

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет
имени К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова

Кафедра Геофизики

Наурзбаев Азамат Маратович

Выделение сульфидной минерализации на основе современных
геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных
месторождениях

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 6М074700 – «Геофизические методы поисков и разведки
МПИ»

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет
имени К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова

УДК 550. 83+553.3 (574.31)

На правах рукописи

Наурзбаев Азамат Маратович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание академической степени магистра

| | |
|------------------------|--|
| Название диссертации | Выделение сульфидной минерализации на основе современных геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных месторождениях |
| Направление подготовки | 6М074700 – «Геофизические методы поисков и разведки МПИ» |

Научный руководитель, доктор
PhD, ассистент профессора



Умирова Г.К.

«27» июня 2020 г.

Рецензент



Муратова С.К.

«27» июня 2020 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Геофизики доктор геолого –
минералогических наук,
профессор



Абетов А.Е.

«28» июня 2020 г.

Нормоконтроль,



Алиакбар М.М.

« 27 » июня 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет
имени К.И.Сатпаева

Институт геологии, нефти и горного дела им. К. Турысова

Кафедра Геофизики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Геофизики доктор геолого –
минералогических наук,
профессор

 Абетов А. Е.
“ 28 ” июня 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Наурзбаев Азамат Маратович

Тема магистерской диссертации: Выделение сульфидной минерализации на основе современных геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных месторождениях

Утверждена приказом по университету № 1193-м от 29 октября 2018 г.

Срок сдачи законченной работы « 3 » июля 2020 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: *научная литература, статьи*

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) *Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане*

б) *Обработка и результаты аэромагниторазведки*

в) *Выделение сульфидной минерализации на основе современных геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных месторождениях.*

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Инструкция по электроразведке (наземная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка)/М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 534 с.
- 2 Савин А.П. Физические величины применяемые в разведочной геофизике, их единицы. Справочные данные – Л.: Недра, 1985- 128 с.
- 3 М.С. Жданов. Электроразведка. М. , «Недра», 1986.
- 4 Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. 1980. Недра. Учебное пособие.
- 5 Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка)/М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 263 с.
- 6 Коврижных П.Н., Кожамсугиров Д.О., Кожевников С.Н. и др. Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане// Ж. Геология и охрана недр. Алматы, - 2017, №4(65). - с. 34-42
- 7 Куликов А.В. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации / А.В.Куликов, Е.А.Шемякин – Москва: Недра, 1978. - 157с.
- 8 Куликов, В.А. Практическое применение временных (частотных) характеристик процесса вызванной поляризации для разделения аномалий от углефицированных пород и сульфидов / В.А.Куликов, А.Г.Яковлев // Геофизика. – 2008. - №6. - с.55-60.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

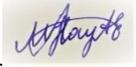
| Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю и консультантам | Примечание |
|---|---|------------|
| Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане | 25.11.2019 г. | |
| Обработка и результаты аэромагниторазведки | 20.01.2020 г. | |
| Выделение сульфидной минерализации на основе современных геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных месторождениях | 10.05.2020г. | |

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов работы

| Наименования разделов | Консультанты, И.О. Ф. (уч. степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|--|---|--------------------|---|
| Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане | Научный руководитель, доктор PhD, ассистент профессора Умирова Г.К. | 25.11.2019 г |  |
| Обработка и результаты аэромагниторазведки | Научный руководитель, доктор PhD, ассистент профессора Умирова Г.К. | 20.01.2020 г |  |
| Выделение сульфидной минерализации на основе современных геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных месторождениях | Научный руководитель, доктор PhD, ассистент профессора Умирова Г.К. | 10.05.2020г |  |
| Нормоконтролер | Алиакбар М.М. тьютор | 27.06.2020г. |  |

Научный руководитель _____  _____ Умирова Г.К.

Задание принял к исполнению магистрант _____  _____ Наурзбаев А.М.

Дата " 27 " _____ июня _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

к магистерской диссертации «Выделение сульфидной минерализации на основе современных геофизических аппаратурно-программных технологий на рудных месторождениях»

Данная магистерская диссертация посвящена анализу результатов комплексных геофизических исследований, полученных при проведении аэромагниторазведки с применением БПЛА в комплексе с электроразведкой методом ВП-СГ в районе золотоносного рудного узла Алтын-Байское Северо-Казахстанской области для картирования пород фундамента, разрывных нарушений, гидротермально-металлогенических образований, а также выявления площадей или зон, которые могут быть связаны с сульфидной минерализацией и окварцеванием пород фундамента.

В результате проведенного анализа уточнено геологическое строение площади, рассмотрены алгоритмы построения объемных геомагнитных моделей с использованием разных алгоритмов расчета, исследованы технологии уточнения положения границ интрузивных массивов, крупных тектонических структур и элементов. Анализ полученных геофизических данных позволил уточнить геологическое строение района, выделить участки аномального распределения поляризуемости, перспективных на золотосульфидное оруденение и выделить разрывные нарушения.

АҢДАТПА

«Кен орындарында қазіргі геофизикалық аппаратуралық-бағдарламалық технологиялар негізінде сульфидті минералдануды белгілеу» магистрлік диссертацияға.

Бұл магистрлік диссертация іргетас жыныстарын, үзілу бұзылыстарын, гидротермалды-металлогеникалық түзілімдерді картаға түсіру үшін Солтүстік Қазақстан облысының Алтын-бай алтын кен торабы ауданында ВП-СГ әдісімен электр барлаумен кешенде БПЛА қолданумен аэромагнитті барлауды жүргізу кезінде алынған кешенді геофизикалық зерттеулердің нәтижелерін талдауға, сондай-ақ сульфидті минералдандырумен және іргетас жыныстарын Дәнекерлеумен байланысты болуы мүмкін аудандарды немесе аймақтарды анықтауға арналған.

Жүргізілген талдау нәтижесінде ауданның геологиялық құрылысы нақтыланды, есептеудің әртүрлі алгоритмдерін пайдалана отырып, көлемді геомагнитикалық үлгілерді құру алгоритмдері қарастырылды, интрузивті массивтер, ірі тектоникалық құрылымдар мен элементтер шекараларының жағдайын нақтылау технологиялары зерттелді. Алынған геофизикалық деректерді талдау ауданның геологиялық құрылымын нақтылауға, алтынсульфидті кенденуге перспективалы поляриземдіктің аномальді таралу учаскелерін бөлуге және ажыратылған бұзылуларды бөлуге мүмкіндік берді.

ANNOTATION

to the master's thesis «Allocation of sulfide mineralization on the basis of modern geophysical hardware and software technologies in ore deposits»

This master's thesis is devoted to the analysis of the results of complex geophysical surveys obtained during aeromagnetic exploration using UAVs in combination with electric prospecting using the IP-MG method in the area of the Altyn-Baiskoe gold ore cluster of the North Kazakhstan region for mapping basement rocks, explosive faults, hydrothermal metallogenic formations, as well as identifying areas or zones that may be associated with sulfide mineralization and silicification of basement rocks.

As a result of the analysis, the geological structure of the area was clarified, algorithms for constructing volumetric geomagnetic models using various calculation algorithms were considered, technologies for clarifying the position of the boundaries of intrusive massifs, large tectonic structures and elements were studied. An analysis of the obtained geophysical data made it possible to clarify the geological structure of the region, to identify areas of anomalous distribution of polarizability promising for gold-sulfide mineralization and to identify discontinuous disturbances.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| Содержание | |
| Введение | 11 |
| 1. Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане | 13 |
| 2 Геофизическая изученность и краткая геологическая характеристика участка Алтын-Бай | 18 |
| 2.1 Краткий очерк геологического строения района и Алтын-Байского рудного узла | 18 |
| 2.2 Обзор и анализ геологической, геофизической и литогеохимической изученности района Алтын-Байского рудного узла | 21 |
| 3 Аэромагнитная съемка | 23 |
| 3.1 Аппаратура аэромагниторазведки | 23 |
| 3.2 Обработка и результаты аэромагниторазведки | 36 |
| 4 Электроразведка методом ВП-СГ | 38 |
| 4.1 Методика и техника электроразведки ВП-СГ | 38 |
| 4.2 Обработка и результаты электроразведки ВП-СГ | 43 |
| 5 Геологическая интерпретация геофизических данных | 49 |
| 5.1 Методика интерпретации и программные средства | 50 |
| 5.1.1 Трансформации потенциальных полей | 51 |
| 5.2 Критерии геологической интерпретации геофизических материалов | 51 |
| 5.3 Результаты интерпретации данных магниторазведки | 53 |
| 5.4 Результаты интерпретации данных электроразведки ВП-СГ | 85 |
| 6 Результаты работ | 94 |
| Заключение | 107 |
| Список использованной литературы | 108 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Минерально-сырьевая база Казахстана – один из важнейших источников развития экономики РК. Одними из основных видов полезных ископаемых для Казахстана (кроме нефти и газа) являются золото, медь, цинк, уран и т. д. Технология поисков, разведки, добычи, транспортировки и переработки этих полезных ископаемых – весьма сложный, трудоемкий и дорогостоящий процесс, требующий длительного времени и достаточного финансирования. Конечная стоимость единицы добываемого продукта – совокупность затрат на реализацию каждого из вышеупомянутых этапов. Удешевление любого из них, в том числе и поискового, в конечном счете, ведет к общему снижению стоимости валового продукта. Поэтому повышение эффективности поискового этапа, который заключается в увеличении достоверности прогноза, уменьшении сроков выполнения поисковых работ и ввода объектов в эксплуатацию является важной геолого-экономической задачей. Ключевой момент ее решения – выбор максимально целесообразного, экономически и геологически эффективного комплекса методов поиска.

Цель и решаемые геологические задачи

Цель исследований - выделение сульфидной минерализации по результатам аэрогеофизических исследований в комплексе с электроразведкой.

Для достижения поставленной цели были решены следующие геолого-геофизические и технологические задачи:

- Сбор анализ и обобщение геолого-геофизических материалов и изученности месторождения Алтын-Байское;
- Проведение комплекса геофизических работ в составе аэромагниторазведки с использованием БПЛА и электроразведки методом ВП-СГ;
- Анализ результатов обработки и интерпретации полученных геофизических материалов, включая объемное моделирование;
- Комплексная интерпретация геологической геомагнитной и геоэлектрической модели с целью выделения зон рудной минерализации.

Научная новизна

Проведен анализ результатов инновационной аэромагнитной съемки с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане.

Сделана оценка эффективности проведения аэромагниторазведочных работ с применением БПЛА в комплексе с электроразведкой на примере золоторудного месторождения.

Оценена экономическая рациональность использования аэромагниторазведки с применением БПЛА в сравнении с аналогичным методом геофизики с применением пилотируемой авиации.

Практическая значимость

Проведен сбор анализ и обобщение геолого-геофизических материалов и изученности месторождения Алтын-Байское.

Сделан анализ результатов обработки и интерпретации полученных геофизических материалов, включая объемное моделирование

Проведена комплексная интерпретация геологической геомагнитной и геоэлектрической модели с целью выделения зон рудной минерализации.

Выполнены интерпретационные построения с применением современных технологий и программных комплексов. Уточнено геологическое строение площади, построены объемные геомагнитные модели с использованием разных алгоритмов расчета, уточнено положение границ интрузивных массивов, крупных тектонических структур и элементов.

Фактографическая база данных

При написании диссертации были использованы учебные пособия, опубликованные монографии и статьи.

Среди опубликованных материалов, оказавших большое влияние на структуру и содержание диссертации, можно назвать работы: М-во геологии СССР, (1981), Савин А.П, (1985), М.С. Жданов., (1986), Комаров В.А. (1980), М-во геологии СССР, (1981), Коврижных П.Н., Кожамсугиров Д.О., Кожевников С.Н. и др.(2017), Куликов А.В., А.В.Куликов, Е.А.Шемякин, (1978), Куликов, В.А., В.А.Куликов, А.Г.Яковлев, (2008).

1 Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане

Аэромагнитная съёмка — метод измерения напряжённости геомагнитного поля с помощью летательного аппарата. Аэромагнитная съёмка проводится для тектонического районирования, геологического картирования, поисков месторождений полезных ископаемых. Аэромагнитная съёмка имеет преимущества по сравнению с другими видами съёмок. Преимущества заключаются в следующем: съёмка может быть выполнена с помощью одной и той же аппаратуры над различным рельефом, самолёт или другой летательный аппарат обеспечивает максимальную производительность магнитной съёмки.

В России аэромагнитная съёмка стала проводиться с 30-х годов XX века. Методику аэромагнитной разведки разработал геофизик Логачев Александр Андреевич. Первые съёмки проводились с применением феррозондовых аэромагнитометров. В 1950-1960 годах с помощью протонных и феррозондовых аэромагнитометров была подвергнута съёмке с высоты 200-300 метров практически вся территория СССР.

В США большая работа по аэромагнитной съёмке была проведена магнитологами США в рамках проекта Магнит. Этим проектом предусматривались измерения магнитного склонения, магнитного наклона, модуля, а также горизонтальной и вертикальной составляющих вектора магнитной индукции над всеми океанами по маршрутам общей протяженностью свыше 3 млн. кв. км. Измерения выполнялись с высоты 5-7 км.

В 1972 году. Южно-Казахстанская геофизическая экспедиция была переименована в Казахстанскую аэрогеолого-геофизическую экспедицию.

Первые комплексные аэрогеофизические съёмки - аэромагнитная и аэрогамма - спектрометрические съёмки в 1973-1974 годах выполнялись с аэрогеофизической станцией АСГ-48, состоящей из феррозондового аэромагнитометра АМФ-21 и спектрометров АСГ-48, а с 1975 года съёмки начали проводиться более современной станцией АГС-71 СМ, оснащенной спектрометром АСГ-71 и высокоточным ядерным магнитометром ЯМП-3, разработанным в КазВИРГ.

Высокоточные аэромагнитные съёмки выполнялись с использованием квантовых аэроманитометров КАМ - 28 и протонных магнитометров М-214, М-305 на выносной гондоле с фотопривязкой, а с 1965 года радиогеодезической привязкой маршрутов.

Съёмки в основном выполнялись на самолете Ан-2, на скорости 175 км/час. В сильно пересеченной местности в горах Каратау и Алатау в качестве носителя использовались вертолеты Ми-4 и Ми-8. Съёмка акватории Каспийского моря в соответствии с требованиями безопасности полетов выполнялась на двухмоторном самолете Ил-14 на высоте до 100 м.

В последние годы в мировой практике поисковых работ наблюдается устойчивое повышение интереса к подобным «легким» методам как магнитометрия, гамма-спектрометрия, гравиметрия и др. Оперативный, основательно обоснованный и экономически целесообразный прогноз месторождений твердых полезных ископаемых в нынешнее время невозможно представить без использования аэрогеофизического комплекса методов, особенно в труднодоступных районах РК. Аэрогеофизические методы, оснащенные совершенным и наиболее полным на сегодняшний день комплектом оборудования, отличаются высокой разрешающей способностью и мобильностью, не требуют существенных финансовых затрат и становятся не только неотъемлемым, но и первым звеном технологической схемы поисковых работ в различных регионах РК. Еще одним достоинством аэрогеофизики является использование спутниковых навигационных систем, что обеспечивает высокую точность плановой и высотной привязки результатов измерений.

Основными факторами, обуславливающими внедрение в практику поисковых работ комплекса дистанционных геофизических исследований, являются: сложность геологического строения, экстремальные климатические условия, большие территории исследований, неразвитая инфраструктура, сравнительно слабая геолого-геофизическая изученность. При таких условиях аэрогеофизические исследования являются одним из основных видов опережающих ГРР, позволяющих оперативное проведение высокоточных цифровых съёмок на ранних стадиях поисковых работ, которые обеспечивают эффективную интерпретацию полученных данных с последующим определением участков для детальных наземных работ.

В последние десять лет в Казахстане наблюдается системное увеличение объема аэрогеофизических работ в общем составе геологоразведочных исследований, однако в сравнении со средним мировым уровнем увеличение процента аэрогеофизических съёмок несравнимо меньше. В качестве одной из причин можно назвать высокую стоимость эксплуатации вертолетов и самолетов (АН-24, Cessna др.), которые являются носителями аэрогеофизических комплексов, и в сложности привлечения авиационной инфраструктуры, наличии или создании специальных взлетно-посадочных площадок в районах проведения исследований и, как следствие, ограничение доступа широкого круга исследователей к этой технологии.

Решение данной проблемы видится в применении инновационных технологий в виде беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для реализации аэрогеофизических технологий.

Разработка миниатюрных высокоточных и быстродействующих магнитометрических систем массой менее килограмма, большое разнообразие серийно выпускаемых беспилотных летательных аппаратов стали причиной создания принципиально новой технологии аэромагнитных съёмок, сочетающей в себе высокую маневренность беспилотного летательного аппарата с высокой чувствительностью магнитометрического

оборудования, в связи с чем удалось повысить точность измерения магнитных данных в 50-100 раз. И в этом аспекте круг рассматриваемых в данной статье вопросов является актуальным.

Современная методика проведения аэромагниторазведочных исследований на основе использования БПЛА с целью создания цифровой модели геофизических параметров для повышения эффективности геологоразведочных работ реализуется во многих компаниях РК. Успешное практическое применение этой технологии позволяет утверждать, что на пути решения проблемы создания наиболее адекватных действительности геолого-геофизических моделей, способствующих повышению эффективности геологоразведочного процесса, возможен существенный прогресс, если включить в общую схему стадийности производства поисковых работ на золото и сопутствующие полезные ископаемые комплексные аэрогеофизические методы, в частности, аэромагниторазведку.

Аэромагниторазведка с БПЛА может решать ряд геологических задач. Например, поиски железорудных и других видов полезных ископаемых (включая углеводородное сырье), структурные исследования, картирование пород фундамента, разрывных нарушений и гидротермально-металлогенических образований, а также может решать более локальные задачи типа поисков малых интрузий золотоносного типа и т. д.

