиметрических карт: 0,10 мгал;
- среднеквадратическая погрешность определения координат пунктов относительно Государственной геодезической сети: ± 2 м.;
- среднеквадратическая погрешность определения высот: $\pm 0,1$ м.;
- погрешность каркасной опорной сети ($\epsilon_{\text{оп}}$): $\pm 0,015$ мгал;
- погрешность рядовой съемки ($\epsilon_{\text{р.с.}}$): $\pm 0,025$ мгал.

Опорная сеть

При выполнении полевой гравиметрической съемки создаётся сеть опорных пунктов. Полевой опорной сетью называется такая сеть с повышенной точностью гравиметрических пунктов, которая служит для учёта смещения нулевого пункта в рядовых рейсах и для того, чтобы привести сеть к одному уровню. Каркасная опорная сеть будет развиваться от исходного пункта, совмещённого с пунктом триангуляции г.Крестовая, по центральной системе. Когда создают каркасные опорные сети и опорные сети небольшие по площади для съёмок, а также отдельные участки съемки используют центральную систему измерений. Центральная система измерений – это система измерений, где пункт, являющийся исходным, непосредственно связан с каждым опорным пунктом, который может быть связан с соседними опорными пунктами.

Опорная сеть будет увязана в двух независимых рейсах с использованием одного гравиметра AUTOGRAV CG-5. Всего на участке работ будет выставлено 39 каркасных опорных пунктов (по 13 пунктов на МГ). Объём работ по опорной сети составит $2 \times 39 = 78$ пунктов. Все

ОГП на местности будут закреплены долговременными знаками с металлическими табличками. Разбивка опорной сети будет производиться по методике однократных наблюдений.

Формула для расчета оценки точности опорной сети:

$$\varepsilon_{on} = \pm \frac{\varepsilon}{\sqrt{N_{cp}}}, \text{ где} \quad (1)$$

ε - СКП единичного измерения;

$N_{cp}=N/n$ – среднее количество наблюдений на одном пункте;

N – общее количество наблюдений на одном пункте;

n – количество пунктов;

Значение ε считаем:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{N-n}}, \text{ где} \quad (2)$$

δ -отклонение среднего значения от измеренного Δg .

В зависимости от точности аппаратуры на пунктах опорной сети определяем число независимых наблюдений N (СКП единичного измерения ε) и проектной точности определения наблюденных значений силы тяжести на опорных пунктах $\varepsilon_{пр}$:

$$N \geq \varepsilon^2 / \varepsilon_{пр}^2$$

Погрешность единичного измерения применяемого гравиметра AUTOGRAV CG-5 (по данным SCINTREX Ltd.) составляет 0,005 мгал. По большому опыту работ ФГУП “Баженовская геофизическая экспедиция”, ГПП ЦАГРЭ и ЗАО “Гравиразведка” средняя точность единичного наблюдения гравиметра AUTOGRAV CG-5 в полевых условиях составляет 0,01 мгал при соблюдении условий хранения и эксплуатации прибора, рекомендованных производителем. Отсюда:

$$N \geq 0.01^2 / 0.015^2 = 0.4 \text{ ф.н. (1 физ.наблюдение)}$$

Продолжительность рейса при съёмке опорной сети, учитывая что смещения «0»-пункта гравиметра AUTOGRAV CG-5 составляет менее чем 0.2 мгал/сутки, может быть доведена до 6–8 часов.

Рядовая сеть

Рядовая съёмка будет производиться по методике однократных наблюдений. Работа с гравиметром AUTOGRAV CG-5 носит специфический характер, хотя сам принцип работы с гравиметрами остался неизменным. CG-5 также вводят в режим транспортировки; отчёты берутся через одинаковый промежуток времени после установки гравиметра на подставку; если прибор не находится в работе более чем 15 минут, то рекомендуется выставлять его по уровням для того, чтобы свести к минимуму эффект гистерезиса.

Работы при рядовой съёмке будут производиться по сети 50x10 метров. Основным критерием оценки качества наблюдений гравиметром служит среднеквадратическая погрешность единичного наблюдения, вычисляемая на основе сходимости контрольных наблюдений с первичными по формуле:

$$\varepsilon = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{N-n}}, \text{ где}$$

δ -отклонение измеренного значения Δg от среднего.

Для оценки качества съёмки в процессе полевых работ проводятся независимые контрольные наблюдения: в каждый последующий рейс включается один или несколько контрольных пунктов из предыдущих рейсов и выполняются специальные контрольные рейсы, секущие профили рядовой сети.

Контроль съёмки считается представительным, если он выполнен в достаточном объёме и все звенья рейсов проконтролированы. Контрольные наблюдения будут проведены в объёме 7% от общего количества координатных пунктов. Объём работ составит 15250 пунктов, с учётом контроля (7%) – 16318 пунктов.

Среднеквадратическая погрешность определения наблюденных значений силы тяжести на пункте определяется по формулам (1), (2). Измерения считаются доброкачественными в том случае, когда среднеквадратическая погрешность, вычисляемая по формуле (2), не превышает установленную проектом. Рейс или его звено признаются доброкачественными, если разность между первым и контрольными измерениями не превышает утроенную величину ошибки, предусмотренной проектом. Рейс или его звено бракуются, если повторным контролем подтверждено недопустимое расхождение наблюденных значений на трёх или более пунктах этого рейса, а также во всех случаях нарушения нормального режима работы гравиметра.

Магниторазведка

Важнейшими элементами процесса наземной магнитной съёмки являются (“Инструкция по магниторазведке” 1981г.):

- разбивка опорной сети и определение опорных значений магнитного поля;
- выполнение основного объёма магниторазведочных работ – рядовых наблюдений на местности;
- приведение всех измеренных значений к единому(условному или абсолютному) уровню по опорным пунктам;
- оценка достоверности выявленных съёмкой аномалий и дополнительные наблюдения на расчётных профилях;
- систематическое ведение необходимой полевой документации.

Полевая опорная сеть – это сеть пунктов наблюдений повышенной точности, служащая для контроля качества наблюдений, а также приведения съёмки к единому уровню. Пункты опорной сети служат жёсткой основой для привязки к ним наблюдений на пикетах рядовой съёмки и обладают повышенным весом при уравнивании их совместно с рядовыми пунктами.

Повышение точности наблюдений на опорных пунктах обеспечивается:

- а) многократным повторением наблюдений на пунктах опорной сети;
- б) не менее чем двухкратным прохождением звеньев, связующих опорные точки.

При проведении наблюдений на опорных пунктах будет проводиться учёт вариаций магнитного поля. На Крестовском участке планируется разбивка опорной сети с опорными точками на магистралях (МГ). Опорные пункты будут совмещены с точками выходов профилей на магистраль. Общий объём опорной сети составит $61\text{ПР} \times 3\text{МГ} = 183$ пункта.

Наблюдения поля на каждой магистрали будут производиться как минимум трижды; за значение поля в каждой точке на МГ принимается среднее из серии наблюдений, относящихся к данной точке. Среднее квадратическое отклонение σ результата равноточного измерения будет вычислено по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-1}}, \text{ где}$$

Δ_i - разность между i -результатом измерения и средним арифметическим серии;

n - число измерений в серии.

Опорные магистрали будут дополнительно увязаны между собой, т.е. приведены к единому уровню с помощью опорных рядовых профилей. После приведения магистральных значений к единому уровню отрезки рядовых профилей между точками их пересечения с соседними магистралями увязываются как интервалы между двумя опорными точками. При съёмке с ММП-203МС, не имеющим смещения нуля-пункта, значения на внутренних точках увязываемого интервала исправляются по формуле:

$$n_{k_{\text{ув}}} = n_k - \frac{(n_{\text{ряд}_A} - n_A) + (n_{\text{ряд}_B} - n_B)}{2}, \text{ где}$$

n_A и n_B - принятое за окончательное значение поля в точке пересечения профиля, содержащего приводимый интервал, с первой МГ и со второй.

Погрешность опорной сети должна быть (согласно инструкции по магниторазведке) в 1,5–2 раза меньше погрешности рядовой съёмки.

Рядовая сеть

Магниторазведочные работы на Крестовском участке будут проводиться с ММП-203МС по сети 50x10м.

Простейшим способом приведения результатов наблюдений к единому уровню является их увязка на контрольном пункте (КП). Контрольный пункт будет выставлен в относительно спокойном магнитном поле и закреплён на местности. Контрольный пункт должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к пунктам опорной сети. Измерения на КП будут выполняться ежедневно до начала и по окончании работ на участке. Невязка, т.е. разность между утренним и вечерним наблюдениями на КП, разбрасывается по рядовым точкам пропорционально времени. В качестве опорного значения поля для последующего приведения к нему как к условному нулевому уровню будет принято среднемесячное значение поля на КП, представляющее собой среднее арифметическое ряда значений, принятых за среднесуточные.

Средняя квадратическая погрешность σ результата, оцениваемая на основании двойных равноточных наблюдений (измерений) при случайном характере значений Δ_i будет вычисляться по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{2n}}, \text{ где}$$

$\Delta_i = l_i' - l_i''$ - разность значений i -той пары;

$l_1', l_2', \dots, l_i', \dots, l_n'$ и $l_1'', l_2'', \dots, l_i'', \dots, l_n''$ - исходный повторный ряды измеренных данных;

n - число измерений в каждом ряду.

Основным средством определения качества съёмки являются контрольные измерения на местности в рабочих условиях. Контрольные измерения будут выполняться другим оператором через несколько дней после проведения рядовых. Объём контрольных наблюдений составит 7% от общего количества координатных пунктов. Общий объём работ составит 15250 пунктов, с учётом контроля (7%) – 16318 пунктов.

При увязке наблюдений взаимным уравниванием в качестве показателя, равноценного по смыслу σ , т.е. итоговой оценке погрешности съёмки, используется средняя квадратическая погрешность результатов по разности двойных равноточных измерений. Для вычисления σ на участке съёмки будет выполнен секущий контрольный ход через опорные точки – по одной с каждой магистрали. В промежутке между соседними опорными точками контрольный профиль будет проходить через рядовые точки планшета. Пройденный ход приведут к уровню увязанных значений планшета, а далее будут определены разности (с нулевой суммой) между увязанными рядовыми и увязанными контрольными значениями в каждой точке хода. Итоговая оценка погрешности σ будет определяться равенством:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{2(n-1)}}, \text{ где}$$

$\Delta_i = l_i' - l_i''$ - разность значений i -той пары;

$l_1', l_2', \dots, l_i', \dots, l_n'$ и $l_1'', l_2'', \dots, l_i'', \dots, l_n''$ - исходный повторный ряды измеренных данных;

n - число измерений в каждом ряду.

Проектная точность магнитной съёмки составит 5 нТл.

Гамма-спектрометрия

Спектрометрическая γ -съёмка будет проводиться с помощью радиометра-спектрометра многофункционального РСП-301М “Поиск-3М” по сети 50x10м. РСП-301М, снабжённым счётно-решающим устройством и автоматической регулировкой усиления (APY) амплитуд импульсов, регистрирует на поверхности содержания U, Th, K.

Спектрометрическую γ -съёмку планируется проводить двумя приборами. Сбивка приборов будет проводиться на участках с аномальными и фоновыми содержаниями радиоактивных элементов. Время экспозиции при измерениях содержаний радиоактивных элементов для РСП-301М составит 100сек. За время экспозиции 100сек. происходит счёт импульсов сразу в трёх каналах – U, Th, K, с одновременным расчётом содержаний. При опросе по каналам на табло выдаются расчётные содержания, для Th в ед.х10⁻⁴%, для U – ед.х10⁻⁴%, для K – ед.х10⁻¹%. Рабочее состояние приборов будет контролироваться каждое утро перед выходом в маршрут с помощью малой рудной модели с известной концентрацией U, Th, K, проверяя тем самым воспроизводимость определённого содержания радионуклидов. Положение энергетической шкалы будет проверяться не реже, чем один раз в час на протяжении всего маршрута с помощью эталонного источника Zn⁶⁵.

Для оценки качества и точности съёмки будет выполнено 5% контроля от общего количества рядовых наблюдений. Среднеквадратическая погрешность измерений будет составлять: U – 0.35х10⁻⁴%, Th – 0.4х10⁻⁴%, K – 0.25х10⁻¹%. Общий объём работ составит 15250 физических наблюдений, с учётом контроля (5%) – 16012 пунктов наблюдений.