Выше мы уже отмечали преимущества аэромагнитной съёмки в сравнении с другими видами съёмок: измерения выполняются одной и той же аппаратурой над различным рельефом, методы интерпретации аэрогеофизических данных как в теории, так и в практической реализации в виде специализированного программного обеспечения значительно развились и стали неотъемлемой частью представления результатов аэрогеофизических съёмок, использование летательного аппарата обеспечивает максимальную производительность магнитной съёмки. В свою очередь, аэромагнитные съёмки с БПЛА имеют свои преимущества перед аналогичной методикой с применением пилотируемой авиации (самолеты, вертолеты): автоматический режим полета; полет с огибанием рельефа на более низких высотах; сниженное влияние девиационных помех: дешевизна метода при изучении площадей средних размеров (десятки, первые сотни кв. км); построение рельефа местности. Отметим, что высокоточная магнитная съёмка с применением БПЛА представляет возможность получать данные магнитного поля со скоростью аэросъёмки и точностью наземной разведки. Результаты магниторазведки с применением БПЛА имеют преимущества не только в сравнении с аэрометодами с пилотируемой авиацией, но и в сравнении с пешеходной магниторазведкой, которые заключаются в менее высоком уровне шума при измерении магнитного поля.

Совершенствование съёмочной аппаратуры, произошедшее в течение одного десятилетия (семидесятые-восьмидесятые), позволило достигнуть повышения точности измерений напряженности магнитного поля от + 25-50 ГТл до 0,1-0,5 нТл. Перспективы использования аэромагнитной съёмки

связаны с повышением точности аэромагнитометров, предназначенных для измерения компонент напряжённости геомагнитного поля, а также созданием аэромагнитометров-градиентометров.

Выполнение крупномасштабных низковысотных магнитных съемок высокого разрешения с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) по сравнению с наземными методами позволило повысить скорость исследований, особенно на труднопроходимых и удаленных от инфраструктуры территориях. Также, измерения магнитного поля при пешем передвижении характеризуются существенно более высоким уровнем шумов по отношению к данным аэромагнитных наблюдений с БПЛА.

Для снижения девиационных помех (влияние магнитного поля летательного аппарата), датчик магнитометра помещается в подвесной гондоле. В комплекс входит аппаратура спутниковой навигации (GPS+ГЛОНАС), обеспечивая координатную привязку точек измерения (антенны расположены как на БПЛА, так и в гондоле).

Специальное программное обеспечение позволяет подготовить детальное полетное задание с учетом цифровой модели местности, которая может быть получена методом фотограмметрии (обработка фотоизображений, полученных с использованием БПЛА).

Основные решаемые задачи:

1. выявление рудных залежей при благоприятной магнитной дифференциации пород;
2. картирование разноранговых зон разрывных нарушений;
3. выделение интрузивных комплексов различного состава;
4. выделение зон метасоматически измененных пород;
5. картирование погребенных палеодолин с целью прогнозирования россыпных месторождений.

С применением комплекса появляется возможность объемного изучения магнитного поля за счет повывсотных съемок и отработки вертикального профиля. Это позволяет применять новые методы анализа и интерпретации данных магнитометрии, которые повышают уровень достоверности объемных геомагнитных моделей.

Максимальная горизонтальная скорость квадрокоптера 50 км/ч (14 м/с), аэромагнитная съемка проводится на скорости 36 км/час (10 м/сек). Минимальная относительная безопасная высота полета – 25 м, максимальная – 500 м. Продолжительность одного вылета (от взлета до посадки) определяется емкостью аккумулятора БПЛА и массой полезной нагрузки, и достигает 60 минут. За это время может быть выполнено 22 пог. км аэромагнитной съемки (с учетом подлетов и разворотов).

Отклонение фактических линий полета от заданных не превышает 0,6 м. За один съемочный день, периодически заменяя батарею, возможно выполнить 12-16 вылетов и отработать 160-220 км съемочных маршрутов.

Основные параметры магнитометра:

1. Тип: квантовый рубидиевый

2. Чувствительность: 30-50 пТл/ $\sqrt{\text{Гц}}$
3. Диапазон измерения: 20000 нТл – 100000 нТл
4. Частота измерений: 1000 Гц
5. Диапазон допустимых углов датчика: $\pm 45^\circ$
6. Диапазон рабочих температур: от -20 до +40 °С
7. Общая девиационная ошибка: <0.1 нТл

Преимущества магнитных съемок с БПЛА над магнитными съемками с применением пилотируемой авиации (самолеты, вертолеты): полет в автоматическом режиме; возможность полета на малой высоте с огибанием рельефа; исключение влияния собственных магнитных полей; дешевизна метода при изучении площадей средних размеров (десятки, первые сотни кв. км); построении рельефа местности.

Высокоточная магнитная съемка с применением БПЛА предоставляет возможность получать данные магнитного поля со скоростью аэросъемки и точностью наземной разведки.

В прошлом столетии аэрогеофизические съемки выполнялись на ранних стадиях изучения территорий, входя в состав опережающей геофизики. Опережающая геофизика – комплекс основных геофизических методов, предназначенный для подготовки площадей для геологосъемочных работ. Результаты таких съемок служили основой для решения как задач общего геологического назначения (геологическое и структурно-тектоническое картирование, ландшафтно-геологическое районирование и т.п.), так и целевых, направленных на локализацию перспективных объектов.

На современном этапе термин «опережающая геофизика», к сожалению, утратил свое значение. В редких случаях аэрогеофизические исследования в РК используются при выполнении ГДП-200.

В связи с необходимостью обеспечения прироста минерально-сырьевой базы Республики Казахстан, приобретает актуальность проведения аэрогеофизических съемок на этапе региональных исследований. Высокочастотная аэромагнитная съемка с применением БПЛА в комплексе с другими геофизическими методами, входящими в состав опережающей геофизики, позволяют сократить материальные и, что не менее важно, временные затраты при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. На основе результатов этих работ имеется возможность оконтурить перспективные участки для проведения дальнейших геолого-геофизических исследований. Именно по этой причине в настоящее время крупные геологоразведочные компании, как казахстанские, так и зарубежные, начинают изучение площадей именно с аэромагниторазведки.

2 Геофизическая изученность и краткая геологическая характеристика участка Алтын-Бай

2.1 Краткий очерк геологического строения района и Алтын-Байского рудного узла

Район Алтын-Байского рудного узла расположен вблизи сопряжения Степнякского синклинория и Ишкеольмесского антиклинория в области зоны глубинных региональных разломов северо-западного направления известных как Атансорский, Западно - и Северо-Атансорские. Атансорский и Западно-Атансорский разломы к юго-востоку сливаются и совместно с Омск-Целиноградским глубинным разломом контролируют в пространстве крупный Аксу-Маньбайский рудный узел с рудными полями месторождений золота Кварцитовые Горки, Аксу и месторождение урана Маньбайское.

В этом плане позиция рудного узла в мегаструктурах района весьма благоприятна для поисков месторождений золота. Район и рудный узел имеют сложное блоковое строение, что вызвано многочисленными разрывными нарушениями разного направления и порядка. В них развиты образования *Алтынской* свиты **нижнего-среднего ордовика**, *сагской* свиты **среднего ордовика**, *майлисорской* свиты **среднего ордовика** и *бельгаашской* свиты **верхнего ордовика**. Сагской, майлисорской и бельгаашской свитам сопутствуют свои субвулканические комплексы.

Алтынская свита закартирована в юго-западном углу контрактной площади и заключена в блоке, ограниченном Атансорским и Западно-Атансорским разломами. Свита сложена песчаниками, алевролитами, конгломератами, аргиллитами, реже известняками и кремнистыми породами. В некоторых частях разреза отмечаются породы (алевролиты, известняки) черного цвета за счет углеродистого вещества. Это в какой-то мере роднит часть разреза свиты с породами карбонатно-углеродистой золотоносной формации. По фондовым данным проявления золотой минерализации (1,6г/т) отмечены в темных известняках.

Ожелезненные (охры) известняки установлены в западной части участка Алтын 1978-1982 г. г. (Ярица Н.Д., 1982 г.).

Сагская свита занимает восточную половину площади исследований. Её контакт с Алтынской свитой проходит по Атансорскому разлому. Свита сложена вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами: андезитами, андезибазальтами, базальтами, дацитами, риодацитами, их туфами, туфоконгломератами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, туффитами. Эти отложения рвутся субвулканическими телами базальтов, андезибазальтов, андезитов, андезидацитов.

На площади Алтын-Байского узла сагская свита подразделена на две толщи. Нижняя – существенно вулканитовая и верхняя – туфогенно-осадочная.

Породы нижней толщи, контактирующие с гранитами, сильно рассланцованы, хлоритизированы, местами окварцованные, с вкрапленностью пирита.

Образования *бельгашской свиты* занимают центральную часть площади исследований и участка Алтын. Они представлены лавами и туфами риолитов, дацитами, андезитами субвулканического комплекса, прорывающими только образования сагской свиты. Размеры субвулканитов от первых десятков-первых сотен м до 1-3 км. Субвулканиты (некки, жерла и околожерловые покровы) занимают порядка 40% площади развития пород сагской свиты.

В районе обширную площадь слагают **интрузивы позднеордовикского крыккудукского комплекса**. На площади исследований они занимают её западную и северную части. Здесь интрузивный комплекс представлен гранодиоритами, лейкократовыми гранитами, кварцевыми диоритами, средне-мелкозернистыми гранитами, реже лейкогаббро-норитами. Дайковый комплекс, представлен дайками диоритовых порфиритов, микродиоритов, спессартитов, мелкозернистых гранитов, аплитов. Малые интрузивные тела диоритового состава известны и в поле развития пород сагской свиты. Они сходны с интрузивными телами золотоносного степняцкого типа. Вдоль Западного-Атансорского разлома интрузивные породы рассланцованы и пропилитизированы.

В зоне Атансорского главного разлома закартирована дайкообразная интрузия сиенодиоритов, кварцевых сиенодиоритов, граносиенитов протяженностью более 10 км. Мощность этого интрузивного тела от 0,15 до 0,6 км, отнесено оно к тассуйскому (аралаульскому) силурийскому интрузивному комплексу. С этим комплексом в Селеты-Степнякском мегасинклинии связаны месторождения золота Таукен, Акбеит и другие, а за его пределами – Новоднепровское месторождение.

В зоне указанных выше Атансорских разломов площадь имеет весьма сложное строение в связи с широким развитием разрывных нарушений северо-восточного, реже широтного, направлений. Известные на площади проявления золота кварцево-жильного типа приурочены к разрывным нарушениям всех трех направлений.

На площади исследования широко развиты разнообразные **гидротермально-метасоматические образования**. Это вторичные кварциты в разной степени минерализованные пиритом и, иногда, халькопиритом, беретизированные кислые и средние лавы, субвулканические тела, пропилитизированные кварцевые сиенодиориты и граносиениты. Преобладают вторичные кварциты, которые слагают тела размером от десятков м² до 2-3 км². Они развиты по кремнекислым субвулканическим телам бельгашской свиты, в том числе по жерловым фациям.

По породам складчатого фундамента почти повсеместно развита **кора выветривания**. Под наносы и на поверхность выходят разные её уровни. На положительных формах рельефа это щебнисто-дресвяные грунты (зона дезинтеграции). В пониженных частях рельефа под покровными суглинками сохранилась глинистая и глинисто-щебнистая кора выветривания.

Рисунок 2.1 – Геологическая карта Алтын-Байского узла (по результатам работ 1968-1972 г. г. (Бабичев Е.А., Спиридонов В.М. и другие, 1973 г.)).

2.2 Обзор и анализ геологической, геофизической и литогеохимической изученности района Алтын-Байского рудного узла

Планомерное изучение района, включающего площадь рудного узла, началось в 30-х годах прошлого века в связи с активизацией поисковых работ на золото после открытия месторождения Аксу (1929 г.) и других. Приведенные картограммы изученности района свидетельствуют о многочисленности работ тематического плана; по геологическому картированию разных масштабов (от 1:1 000 000-1:500 000 до 1:200 000-1:50 000), по геофизическим работам (1:200 000-1:50 000), по литохимической (металлометрической) съемке (1:50 000).

По площади Алтын-Байского рудного узла имеются кондиционные геологические карты, карты палеозойского фундамента, карты магнитных и гравитационных полей, вторичных ореолов рассеяния рудных элементов (кроме золота). Большая часть площади всего Алтын-Байского рудного узла (68 км) опоискована геолого-геофизическими и литохимическими методами масштаба 1:10 000 в 1978-1982 г. г.

Первые маршрутные поисковые работы на этой площади были проведены в 1948 году геологами треста «Каззолото». Работы ориентировались на выявление месторождений золота кварцево-жильного типа. В это время были обнаружены рудопроявления Кульжабай, Ейман, б/н 38 и б/н 39.

В 1952 г. выявлено рудопоявление Бай.

В 1960 г. в результате проведения геологической съемки ГС-50 000 (Дехтярева Л.В. 1961 г.) были обнаружены рудопоявления Алтын, Апсалам, а также 10 новых пунктов (точек) золотой минерализации. В то же время часть жил была отработана с поверхности траншеями и дудками старателями рудника Аксу. Данных о количествах и качестве добытой руды не сохранилось. Дехтярева Л.В. площадь нынешнего рудного узла считала высокоперспективной на выявление достаточно крупных золоторудных объектов и рекомендовала продолжения на нём детальных поисковых работ.

В 1968-1971 г. г. площадь рудного узла была охвачена новой геологической съемкой ГС-50 (Бабичев Е.А., МГУ, 1973 г.). В этот период известные рудопоявления были также опробованы дополнительными штуфами. При этом в ряде проб обнаружилось золото в концентрациях 8-17 г/т, в одной пробе – 144 г/т.

Бабичев Е.А. описываемый район также относил к первоочередному для поисков месторождений золота.

В период 1984-1986 г. г. Иванов Л.А. («Севказнедра») по территории листов N-X-Б, Г составил прогнозную карту масштаба 1:500 000 на золото. На

карте листа N-X-XXXVI Шульга В.И. выделил площадь под номером I-2 как недостаточно изученную, высокоперспективную первой очереди.

К недостаткам перечисленных выше работ и исследований следует отнести то, что ни одно из рудопроявлений золота не было оценено с поверхности горными работами, а на глубину скважинами. Авторы ограничились констатацией наличия рудопроявлений без какой-либо количественной оценки их возможных запасов и прогнозных ресурсов.

Количественная оценка прогнозных ресурсов золота по категории РЗ для площади I-2 впервые была дана в работе Шульги В.М. (1996 г.). Она выразилась цифрой 10 400 кг при среднем содержании 6 г/т.

На основании рекомендаций Дехтяревой Л.А., Бабичева Е.А., Иванова Л.А. и их предшественников, в центральной и западной частях площади рудного узла (в контуре изысканий Шульги В.М.) в 1978-1982 г. г. проведены общие поиски золота. Комплекс геологических и геофизических методов масштаба 1:10 000 провела Северо-Казахстанская геолого-геофизическая экспедиция ПГО «Севказгеология» (участок Алтын, исполнитель работ геолог Ярица Н.Д.).

В комплекс работ вошли топогеодезические работы, поисковые маршруты, опробование в канавах, шурфах, гравиразведка по сети 200x100 м, магниторазведка по сети 100x25 м, электроразведка ВП-СГ по сети 200x25, электроразведка ВЭЗ-ВП с шагом точек наблюдения 50-100 м, поисково-картировочное и мелко-поисковое бурение поисковых скважин.

К недостаткам проведенных в 1982 г. поисковых работ следует отнести:

1. Наземная металлотрическая съемка была ориентирована на поиски золота по вторичным ореолам элементов спутников. Анализы м/м проб на золото не проводились. В практике работ золото ищут по золоту;

2. Многими колонковыми скважинами длинные интервалы пробурены с низким выходом керна (меньше 60%-50%) по породам коры выветривания и минерализованным разновидностям пород. К тому же все скважины, в том числе для оценки геохимических и геофизических аномалий, пробурены вертикально;

3. Не были оценены бурением электрические аномалии по данным ВЭЗ-ВП;

4. Исполнители соответствующего отчета не попытались отобразить результаты опробования канав и скважин в виде первичных ореолов рассеяния золота в породах фундамента. Это было выполнено при составлении более поздних отчетов.

Анализ геолого-геофизической изученности района исследований дал возможность сделать следующие выводы:

1. Перспективы рассматриваемой площади на выявление коммерческих золоторудных месторождений, выходящих на дневную поверхность, оцениваются как сомнительные. Такая оценка вытекает из результатов поисковой изученности площади комплексом геолого-геофизических методов в 1978-1982 г. г. (Ярица Н.Д., 1982 г.). В тоже время обоснованно

предполагаемый малый эрозионный срез геологических структур площади (надинтрузивная зона) оставляет надежду на обнаружение золоторудных месторождений в «слепом» залегании;

2. Стратегия поисков новых месторождений золота должна ориентироваться на более глубокие уровни (100-300 м и более). Это в свою очередь предполагает необходимость более смелого и широкого (но обоснованного) применения глубинных методов поисков.

3 Аэромагнитная съемка

Аэромагнитная съемка на площади Алтын-Байского узла выполнена по принципиально новой технологии с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Основной задачей опытно-производственных работ было выяснить на практике возможности беспилотного летательного аппарата (БПЛА) при выполнении аэромагнитной съемки с огибанием рельефа на максимально низкой безопасной высоте и при оптимальной скорости полета, оценить погрешность магнитометрических измерений, выявить элементы технологии, требующие дальнейшей доработки и улучшения.

Тестовые испытания прошли успешно. Исполнители работ на практических примерах убедились в реальной возможности проведения аэромагнитных съемок с применением беспилотного летательного аппарата. Результаты тестов показали, что измерения с БПЛА дают хорошие результаты, как в равнинной местности, так и в сложных ландшафтных условиях. Проведение опытно-методических работ дало возможность отработать методику проведения съемки.

Основной задачей аэромагнитной съемки являлось картирование пород фундамента, разрывных нарушений, гидротермально-металлогенических образований и поиски малых интрузий степнякского золотоносного типа.

3.1 Аппаратура аэромагниторазведки

Для выполнения аэромагнитной съемки использовался комплекс с магнитометром QM-1 (производитель ООО «Геоскан», РФ) на базе БПЛА роторного типа Геоскан 401 (Рисунок 3.1). БПЛА Геоскан 401 оснащен системой автоматического управления (автопилотом), инерциальной навигационной системой, приемником сигналов GPS/ГЛОНАСС, контроллером управления полезными нагрузками, цифровым каналом связи для передачи командно-телеметрической информации (Рисунок 3.2).