5.2. Метрологическое обеспечение проектируемых работ

Гравиразведка

Полевые работы планируется проводить с помощью гравиметров AUTOGRAV CG-5 производства фирмы SCINTREX Ltd. Перед началом полевого сезона гравиметры пройдут ведомственную поверку в Северо-Западном государственном геологическом предприятии “Спецгравиметрическая партия №9 (г.Санкт-Петербург) или на эталонировочном

гравиметрическом полигоне в ГЭ№3 (г.Красноярск). После прохождения ведомственной поверки будут получены метрологические свидетельства о пригодности приборов к работе с заново рассчитанными коэффициентами.

Магниторазведка и гамма-спектрометрия

Один раз в год, перед началом полевых работ, магнитометры ММП-203МС и радиометры-спектрометры РСП-301М “Поиск-3М” пройдут ведомственную поверку в отраслевом научно-методическом центре по стандартизации, метрологическому обеспечению и сертификации НИИ ВИРГ-Рудгеофизика (г.Санкт-Петербург). Будут получены метрологические свидетельства о пригодности приборов к полевым работам.

Планово-высотная привязка

Для определения координат и высот пунктов наблюдения будет использоваться комплект двухчастотной GPS-аппаратуры Javad Legacy_E геодезического класса. Перед проведением полевых работ вся GPS-аппаратура пройдет ведомственную поверку в ГНМЦ ВНИИФТРИ (г.Санкт-Петербург). Полученные метрологические свидетельства позволят использовать комплект двухчастотной GPS-аппаратуры Javad Legacy_E геодезического класса для работы в полевых условиях.

5.3. Топогеодезические работы

Целью работ является обеспечение пунктов гравиметрических наблюдений плановыми координатами и высотами. Определение плановых координат и высотных отметок гравиметрических пунктов будет производиться с помощью программно-аппаратного комплекса спутниковой навигации Javad (Topcon Positioning Systems). Планово-высотная привязка гравиметрических пунктов будет производиться в дифференциальном режиме с постобработкой. При проведении полевых работ и камеральной обработке полученных результатов будут учтен опыт ФГУП «Баженовская геофизическая экспедиция», ФГУП ВСЕГЕИ, ЗАО НПП «Навгеоком», ЗАО «ПРИН» и др. Предполагается использование двух комплектов двухчастотных приемников Javad Legacy_E: 1 приемник в качестве базовой станции, 2 других – в рейсе.

Опорная геодезическая сеть

Опорная геодезическая сеть (рис.5.3.1) будет создана для передачи истинных значений координат (в системе 1942 г.) и высот (в Балтийской системе высот) с пунктов Госгеосети на рядовые пункты гравиметрических наблюдений. Для передачи координат будут проводиться измерения на пунктах триангуляции, высот – на реперах. Опорные пункты будут создаваться методом полигонов для возможности оценки качества опорной сети и повышения качества получаемых результатов следующим образом. На каждом из пунктов Госгеосети будут проведены статические измерения по схеме: один прибор на базовой станции, два других на

пунктах триангуляции или реперах. Измерения проводятся до тех пор, пока в каркасную сеть не будут включены все пункты Госгеосети. Время наблюдения при увязке опорной сети не менее 1 часа на каждом пункте с периодом измерений 5 сек. Качество опорной сети будет оцениваться по невязке полигонов, допустимое значение которой определено программным обеспечением изготовителя аппаратуры. Невязка, полученная при расчете базовых линий, будет разбрасываться по методу наименьших квадратов при уравнивании геодезической сети в камеральный период.

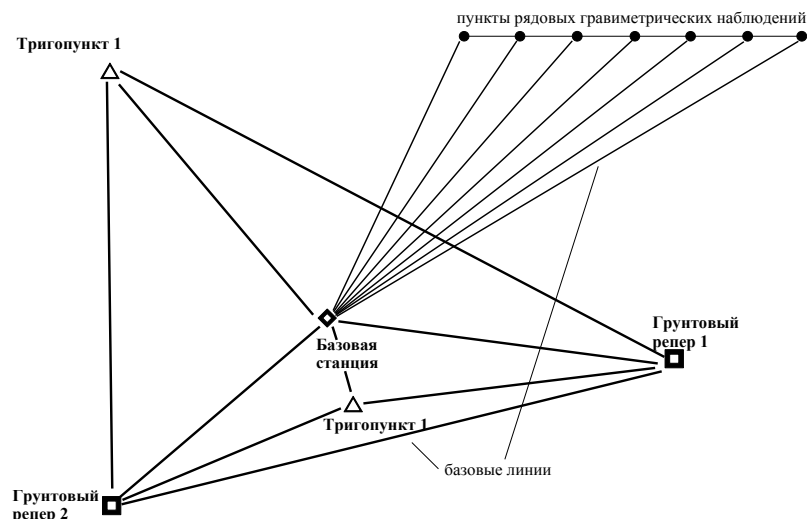


Рис.5.3.1. Схема создания каркасной и рядовой геодезической сети GPS-сети.

Рядовая геодезическая сеть

Рядовая геодезическая сеть будет создаваться по лучевой системе следующим образом. Один прибор работает в качестве базовой станции, два других находятся на профилях. Съёмка будет производиться по методике Stop-and-Go. Рейсовый прибор в этом случае производит статические измерения непосредственно на точке, а в процессе перехода от пикета к пикету продолжает записывать траекторию движения для получения более качественных результатов при постобработке. Время наблюдений на рядовых пунктах варьируется от 3 до 10 минут (при очень плохих условиях наблюдений – густой лес, иные помехи). Качество рядовой съёмки будет оцениваться путем повторного контроля. В связи с тем, что обработка опорной и рядовой сети в программном обеспечении производится одновременно, принято, что погрешность, получаемая при рядовом контроле, является суммарной для рядовой и опорной сети.

Топогеодезические работы будут проводиться без рубки профилей и магистралей. В силу того, что местность на участке работ слабозалесённая, возможности программно-аппаратного комплекса Javad Legacy-E позволяют добиваться выноса точек наблюдений на местность с точностью $\pm 1\text{м}$ и получить сантиметровый уровень по высоте в реальном времени. Пикеты на местности будут закреплены долговременными знаками (вешки, колья).

5.4. Камеральные работы

Гравиразведка

Обработка результатов гравиметрических наблюдений разделяется на два этапа: текущую и камеральную. Текущая обработка проводится непосредственно в поле и обеспечивает непрерывный контроль качества и получения предварительных результатов съёмки. Она включает: обработку наблюдений, выполняемых в опорных и рядовых рейсах; уравнивание опорных сетей; вычисление наблюденных значений силы тяжести; учёт нормального поля; введение поправок за высоту и притяжение промежуточного слоя; вычисление аномалий силы тяжести. Полевая камеральная обработка будет производиться по мере поступления полевых материалов с использованием программ, составленных в среде “Excel” и специализированного модуля программного пакета “Geosoft”–“Xcelleration Gravity”. В процессе полевых работ текущая обработка будет выполняться систематически “в две руки” с последующей сверкой. В полевой период будет составляться предварительная карта аномалий силы тяжести в редукции Буге ($\sigma_{пр}=2,30 \text{ г/см}^3, 2,67 \text{ г/см}^3$) с введением поправок за влияние рельефа.

Камеральная обработка материалов будет выполняться после завершения полевых работ в камеральный период по выезду партии на базу экспедиции(г.Норильск). Она включает: вычисление поправок за влияние рельефа местности; уточнение плотности промежуточного слоя; вычисление аномалий силы тяжести с различной плотностью промежуточного слоя; построение окончательных карт и графиков аномалий силы тяжести в различных редукциях, выполнение различных преобразований (трансформаций).

Вычисление поправок за влияние рельефа местности

Поправки за рельеф местности будут учтены при составлении гравиметрической карты в редукции Буге с плотностями промежуточного слоя $2,30 \text{ г/см}^3$ и $2,67 \text{ г/см}^3$. Вычисление топопоправок выполняется в радиусе 200 км.

Расчет поправок за рельеф местности проводится в модуле «Terrain Correction» пакета программ «Geosoft». Описание работы модуля приводится ниже.

Вычисление топопоправок делится на два этапа. На первом этапе создается региональная матрица поправок за рельеф. На втором – происходит вычисление полной поправки за рельеф как суммы локальных и региональных топопоправок. Для создания региональной матрицы топопоправок требуются региональные и локальные цифровые модели местности (ЦММ). Обычно размер ячейки региональной ЦММ равен 250м. Локальная ЦММ – наиболее детальная цифровая модель рельефа. Эта матрица должна охватить область съёмки, плюс локальное расстояние исправления.

Региональная матрица топопоправок будет иметь тот же самый размер ячейки, как и локальная ЦММ. Если контуры съемки не определены, используются границы локальной ЦММ. Эта матрица используется, чтобы получить превышение пункта наблюдения для вычисления поправок за рельеф.

Внешнее (региональное) расстояние исправления - расстояние, в пределах которого вычисляются региональные топопоправки. Оно обычно значительно больше, чем локальное расстояние исправления, но не превышает размеров региональной ЦММ. По умолчанию, это расстояние будет равно половине размера региональной сетки. Общепринято, что 300 км - разумный максимум.

Внутреннее (локальное) расстояние исправления - это расстояние, вне которого рассчитывается региональное исправление. Локальное расстояние исправления округляется до соответствия четному числу ячеек в региональной матрице.

Программа вычисляет региональную матрицу топопоправок вне локального радиуса исправления, который обычно не превышает 1000м.

Региональная матрица создается один раз для всей площади съемки и может потом многократно использоваться для вычисления детальных коррекций в каждом отдельном пункте гравиметрических наблюдений.

При расчете полной поправки за рельеф в каждом пункте наблюдений программа извлекает интерполируемое значение в мГал из региональной сетки топопоправок и прибавляет локальное исправление, рассчитанное от локальной ЦММ.

При вычислении топопоправок используются некоторые специальные коррекции на границах матриц ЦММ для приведения к необходимому радиусу. Все фиктивные значения в матрице ЦММ заменяются интерполируемыми от смежных нефиктивных значений перед вычислением поправок за рельеф.

Локальная матрица рельефа должна полностью охватить площадь гравиметрических наблюдений плюс оптимальное расстояние, вне которого эффект ландшафта является незначительным. Это расстояние зависит от сложности ландшафта и детальности аномалий при исследовании. Расстояние в 20 километров предполагается максимальным.

Для расчета топопоправок будут подготовлены ЦММ:

1) Для вычислений в центральной, ближней и средней зонах – локальная матрица рельефа с шагом 100м. Локальная матрица будет рассчитана программой по результатам оцифровки топокарт м-ба 1:25 000 и данных планово-высотной привязки пунктов гравиметрических наблюдений (инструментальным методом). Добавление полевых координатно-высотных измерений при расчете локальной ЦММ, кроме того, что повышает качество модели рельефа, позволяет избежать ошибок, связанных с несоответствием значения в

ячейке матрицы цифровой модели с реальной высотой точки наблюдения, определенной инструментально.

2) Для вычисления региональной матрицы топопоправок - региональная ЦММ с шагом 250 м. Региональная ЦММ рассчитана по результатам оцифровки топокарт м-ба 1:50 000 (в зоне до 3-х км), м-ба 1:200 000 (в зоне до 30 км) и м-ба 1:1 000 000 (в зоне до 200 км).

Погрешность учета влияния рельефа местности в i - зоне определяется по формуле (ИГ-80):

$$\varepsilon_{ri} = \pm \sqrt{\sum \Delta r_i^2 / 2n}, \text{ где}$$

Δr_i - разность первичного и контрольных определений СКП;

n - число контрольных определений.

Общая погрешность определения топопоправки вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_p = \pm \sqrt{(\varepsilon_{p1}^2 + \varepsilon_{p2}^2 + \varepsilon_{p3}^2 + \varepsilon_{p4}^2)}, \text{ где}$$

ε_{p1} - СКП, характеризующая точность учёта влияния центр. зоны;

ε_{p2} - СКП, характеризующая точность учёта влияния ближней зоны;

ε_{p3} - СКП, характеризующая точность учёта влияния средней зоны;

ε_{p4} - СКП, характеризующая точность учёта влияния дальней зоны.