Управление беспилотником осуществляется наземной станцией управления (НСУ) на базе ноутбука с установленным программным обеспечением Geoscan Planner. НСУ предназначена для подготовки полетного задания, контроля и управления БПЛА и отображения телеметрической информации, поступающей от БПЛА. БПЛА выполняет взлет, полетное задание и посадку в автоматическом режиме. Оператор имеет возможность оперативно изменить полетное задание.

БПЛА использует литий-полимерные аккумуляторы. Длительность одного полета (от взлета до посадки) квадрокоптера составляет 30 мин, за это время можно пролететь 12 пог. км (с учетом подлетов и разворотов). Максимальная горизонтальная скорость квадрокоптера 36 км/ч (10 м/с). Максимальная масса полезной нагрузки составляет 2 кг. Минимальная безопасная высота полета – 25 м, максимальная – 500 м.

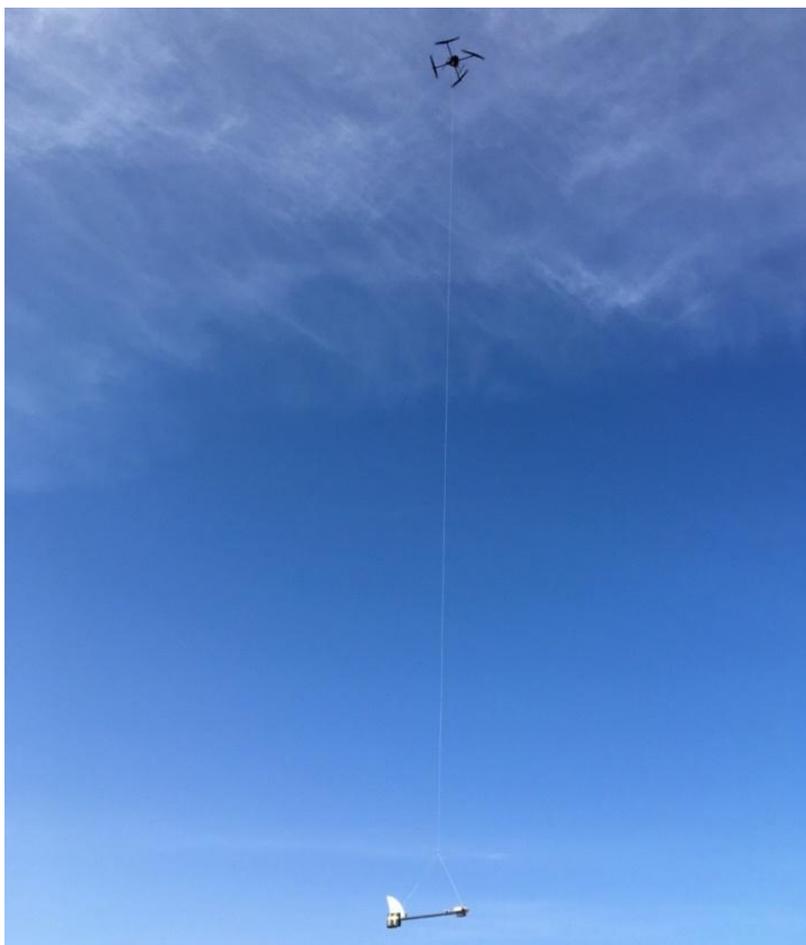


Рисунок 3.1 – Аэромагнитный комплекс



Рисунок 3.2 – БПЛА Геоскан 401

В Таблице 3.1 представлены технические характеристики БПЛА ГЕОСКАН 401

Таблица 3.1 – Технические характеристики БПЛА ГЕОСКАН 401

| Наименование параметра | Характеристика, значение параметра |
|---------------------------------------|---|
| Тип БПЛА | вертолетный, мультироторный |
| Взлет/посадка | вертикально в автомат. режиме, площадка 5х5 м |
| Тип двигателя | электрический бесколлекторный, 4 двигателя |
| Продолжительность полета | до 50* минут |
| Путевая скорость | 36 км/час (10 м/сек) |
| Вертикальная скорость | до 5 м/час |
| Максимальная протяженность маршрута | 24 км |
| Максимально допустимая скорость ветра | 10 м/сек |
| Максимальная взлетная масса | 9.3 кг |
| Максимальная масса полезной нагрузки | 2 кг |
| Габаритные размеры БПЛА | сложенное положение 70x25x20 см полетное положение 150x150x43 см |
| Минимальная безопасная высота полета | 25 м |
| Максимальная высота полета | 500 м |
| Время подготовки к взлету | 5 мин |
| Рабочий диапазон температур | от - 20°С до +40°С |
| Источник электропитания | Литий-полимерная аккумуляторная батарея, 38.5 В, 16 час, максимальный ток разряда – до 64 А |

Соединение НСУ с беспилотным летательным аппаратом происходит по каналу радиосвязи. Для передачи команд на автопилот и получения с автопилота данных телеметрии в комплексе Геоскан-401 используются два приемопередатчика (радиомодема): бортовой и наземный. Наземный модем подключается к порту USB ноутбука, на который установлена программа GeoscanPlanner. Программа MdmDisp выполняет поиск бортовых модемов в радиусе действия и в процессе работы периодически сканирует эфир. Время обнаружения видимого бортового модема составляет не более 30 секунд.

В ходе полета оператор в реальном времени наблюдает за:

- состоянием навигационного приемника и численными значениями барометрической высоты;
- превышением над рельефом в текущей точке и отклонением от заданного пути по высоте;
- вертикальной скоростью и путевой скоростью и газом (мощностью) двигателя в % от полной мощности;
- электрическим током потребления, зарядом батареи, расстоянием от НСУ до БЛА и временем с момента запуска.

На панели приборов находится компас, индикатор курса и индикатор авиагоризонта. В случае необходимости по команде оператора имеется возможность досрочного завершения полета.

В качестве бортового магнитометра использовался квантовый магнитометр QM-1 с рубидиевым датчиком (Рисунок 3.3). Частота измерений магнитного поля данным магнитометром 1000 Гц. В магнитометре установлен двухчастотный GPS приемник Торсон с частотой записи 10 Гц. Чувствительность магнитного датчика 30-50 нТл. Технические характеристики представлены в Таблице 3.2.

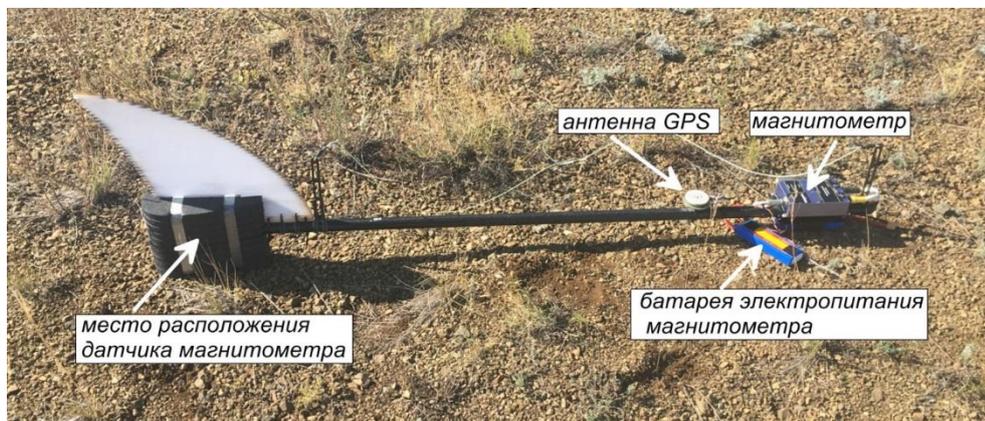


Рисунок 3.3 – Магнитометр QM-1

Таблица 3.2 – Технические характеристики магнитометра Геоскан QM Rb-1

| Параметр | Значение параметра (характеристики) |
|---|-------------------------------------|
| Тип | Квантовый рубидиевый |
| Чувствительность | 30-50 пТл/√Гц |
| Диапазон измерения поля | 20000 нТл - 100000 нТл |
| Общая девиационная ошибка | <0.1 нТл |
| Частота измерений | 1000 Гц |
| Полоса пропускания петли обратной связи | 30 Гц |
| Диапазон допустимых углов датчика | ±45° |
| Электропитание | 8-35 В, 10 Вт |
| Диапазон рабочих температур | От - 40°С до +60°С |
| Масса датчика/электронного блока | 120 г/ 300 г |

Вместе с магнитометром на выносной буксируемой штанге установлен двухчастотный GPS-приемник. Антенна GPS-приемника закреплена на штанге на расстоянии 1 м относительно датчика магнитометра. Частота регистрации магнитного поля 1 000 Гц, GPS-координат и высоты местоположения магнитометра – 10 Гц. Во время полета «сырые» данные магнитометрии и позиционирования автоматически записываются на съемную карту памяти и после завершения полета "сбрасываются" на компьютер для контроля полноты и качества регистрации. При конвертации первичной записи магнитометра из бинарного формата в текстовый (программа ГИС «Спутник 1.1»), проводится статистическая обработка

сырых данных. Далее магнитное поле импортируется в базу данных для дальнейшей обработки с дискретностью 0.1 сек, что соответствует шагу по линии аэромагнитного маршрута 0.8-1 м. Данные магнитометра и позиционирование синхронизируются по времени GPS.

Перед проведением полевых работ магнитометр QM-1 прошел метрологическую сертификацию. Сертификат по метрологическим характеристикам представлен в Текстовом приложении 1.

При выполнении аэромагнитной съемки магнитометр буксируется беспилотным летательным аппаратом на капроновом шнуре-подвеске длиной 20 м. Двадцатиметровая длина подвески практически полностью исключает влияние квадрокоптера на измерения буксируемого магнитометра.

Для учета суточных изменений геомагнитного поля аэрогеофизическая съемка на всем своем протяжении сопровождалась регистрацией геомагнитных вариаций наземной базовой станцией, установленной на участке. В качестве магнитовариационной станции (МВС) использовался цезиевый магнитометр типа PBM Pico Envirotec, производства Канада (Рисунок 3.4). Координаты МВС UTM 42N X= 690700.3 Y= 5822736.7.



Рисунок 3.4 – Магнитовариационная станция PBM/P MAG PicoEnvirotec

PBM/P MAG – это компактная магнитовариационная станция. Работа прибора основана на использовании новейших мобильных технологий. Система содержит интеллектуальную и высокоразрешающую магнитометрическую плату, немагнитный штатив, блок регистрации данных. Недавно разработанная система сбора данных / интерфейса позволяет пользователю контролировать получение данных магнитного поля в режиме реального времени. Полученные данные автоматически синхронизируются с

положением GPS и временем. Для измерения геомагнитного поля используется цезиевый датчик (в нашем случае CS-3). Ниже указаны технические характеристики МВС.

Таблица 3.3– Технические характеристики МВС РВМ/РМАРРicoEnvirotec

| Параметр | Значение параметра (характеристики) |
|-----------------------------|--|
| Разрешение | 0.2пТл |
| Динамический диапазон | 15000-100000 нТл |
| Дискретность записи | 5,10,20,25,30,50,60,100,120 Гц |
| Хранение данных | компактный флеш-накопитель |
| Диапазон рабочих температур | От -10 ⁰ С до +50 ⁰ С |
| Напряжение электропитания | Постоянное, 24 В, 150 Вт |
| Потребляемая мощность | 20 Вт (только консоль и процессор); Цезиевый датчик – 30 В, потребляемая мощность 70 Вт при запуске (около 2 мин.), затем - 25 Вт для непрерывной записи (в зависимости от сенсора) |
| Погода стойкая упаковка | |
| Синхронизация данных | Встроенный GPS приемник и антенна |
| Размер | 300мм x 250мм x 120мм |
| Масса | 2.5 кг |

Интерфейс системы сбора данных позволяет контролировать получение данных магнитного поля в режиме реального времени. Измерения автоматически синхронизируются по времени и положению с помощью встроенного GPS-приемника.

Для выполнения съемки с применением БПЛА требуется наличие качественной геометрической модели рельефа местности. На сегодняшний день Aster Global DEM и SRTM DEM дают возможность свободно использовать точные цифровые модели рельефа (ЦМР). На открытых участках местности данные ЦМР имеют отклонения порядка 3-4 метров по высоте, на горной местности и территориях с древесно-кустарниковой растительностью имеет отклонение до 9 метров. Информативность модели оценивается шагом сетки, точность по высоте – по значениям среднеквадратической ошибки СКО. СКО вычисляется путем вычисления расхождения значения высот между цифровой моделью и сетью пунктов государственной геодезической сети ГГС. Для участков с пологим рельефом достаточно иметь модель SRTM DEM (размер ячейки 30 м, 2011 г.). На участках сложного рельефа желательно иметь высокоточную модель с более густым шагом сетки.

Подготовленная ЦМР подгружается в НСУ, далее подготавливается полетное задание. Такой подход обеспечивает достаточную плотность и равномерность измерений. Управление БПЛА проходит в режиме автопилотирования с возможностью оперативного переключения на ручное управление. Связь с БПЛА осуществляется через цифровой канал связи. Прямая радиовидимость между беспилотником и наземной станцией обеспечивает

высокоскоростную передачу информации. На НСУ отображается вся информация, передаваемая беспилотником, такие как координаты, курс, крен, тангаж, скорость движения, заряд АКБ.

Профиль высоты полета беспилотного аппарата задавался согласно цифровой модели местности, так, чтобы в процессе съемки магнитометр плавно огибал формы рельефа. Высота магнитометра от поверхности земли при выполнении съемки 35.8 м. (Рисунок 3.5). Скорость полета дрона – 10 м/с. Дрон точно выдерживает курс и высоту с огибанием рельефа (Рисунок 3.6).

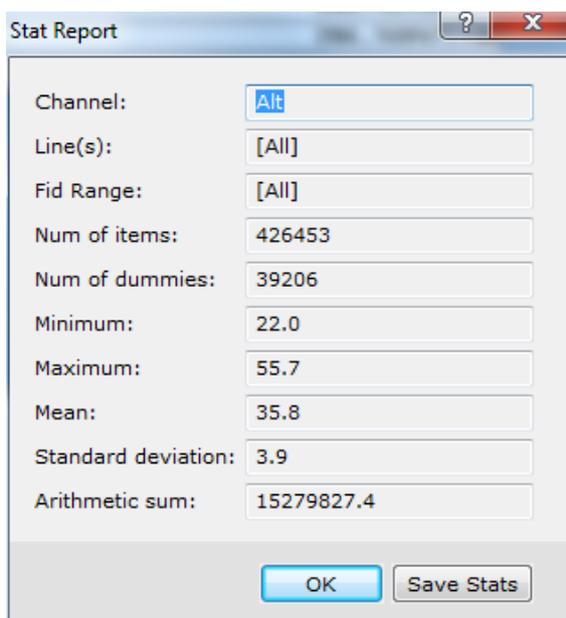


Рисунок 3.5 – Статистика по высоте полета

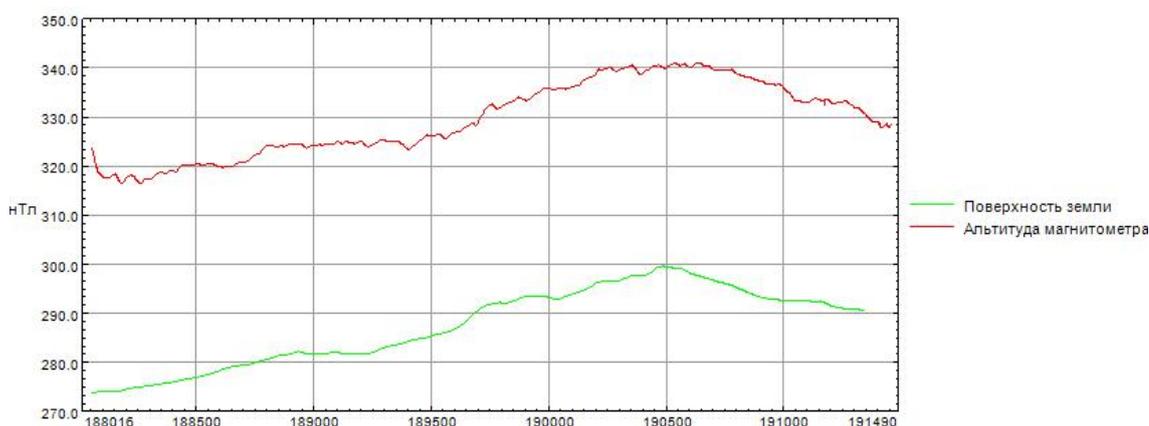


Рисунок 3.6 – График рельефа по профилю и график огибания рельефа БПЛА

В целях сопоставления синхронности записи магнитометров перед выполнением аэромагнитной съемки проведены тестовые работы с использованием магнитометра Геоскан и магнитной вариационной станции

Pico. Тестирование показало, что магнитометры используют различные системы отсчета времени.

Запись бортовым магнитометром QM Rb-1 (*.magnete – файл записи магнитного поля и данных пространственно временной привязки бортового магнитометра) содержит время (GPS Time), выраженное в секундах с началом отсчета от 00: 00: 00 06 января 1980 г.

Данные, записанные магнитометром PBM PicoEnvirotec, привязаны к времени в секундах с началом отсчета 12:00:00 1 января 1970 г. Время записи магнитометром QM Rb-1 отличается от времени магнитометра PBM на 315 964 783 секунды.

Пример синхронной записи вариаций геомагнитного поля магнитометрами QM Rb-1 и PBM/PМAG с учетом сдвига времени на 315964783 секунды представлен на Рисунке 3.7.

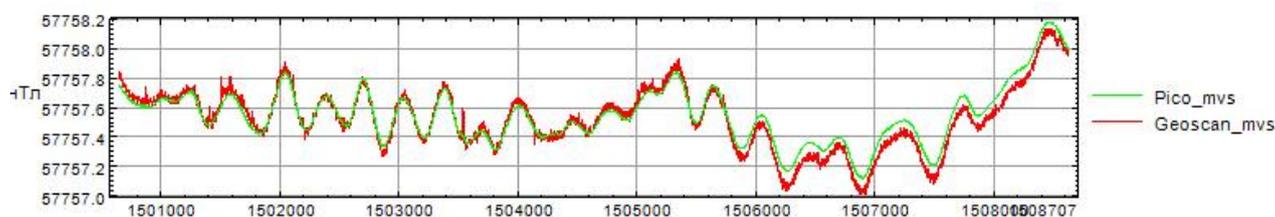


Рисунок 3.7 – Графики сопоставления геомагнитного поля по измерениям, снятым с магнитометров QM Rb-1 и PBM/PМAG

Данные с магнитовариационных станций ежедневно скачивались в память компьютера, выполнялся анализ полноты и качества регистрации геомагнитного поля. Пример вариаций геомагнитного поля 30.09.2018 г. показан на Рисунке 3.8.

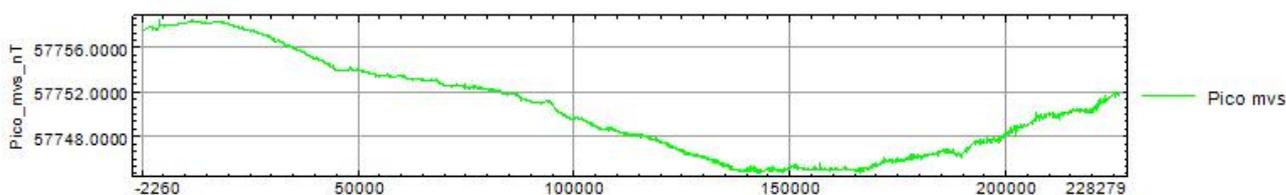


Рисунок 3.8 – График вариаций геомагнитного поля за 30.09.2018 г

Этот день характеризуется спокойной геомагнитной обстановкой, изменения магнитного поля плавные, амплитуда суточных вариаций не превышала 20 нТл. Магнитометр ведет регистрацию магнитного поля и GPS-данных в автоматическом режиме, и записывает в съемную карту памяти (флешку). После посадки данные с бортового магнитометра копируются в память компьютера для обработки и оперативного анализа.

Плановое и высотное положение бортового магнитометра определяется по данным двухчастотного GPS-приемника, интегрированного в единую

систему с магнитометром. Регистрация координат осуществляется с частотой 10 Гц. В файле конвертированных данных бортового магнитометра (*.magnete) координаты его местоположения представлены в градусах эллипсоида WGS 84, альтитуда в метрах относительно поверхности эллипсоида WGS-84.

Поскольку при проведении аэромагнитной съемки использовалась цифровая модель рельефа местности в Балтийской системе высот, необходимо было высотные отметки, измеренные GPS-приемником магнитометрической системой Геоскан-401, привести к Балтийской системе высот. По результатам работ среднее значение GPS-высоты магнитометра отличается от интерполированной с ЦМР высотной отметки рельефа в Балтийской системе на 30.5 м.

На основании полученных оценок, для приведения GPS-высот бортового магнитометра к Балтийской системе на участке Алтын-Бай применили поправку 30.5 м.

$$Alt_Baltic = Alt_GPS_QM + 30.5.$$

Таким образом, высотные отметки, измеренные GPS-приемниками магнитометров QM Rb-1 (Геоскан-401), PBM/PMAG PicoEnvirotec (базовая магнитовариационная станция) имеют расхождения $\pm(3-5)$ м, соизмеримые с погрешностью измерений в автономном режиме.

Первичная обработка выполнялась по возвращению отряда на базу. В компьютер для обработки переписывалась информация с бортового магнитометра и МВС. Данные вводились в базы Geosoft OM, редактировались (обрезка значений до подлета на профиль и разворотов между профилями), из измеренных значений исключались вариации геомагнитного поля. Результатом обработки являлись цифровые помаршрутные данные магнитного поля с поправкой за вариации, матрица, графики и карта магнитного поля.

Съемка выполнена в площадном варианте, высота съемки 40 м. Расстояние между профилями 100 м. Ниже приведена схема отработки аэромагнитной съемки Алтын-Байского рудного узла (Рисунок 3.9).

В рамках выполнения данного проекта были проведены работы по оцифровке карты аномального магнитного поля (ΔT) участка Алтын, построенная к отчету за 1978-1982 г. г. Северо-Казахстанской геолого-геофизической экспедиции (автор Рахимжанов А) (Рисунок 3.10). Это дало возможность дополнить площадь аэромагнитной съемки 2018 г. (Рисунок 3.9) оцифрованными данными (лист N-X-132-Б-в-2).

Контроль качества осуществлялся путем вычисления среднеквадратической ошибки (СКО) по данным рядовых и повторных измерений. Общий объем повторных измерений составил 29.9 пог.км или 6.6%, среднеквадратическая погрешность: в зонах малых градиентов < 2 нТл/м $\pm 1,11$ нТл, среднее для всей площади ± 3.55 нТл.

Графики оценки качества по съемочным маршрутам 960 (а) и 470 (б), представлены на Рисунке 3.11. В верхней части рисунка показаны графики аномального магнитного поля рядовых и контрольных измерений. В средней части представлены разность значений магнитного поля, в нижней – модуль горизонтального градиента.

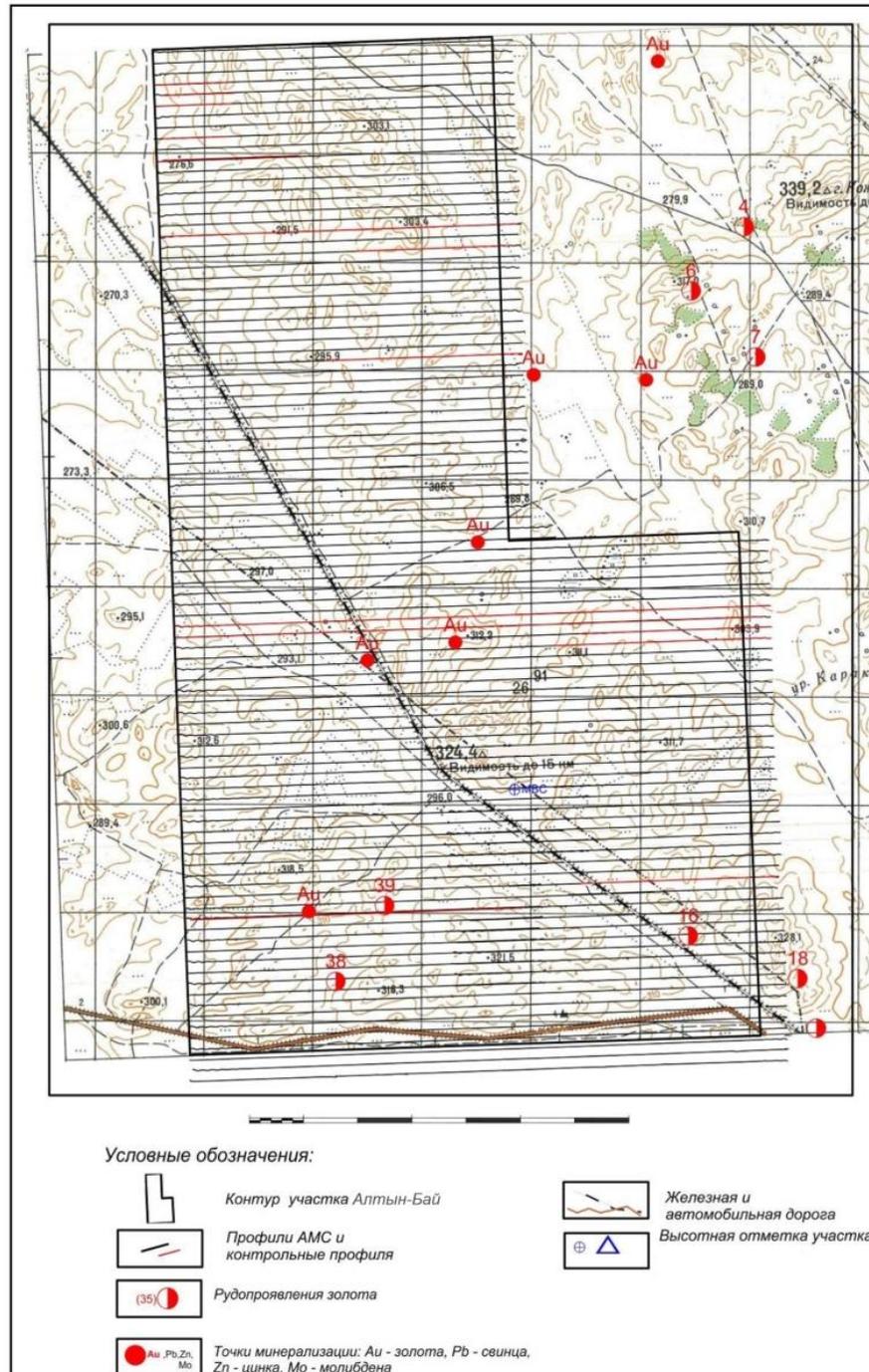


Рисунок 3.9 – Схема обработки аэромагнитометрической съемки с использованием БПЛА

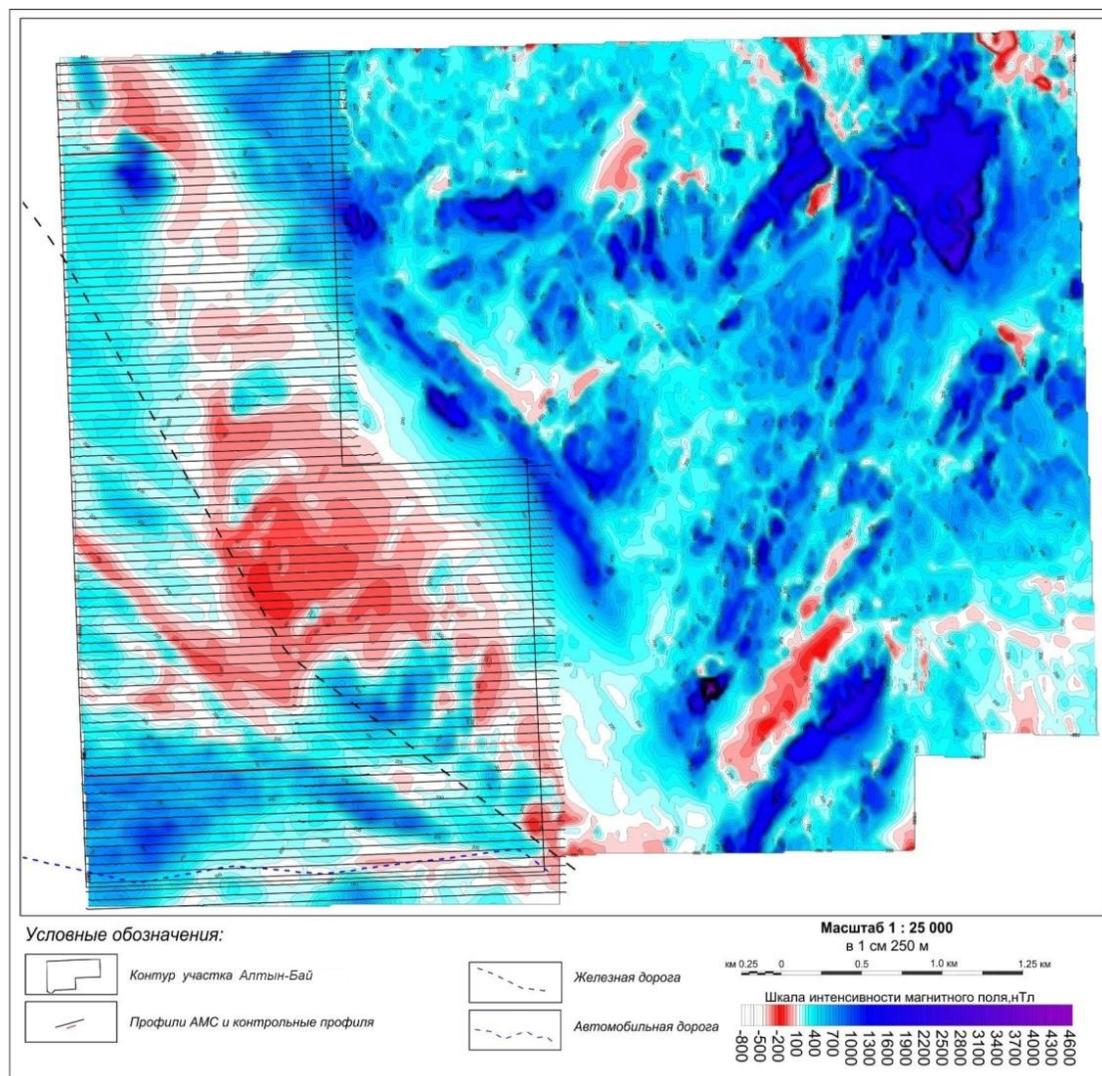


Рисунок 3.10 – Карта аномального магнитного поля (ΔT) участка работ 2018 г, объединенная с картой, построенной к отчету за 1978-1982 г. г. Северо-Казахстанской геолого-геофизической экспедиции (автор Рахимжанов А)

А)

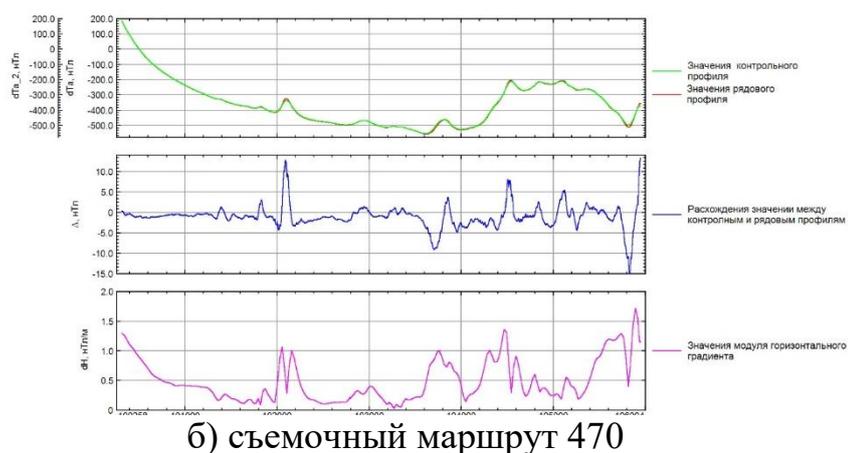
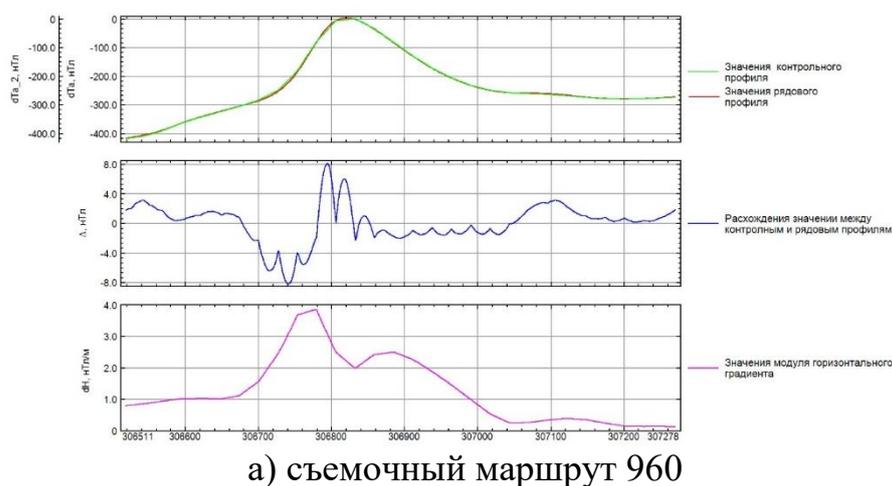


Рисунок 3.11 – Графики оценки качества

По рисунку можно увидеть, что отклонения контрольных от рядовых измерений не значительны. Результаты оценки качества измерений аэромагнитной съемки с БПЛА представлены в Таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты оценки качества измерений аэромагнитной съемки с БПЛА

| № съемочного маршрута | Отклонение контрольных измерений от рядовых, нТл | | | Значения СКО, нТл | | | Среднее значение горизонтального градиента, нТл/мин |
|-----------------------|--|------|---------|---|---|--------------------|---|
| | max | min | среднее | в спокойном поле $dH < 1 \text{ нТл/м}$ | в градиентном поле $dH > 1 \text{ нТл/м}$ | для всего маршрута | |
| 960 | 8.17 | 0.01 | 1.93 | 1.14 | 2.3 | 1.86 | 1.2 |
| 470 | 14.86 | 0.01 | 1.96 | 1.34 | 2.84 | 2.06 | 0.5 |

С целью заверки результатов аэромагнитной съемки были выполнена пешая съемка по 3 профилям. Наземные работы выполнены в объеме 9 пог. км. Наземная съемка проводилась по выборочным профилям, совмещенным в плане с маршрутами аэромагнитной съемки с использованием квантового магнитометра QM-1.

Результаты наземных заверочных работ представлены на Рисунке 3.12. В верхней части рисунка показаны графики аномального магнитного поля, синим цветом – данные аэросъемки (высота магнитометра 36 м), красным – измерения, выполненные по технологии пешеходной магниторазведки. В средней части рисунка – график аномального магнитного поля по результатам пешеходной съемки (красный цвет) в сопоставлении с графиком вертикального градиента магнитного поля по данным аэромагнитных измерений на высоте 36 м. В нижней части рисунка показаны альтитуды аэромагнитометра и поверхности земли. Графики представлены по профилям 600 (а) и 580 (б).