При вычислении аномалий силы тяжести в свободном воздухе и в редукции Буге будет использовано нормальное поле, вычисленное по формуле Гельмерта с поправкой (-14) мгал (система 1971г.). Значения аномалий силы тяжести в редукции Буге с плотностями промежуточного слоя $2,30\text{г/см}^3$ и $2,67\text{г/см}^3$ вычисляются по формулам:

$$\Delta g_a = g_n + \Delta g_B - \gamma_o, \text{ где } \Delta g_B = (0.3086 - 0.0419 \times \sigma) \times H;$$

g_n - наблюдаемое значение силы тяжести;

H - высота пункта наблюдения гравиметром над уровнем моря, м;

σ - плотность пород промежуточного слоя, г/см^3 .

Для геологической интерпретации будут построены карты и графики аномалий Буге с истинной (реальной) постоянной или переменной или кажущейся плотностями промежуточного слоя. При выборе поверхности относимости используется принцип, в силу которого мощность промежуточного слоя должна быть наименьшей.

Основным критерием оценки точности аномалий силы тяжести служит среднеквадратическая погрешность ε_a , вычисляемая по формуле:

$$\varepsilon_a = \pm \sqrt{\varepsilon_g^2 + \varepsilon_B^2 + \varepsilon_{\gamma_o}^2 + \varepsilon_p^2}, \text{ где}$$

ε_g - среднеквадратическая погрешность (СКП) определения наблюдаемых значений силы тяжести, вычисляемая по формулам (1) и (2);

ε_B - СКП определения поправки Буге, зависящая от погрешности определения высот;

ϵ_{γ_0} - СКП определения нормального значения силы тяжести, зависящая от погрешности определения координат пунктов наблюдения;

ϵ_p - СКП определения поправок за влияние рельефа местности.

Изоаномалы силы тяжести будут проводиться путём линейной интерполяции с последующим сглаживанием в пределах одной среднеквадратической погрешности определения аномалии. Полная погрешность интерполяции вычисляется по формуле:

$$\epsilon_{инт} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta g_i - \Delta g_i^{инт})^2}{n}}, \text{ где}$$

g_i - наблюдаемое значение аномалии силы тяжести в данном пункте;

$g_i^{инт}$ - значение аномалии силы тяжести, снятое путём интерполяции с карты;

n - число пунктов, по которым произведена интерполяция, $n \geq 50$.

AUTOGRAV CG-5 автоматически высчитывает и вводит поправку за приливы (лунно-солнечные вариации) к каждому измерению в реальном времени.

Магниторазведка

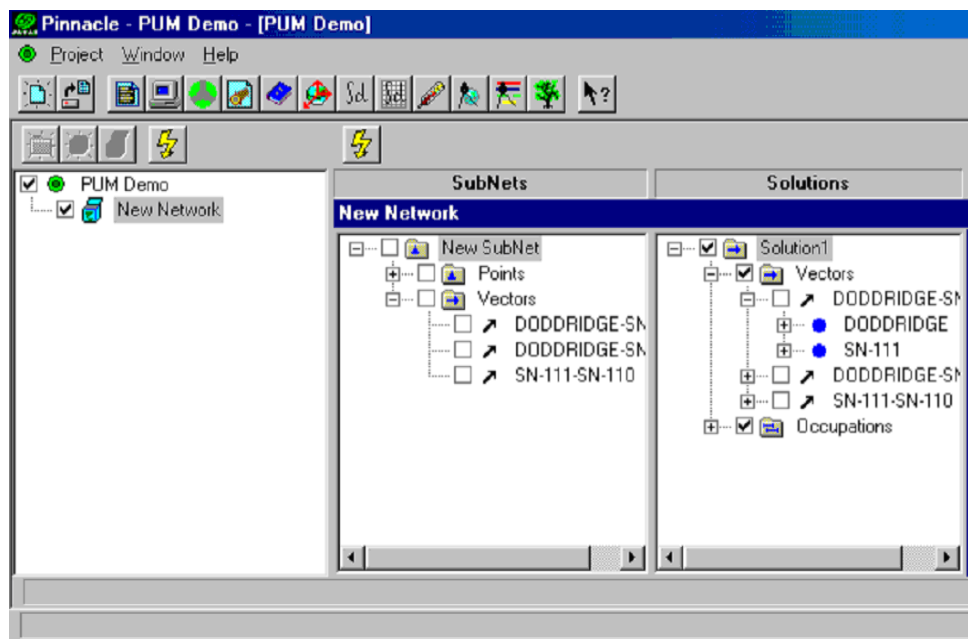
Обработка результатов съёмки разделяется на два этапа: текущую (т.е. непосредственно в поле) и камеральную. Текущая обработка включает: вычисление приращений магнитного поля $\Delta T = T_{изм} - T_{фон}$; введение поправок за вариации магнитного поля в измеряемые на профиле значения; графическое изображение исправленных и увязанных значений и подготовку материалов к оценочным вычислениям параметров искомых объектов экспресс-методами; качественную и количественную экспресс-интерпретацию данных.

В камеральный период по выезду партии на базу экспедиции (г. Норильск) будут производиться составление отчётных карт изолиний в масштабе съёмки или в два раза мельче; вычисление залегания создающих аномалии объектов и их намагниченности; составление геолого-геофизических разрезов и тектонических схем с учётом имеющихся данных бурения, данных гравиметрической съёмки; составление схем распределения магнитных свойств горных работ на участке работ.

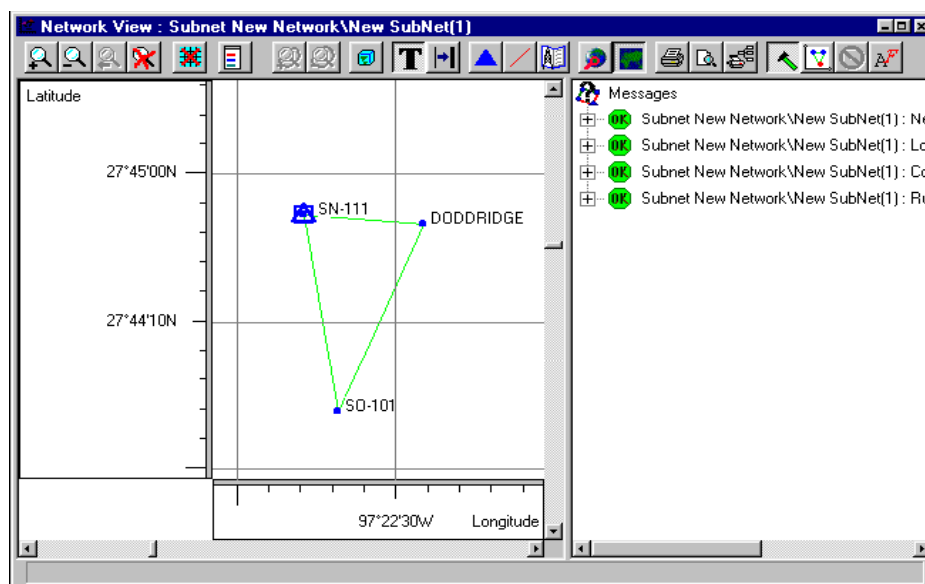
Гамма-спектрометрия

В силу того, что при работе с РСП-301М сразу измеряются концентрации радиоактивных элементов, полевые камеральные работы сводятся к построению профильных графиков содержаний U, Th, K для выявления мест аномальных участков, с целью их дополнительного контроля и более детального изучения.

Топографо-геодезические работы



Для обработки GPS-данных будет использоваться специализированное программное обеспечение Pinnacle, включая перенос данных с приборов, расчет базовых линий и уравнивание сетей (разброс невязок).



Камеральная обработка дифференциальных спутниковых наблюдений будет проводиться по следующей схеме:

- Проверка качества полевых измерений после «перекачки» данных на компьютер.
- Ввод дифференциальных коррекций.
- Передача неуровненных координат и высот от базовых станций к пунктам полевых наблюдений.
- Оценка качества полученных векторов и невязки замкнутых полигонов.
- Увязка базовых станций с пунктами государственной геодезической сети и друг с другом.

- Увязка полевой сети гравиметрических наблюдений с базовыми станциями и пунктами триангуляции.
- Оценка качества по результатам контрольных измерений.
- Составление каталога координат и высот пунктов наблюдений.

5.5. Интерпретация геофизических данных

В результате обработки данных комплексной геофизической съёмки будет составлен комплект кондиционных карт исходных геофизических полей: аномального гравитационного и магнитного полей, мощности экспозиционной дозы, содержания тория, урана, калия.

Обработка и интерпретация геолого-геофизической информации практически полностью будет проводиться средствами программного пакета (ПП) «Oasis Montaj» («Geosoft»). Для статистической классификации будет использован соответствующий модуль программного пакета «Arc Info».

Последовательность интерпретационных процедур анализа геофизических данных:

1. Построение графиков двумерного радиально осредненного энергетического спектра Фурье для анализируемых потенциальных полей с целью определения глубины возмущающих источников и уровня помех.

2. Фильтрация и трансформация потенциальных полей с целью подавления помех и разделения на локальные и региональные составляющие.

3. Решение обратной задачи для гравитационного и магнитного полей, оценка параметров возмущающих объектов. Методы экспресс-оценки глубин и планового положения особых точек возмущающих объектов:

- а) деконволюция Эйлера (анализ матриц);
- б) деконволюция Вернера (анализ по профилям).

4. Решение прямой задачи геофизики: моделирование геолого-геофизических разрезов в программе «GM-SYS» пакета «Geosoft» на основе данных о физических свойствах изучаемой территории, результатов глубинного и картировочного бурения и материалов геологического картирования.

5. Статистическая обработка имеющихся геолого-геофизических данных средствами программного пакета «Geosoft» и «Arc Info»:

- а) расчет статистических характеристик геологических объектов в геофизических и геохимических полях;
- б) классификация на основе статистических закономерностей и районирование территории на статистически однородные блоки-таксоны;

в) качественное решение задач прогноза методами статистической обработки на основе геологических эталонов.

6. Построение структурно-тектонической схемы площади на основе анализа геофизических полей, полученных в ходе работ на проектируемой площади и сопредельных территориях:

а) районирование площади на основе визуального анализа геофизических полей при сопоставлении с геологическими данными;

б) выделение характерных элементов геофизических полей, интерпретируемых как тектонические нарушения.

7. Построение геолого-геофизической схемы интерпретации и геолого-геофизических разрезов по результатам обработки материалов.

Анализ энергетического спектра Фурье

Основой всех трансформаций и фильтраций в ПП «Oasis Montaj» («Geosoft») является частотное (спектральное) представление потенциальных полей, основанное на быстром преобразовании Фурье (БПФ).

Оценка глубин до возмущающих объектов будет проводиться по графикам радиально осредненного двумерного энергетического спектра Фурье.

Энергетический спектр Фурье потенциального поля большинства объектов относительно простой формы имеет широкий диапазон, где пиковое положение определяется как функция глубин верхней и нижней границ объекта и где амплитуда спектра зависит от плотности или намагниченности. Амплитудный спектр реальных аномалий имеет более сложный характер, в частности, из-за наличия высокочастотной пилообразной помехи. Геологические объекты обычно сильно неоднородны и по контактам пород располагаются особые точки функций, описывающих потенциальные поля. Эти точки и определяют преимущественно вид спектра на низких и средних пространственных частотах.

При рассмотрении достаточно большой матрицы данных, отражающей множество различных источников потенциального поля, энергетический спектр этих данных может интерпретироваться, чтобы определить статистическую глубину от верхних границ.

ПП «Oasis Montaj» автоматически рассчитывает радиально осредненные двумерные спектры по всем направлениям для каждого волнового числа. По графикам радиально осредненного двумерного спектра оценивается глубина верхних и нижних границ источников потенциальных полей по соотношению:

$$h = -s/4\pi, \text{ где}$$

h- глубина;

S- наклон (угловой коэффициент) графика энергетического спектра.

Типичный график логарифма амплитудного спектра потенциального поля делится на три области. Первая его часть, в области низких пространственных частот (волновых чисел), близка к прямой с большим угловым коэффициентом. По этой части спектра может быть определена глубина нижних границ (наиболее глубинных источников). Вторая часть графика, в области средних пространственных частот, близка к прямой с меньшим угловым коэффициентом, примерно равным глубине верхних границ источников. Третья – самая высокочастотная часть спектра, связана с поверхностными источниками и помехами.