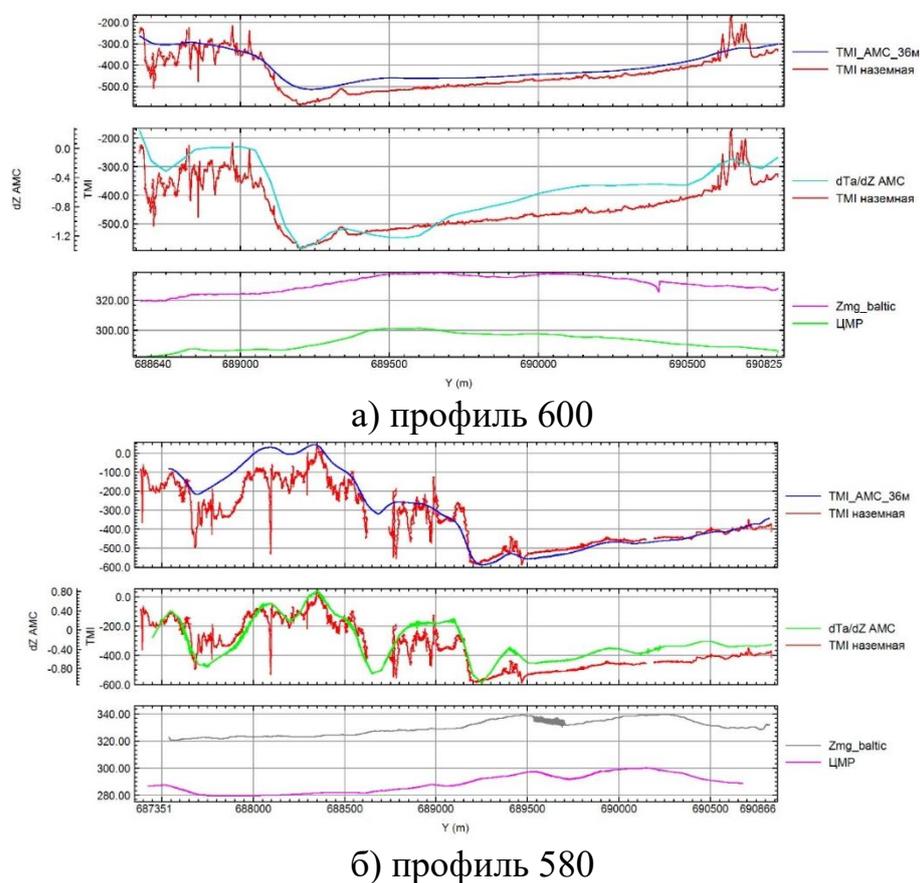


Рисунок 3.12 – Диаграммы оценки качества

Анализ графиков дает возможность увидеть абсолютно разный характер магнитного поля западной и восточной частей профиля. Известно, что по геологическому строению площадь разделяется Атансорским разломом на два разнородных блока – Западный и Восточный. По

результатам работ 2018 г. этот факт наблюдается и по профилю 600, и по профилю 580. Мы видим, что особенности геологического строения района исследований находят лучшее отображение в результатах пешей съемки. В графиках наземной магниторазведки проявляются неоднородности, расположенные близко к поверхности земли и характеризующиеся небольшими размерами. Данные аэромагнитных наблюдений на высоте 36 м сглаживают эти влияния приповерхностных неоднородностей. Локальные аномалии шириной 100 м при аэросъемке выражены менее контрастно, однако надежно выделяются и прослеживаются от профиля к профилю в магнитном поле, и еще более контрастно в его вертикальном градиенте.

3.2 Обработка и результаты аэромагниторазведки

Вся информация во время съемочного полета, в том числе навигационные данные, измерения магнитного поля, время, регистрировались на флеш-карту магнитометра и по завершении съемочного полета скачивались. После этого по завершению работ передавались для последующей обработки на базовый обрабатывающий компьютер.

Обработка данных аэромагнитометрической съемки выполнена в два этапа. Непосредственно в полевых условиях проводилась предварительная (оперативная) обработка и оценка качества первичного материала, окончательная камеральная обработка – после завершения полевых работ. Для обработки и текущего контроля качества работ использовался пакет программ Geosoft Oasis Montaj.

Полевая обработка аэромагнитных данных осуществлялась после каждого вылета и включала в себя:

- Конвертация информации в программе ГИС-спутник.
- Визуальный анализ полноты и качества получаемой информации с магнитометра;
- Ввод информации в соответствующие базы данных системы Geosoft Oasis Montaj;
- Проверка качества геофизических материалов съемки, при необходимости коррекция собранных данных (удаление единичных «выбросов», интерполяция), НЧ фильтрация и т.п.

Обработка аэромагнитных данных выполнена средствами программ Geosoft Oasis Montaj.

Окончательная камеральная обработка данных аэромагнитометрической съемки включила в себя следующие процедуры:

- формирование базы магнитовариационных данных, ввод поправок за вариации геомагнитного поля;

- вычисление матрицы магнитного поля и его наиболее информативных трансформант. Матрицы построены с использованием алгоритма «Минимальная кривизна», размер ячейки 50×50 м.

По результатам обработки сформирована финальная база магнитометрических данных, вычислены сетки аномального магнитного поля и его градиентные характеристики для участка. В результате камеральной обработки магнитных данных получен следующий комплект картографического материала магнитного поля участка Карьерный:

- карта аномального магнитного поля;
 - карта графиков магнитного поля
- карта вертикального градиента аномального магнитного поля.

4 Электроразведка методом ВП-СГ

4.1 Методика и техника электроразведки ВП-СГ

Для определения поляризуемости среды используется технология фазовых измерений (ИНФАЗ-ВП). Первичное поле возбуждается прямоугольными разнополярными импульсами тока (меандр) частотой 1.22 Гц. Между приемными электродами производятся измерения амплитуды первой гармоники сигнала и до четырех двухчастотных фазовых параметров вызванной поляризации, измеряемых на парах гармоник сигнала первой-третьей, третьей-девятой, пятой-пятнадцатой и седьмой- двадцать первой (Рисунок 4.1).

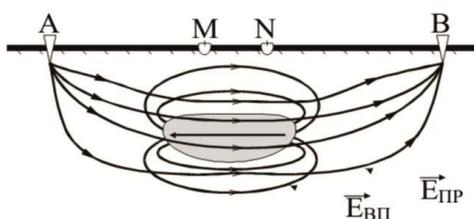


Рисунок 4.1 – Методика измерения ВП

Кажущаяся поляризуемость (η_k) рассчитывается с помощью дифференциального фазового параметра, определяемого по значениям фазовых углов двух гармоник (как правило, первой-третьей) сигнала, измеренного между приемными электродами MN.

$$\eta_k(\%) = -2.5 \varphi_{ВП}(\text{градусы}) \quad (4.1)$$

Кажущееся сопротивление (ρ_k) рассчитывается по измеренным значениям разности потенциалов между приемными электродами и силе тока в питающей линии.

$$\rho_k = K * U / J \quad (4.2)$$

где K – коэффициент установки.

Коэффициент установки рассчитывается по формуле (4.3):

$$K = 2\pi / \{ (1/AM) - (1/AN) - (1/BM) + (1/BN) \}. \quad (4.3)$$

Измерения проводились измерителями типа ЭИН-209, ВПФ-210М, ВПФ-8К (Рисунок 4.2, а); для формирования токовых импульсов применяется трансмиттер типа ГЭР-5М (Рисунок 4.2, б).

В качестве первичного источника питания использовалась дизельная электростанция АКСА переменного тока частотой 50 Гц, выходное напряжения 220-380 В, мощность 28 кВт.

Технические характеристики измерителя ВПФ-210М генератора ГЭР-5М представлены соответственно в Таблицах 4.1 и 4.2.



а)



б)

Рисунок 4.2 – Измеритель ВПФ-210М (а) и генератор ГЭР-5М (б)

Таблица 4.1 – Технические характеристики измерителя ВПФ-210М

| | |
|--|------------|
| Диапазон рабочих частот, Гц | 0,019-625 |
| Диапазон измеряемых напряжений, мВ | 0,001-5000 |
| Погрешность измерения напряжения, % обычное исполнение | 0,5 |
| исполнение с повышенной точностью | 0,2 |
| Погрешность измерения фазовых параметров, градус | 0,02 |
| Входное сопротивление, Мом | 3 |
| Подавление помех частотой 50 Гц на низких частотах, не менее, дБ | 100 |
| Объем встроенной памяти, Кбайт | 500 |
| Средняя потребляемая мощность, Вт | 0,5 |
| Масса приемника, кг | 2,6 |

Таблица 4.2 – Технические характеристики генератора ГЭР-5М

| | |
|--|---------------|
| Максимальная выходная мощность, Вт -при питании от трехфазной электростанции | 5000 |
| -от однофазной | 2000 |
| Максимальное выходное напряжение, В | 1000 |
| Диапазон генерируемых токов, А | 0,3-25 |
| Диапазон сопротивления нагрузки, при постоянной времени не более 1 мс, Ом | 3-3300 |
| Диапазон амплитудных значений, мА | От 10 до 1500 |
| Нестабильность выходного тока при изменении сопротивления нагрузки или входного напряжения на $\pm 20\%$, % | не более 0,1 |
| Основная относительная погрешность установки выходного тока, % | не более 1 |
| Рабочий диапазон температур окружающего воздуха, °С | От -10 до+50 |
| Масса, кг | не более 32 |
| Габаритные размеры, мм | 635x275x390 |

В условиях полигона в пос. Жетыген (Алматинская область) перед началом полевых работ была проведена проверка работоспособности аппаратуры ВП-СГ. Для калибровки аппаратуры ВП-СГ использовалось специализированное оборудование «Калибратор ЭИН». Калибратор ЭИН вырабатывает сигналы специальной формы с заданными амплитудно-частотными и фазовыми характеристиками в широком диапазоне стандартных электроразведочных частот. Аппаратура считается откалиброванной, если погрешности определения амплитуды и фазы не превышают $\delta \leq 0,005$.

Кроме этого, перед началом полевых работ в пределах 14 профиля были проведены тестовые измерения трёх приборов с целью сравнения на идентичность измерений. Тестовая проверка показала, что все приборы работают в соответствии с требованиями к проведению полевых работ (Инструкция по электроразведке 1984 г.) (Рисунок 4.3).

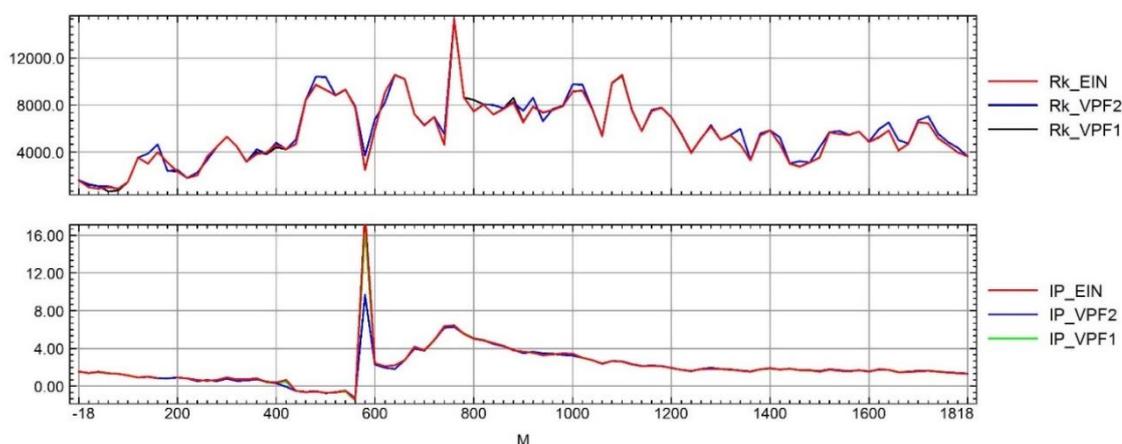


Рисунок 4.3 – Результаты тестовых измерений на профиле №14 пикеты 0-1800

Электроразведочные работы ВП-СГ отрабатывались со следующими параметрами: токовая линия АВ = 2100 м, межпрофильное расстояние 200 м, размер приемной линии MN = 20 м. Общий объем электроразведки методом ВП-СГ при шаге 20 м составил 255,5 пог. км. Схема отработки профилей ВП-СГ представлена на Рисунке 3.4.

Технология работ ВП-СГ состояла в следующем: работы проводились 4-мя, в некоторых случаях 3-мя измерителями на 6-х параллельных профилях от одной токовой линии АВ, расположенной между третьим и четвертым профилями. Протяженность зоны измерений ВП-СГ составила 1600-1800 м. Совокупность 6-ти профилей с токовой линией АВ называется планшетом (Рисунок 4.5).

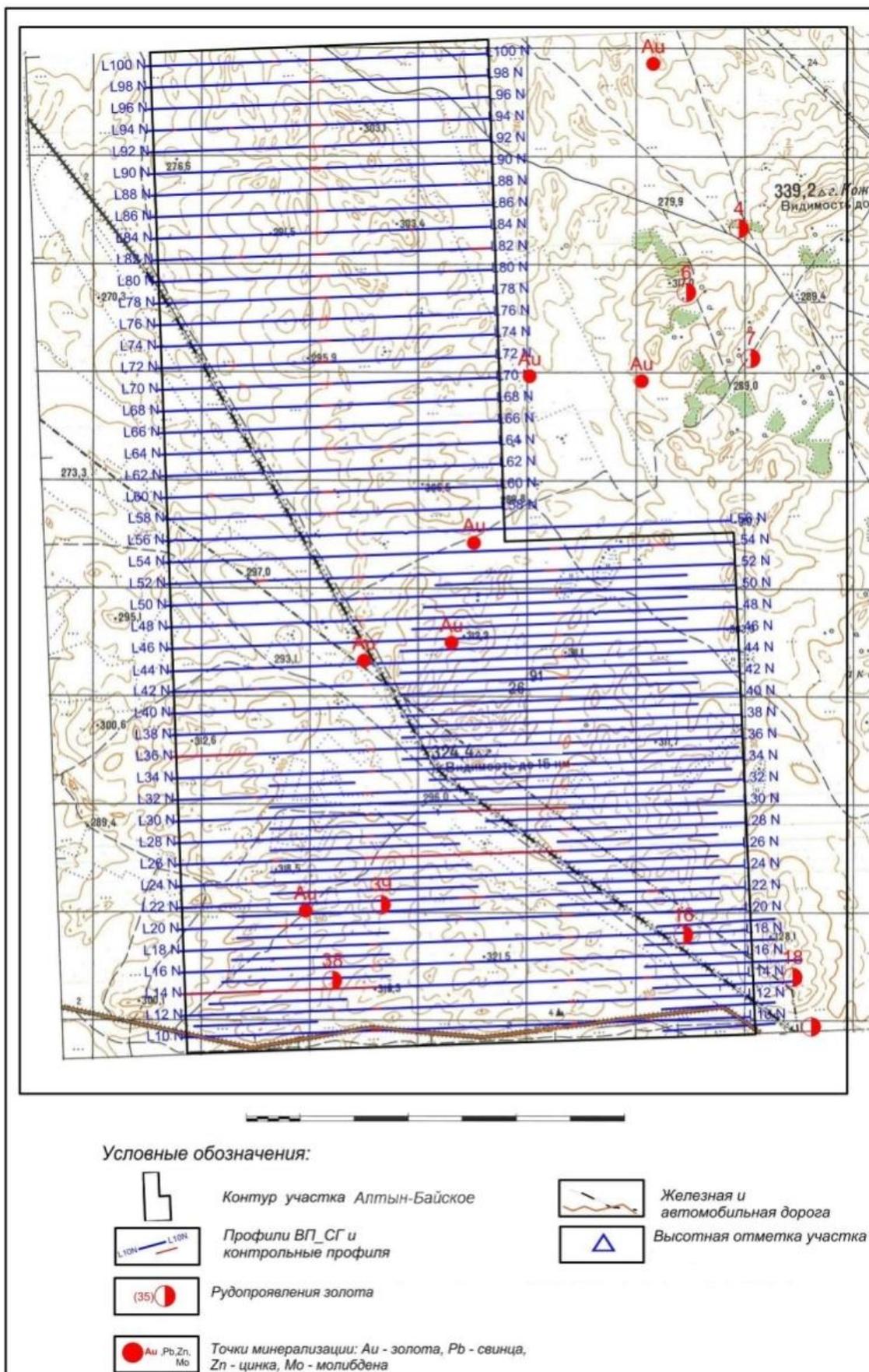


Рисунок 4.4 – Схема отработки ВП-СГ с детализационными профилями

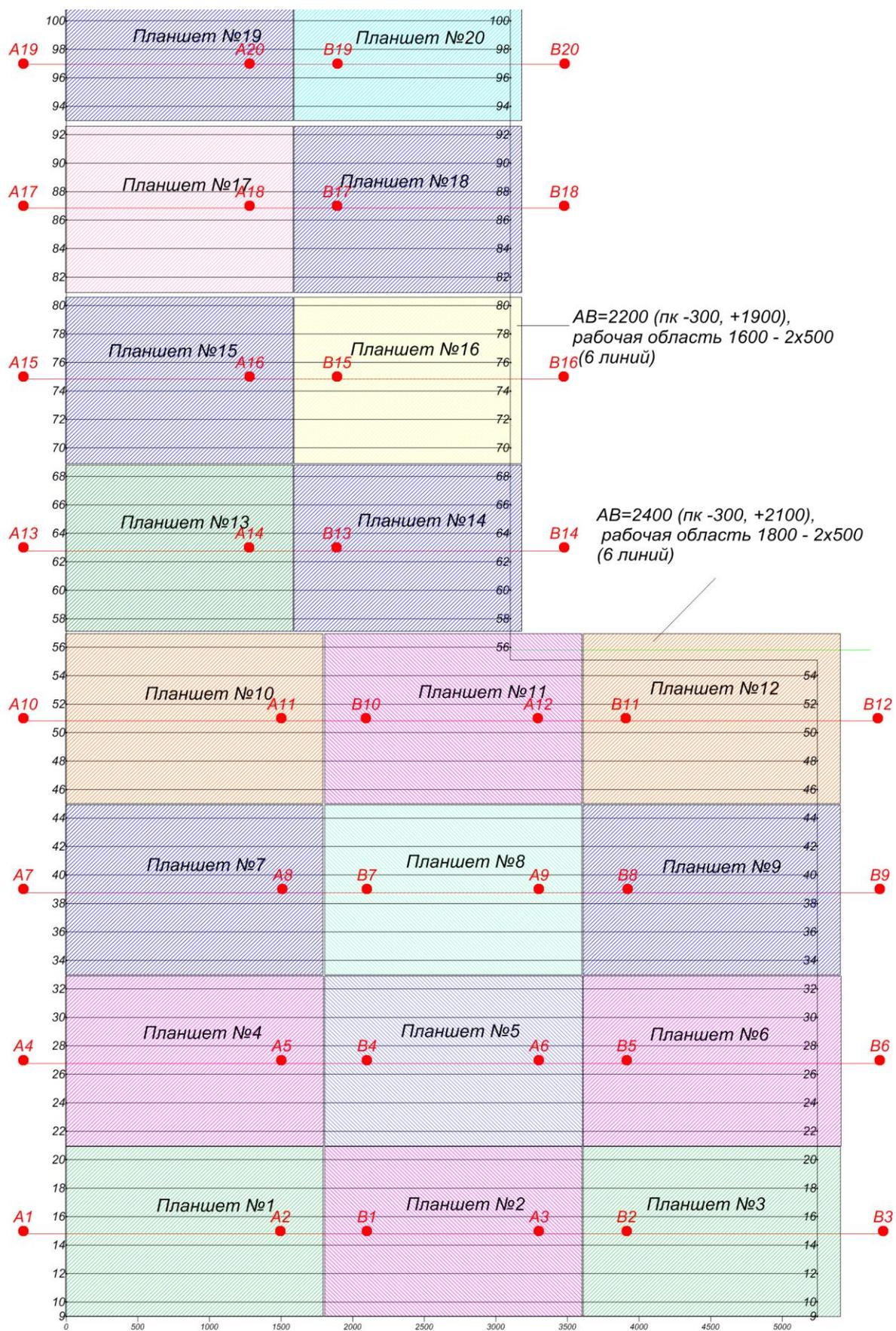


Рисунок 4.5 – Схема отработки рядовых профилей ВП-СГ(по планшетно)