Трансформации потенциальных полей

На основании предварительной оценки интервала глубин залегания возмущающих объектов будет осуществляться разделение полей на локальную и региональную составляющие. Для этого используются следующие трансформационные процедуры, реализованные в «Oasis Montaj»:

1) пересчеты в верхнее и нижнее полупространство;

2) расчёты вертикального, модулей полного горизонтального $H = \sqrt{(x^2 + y^2)}$ и полного $\Sigma_{grad} = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$ градиентов гравиметрического и магнитного полей;

3) фильтры верхних и нижних частот, и полосовой фильтр;

4) расчет эффективной плотности в блоке конечной глубины, ограниченном горизонтальными поверхностями;

5) приведение магнитного поля к полюсу, вычисление псевдогравитационного поля.

Решение обратной задачи и экспресс-оценка глубин залегания источников аномалий

Для решения обратной задачи с целью выделения источников аномалий по данным, организованным в виде матриц и профилей, будут использоваться, в основном, следующие алгоритмы, реализованные в «Oasis Montaj»:

1. Метод деконволюции Эйлера, основанный на уравнении однородности Эйлера, позволяет рассчитывать плановое положение и глубины сингулярных источников потенциальных полей.

Структурные индексы, с помощью которых задаются параметры моделей источников поля, характеризуют скорость затухания поля с расстоянием. Задавая соответствующие структурные индексы, пределы ошибок планового и высотного положения и размер сканирующего окна, добиваются получения решений обратной задачи в интересующей его части спектра аномалий с соответствующими ограничениями в плане и по глубине залегания.

2. Деконволюция Вернера – метод, реализованный в профильном варианте. Алгоритм метода основан на решении системы линейных уравнений способом наименьших квадратов.

Полученные коэффициенты определяют комплексный многочлен, чьи корни задают местоположение возмущающих тел и глубины контактов.

Моделирование геолого-геофизических разрезов

Моделирование геолого-геофизических разрезов по интерпретационным профилям будет выполняться с целью истолкования геологической природы магнитных и гравитационных аномалий, создания согласованных моделей объектов с учетом петрофизических свойств по скважинам и закартированными на поверхности комплексами пород. При моделировании будет применяться система обработки «Geosoft» и функционирующая в ее среде программа моделирования «GM-SYS» версии 4.6.12a.

Технология подготовки разрезов заключается в создании в базе данных «Geosoft» профилей, генерации по ним значений рельефа, магнитного и гравитационного ($\sigma_{пр.сл.}=2,67$ г/см³) полей, а также радиохимических (U, Th, K) каналов с исходных матриц. Среднее расстояние между точками по профилю будет равняться 5м. Высота точек наблюдения относительно рельефа принята 0,1 м для гравитационного и для магнитного полей.

Собственно моделирование геолого-геофизических разрезов заключается в подборе по гравитационному и магнитному полю конфигурации и пространственного положения объектов, подсеченных скважинами, либо прослеживаемых с поверхности, и последующим дополнением разреза новыми моделями в случае расхождения наблюденного и рассчитанного полей. В качестве геологической основы будут использоваться геологические карты масштаба 1:50000 и 1:25000, колонки по скважинам, результаты определения физических свойств по керну и образцам. При этом будет учитываться общее представление о взаимоотношениях различных комплексов пород в рамках утвержденной легенды.

Контроль сходимости полей будет осуществляться визуально по графикам Δg и ΔT ; постоянная фоновая составляющая исключается в режиме приведения уровня расчетного поля к значению наблюденного поля в точке в пределах спокойного, наиболее изученного участка профиля.

Статистическая обработка геолого-геофизических данных

Задачей статистической обработки геолого-геофизических материалов является многомерная интерпретация всего комплекса данных для выявления связей и закономерностей между геологическими параметрами и геофизическими признаками.

Статистическая обработка комплексных данных будет осуществляться средствами ПП «Oasis Montaj» и «Arc Info». Проводится расчет статистических характеристик в базах данных по каждому из геофизических признаков, оцениваются корреляционные связи. С целью установления корреляционных зависимостей в многомерном поле признаков (собственно геофизических полей и их трансформант) будут проведены факторный и компонентный

анализы. Данные факторного и компонентного анализов используются для классификации (таксономии). в рамках ПП «Arc Info». В результате будет построена карта, отражающая положение различных участков (таксонов), внутри каждого из которых наблюдается близость соотношения между собой исходных геофизических признаков. Построенная карта классификации (таксономии) представляет собой схему районирования территории по соотношению физических свойств субстрата, позволяющая наметить пространственное положение литологических и магматических комплексов, а также зон проявления наложенных процессов (метаморфизм, гидротермальная проработка, дизъюнктивная тектоника и др.).

По результатам факторного (компонентного) анализа решаются также задачи прогноза месторождений полезных ископаемых. В каждом конкретном случае происходит выбор наиболее информативных признаков и на этой основе проводится расчет и выбор факторов, коррелирующихся с геологическими эталонами.

С целью контрастного расчленения пород, будет произведён расчёт вертикальной производной магнитного поля и псевдоплотностной характеристики приповерхностного слоя. Совместный анализ распределения ЕРЭ и результатов интерпретации потенциальных полей позволит наиболее подробно охарактеризовать геологическую обстановку территории, уточнить границы геологических объектов на дневной поверхности и выявить участки эпигенетических преобразований горных пород.

Для ослабления факторов, усложняющих восприятие радиогеохимических полей, таких как современные элювиально-делювиальные отложения, будет произведён расчет частных надфоновых концентраций ЕРЭ, основанный на анализе структур и взаимосвязей элементов методом главных компонент. Отношение надфоновых концентраций U, Th, K выносятся на сводную радиогеохимическую карту, представляющую собой карту классов. Эта карта содержит тринадцать классов, один из которых соответствует условиям геохимического фона, и по четыре характерных состояния для трех элементов, что позволяет использовать ее в качестве основы для построения структурной схемы дневной поверхности.

Итогом обработки и интерпретации геолого-геофизической информации будет являться: построение структурно-тектонической схемы, схемы геолого-геофизической интерпретации участка работ, построение геолого-геофизических разрезов.

6. СПЕЦИАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

6.1. ВНЕДРЕНИЕ КАНАДСКОГО ГРАВИМЕТРА AUTOGRAV CG-5

Совместный способ проведения гравиметрической съемки и определения планово-высотной привязки пунктов наблюдения с помощью GPS аппаратуры геодезического класса в дифференциальном режиме с постобработкой был впервые применен гравиметрической партией ГПИ ЦАГРЭ, при моем непосредственном участии в этом, при работах на Гулинской площади (1996 г.). Отказ от традиционной методики проведения гравиметрических работ (рубка ПР и МГ, определение высот пунктов наблюдения с помощью технического и других видов нивелирования и т.д.) был продиктован временем. Этому способствовали возможности экспедиции по оснащению партии аппаратурой, программным обеспечением и персональными ЭВМ. Новая методика ведёт к удешевлению работ, позволяет отказаться от большого численного состава топоотряда и выполнять большие объёмы за меньший промежуток времени.

В дальнейшем такой способ работы успешно применялся при гравиметрической съемке масштаба 1:200 000, причем в различных вариантах (авиадесантный и вездеходный), и при профильных работах.

Данная методика съёмки применима для работ на открытых местностях (тундра, лесотундра, слабозалесённые местности, пустыня, горная местность с пологим рельефом).

Существуют ограничения по применению такой методики работы в густозалесённой темнохвойной местности и горной местности с сильно пересечённым рельефом, которые приведут к уменьшению планово-высотной привязки вследствие следующих причин:

- после прохождения через препятствие сигнал достигает антенны;
- сигнал переотражается от ближайшей поверхности и достигает фазового центра антенны не по прямой линии, а по ломанной (так называемый эффект многолучёвости);
- чем ниже спутник расположен над горизонтом, тем более слабый сигнал достигает антенны, т.к. сигнал низкого GPS спутника проходит по более длинному пути в тропосфере и ионосфере.

На Крестовском участке местность слабозалесённая, форма рельефа пологая.

При проведении детальных геофизических работ на Крестовской интрузии масштаба 1:5 000 целесообразно применение для планово-высотной привязки пунктов наблюдения GPS аппаратуры геодезического класса Javad Legacy-E, работающей в дифференциальном режиме с последующей постобработкой, для гравиметрической съемки – гравиметра нового поколения AUTOGRAV CG-5 производства фирмы SCINTREX Ltd.

6.2. Гравиметр AUTOGRAV CG-5

При производстве гравиметрических работ на Крестовской интрузии будут использоваться гравиметры AUTOGRAV CG-5 производства фирмы SCINTREX Ltd. (рис. 6.2.1, 6.2.2, 6.2.3). Это связано с их высокой точностью и устойчивой работой в полевых условиях в различных климатических зонах при колебаниях температур от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Точность единичного измерения, заявленная производителем, составляет ± 0.005 мГал в лабораторных условиях. По опыту работ ФГУГП «Баженовская геофизическая экспедиция», ГПП «Центрально-Арктическая геологоразведочная экспедиция» и ЗАО «Гравиразведка» средняя точность единичного наблюдения гравиметров SCINTREX в полевых условиях составляет 0.01 мГал при соблюдении условий хранения и эксплуатации приборов, рекомендованных производителем. В связи с этим, гравиметры AUTOGRAV CG-5 приравниваются по точности к гравиметрам класса А (табл. 6.2.1, 6.2.2).

Высокая точность гравиметров CG-5 обусловлена следующими факторами:

- чувствительная система AUTOGRAV CG-5 базируется на упругой конструкции из плавленного кварца. Гравитационная сила, приложенная к пробной массе, уравнивается пружиной и относительно маленькой электростатической силой. Присущая плавленому кварцу прочность и отличная упругость, вместе с ограничителями движения пробной массы, позволяют работать без арретира. Защита от внешних воздействий обеспечивается надежными амортизаторами;
- благодаря маленькой массе и отличным упругим свойствам переплавленного кварца, специальная тара не является необходимым условием работы. Даже после транспортировки по плохим дорогам и резких перепадов температур дрейф исключительно мал. CG-5 может выдерживать удар больше чем 20G, и изменение показаний гравиметра будет не больше, чем на 0.02 мГал;
- AUTOGRAV CG-5 постоянно получает данные от встроенного датчика наклона. CG-5 может автоматически компенсировать измерения за ошибку наклона датчика. При выборе оператором этой функции, ошибки при измерении на нестабильной платформе автоматически исключаются. Основываясь на введенных оператором данных о географическом положении и временном поясе, AUTOGRAV CG-5 автоматически высчитывает и вводит поправку за приливы (лунно-солнечные вариации) к каждому измерению в реальном времени;
- чувствительный элемент CG-5 помещен в стабилизированном по температуре в двух уровнях вакуумном отсеке, что защищает его от изменений температуры. Сигнал от датчика температуры, установленного вплотную с упругой системой,

позволяет делать программную поправку за маленькие оставшиеся изменения температуры. Температурный коэффициент - обычно меньше чем 0.0002 мГал/°С;

– чувствительный элемент AUTOGRAV CG-5 помещен в стабилизированном по температуре вакуумном отсеке, что защищает его от изменений атмосферного давления. Коэффициент атмосферного давления - обычно меньше чем 0.00015 мГал/кПа;

– исключительно устойчивая рабочая среда упругой кварцевой системы позволяет точно измерять и вводить программные поправки в реальном времени за долговременный дрейф, уменьшая его до менее чем 0.2 мГал/сутки.

Таблица 6.2.1 — Общие технические характеристики AUTOGRAV CG-5

Разрешение при считывании	0.005 мгал
Минимальный рабочий диапазон	8000 мгал, без переустановки
Нормальная повторяемость при работе в поле	Стандартное отклонение 0.01 мгал
Диапазон автоматической поправки за наклон	±200 угловых секунд
Интервал между считываниями в циклическом режиме	Настраивается в интервале от 6 до 99999 секунд
Подавление шума	В том случае, если эта функция активирована при первоначальной настройке прибора, производится отбраковка тех замеров, которые превышают 4 стандартных отклонения от среднего (6, если выбран сейсмический фильтр)
Отображаемые и записываемые данные	Сила тяжести с поправкой Стандартное отклонение Наклон относительно оси X Наклон относительно оси Y Температура гравиметрического датчика Поправка за лунно-солнечное притяжение Продолжительность измерения Время в начале измерения и информация из Заголовка (включая дату и константы первоначальной настройки)

Таблица 6.2.2 — Технические характеристики средств программного обеспечения

Операционная система	Встроенная операционная система, запатентованная компанией Scintrex Графический интерфейс пользователя (GUI), в стиле Windows
Самодиагностика	Проверка достоверности данных при включении прибора Состояние параметров калибровки
Представление считываемых данных	Графическое отображение оцифрованного сигнала (аналогично осциллографу) Числовое – все параметры на одном экране Графическое отображение процесса установки по уровню с использованием перекрестия
Поправка за рельеф местности в ближней зоне	Ввод данных палетки Хаммера в графическом формате
Состояние “интеллектуальной” аккумуляторной батареи	Истинный уровень ёмкости отображается в оставшихся часах работы
Дистанционное управление	Доступность всех параметров Только через RS-203 (проводное соединение, модем, радиомодем) Переустановку системы можно произвести дистанционно

6.2.1. Краткое описание принципов работы гравиметра AUTOGRAV CG-5

Чувствительный элемент прибора сделан из плавленного кварца и представляет собой пружину с подвешенным на ней грузом (рис. 6.2.1.1). Изменение положения груза при воздействии на него силы тяжести фиксируется конденсатором переменной емкости и в аналоговом виде передается на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП 1). Также на АЦП 1 периодически (период калибровки устанавливает оператор) поступает калибровочное напряжение, необходимое для оценки внутренней погрешности измерения. После преобразования аналогового сигнала в цифровой вид производится температурная компенсация исходного сигнала, ввод поправок за наклон прибора, учет долговременного дрейфа кварцевой системы (смещения «0»-пункта), коррекция за лунно-солнечные вариации. Температурная компенсация происходит благодаря наличию температурного сенсора непосредственно возле кварцевой системы, и производится электроникой гравиметра математическим способом:

$$\Delta T = C_t \times T, \text{ где}$$

ΔT – поправка за температуру;

C_t – температурный коэффициент;

T – температура внутри гравиметра.

Поправка за наклон гравиметра также вводится математически:

$$\Delta\Theta = gt \times (1 - \cos X \times \cos Y), \text{ где}$$

$\Delta\Theta$ – поправка за наклон;

gt – значение нормального поля силы тяжести для данного участка работ (координаты участка вводятся оператором);

X, Y – углы наклона гравиметра по соответствующим осям.

Величины углов наклона прибора по обеим осям, при которых происходит корректный ввод поправок за наклон, рассчитываются оператором при вводе гравиметра в режим.

Учет долговременного смещения «0»-пункта кварцевой системы прибора происходит следующим образом. На твердом основании (бетонная плита) автоматически проводятся многократные измерения силы тяжести в течение суток, после чего рассчитывается величина смещения «0»-пункта гравиметра (в миллигалах в сутки) и рассчитанное значение вводится в прибор, которое впоследствии используется электронным блоком гравиметра при коррекции измеренных значений (рис. 6.2.1.1).

Приливная коррекция (поправка за лунно-солнечные вариации) вводится гравиметром автоматически и рассчитывается по формуле Лонгмана (Longman I.M., Journal of Geophysical Research, Volume 64, No.12, Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun). Для правильной коррекции за лунно-солнечные вариации оператору необходимо ввести координаты участка работ и разницу во времени с Гринвичем.

Помимо ввода всех вышеперечисленных поправок гравиметр также производит автоматическую отбраковку тех замеров, которые превышают 4 стандартных отклонения от среднего и 6 стандартных отклонений от среднего, если выбран сейсмический фильтр. Отбраковка замеров происходит в том случае, если при первоначальной настройке прибора была активирована функция подавления шума.

Полностью автоматически электронным блоком гравиметра вводятся только поправки за долговременный дрейф и температурную компенсацию, остальные виды поправок учитываются по желанию оператора.

Окончательные результаты измерений передаются на компьютер через последовательный или USB – порт при помощи специализированной программы в текстовом формате, после чего могут быть обработаны при камеральной обработке.

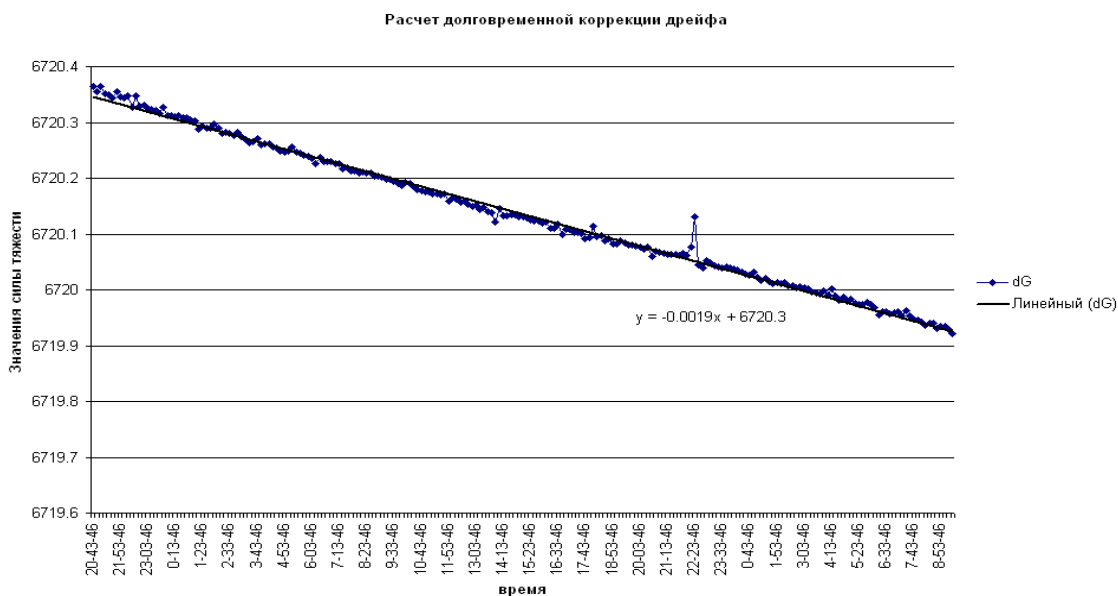


Рисунок. 6.2.1.1 – Расчёт долговременной коррекции дрейфа.

і. Повторная калибровка прибора CG-5

Коэффициент калибровки GCAL2, который учитывает небольшую квадратичную нелинейность, определяется в лаборатории гравиметрических исследований компании Scintrex с 1991 года, при помощи электронной регулировки его величина уменьшена до нуля. Повторного расчета коэффициента GCAL2 не требуется.

Основная константа калибровки, GCAL1, определяется на калибровочном профиле в 40 км от г.Красноярска. Этот профиль, который включает в себя два абсолютных пункта наблюдения, был создан и обслуживается ГЭ №3 (г.Красноярск). Участок, который используется для калибровки и тестирования прибора CG-5, состоит из 5 пунктов наблюдения, разбросанных на дистанции 70 км, при этом величина силы тяжести находится в интервале 106 мГал (недавно она была увеличена до 119 мГал). Перевозка приборов осуществляется на легковой машине, где они ремнями закрепляются на заднем сидении. Никаких специальных футляров или средств крепления не требуется.

Показания снимаются в каждом пункте наблюдения при перемещении вдоль профиля в одну сторону, и снимаются повторно по пути обратно. Продолжительность считывания составляет 60 секунд. Поправки за лунно-солнечное притяжение вводятся автоматически, при помощи встроенного в прибор программного обеспечения.

Линейная поправка на остаточное смещение нуля-пункта вводится автономно, путем снятия повторных замеров в пункте наблюдения 1. Затем рассчитывается разность S_{ij} между показаниями с введенной поправкой на смещение в пункте наблюдения 1 и пункте наблюдения j . Погрешность измерения разности силы тяжести определяется как:

$$E_{ij} = k \times S_{ij} - g_{ij}, \text{ где}$$

g_{ij} - это отличие от эталонной силы тяжести, а k - константа (коэффициент коррекции масштаба), которая изменяется до тех пор, пока стандартное отклонение погрешности измерения не будет сведено к минимуму. Тогда новый коэффициент масштабирования $GCAL1'$ рассчитывается на основе старого значения $GCAL1$, используемого во время проверки калибровки, как: $GCAL1' = k \times GCAL1$

Точность определения параметра $GCAL1$ составляет примерно 0,01% (что соответствует погрешности измерения 0,01 мГал в проверочном диапазоне силы тяжести, равном 106 мГал).

Устойчивость параметра $GCAL1$ зависит от стабильности геометрических размеров емкостного датчика смещений, и от стабильности внутреннего эталонного напряжения постоянного тока. По истечении начального периода в несколько месяцев, во время которого параметр $GCAL1$ может изменяться в силу влияния релаксации напряжений в только что наплавленном кварцевом датчике, на величину до 0,1%, скорость изменения коэффициента масштабирования $GCAL1$ обычно составляет от 1 до 2 ррт (частей на миллион) в день. По истечении нескольких лет те пользователи, которым требуется максимальная точность, особенно при выполнении региональных съемок, могут произвести повторную калибровку своих гравиметров. Это можно сделать таким же способом, как делалось первоначально в компании Scintrex.

Для того, чтобы получить новое значение $GCAL1$, необходимо использовать не менее двух пунктов наблюдения, с надежно определенной разностью силы тяжести, на уровне, по крайней мере, 100 мГал. Дополнительные промежуточные надежно определенные гравиметрические пункты послужат для того, чтобы повысить точность этого расчета. При возвращении обратно, к начальному пункту наблюдения, можно рассчитать величину остаточного смещения, которая используется для корректировки показаний на других пунктах наблюдения.

6.3. Планово-высотное обеспечение геофизических работ

6.3.1. Введение в основы системы GPS

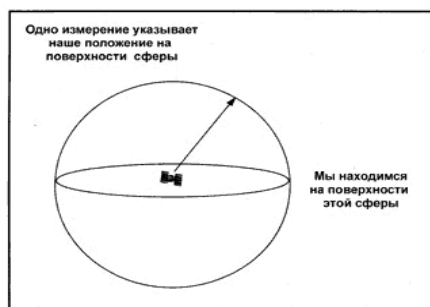
Система Глобального Позиционирования (GPS или Global Positioning System) спутниковая система и управляется Министерством Обороны США. Система является глобальной, всепогодной и дает возможность для получения точных координат и времени круглые сутки.

Основы системы GPS можно разбить на пять основных подпунктов:

- спутниковая трилатерация - основа системы;
- спутниковая дальнометрия – расчет расстояний до спутников;
- точная привязка времени – для чего согласуются часы на спутнике и в приемнике, а также для чего необходим 4-й космический аппарат;
- расположение спутников – определение расположения в космосе спутников;
- коррекция ошибок – учёт ошибок вносимых задержками в тропосфере и ионосфере.

Спутниковая трилатерация

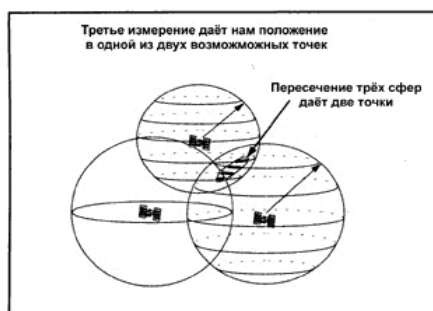
От группы спутников возможно вычисление точных координат для измерения расстояний на пов-ти Земли (если их положение в космосе известно). В таком случае пункты с полученными координатами являются спутниками. Мы можем дать описание сферы с уже заданным радиусом вокруг спутника, предположив, что от одного спутника дано расстояние.



Получаемое местонахождение будет располагаться в круге, которое будет задано пересечением двух сфер, с учетом того что, расстояние до второго спутника известно.