Средняя относительная погрешность для кажущейся поляризуемости составила $\pm 3,63\%$. Средняя относительная погрешность по напряжению – $\pm 2,55\%$, что соответствует требованиям Инструкции по электроразведке. Фрагмент расчета средней относительной погрешности измерений ВП-СГ представлен на Рисунке 4.6.

| ВЕДОМОСТЬ КОНТРОЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ | | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-----|----------|--------|------|-----------------------|---------------|------------|---|----------|----------|
| | | | | | | | | | | Количество рядовых измерений (пог.км) | | 250.000 |
| Период выполнения работ сентябрь-октябрь 2018 г. | | | | | | | | | | Количество контрольных измерений (пог.км) | | 12.5 |
| | | | | | | | | | | Cont_count% | | 5.0 |
| Ведомость контрольных наблюдений для метода ВП-СГ | | | | | | | Ip_sr%=- | 3.63845567 | U_sr%=- | 2.5556226 | | |
| Проф | Пикет | U | Ip | Vp_count | U_k | Ip_k | Ай-Карауыл Ip_Сред | 625 U_Сред | Abs(Ip-sr) | Abs(U-sr) | % - Ip | % - U |
| 10 | 1740 | 78.5 | 1.2 | 1 | 80.285 | 1.4 | 1.3330625 | 79.4125 | 0.0963125 | 0.87250000 | 7.225 | 1.099 |
| 10 | 1760 | 86.9 | 1.4 | 2 | 63.235 | 1.5 | 1.4579375 | 75.0825 | 0.0134375 | 11.84750000 | 0.922 | 15.779 |
| 10 | 1780 | 71.9 | 1.6 | 3 | 71.03 | 1.6 | 1.5846875 | 71.4850 | 0.0216875 | 0.45500000 | 1.369 | 0.636 |
| 10 | 3580 | 51.4 | 1.3 | 4 | 49.535 | 1.3 | 1.32075 | 50.4450 | 0.01975 | 0.91000000 | 1.495 | 1.804 |
| 10 | 3600 | 52.9 | 1.5 | 5 | 43.3 | 1.5 | 1.5046875 | 48.0900 | 0.0229375 | 4.79000000 | 1.524 | 9.960 |
| 10 | 4300 | 99.5 | 1.8 | 6 | 97.92 | 2.0 | 1.8999375 | 98.7300 | 0.1015625 | 0.81000000 | 5.346 | 0.820 |
| 12 | 1400 | 39.5 | 1.7 | 7 | 39.375 | 1.7 | 1.6855 | 39.4200 | 0.002 | 0.04500000 | 0.119 | 0.114 |
| 98 | 1520 | 306.9 | 1.5 | 617 | 306.6 | 1.4 | 1.4273125 | 306.7275 | 0.0543125 | 0.17250000 | 3.805 | 0.056 |
| 98 | 1540 | 266.4 | 1.5 | 618 | 266.5 | 1.4 | 1.4385625 | 266.4700 | 0.0565625 | 0.07000000 | 3.932 | 0.026 |
| 98 | 1560 | 143.7 | 1.5 | 619 | 143.8 | 1.3 | 1.4359375 | 143.7725 | 0.0949375 | 0.07250000 | 6.612 | 0.050 |
| 98 | 1580 | 91.5 | 1.5 | 620 | 91.9 | 1.5 | 1.498375 | 91.6575 | 0.0445 | 0.19250000 | 2.970 | 0.210 |
| 100 | 1180 | 17.1 | 1.3 | 621 | 17.2 | 1.3 | 1.297125 | 17.1200 | 0.000625 | 0.03000000 | 0.048 | 0.175 |
| 100 | 1500 | 23.6 | 1.4 | 622 | 32.4 | 1.3 | 1.3731875 | 28.0150 | 0.0750625 | 4.37500000 | 5.466 | 15.617 |
| 100 | 1520 | 28.5 | 1.7 | 623 | 35.0 | 1.4 | 1.5570625 | 31.7750 | 0.1830625 | 3.24000000 | 11.757 | 10.197 |
| 100 | 1540 | 18.2 | 1.8 | 624 | 22.3 | 1.4 | 1.5760625 | 20.2350 | 0.2088125 | 2.08000000 | 13.249 | 10.279 |
| 100 | 1560 | 31.3 | 1.8 | 625 | 33.3 | 1.5 | 1.6506875 | 32.2950 | 0.1568125 | 1.02500000 | 9.500 | 3.174 |
| | | | | | | | | | | | 2274.035 | 1597.264 |

Рисунок 4.6 – Фрагмент расчета средней относительной погрешности измерений ВП-СГ из ведомости контрольных наблюдений

4.2 Обработка и результаты электроразведки ВП-СГ

Обработка проводилась на основе использования стандартных и специальных программ, включая GeosoftOasisMontaj, Surfer. Обработка данных ВП-СГ выполнялась в два этапа:

- полевая обработка и оценка качества первичного материала (на участке работ);
- окончательная камеральная обработка.

Результаты геофизических измерений ежедневно записывались на флеш-карту памяти геофизической аппаратуры и скачивались с приборов по завершению съемки.

Обработка результатов электроразведочных работ ВП-СГ начиналась с предварительной обработки, которая производилась непосредственно в поле. Для каждой расстановки АВ создавалась папка с сырыми измерениями, относящимися к данной токовой линии. Обработка заключалась в вычислении значений кажущегося сопротивления и поляризуемости (фазовый сдвиг). Результаты предварительной обработки представлялись в

формате карт поляризуемости и кажущегося сопротивления. Окончательная обработка данных осуществлялась после завершения полевых работ и включала в себя следующие этапы (Рисунок 4.7). Данные процедуры выполнялись для каждой расстановки токовой линии АВ.

Контроль качества данных на предмет «выскоков», некорректных значений проверялся в программе Geosoft Oasis Montaj. Здесь же данные по отдельным блокам, относящимся к определенной расстановке токовой линии АВ, объединялись в общую карту.



Рисунок 4.7 – Этапы обработки электроразведочных данных ВП-СГ

По результатам камеральной обработки данных ВП-СГ построены карты-графиков и карты кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости (Рисунки 4.8 -4.11).

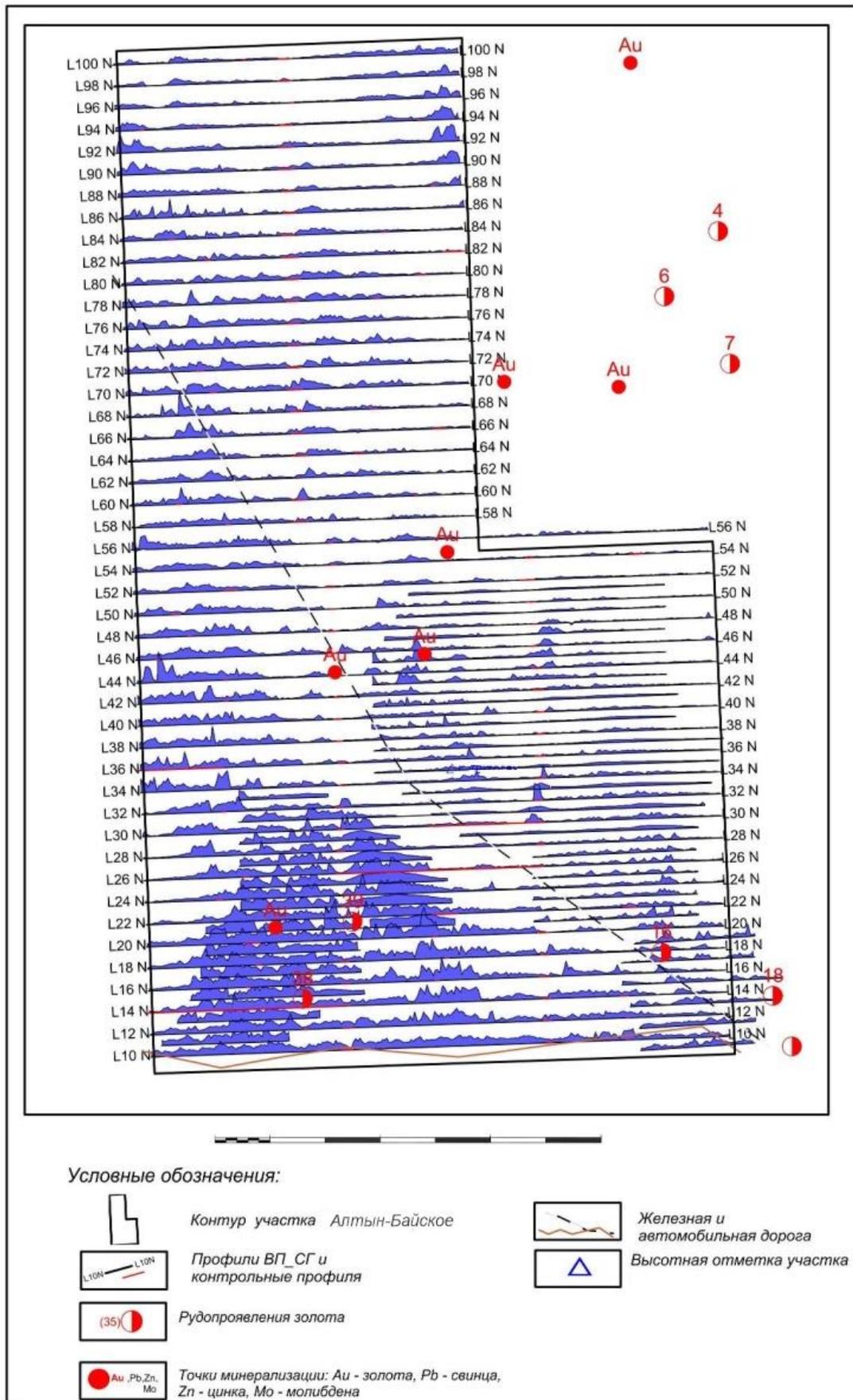


Рисунок 4.8 – Карта графиков кажущегося удельного сопротивления Алтын-Байского узла по данным ВП-СГ

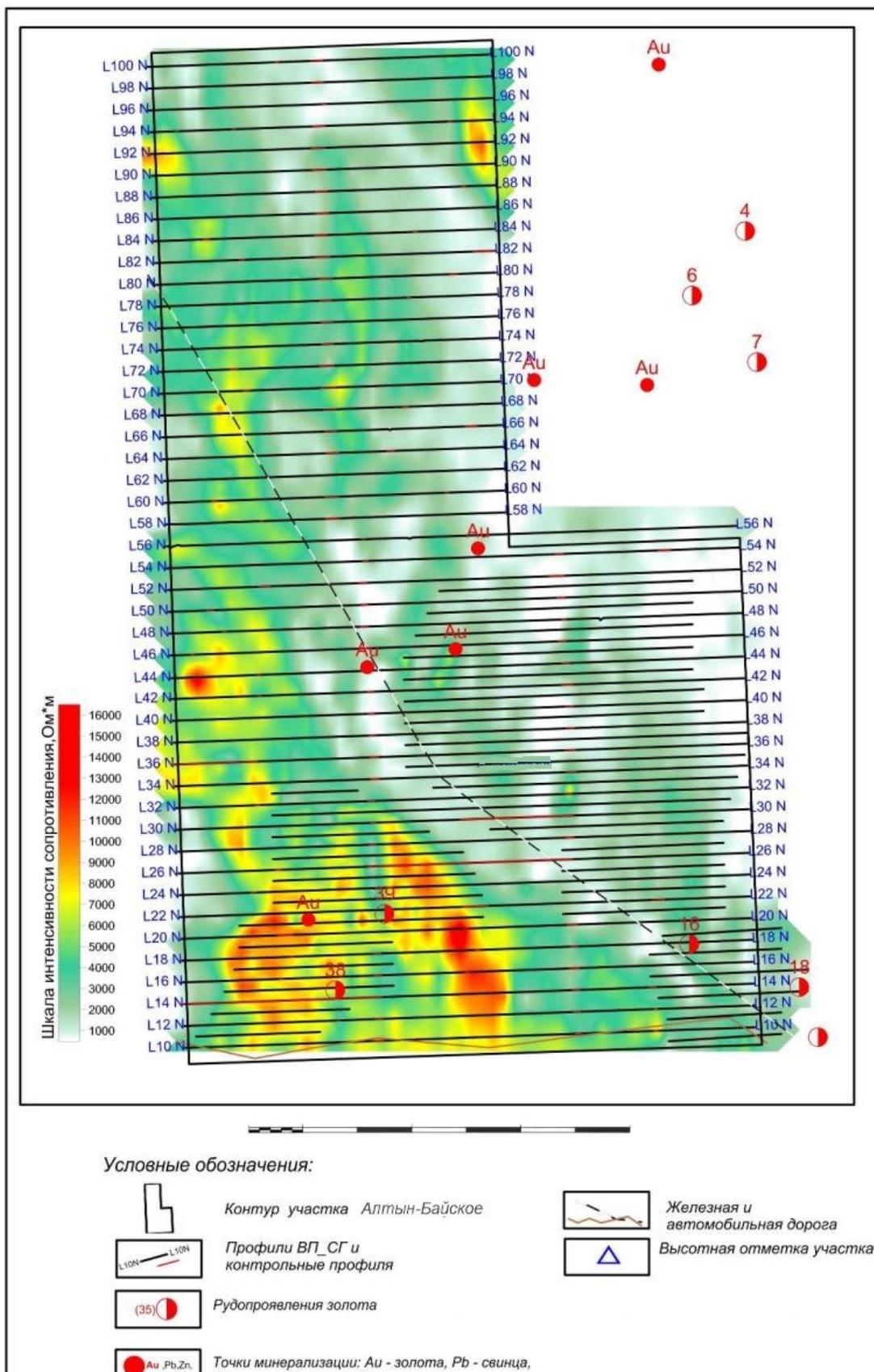


Рисунок 4.9 – Карта кажущегося сопротивления Алтын-Байского узла по данным электроразведки ВП-СГ

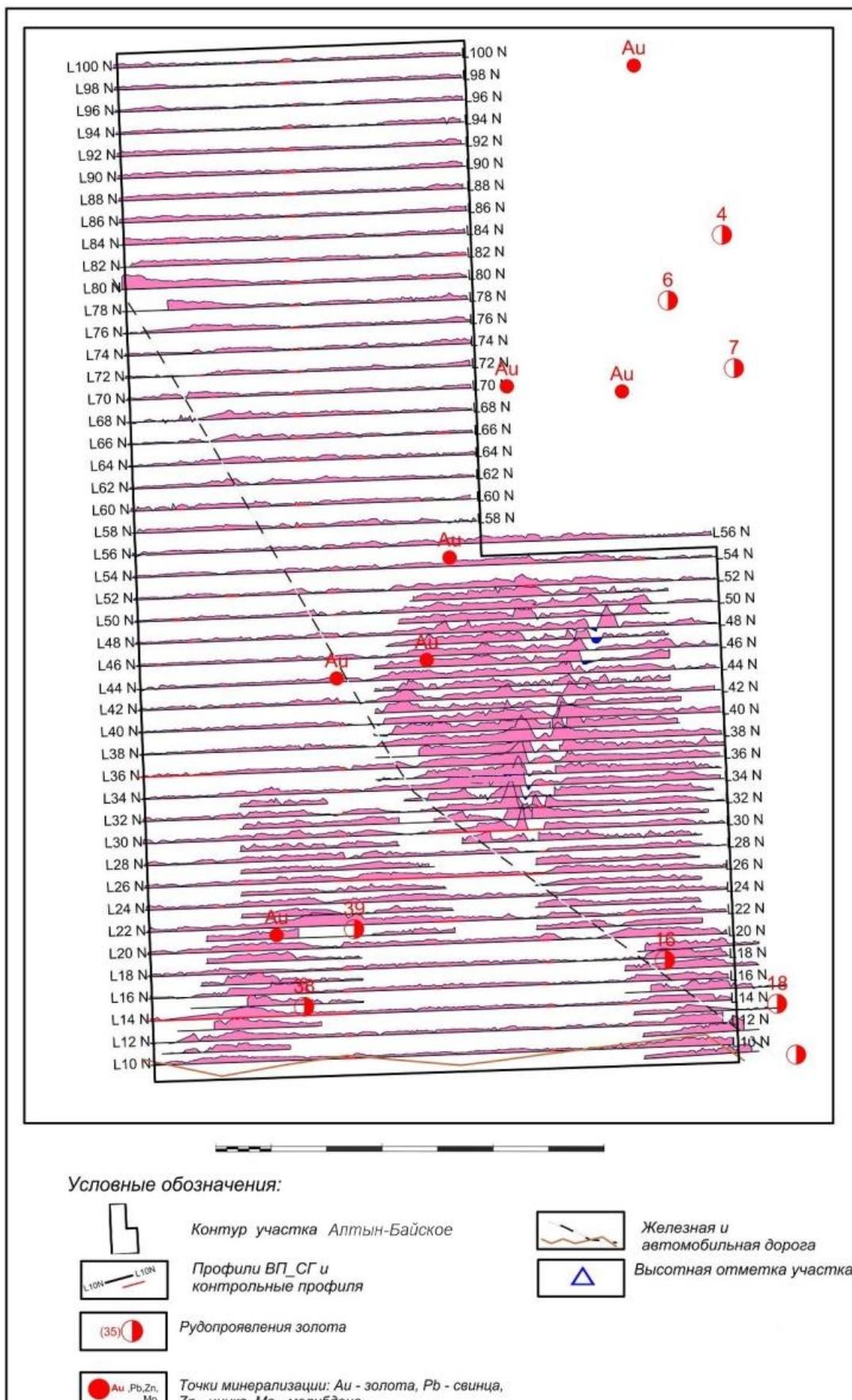


Рисунок 4.10 – Карта графиков кажущейся поляризуемости Алтын-Байского узла по данным ВП-СГ