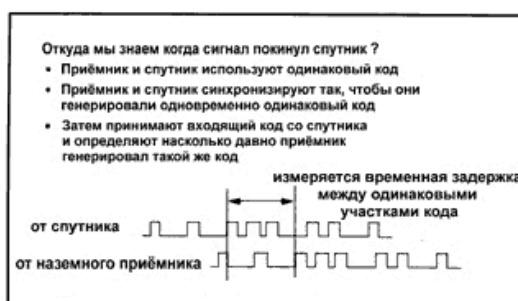


Две точки на окружности будет определяться 3-м спутником. Остаётся лишь выбрать правильную точку. Т.к. у одной из точек может быть высокая скорость перемещения или она может находиться на или под поверхностью Земли, она практически всегда может быть отброшенной. Следовательно, координаты определяемой точки могут быть рассчитаны, исходя из того, что известны расстояния до 3-х спутников.



Спутниковая дальнометрия

При получении скорости света помноженной на расчет времени прохождения радиосигнала до приемника от космического аппарата. Для того чтобы определить время распространения сигнала нам необходимо знать, когда он покинул спутник. Зная когда сигнал покинул спутник, можно получить время его распространения (сигнала). Для этого одинаковый Псевдослучайный Код в приёмнике и на спутнике одновременно генерируется.

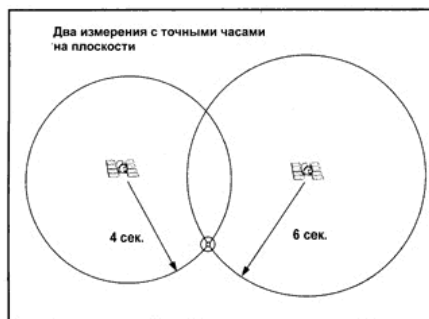


Два радиосигнала передаются каждым спутником GPS: на частоте $L_1=1575,42$ МГц и $L_2=1227,60$ МГц. Два дальномерных кода с псевдослучайным шумом (PRN) есть у сигнала L_1 , P-код и C/A код. Для военных целей “Точный” или P-код может быть зашифрованным, а не зашифрованным является “Грубый” или C/A код. Лишь с P-кодом модулируем сигнал L_2 . При работе с GPS системами большинство пользователей граждан пользуются C/A кодом. Некоторые приёмники Trimble геодезического класса работают с P-кодом. Приемник определяет, когда он генерировал такой же код, а также проверяется сигнал, входящий со спутника. Полученная разница, умноженная на скорость света (~ 300000 км/с) даёт расстояние, которое мы ищем. В любое время задержку времени можно получить приемником с использованием кода. Т.к. каждый спутник идентифицируется по своему Псевдослучайному коду, излучаемые сигналы спутника могут быть на одной и той же частоте.

Точная временная привязка

Расчеты напрямую зависят от точности хода часов, что видим из вышеперечисленного. В одно и то же время в приемнике и на спутнике должен генерироваться код. На спутниках есть атомные часы, точность которых около одной наносекунды. Слишком дорого устанавливать такие часы в каждый GPS приемник, поэтому

для устранения ошибок хода часов приемника пользуются измерениями от четвёртого спутника. Ошибки, возникающие, если часы в приёмнике и на спутнике не синхронизированы, устраняются этими измерениями. Для наглядности приведены иллюстрации, рассматривающие ситуацию на плоскости, т.к. для вычисления местоположения объекта нужно лишь 3 спутника.



Точное местоположение может быть получено по расстояниям, измеренным до двух спутников, если точность хода в приемнике и на спутнике одинаковы. Круг, описанный радиус-вектором от 3-го спутника будет пересекаться как на рисунке, при условии, что все часы будут точными и если были получены замеры с 3-х спутников.

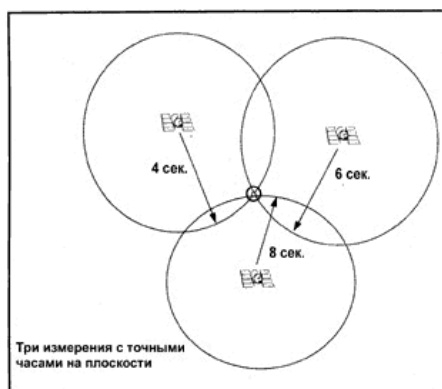
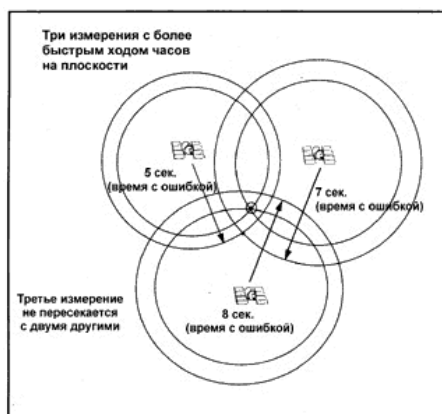
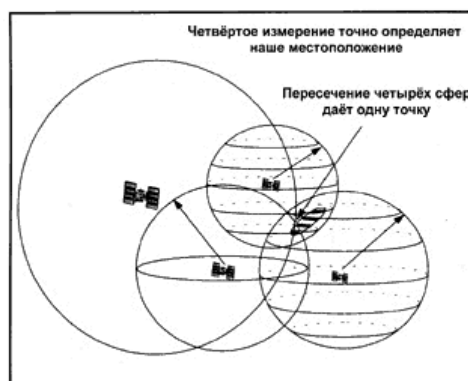


Рисунок будет выглядеть следующим образом, при условии, что часы в приемнике спешат на 1 секунду. Полученный радиус-вектор не пересечётся с 2-мя другими как на рисунке, при условии выполнения замера до 3-го спутника.



Компьютер в приемнике начинает добавлять (вычитать) время методом последовательных итераций до того момента, пока к одной точке не сведутся все измерения, когда серия измерений принимается GPS приемником, где эти измерения не будут пересекаться в одной точке. Далее выполняется необходимое уравнивание с расчетом поправки. Если необходим 3-й замер, то и нужен 4-й спутник, ликвидирующий ошибки хода часов в приемнике. Следовательно, для полевых работ нам важно иметь не менее 4 спутников, для определения трёхмерных координат объекта.



Расположение спутников

У система NAVSTAR 24 рабочих спутника с орбитальным периодом в 12 часов на высоте около 20200 км от поверхности Земли. В 6 разных плоскостях, у которых наклон к экватору в 55° , находится по 4 спутника. Заданная высота нужна для придания стабильности орбитального движения спутников и уменьшения фактора влияния сопротивления атмосферы.

Министерство Обороны США непрерывно следит за спутниками. На каждом спутнике есть несколько высокоточных атомных часов, которые постоянно передают радиосигналы с собственным уникальным идентификационным кодом. У Министерство Обороны США 4 станции наблюдений за спутниками, 3 станции связи и центр, контролирующий и управляющий всем наземным сегментом системы. Станции слежения без перерывов отслеживают спутники и передают данные в центр управления. В центре управления подсчитываются элементы, уточнённые со спутниковых орбит и коэффициенты поправок спутниковых шкал времени, далее эти данные передаются по каналам станций связи на спутники хотя бы раз в сутки.

Коррекция ошибок

Некоторые источники ошибок, которые возникают при работе GPS, бывают трудноустраняемыми. Расчеты предполагают, что сигнал распространяющийся с непрерывной скоростью равен скорости света. Но в реальности всё сложнее. Скорость света

считается постоянной только в вакууме. Когда сигнал проходит через ионосферу (слой заряженных частиц на высоте 130-290 км) и тропосферу, скорость распространения уменьшается, что и приводит к ошибкам в измерении дальности. Современные GPS приемниках оснащены всевозможными алгоритмами устранения различных задержек. Также могут возникать ошибки в ходе атомных часов и орбитах спутников, однако они в основном незначительны и тщательно прослеживаются станциями слежения. Многолучевая интерференция тоже приносит ошибки в определении местоположения с помощью GPS. Это бывает, когда сигнал отражается от объектов земной поверхности, что создаёт заметную интерференцию с сигналами приходящими с самих спутников. Сведение к минимуму такого источника ошибок связано с хорошо продуманной конструкцией антенн и специальной техникой обработки сигнала.

Раньше имел место ещё один источник ошибок – это Избирательный Доступ (Selective Availability или S/A), искусственное уменьшение точности сигнала со спутника вводимое Министерством Обороны США. Это являлось причиной снижения точности полученных координат с помощью GPS до 100 метров. По решению президента США "Избирательный Доступ" отключили 1 мая 2000 года. Помимо этого, S/A можно исключить, используя технику дифференциальной коррекции.

6.3.2. Компоненты GPS картографических систем

На сегодняшний день в мире производится широкий спектр продуктов разработанных специально для картографирования и ГИС приложений. Эти системы позволяют быстро и точно собирать данные для создания и обновления географических баз данных. Картографические продукты включают в себя GPS приёмники, накопители данных, и программное обеспечение. В этом разделе обсуждаются эти компоненты.

Приёмники

GPS приёмники могут вычислять положения с периодом менее одной секунды и обеспечивают точность от дециметров до 5 метров при работе в дифференциальном режиме измерений. Приёмники различаются по весу, размеру, объёму памяти для хранения данных и количеству каналов которые они используют для слежения за спутниками. В то время как Вы стоите на одном месте или перемещаетесь, приёмник получает сигналы с GPS спутников и затем вычисляет Ваше местоположение. Результаты вычислений отображаются в виде координат на дисплее приёмника. GPS приёмники вычисляют также скорость и направление движения, позволяя решать навигационные задачи.

Накопители данных

Накопители данных (контроллеры)- это портативные компьютеры, работающие под управлением специального программного обеспечения, предназначенного для сбора данных. Некоторые контроллеры записывают дополнительную информацию (например, атрибуты объектов) вместе с координатами, а другие сохраняют только координаты. Программное обеспечение выполняет контроль за установками GPS приёмника, самыми важными из которых являются интервал измерений и количество хранимых GPS данных. Некоторые накопители данных должны быть соединены с отдельным GPS приёмником, а другие интегрированы с приёмниками в одном корпусе.

Программное обеспечение

Каждая GPS картографическая система поставляется с программным обеспечением для обработки. После возвращения с полевых работ Вы можете выгрузить координаты и вспомогательную информацию с вашего накопителя данных на компьютер. После этого программа позволяет повысить точность данных, используя специальный метод обработки данных, под названием дифференциальная коррекция. Программное обеспечение выполняет визуализацию ваших GPS данных. Некоторые программы позволяют осуществлять редактирование данных, так что можно манипулировать, уравнивать и удалять координаты и атрибуты данных. Некоторые программы обеспечивают возможность вывода полученных материалов на печать (плоттер, принтер и т.д.). Программное обеспечение различается по количеству возможностей редактирования и экспорта данных. GPS системы помогают при сборе информации о географических объектах и атрибутивной информации для ввода в ГИС или другие базы данных. Программное обеспечение обработки GPS данных экспортирует ваши результаты в ГИС программы, где они могут быть объединены с информацией из других источников для дальнейшей обработки и анализа.

6.3.3. Дифференциальная коррекция

Дифференциальная коррекция – это метод, который значительно увеличивает точность собираемых GPS данных. В этом случае используется приёмник, расположенный в точке с известными координатами (базовая станция), а второй приёмник собирает данные в точках с неизвестными координатами (передвижной приёмник). Данные, полученные в точке с известными координатами, используются для определения ошибок содержащихся в спутниковом сигнале. Затем информация с базовой станции совместно обрабатывается с данными передвижного приёмника, вместе с учётом ошибок содержащихся в спутниковом сигнале, что позволяет устранить ошибки в координатах полученных, на передвижном приёмнике. Вам необходимо знать координаты вашей базовой станции как можно точнее,

так как точность, получаемая в результате дифференциальной коррекции, напрямую зависит от точности координат базовой станции.

Существует два метода выполнения дифференциальной коррекции: в реальном времени и в постобработке. Ниже мы рассмотрим их более подробно.

Дифференциальная коррекция в реальном времени

При работе методом дифференциального GPS в реальном времени, базовая станция вычисляет и передаёт (посредством радиосвязи) ошибки для каждого спутника в то время как он собирает данные. Эти коррекции принимаемые передвижным приёмником используются для уточнения определяемого местоположения. В результате мы можем видеть на экране приёмника дифференциально скорректированные координаты.

Это может быть полезно, когда вам необходимо знать, где Вы находитесь непосредственно в поле. Эти скорректированные положения могут быть сохранены в файл на накопителе. Поправки, передаваемые в реальном времени обычно используют формат в соответствии с рекомендациями RTCM SC-104. Все современные картографические продукты могут выполнять дифференциальную коррекцию в реальном времени.

Дифференциальная коррекция в постобработке

При работе методом дифференциального GPS в постобработке, базовая станция записывает ошибки для каждого спутника прямо в компьютерный файл. Передвижной приёмник также записывает свои данные в компьютерный файл. После возвращения из поля, два файла обрабатываются вместе с помощью специального программного обеспечения и на выходе получается дифференциально скорректированный файл данных передвижного приёмника. Большинство GPS картографических систем включают в себя программу для выполнения дифференциальной коррекции в постобработке.

Одной из замечательных особенностей картографических систем является возможность использования дифференциальной коррекции как в реальном времени, так и в постобработке. Если, во время работы в режиме реального времени, радиосвязь прервётся (например, Вы удалитесь от базовой станции на слишком большое расстояние), то приёмник продолжит записывать нескорректированные данные, которые могут быть в дальнейшем обработаны с помощью дифференциальной коррекции в постобработке.

6.3.4. Параметры сбора данных

Несколько факторов воздействует на качество получаемых результатов. Например, количество приёмников, использующихся при съёмке и их установки. Ниже обсуждаются вопросы, связанные с параметрами сбора данных.

Маска PDOP (Position Dilution of Precision)

Фактор снижения точности определения местоположения (Position Dilution of Precision - PDOP) является наиболее важным фактором, влияющим на точность данных. Вы можете задать такое предельное значение PDOP, при превышении которого определение координат производиться не будет. Этот предел называется маской PDOP, и он должен быть установлен в приёмнике перед началом сбора данных. Рекомендуемое значение маски PDOP для большинства картографических и ГИС приложений составляет 6. На некоторых GPS приёмниках может потребоваться установить маску PDOP равную 4, для того, чтобы достигнуть сантиметрового уровня точности.

Маска уровня сигнала (SNR)

Уровень сигнала, передаваемого спутником, называемый также отношением сигнал-шум (signal-to-noise ratio - SNR), является мерой информативности сигнала по отношению к присутствующему в нем шуму. Уменьшение этой пропорции означает, что информация теряется в шуме. Качество сигнала улучшается по мере увеличения уровня сигнала (уровень сигнала, равный 14, лучше уровня сигнала, равного 8). Обычный уровень L1 сигнала, передаваемого спутником с углом возвышения 30°, лежит в диапазоне от 12 до 20. Уровень L1 сигнала более 20 считается очень хорошим. Качество данных является плохим, если уровень L1 сигнала одного из спутников созвездия оказывается менее 6. Местоположения, определяемые при низком уровне сигнала, можно использовать для навигации, но не для геодезических целей. Следует помнить, что отношение сигнал-шум (SNR) для L2 сигнала часто бывает ниже, чем SNR для L1 сигнала и, в действительности, редко превышает 15. Для оценки зашумленности данных следует обратить внимание на уровень L1 сигнала.

Сигналы GPS спутников являются относительно слабыми. Действительно, всегда присутствующий фоновый шум в большинстве случаев оказывается "громче" GPS сигнала. При особенно слабом уровне сигнала спутника местоположения, вычисленные на основании этих измерений, следует рассматривать как приблизительные.

Существуют четыре наиболее распространенные причины, которые приводят к ослаблению спутниковых сигналов:

- сигнал достигает антенны, после прохождения через препятствие, например, кроны деревьев;
- сигнал переотражается от ближайшей поверхности и достигает фазового центра антенны не по прямой линии, а по ломанной (так называемый эффект многолучёвости);
- чем ниже спутник расположен над горизонтом, тем более слабый сигнал достигает антенны. Сигнал низкого GPS спутника проходит по более длинному пути в тропосфере и ионосфере;

– сигнал от спутника расположенного в определённой области неба может приниматься более качественно. Данный эффект напрямую зависит от диаграммы направленности антенны.

Для того, чтобы избежать регистрации слабого спутникового сигнала, Вы можете использовать маску уровня сигнала. Рекомендованное значение маски равно 6. Это позволит использовать спутники для определения местоположения, только с определённым уровнем отношения сигнал-шум.

Маска по углу возвышения

Маска по углу возвышения – это угол, отсчитываемый от горизонта, ниже которого спутники не используются. Для работ на участках, где имеются местные препятствия (например, листва деревьев или здания) высокая вероятность точного определения базисных линий существует лишь в том случае, если значение маски возвышения равно или превышает 15° . В геодезических GPS приёмниках по умолчанию установлено значение маски возвышения 15° для приложений с постобработкой данных, и 13° для съёмки в реальном времени.

Когда спутник находится близко к горизонту, то возникает две проблемы:

1) Спутниковые сигналы должны пройти значительное расстояние через атмосферу. В результате этого наблюдается более низкий уровень сигнала, и происходит задержка приёма сигнала GPS приёмником (задержка распространения). Так как расстояние до спутника вычисляется на основании времени прохождения, то небольшая задержка во времени распространения сигнала может привести к возникновению существенной ошибки при вычислении расстояния.

2) Сигналы отражаются от соседних к антенне поверхностей, так что приёмник принимает как исходный, так и отраженный сигналы. Этот эффект, называемый многолучевым распространением, является основным источником ошибок в GPS. При условии наличия достаточного количества данных, ошибка многолучевого распространения может быть смоделирована в ходе обработки базисной линии. Более продолжительные периоды наблюдения позволяют программному обеспечению обнаружить и устранить эффекты многолучевого распространения в процессе вычисления базисных линий.

Вы можете уменьшить влияние этих эффектов путем использования значения по умолчанию для маски возвышения (15° для базовой станции и 10° для передвижного приёмника). Не следует забывать, что увеличение предельного значения маски по углу возвышения ограничивает количество спутников отслеживаемых GPS приёмником. Это особенно критично, если значение маски достигает величин 20° - 25° над горизонтом.

Маска по углу возвышения для передвижного приёмника должна быть больше, чем для базовой станции на 1° на 100 км расстояния между приёмниками. На рисунке наглядно изображена возникающая ситуация. Подобная корректировка позволяет увеличить шанс, что передвижной приёмник и базовая станция будут отслеживать одинаковые спутники.

В тех ситуациях, когда имеется вероятность многолучевого распространения, можно установить повыше антенны или увеличить время наблюдений (в течение которых спутники будут перемещаться).

6.3.5. Процедуры сбора данных

Ряд факторов воздействуют на качество результата съёмки. Разные типы работ требуют либо длительных периодов наблюдений, либо высокую точность. Ниже будут рассмотрены эти факторы.

Тип измерений

Некоторые кодовые приёмники могут выполнять ограниченную обработку фазы спутникового сигнала. Большинство современных фазовых геодезических GPS приёмников позволяют получить сантиметровой уровень точности в реальном времени. Однако ограниченное использование фазовых измерений вместе с кодовыми увеличивает время наблюдений на одной точке до нескольких минут.

Использование технологии обработки фазовых измерений даёт результат более точный, чем кодовые измерения. Однако при этом увеличиваются требования к процедуре сбора данных и требуется более сложная обработка “сырых” измерений. Для одной точки съёмки требуется записывать более 10 минут непрерывных фазовых измерений, чтобы получить точность плановых координат и высоты в пределах нескольких сантиметров.

Типы файлов

В поле, одной из первых операций, которую выполняет геодезист является открытие файла (в памяти накопителя или GPS приёмника) для регистрации данных. Существует две разновидности файлов используемых в картографических системах Trimble: файл передвижного приёмника и файл базовой станции. Эти файлы записываются в соответствующем формате, с расширением .SSF (Standard Storage Format или Стандартный Формат Хранения Данных). В процессе обработки получают файлы с другими расширениями, например, .COR, .ADJ, .SSX, и т.д. Несмотря на то, что они имеют другие расширения это тот же формат SSF. Однако файлы, которые создаются в модуле экспорта, имеют уникальные расширения и записаны в формате уникальном для вашей ГИС, CAD, ASCII или другой базы данных.

Файл передвижного приёмника (Rover File)

Большинство файлов в картографических системах являются файлами передвижного приёмника. Файл передвижного приёмника содержит в основном координаты объектов, их описания, атрибутивную информацию и примечания оператора. Кроме того, в файл можно записывать спутниковые орбитальные данные, PDOP и установки приёмника. Эти данные можно собирать и в виде файла базовой станции, но это увеличивает размер файла по сравнению с передвижным. До дифференциальной коррекции координаты имеют точность около 5 метров.

Файл базовой станции

Базовый файл создаётся неподвижным GPS приёмником, расположенным в точке с известными координатами (рис.6.3.5.1). Эти файлы используются для вычисления дифференциальных поправок в постобработке. Зная поправки, можно исключить систематические ошибки из данных передвижного приёмника. В базовый файл записываются измерения и другие данные от каждого отслеживаемого спутника. Один базовый файл можно использовать для дифференциальной коррекции любого количества файлов передвижных приёмников, если в них имеются периоды одновременной записи данных. Чтобы использовать файл для дифференциальной коррекции Вы должны регистрировать данные в файл базовой станции. При этом должны выполняться следующие условия:

- данные в файлах базовой станции и передвижного приёмника должны записываться одновременно;
- файл базовой станции должен регистрировать информацию от всех спутников, которые используются для вычисления координат объектов. Для того, чтобы спутники, принимаемые на передвижном приёмнике, всегда наблюдались базовой станцией необходимо использовать места с открытым небом для установки базового GPS приёмника и более низкую маску по углу возвышения для передвижного приёмника. При этом расстояние между передвижным и базовым GPS приёмниками не должно превышать 500 км;
- интервал записи базовой станции должен совпадать или быть кратным значению, установленному на передвижном приёмнике. Рекомендуемое значение при выполнении измерений в режиме “Статика” составляет 15 минут.

Большинство картографических GPS приёмников могут использоваться в качестве базовой станции. Однако наиболее эффективным и удобным методом для сбора базовых файлов, является использование системы из GPS приёмника и ПО Trimble Reference Station. Установив GPS приёмник на пункт с известными координатами, Вы получаете возможность непрерывно и автоматически регистрировать данные с заданным интервалом и упаковывать

их в файлы за определённый интервал времени, например, за сутки накапливать 24 файла измерений базовой станции с данными, собранными в течении 1-го часа.

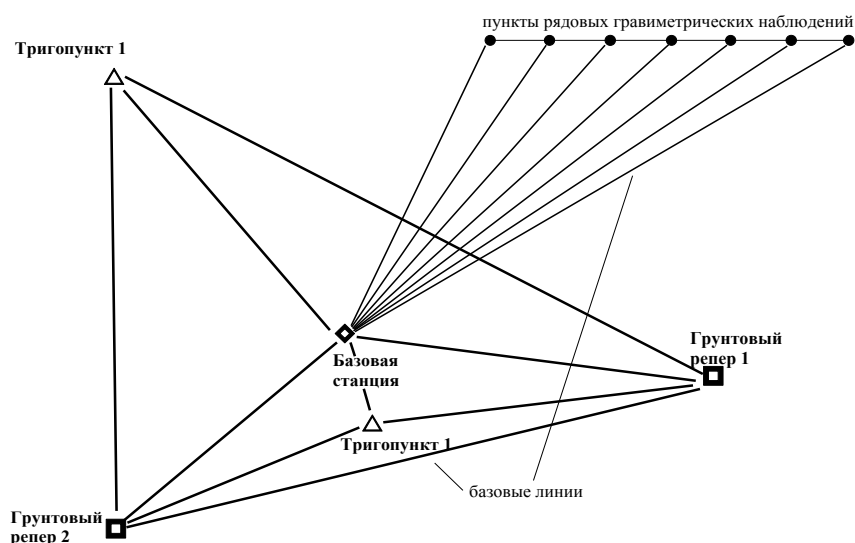


Рисунок 6.3.5.1 – Схема создания каркасной и рядовой геодезической сети GPS-сети.

Точки маршрута (Waypoints)

Большинство приёмников и накопителей позволяют работать с точками маршрута. Точка маршрута имеет название или номер, а также плановые координаты (географические или прямоугольные). Точки маршрута в основном используются для навигации. Максимальное число точек маршрута, которые могут храниться в накопителе, зависит от его типа. Большинство программных продуктов позволяет создавать файл с точками маршрута и перекачивать их в накопитель для последующего использования в навигационных целях.