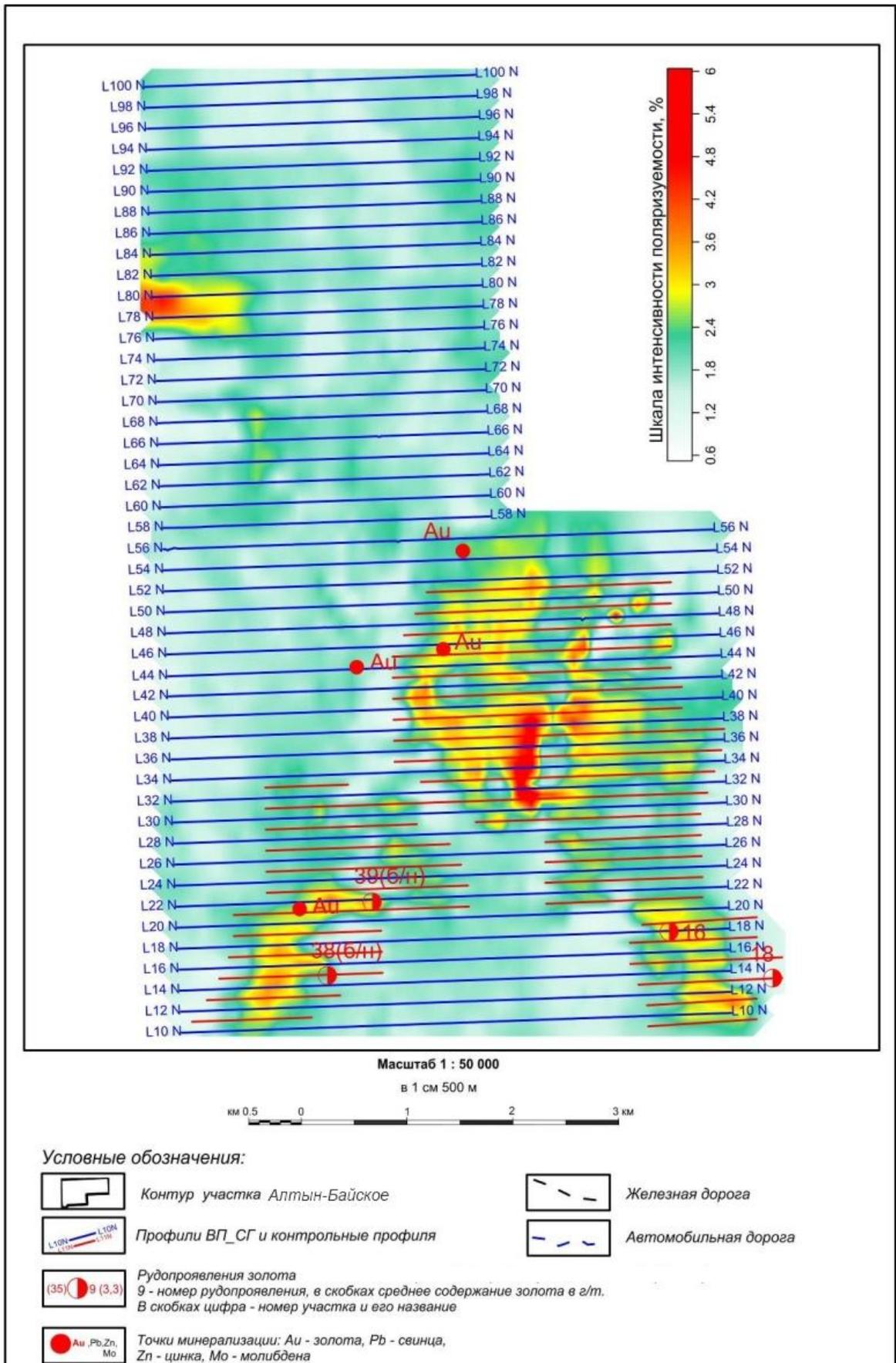


Рисунок 4.11 – Карта кажущейся поляризуемости Алтын-Байского узла по данным электроразведки ВП-СГ

5 Геологическая интерпретация геофизических данных

На территории Алтын-Байского рудного узла электроразведка методом вызванной поляризации (ВП) проводилась для выявления зон, которые могут быть связаны с сульфидной минерализацией и окварцеванием пород фундамента, а магниторазведка выполнялась с целью картирования пород фундамента, разрывных нарушений, гидротермально-металлогенических образований и поисков малых интрузий степнякского золотоносного типа.

Для решения этих задач геологическая интерпретация геолого-геофизических материалов проводилась по общепринятой стандартной методике, которая традиционно основывается на выполнении трех последовательных стадий:

1. *Оценка региональной позиции участка.* На данном этапе интерпретационных работ проанализированы фондовые геологические и геофизические материалы по участку №4. Дана оценка степени изученности территории, выделены особенности геологического строения. Выбрана геологическая основа для выполнения дальнейшей интерпретации полученных геофизических данных.

2. *Качественная интерпретация.* Является первым этапом интерпретации и начинается с рассмотрения результатов съемок. Качественная интерпретация дала возможность, с одной стороны, районировать аномалии потенциальных полей, выяснить их связи с геологическими структурами; выделить и оконтурить участки с аномальными значениями физических свойств горных пород. С другой стороны, в процессе качественной интерпретации определены объекты для количественной интерпретации и приближенно оценены их параметры. В результате данного этапа:

- на основе новых и архивных данных подготовлена сводная цифровая модель магнитного поля, наборы трансформант вычислены по результатам работ 2018 г.;

- по результатам линеamentного анализа магнитного поля построена схема разрывных нарушений в пределах площади исследований;

- на основе современных измерений 2018 г. составлена цифровая электрометрическая модель и построены карты-графиков и карты кажущейся поляризуемости и кажущегося сопротивления;

- построена результативная схема геологической интерпретации геофизических данных, выделены участки аномальных геофизических полей для оценки их поисковой значимости.

3. *Количественная интерпретация* – определение формы, глубины залегания, магнитных, плотностных, электрических свойств геологических объектов, которые оценены числовыми значениями. Методика количественной интерпретации состояла в сопоставлении наблюдаемых данных с результатами неоднократного решения прямой и обратной задач магниторазведки.

В результате качественной и количественной интерпретации получены сведения о пространственном положении тел с аномальными характеристиками магнитной восприимчивости. Геологическая интерпретация выделенных геологических объектов может расширить и уточнить имеющиеся представления о геологическом строении территории участка №4.

5.1 Методика интерпретации и программные средства

Интерпретация геофизических материалов включает в себя следующие процедуры:

- корреляционный и статистический анализ магнитного поля;
- разделение магнитного поля на региональную и локальную составляющие;
- вычисление градиентных характеристик (вертикальный и горизонтальные градиенты) магнитного поля;
- автотрассирование аномалий (акцент максимума, минимума, градиентов) гравитационного и магнитного полей;
- вычисление объемных моделей методами интерпретационной томографии, аппроксимационной томографии и деконволюции Эйлера с представлением результатов в виде "куба" данных геомагнитных параметров, с возможностью построения горизонтальных послойных срезов и вертикальных сечений (разрезов) вдоль интерпретационных профилей и любых других линий произвольной ориентировки.

Обработка и интерпретация геофизических данных выполнена с использованием современных специализированных комплексов программ GeosoftOasisMontajTM, COSCAD 3Dt, SIGMA-3D и других.

Посредством программного комплекса COSCAD 3Dt выполнен спектрально-корреляционный и статистический анализ геофизических данных, вычислены градиентные характеристики изучаемых полей, получена томографическая объемная модель распределения магнитных параметров геологической среды на площади исследований.

Для построения геомагнитной модели применена технология интерпретационной томографии (модуль DVOP пакета программ SIGMA 3D), основанная на аппроксимационных алгоритмах.

В отличие от методов прямого физико-математического моделирования, когда достоверность интерпретации напрямую зависит от объема и качества имеющейся априорной информации, методы интерпретационной томографии не требуют априорных знаний об объекте исследования. Аппроксимационная технология построения модели сводится к последовательному подбору распределения изучаемых физических свойств в каждом из слоев, начиная снизу, размеры элементов аппроксимации в плане для каждого из слоев выбираются равными глубине его верхней

кромки. В результате вычислительных процедур получен "куб" данных, в каждой точке которого содержится относительная намагниченность пород (при интерпретации данных магнитометрии), плотность (при анализе гравитационного поля), удельное электрическое сопротивление и поляризуемость (при изучении электрического поля).

5.1.1 Трансформации потенциальных полей

Важнейший этап интерпретации потенциальных полей заключается в выделении из суммарного наблюдаемого поля его различных составляющих. Каждая из компонент наблюдаемого поля вызвана влиянием геологических объектов с определенными характеристиками и предположительно однотипной природой. С этой целью наблюдаемое магнитное поле было разделено таким образом, чтобы усилить одни и ослабить другие компоненты поля. Такие преобразования на этапе интерпретации называются трансформациями полей. Вертикальный градиент усиливает высокочастотную компоненту спектра, подчеркивает элементы поля, обусловленные локальными относительно неглубокозалегающими объектами, подавляет влияние глубокопогруженных объектов. Вертикальный градиент более контрастно, чем исходное поле локализует верхние кромки магнитоактивных объектов.

Анализ распределения горизонтального градиента позволяет получить более точную локализацию границ геомагнитных объектов, выявить детали их внутреннего строения. Градиентные характеристики поля свободны от линейного фона – влияния крупных региональных аномалий и «нормального» градиента. В полях горизонтального градиента, экстремумами отмечаются границы аномалий различных амплитуд, что позволяет при визуализации увидеть одновременно контуры аномалий различной интенсивности.

Наиболее информативные трансформанты и результаты моделирования представлены в виде графических приложений. При вычислении трансформаций магнитных полей использовалась программа COSCAD 3Dt.

Вычисленные трансформанты использовались при построении итоговой интерпретационной схемы геофизических данных. Отображенные на схемах контуры интрузивных массивов и стратифицируемых комплексов, их вещественный состав, положение разрывных нарушений первого и второго ранга определены на основе анализа этих трансформант.

5.2 Критерии геологической интерпретации геофизических материалов

Геологическая интерпретация магнитного и электрического полей площади базируется на следующих основных положениях.

1) Из анализа материалов можно сделать вывод, что породы района исследований достаточно дифференцированы по магнитной восприимчивости и электрическим свойствам, что является надежной предпосылкой для интерпретации потенциальных полей;

2) В геофизических полях находят свое отражение и главные тектонические нарушения района. Так, зоны глубинных региональных разломов северо-западного направления, известных как Атансорский и Западно-Атансорский, выделяются в магнитных полях высокоградиентными зонами. Район и рудный узел имеют сложное блоковое строение, что вызвано многочисленными разрывными нарушениями разного направления и порядка, что довольно достоверно выделяется на картах магнитного поля;

3) Из-за хорошей дифференциации с вмещающими породами по физическим свойствам, интрузивные тела различного состава и морфологии четко отображаются в физических полях. В магнитном поле гранитоидам интрузивных массивов соответствуют области пониженного (граниты), повышенного (диориты) или мозаичного характера. Для интрузий среднего и основного состава типичны повышенные значения магнитных полей;

4) Исходное магнитное поле сложное и его можно разделить на несколько типов. Первый тип характеризуется изометрическими аномалиями северо-восточного направления отрицательных значений магнитного поля (отложения Алтынской свиты). Второй тип линейных аномалий магнитного поля средней интенсивности, которым характеризуются гранитоиды разного состава. Массивам гранитных интрузий присущи преимущественно изометричные области заметно пониженных значений (ΔT)а. В случае изменения состава гранитной интрузии до гранодиоритов, а также при активном воздействии вмещающих пород, аномалии характеризуются чуть повышенными значениями магнитного поля. Третий тип – высокоинтенсивные аномалии тассуйского (аралаульского) силурийского интрузивного комплекса. Его границы с высокой достоверностью картируются высокоградиентными зонами аномального магнитного поля. Четвертый тип – локальные и линейные аномалии различной избыточной интенсивности, которыми отображается дайковый комплекс крыккудукского комплекса, представленного дайками диоритовых порфиритов, микродиоритов, спессартитов, мелкозернистых гранитов, аплитов. Пятый тип – изометричные высокоинтенсивные аномалии, которые приурочены к выходам интрузивных образований позднего возраста, в основном, габброидам.

5) Осадочные палеозойские породы изменены вдоль тектонических нарушений. Преобладает пропилизация, окварцевание и пиритизация. В магнитном поле осадочные породы картируются спокойными полями. Осадочные породы с рассеянной сульфидной минерализацией выделяются

аномалиями кажущейся поляризуемости до 3% на фоне 2,4%, местами до 6% (в районе проявления Алтын).

6) Региональные разломы северо-восточного направления четко выражены в геофизических полях субпараллельными зонами высокоинтенсивных градиентов ΔT .

7) Вторичные кварциты с пиритом, редко халькопиритом, местами ожелезненные до железных шляп, картируются пониженным магнитным полем и аномальными значениями вызванной поляризации. Им, как правило, соответствуют вторичные ореолы серебра, цинка, свинца, молибдена.

Зоны сульфидизации интрузивных массивов крыккудукского интрузивного комплекса картируются кажущейся поляризуемостью до 3% на фоне 2,4%.

10) Области внедрения интрузий диоритового и габбро-диоритового состава отмечаются положительными магнитными аномалиями изометричной и цепочкообразной форм.

5.3 Результаты интерпретации данных магниторазведки

В результате интеграции новых магнитных данных с материалами магнитных съемок прошлых лет получена сводная числовая модель аномального магнитного поля (Рисунок 6.1, а). Для удаления сопряженных минимумов и приведения максимума аномалии к центру магнитоактивного объекта данная модель была пересчитана и приведена к полюсу (Рисунок 5.1, б).

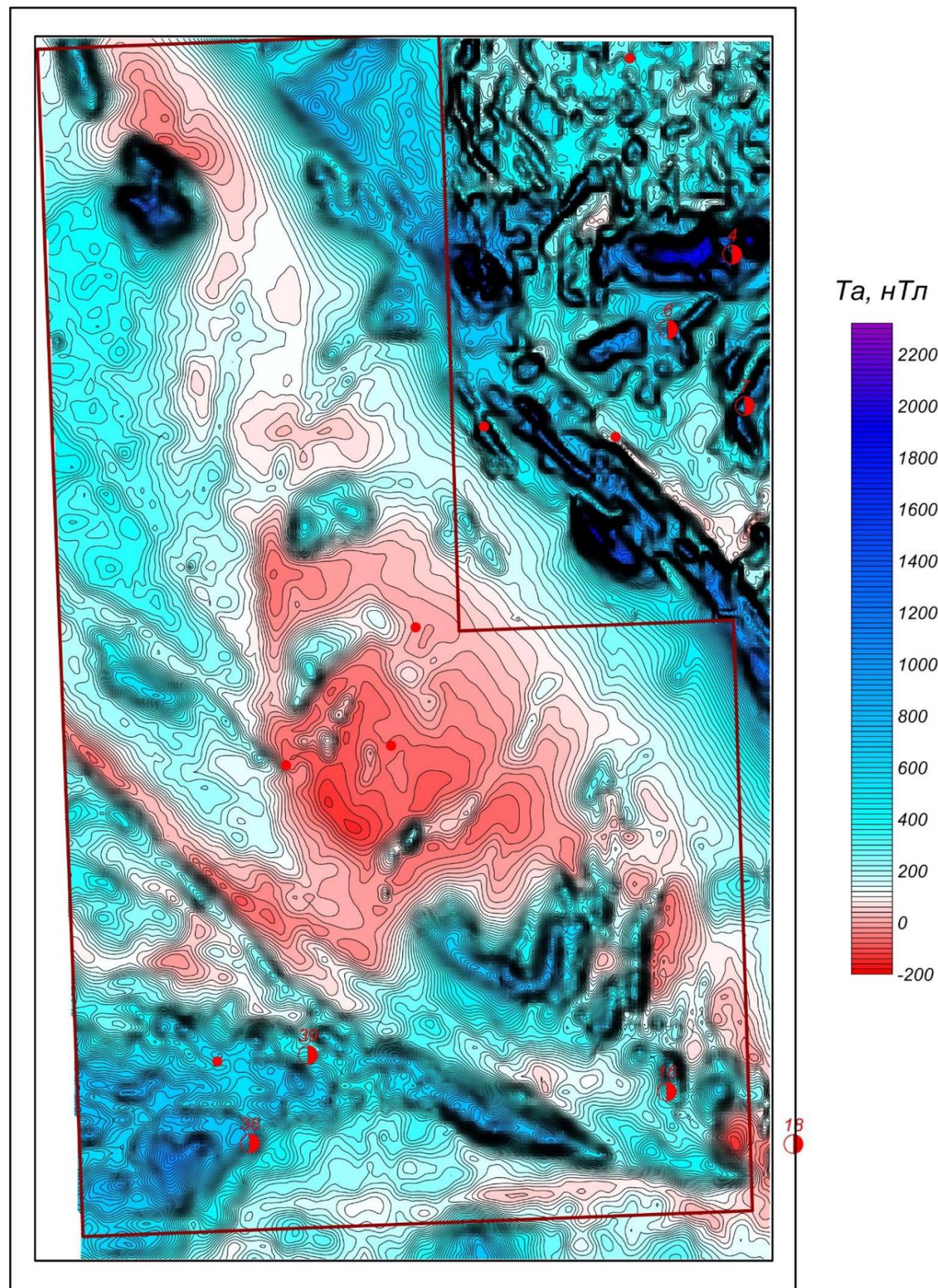
Аномальное магнитное поле (ΔT)а характеризуется значительной изменчивостью по площади участка №4. Амплитуда аномального магнитного поля изменяется от -200 до +2 400 нТл при фоновом значении +100 нТл. Магнитное поле участка №4 разнородно по своему уровню, частоте, конфигурации и интенсивности аномалий. Структура и интенсивность магнитных аномалий отражает распределение в геологической среде различных объектов, и в первую очередь, обусловлена наличием интрузий различного состава и практически немагнитными осадочными отложениями.