Файл альманаха

Файл альманаха или эфемеридный файл содержит орбитальную информацию для всех GPS спутников по которой GPS приёмник вычисляет расположение спутников на небе (азимут и высоту над горизонтом). Время передачи со спутника всего файла занимает примерно 12.5 минут. Вам необходимо перекачать альманах из приёмника в компьютер, для того, чтобы соответствующее ПО могло использовать эту информацию при планировании условий измерений. Если альманах, содержащийся в GPS приёмнике устарел, то при начале сеанса наблюдения он записывается автоматически. Кроме того, в большинстве GPS приёмников имеется возможность “вручную” запустить процесс получения альманаха со спутников.

Интервал измерений

Точность дифференциальной коррекции зависит от того, какой интервал записи Вы устанавливаете. При создании файла базовой станции предпочтительно использовать короткие интервалы. Для выполнения дифференциальной коррекции данных передвижного приёмника более важным параметром является суммарное время наблюдений на точке.

Например, большой интервал записи в течении продолжительного периода наблюдений даёт большую точность, чем короткий интервал в течении меньшего времени стояния на точке.

Базовая станция

Данные спутниковых измерений, записываемые в базовый файл, являются основной информацией влияющей на точность дифференциальной коррекции. Эта измерительная информация может записываться по-разному. В виде псевдодальностей или как информация о фазе несущей частоты для каждого спутника.

Интервал записи псевдодальностей может находиться в диапазоне от 1 до 15 секунд. Однако запись измерений чаще, чем один раз в три секунды, не даёт существенного улучшения точности. При этом размер файла увеличивается очень быстрыми темпами. Рекомендуемый интервал (для большинства задач) записи для базовой станции составляет 5 секунд.

Информация о фазе несущей частоты используется для более точной дифференциальной обработки, чем информация по псевдодальностям. Программное обеспечение, выполняющее дифференциальную коррекцию отдельно, обрабатывает измерения псевдодальностей и фазы несущей частоты.

Интервал записи спутникового сигнала по фазе несущей частоты должен быть установлен в диапазоне от 1 до 15 секунды. Более короткий интервал записи приводит к увеличению размера файла. Рекомендуемый интервал (для большинства задач) записи на базовой станции составляет 5 секунд.

Передвижной приёмник

GPS приёмники использующиеся для целей картографии и ГИС разделяются на два типа: кодовые и фазовые. Соответственно меняется и техника выполнения работ, для достижения наибольшей точности измерений.

Дифференциальная коррекция кодовых спутниковых измерений будет более качественной, если передвижной приёмник и базовая станция записывают данные одновременно и с одинаковым интервалом. Например, базовая станция и передвижной приёмник имеют одинаковый интервал записи измерений. В результате ко всем измерениям можно применить технику дифференциальной коррекции. В том случае, когда передвижной приёмник имеет интервал записи измерений 1 секунда, а базовая станция 5 секунд только 20% измерений можно подвергнуть дифференциальной коррекции. В результате 20% данных будет иметь наивысшую точность, а оставшиеся 80% будет менее точными из-за ошибок интерполяции. Рекомендуется, чтобы интервал записи передвижного приёмника был равен или превышал в целое число раз интервал записи базовой станции.

Также, передвижной GPS приёмник может записывать информацию фазы несущей частоты, аналогично базовой станции. В этом случае данные могут быть совместно обработаны (если наблюдения проводились синхронно) и координаты будут иметь сантиметровой или дециметровой уровень точности. Для того чтобы получить сантиметровой уровень точности, необходимо применять в работе высококачественные антенны.

Субметровый уровень точности

Все кодовые GPS приёмники могут вычислять координаты с субметровой точностью с секундным интервалом. Если процесс съёмки выполнен корректно, то приёмник может определить плановые координаты объектов с точностью около 1-го метра. Точность можно повысить с помощью осреднения результатов измерений большего объёма и времени съёмки. При этом передвижной приёмник и базовая станция должны иметь одинаковый интервал записи измерений. Специальное программное обеспечение, использующее данные фазы несущей частоты, позволяет добиться от картографических GPS приёмников уровня точности порядка дециметра.

Расстояние между базовой станцией и передвижным приёмником

От расстояния между базовой станцией и передвижным приёмником зависит точность определения координат. Если расстояние увеличивается, то точность падает на величину, которая зависит от типа GPS приёмника. Например, для приёмника Javad Legacy-E она равна 0.5 мм на км базовой линии, а для Pathfinder Pro XR/XRS 5 мм на км базовой линии.

Для топографо-геодезического обеспечения гравиметрических работ на Крестовской интрузии планируется использовать GPS аппаратуру геодезического класса Javad Legacy-E в дифференциальном режиме с постобработкой. GPS приемники Legacy производства фирмы Topcon Positioning Systems отличаются от большинства подобной аппаратуры возможностью принимать как сигналы спутников Navstar (GPS, глобальная система позиционирования США), так и сигналы системы ГЛОНАСС (глобальная система позиционирования Российской Федерации). Этот фактор является решающим при выборе геодезической аппаратуры, поскольку наличие дополнительной информации в процессе измерений зачастую позволяло получать качественные результаты, в то время как при параллельной работе с аппаратурой, принимающей сигнал только Navstar, приходилось затрачивать в среднем в два раза больше времени (по опыту работ ДГУП ЦАГРЭ, ФГУП БГЭ).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были запроектированы поисково-оценочные работы в пределах Хатангского района Таймырского автономного округа, комплексом геофизических методов, в составе магниторазведки, гравиразведки и гамма-спектрометрии. Необходимость проектирования работ заключается в уточнении геологического строения той части интрузии, где проявлен мелилитолитовый магматизм и локализованы рудные клинопироксениты, картировании, а также в создании современной геофизической основы для детального изучения геологических образований, отличающихся по физико-химическим свойствам зон контактовой гибридизации ультрамафитов, вызванной проявлением мелилитолитового магматизма.

Результатом комплексной геофизической съемки будут являться первичные цифровые материалы физико-химических полей, географические координаты и высоты пунктов наблюдения. В результате комплексной обработки геофизических материалов будет составлена геофизическая основа в виде комплекта графических приложений, включающего карты содержания урана, тория, калия, мощности экспозиционной дозы, аномального магнитного и гравиметрических полей масштаба 1:5000. Итогом анализа физико-химических параметров будет являться создание схемы геолого-геофизической интерпретации масштаба 1:5000, построение структурно-тектонической схемы и геолого-геофизических разрезов, освещающих геологическое строение участка работ. Проект дополняется расчетами итоговой сметной стоимости работ. Также были рассмотрены условия и приведены нормы обеспечения безопасности на объекте, рекомендуемые в соответствии с государственными стандартами Российской Федерации.

По результатам проделанной выпускной работы были изучены принципы проектирования наземных геофизических работ и, непосредственно, выбор самого комплекса для проведения данных работ, применяемые на сегодняшний день.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Опубликованная

1. Богадица В.П., Брагина В.И., Герт А.А. и др. Апатитовые месторождения Маймеча-Котуйской провинции и их геолого-экономическая оценка. Новосибирск: Наука, 1983. 84 с.
2. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С. и др. Петрофизика. Томск, 1977.
3. Додин Д.А. Металлогения Таймыро-Норильского региона (север Центральной Сибири). СПб.: Наука, 2002. – 822 с.
4. Егоров Л.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм (на примере маймеча-котуйского комплекса Полярной Сибири). Л.: Недра, 1991. – 260 с.
5. Малич К.Н., Лопатин Г.Г. Новые данные о металлогении уникального гулинского клинопироксенит - дунитового массива. (Северная Сибирь, Россия). - Геология рудных месторождений, 1997, т. 39, № 3, с. 247-257.
6. Малич К.Н., Лопатин Г.Г. Геология и формационная принадлежность ультрамафитов Гулинского интрузива. В кн.: Недра Таймыра, вып. 2. Изд. ВСЕГЕИ, 1997, с. 86-103.
7. Сазонов А.М., Звягина Е.А., Леонтьев С.И. и др. Платиноносные щелочно-ультраосновные интрузии Полярной Сибири. Томск: Изд-во ЦНТИ, 2001. 510 с.
8. Сазонов А.М., Ежелый Ю.В. Элементы структуры Крестовской интрузии щелочно-ультраосновных пород. КГАЦМиЗ, Красноярск, 2000.
9. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. М.: «Недра», 1989, -с.
10. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда). Учеб. пос. для вузов // П.П.Кукин, В.Л. Лапшин и др. – М.: Высш. шк., 1999 г -318 с.
11. Охрана труда в вычислительных центрах. Уч. пособие для студентов // Ю.Г. Сибаров и др. – М.: Малико, 1990.-192 с.
12. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н., Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. – Саратов, Сар. Гос.тех.ун-т, 2000.-124 с.
13. Методические указания по разработке раздела «Производственная и экологическая безопасность при проведении геологоразведочных работ» выпускной квалификационной работы для студентов заочного и очного обучения всех направлений и специальностей Института геологии и нефтегазового дела. Сост. Крепша Н.В., Свиридов Ю.Ф.. –Томск: Изд. ТПУ, 2002. –36 с.

14. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
15. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
16. ГОСТ 12.1.030-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
17. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
18. ГОСТ 12.2.062-81. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Ограждения защитные.
19. ГОСТ 12.4.125-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов. Классификация.
20. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
21. ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.
22. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
23. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
24. СанПиН 2.2.2./2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
25. СНиП 21-01-97. "Пожарная безопасность зданий и сооружений".
26. СНиП 23-05-95. "Естественное и искусственное освещение".
27. ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
28. ГОСТ Р 2.2.2005-06. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
29. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
31. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
32. ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.

33. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.
34. Правила безопасности при геологоразведочных работах ПБ 08-37-93.
35. ПТБ-88. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах.
36. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.
37. РМГ 78-2005 ГСИ. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения.
38. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009.

Фондовая

39. Кошевой В.В. Отчет «Гравиметрическая съёмка масштаба 1:50 000 на Гулинской площади». ДГУП ЦАГРЭ (ВСЕГЕИ), Норильск, 2002.
40. *Лазарев Ф.Д.* и др. Отчет «Подготовка геофизической основы для ГСР-50 и поисков на Гулинской площади». ГГП ЦАГРЭ, Норильск, 1998.
41. *Лазарев Ф.Д.* и др. Технический отчет «Комплексная аэрогеофизическая съемка масштаба 1:20 000 на Гулинской площади с целью оконтуривания Крестовского щелочного, щелочно-ультраосновного интрузива». ГГП ЦАГРЭ, Норильск, 1999.
42. *Лазарев Ф.Д. и др.* Оценка возможности использования комплексных аэрогеофизических исследований (магнитометрия, гамма-спектрометрия, электроразведка методом СДВР) для решения структурно-тектонических, картировочных и поисковых задач при региональных геолого-съёмочных работах м-ба 1:200 000. ГГП ЦАГРЭ, Норильск, 2000.
43. Лопатин Г.Г. Отчет Полярной партии о геологической съёмке масштаба 1:200 000 на Гулинской площади (лист R-47-XI, XII). – Хатанга, 1997.
44. Лопатин Г.Г. Групповая геологическая съёмка масштаба 1:50 000 с общими поисками и мелкомасштабное глубинное геологическое картирование на Гулинской площади. Информационный отчет ООО "ПГРЭ" за 1996 – 2002 г.г., Хатанга, 2002.
45. Сазонов А.М. Разработка поисковых минералого-геохимических критериев и рекогносцировочная оценка золотоплатиноносности Крестовской интрузии. КГАЦМиЗ, Красноярск, 2001.
46. *Четвергов А.П.* Отчет о гравиметрической съёмке масштаба 1:200 000 на Котуйской площади (работы Котуйской партии Красноярской гравиметрической экспедиции № 3, КГУ за 1977-1978 гг.). Красноярск, 1978.

47. Четвергов А.П. Особенности тектонического строения и размещения полезных ископаемых Красноярского края и прилегающих районов на основе геологического истолкования гравиметрической карты масштаба 1:1500 000. Отчет тематической группы за 1993-1998 гг. ГП “Гравиметрическая экспедиция №3”, Красноярск, 1998.