Центральную часть карты аномального магнитного поля (ΔT)а занимает отрицательная аномалия с формой, близкой к изометрической, северо-западного простирания интенсивностью до -200 нТл. В геологическом отношении данная аномалия картирует отложения Алтынской свиты, заключенной в блоке, ограниченном Атансорским и Западно-Атансорским разломами. Отрицательные значения магнитного поля связаны со слабомагнитными осадочными породами (песчаниками, алевролитами, конгломератами, аргиллитами, реже известняками и кремнистыми породами), слагающими Алтынскую свиту. Характер изодинам спокойный. Осложнение хода изодинам связано с внедрением габбро-пироксенит и габбро-диабазов куртукульского интрузивного комплекса. Влияние интрузий также ведет за

собой увеличение магнитного поля до +200 нТл. Там, где влияние пород Алтынской свиты ослабевает, габброиды картируются аномалиями интенсивностью до +400 нТл. Характерное поведение изодинам дает возможность уточнить контуры тел интрузивных комплексов. Проявления золотой минерализации, приуроченные к породам Алтынской свиты, также повышают значения аномального магнитного поля. Увеличение магнитных свойств связано, по-видимому, с тем, что проявления золота (по фондовым данным) отмечаются в темных известняках.

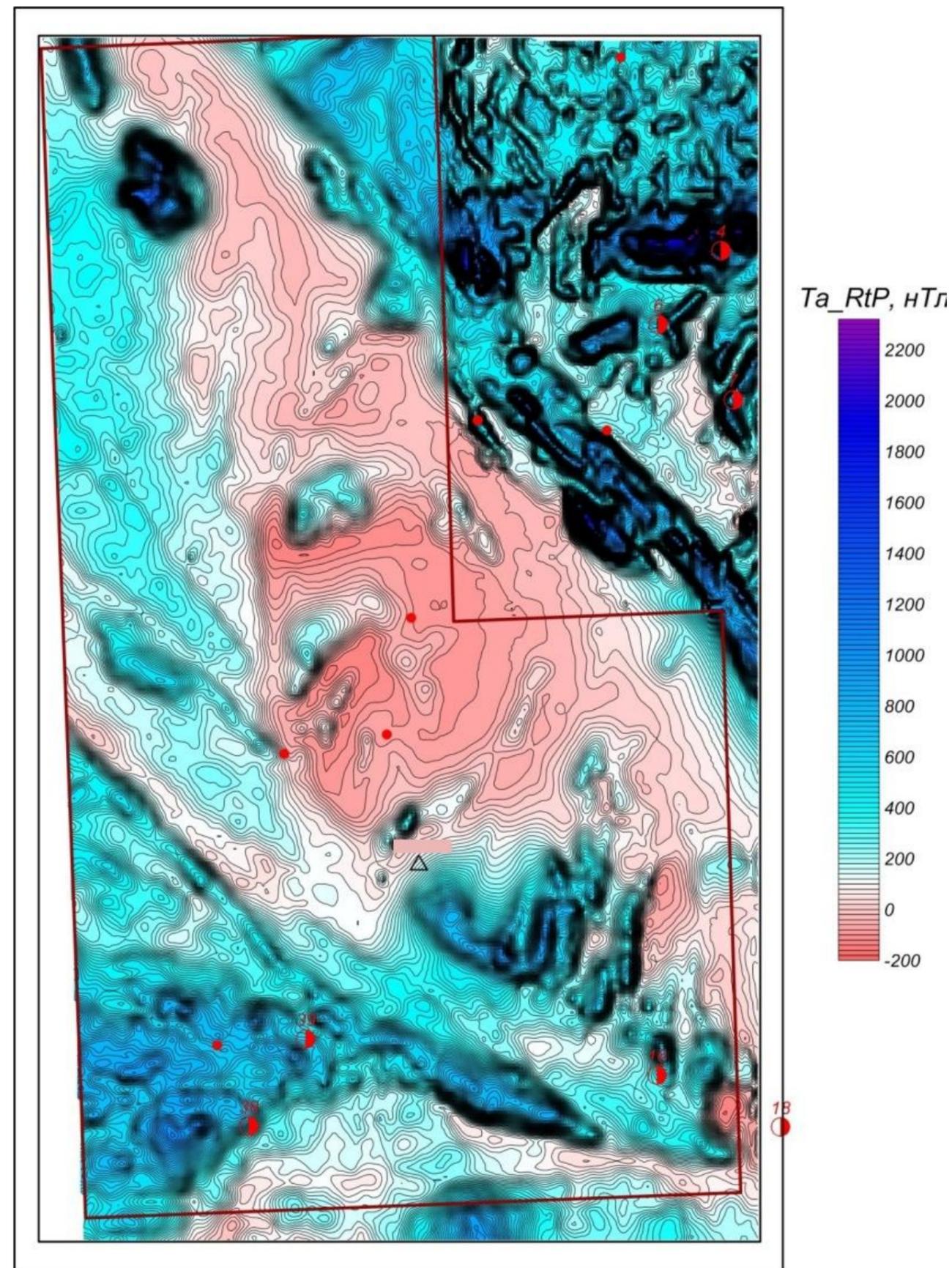
Аномальное магнитное поле северо-восточной половины площади исследований отличается от рассмотренных аномалий более сложным поведением изодинам и высокими значениями аномалий. Характер поля довольно резко меняется вдоль контакта Алтынской свиты с Атансорским разломом. Спокойное магнитное поле здесь сменяется на цепочки разнонаправленных линейных аномалий интенсивностью до +2 000 нТл. Высокие значения магнитных свойств связаны с влиянием отложений сагской свиты, которая сложена вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами: андезитами, андезибазальтами, базальтами, дацитами, риодацитами, их туфами, туфоконгломератами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, туффитами. Эти отложения рвутся субвулканическими телами базальтов, андезибазальтов, андезитов, андезидацитов, что имеет свое отражение в аномальном магнитном поле в виде уменьшения интенсивности магнитного поля.

В верхней западной части района исследования выходы плагиогранитов картируются отрицательной аномалией интенсивностью -200 нТл юго-восточного простирания. Далее наблюдаются две изометричные аномалии небольших размеров интенсивностью до +2 400 нТл. Природа этих аномалий оказалась не выясненной до конца. Ядру одной из аномалий соответствуют выходы тела куянбакского комплекса расслоенных габбро-норитовых интрузивов, залегающих внутри гранитоидов.



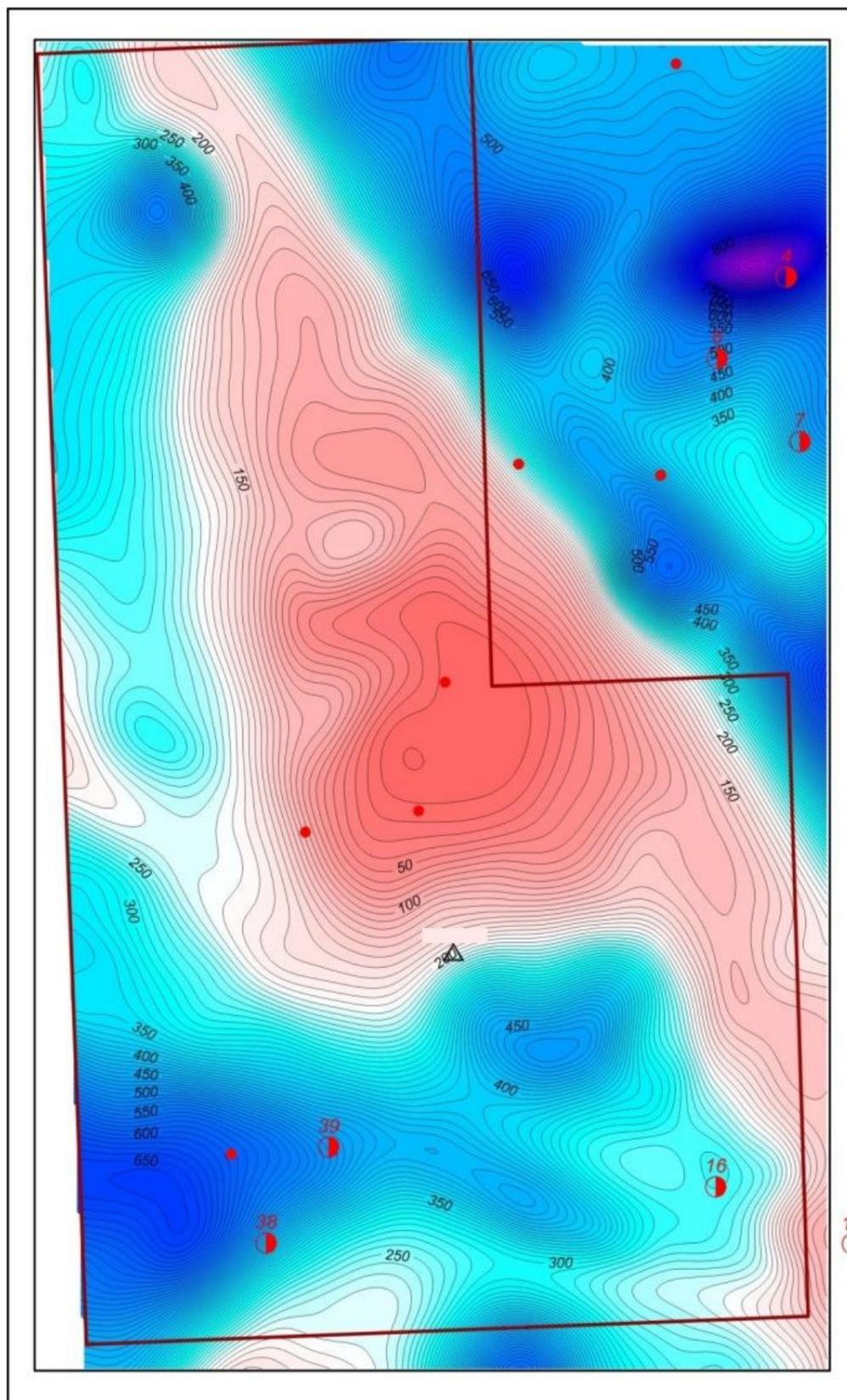
Фон $\Delta Ta \approx +100$ нТл км 0,5 0 1 2 км -200 нТл $< \Delta Ta < 2\ 200$ нТл

А) Карта аномального магнитного поля, сечение 20 нТл.

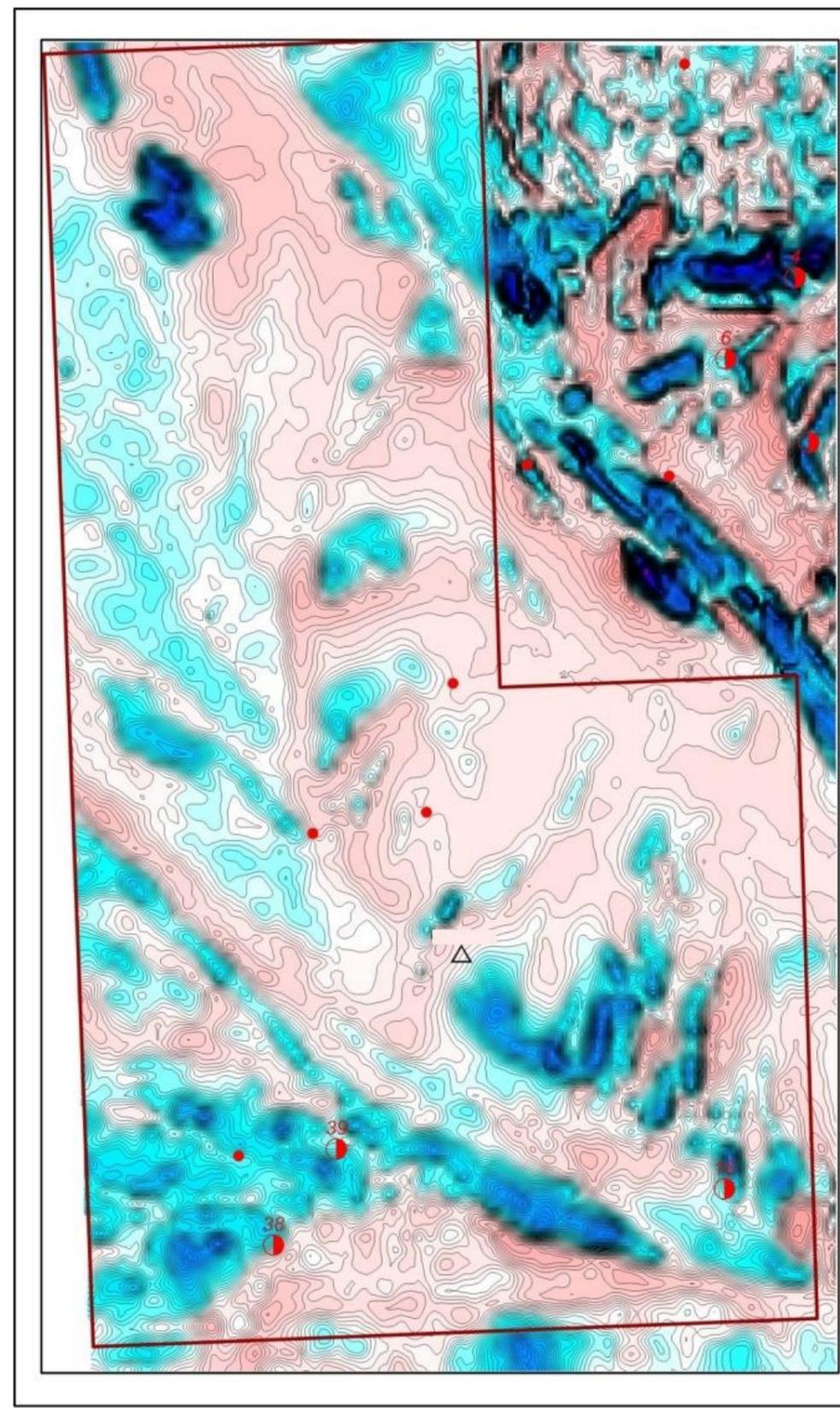
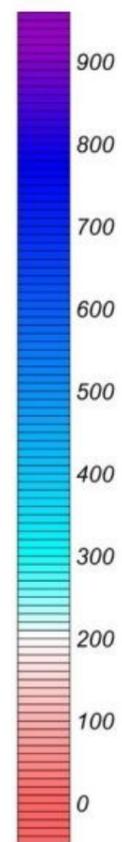


км 0,5 0 1 2 км

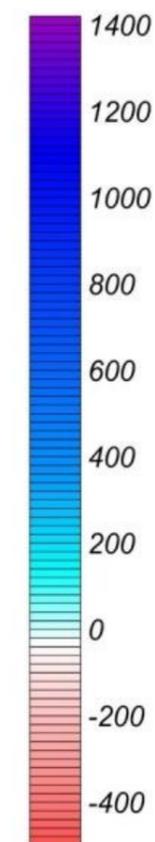
Б) Аномальное магнитное поле, приведенное к полюсу.



Та, нТл



T лок, нТл



Фон $\Delta T_{рег} \approx +213$ нТл км 0.5 0 1 2 км -100 нТл $<\Delta T_{рег} < 1085$ нТл

Фон $\Delta T_{лок} \approx 100$ нТл км 0.5 0 1 2 км -450 нТл $<\Delta T_{лок} < 1400$ нТл

В) Низкочастотная составляющая аномального магнитного поля, приведенного к полюсу. Сечение изодинам 10 нТл.

Г) Локальные аномалии магнитного поля, приведенного к полюсу. Сечение изодинам 20 нТл

Рисунок 5.1 – Карты аномального магнитного поля.

Аналогичную аномалию можно наблюдать в юго-западной части площади исследований. Здесь обширную площадь слагают интрузивы позднеордовикского крыккудукского комплекса. Внутри лейкократовых гранитов, средне-мелкозернистых гранитов встречаются малые интрузивные тела, представленные гранодиоритами, кварцевыми диоритами, лейкогаббро-норитами. В районе выхода интрузии наблюдается положительная изометрическая аномалия интенсивностью в ядре +1 800 -2 000 нТл. Характер изодинам в районе интрузивов крыккудукского комплекса сложный, разнонаправленный, складывается из цепочек линейных аномалий различного простирания и интенсивности. Вдоль Западного-Атансорского разлома интрузивные породы расланцованы и пропилитизированы, что отражается в понижении интенсивности магнитного поля в данной части площади. Дайковый комплекс, представленный дайками диоритовых порфиритов, микродиоритов, спессартитов, мелкозернистых гранитов, аплитов отображается в поле (ΔT)_a интенсивными линейными аномалиями северо-западного направления. Таким образом, аномальное магнитное поле очень хорошо отражает структурно-тектонические и литологические особенности района исследования.

В зоне Атансорского главного разлома наблюдается интенсивная линейная аномалия северо-восточного протирания с максимальными значениями аномального магнитного поля. Здесь закартирована дайкообразная интрузия сиенодиоритов, кварцевых сиенодиоритов, граносиенитов довольно большой протяженности. Аномалия отнесена к тассуйскому (аралаульскому) силурийскому интрузивному комплексу. Его границы с высокой достоверностью картируются высокоградиентными зонами аномального магнитного поля. Широко развитые на участке работ разнообразные гидротермально-метасоматические образования в виде вторичные кварцитов в разной степени минерализованные пиритом и, иногда, халькопиритом, беретизированные кислые и средние лавы, субвулканические тела, пропилитизированные кварцевые сиенодиориты и граносиениты характеризуются пониженными значениями аномального магнитного поля (ΔT)_a.

При анализе магнитных аномалий было выполнено разделение исходного поля на региональную и локальную составляющие. Низкочастотная компонента (региональная составляющая) была получена путем пересчета приведенного к полюсу поля в верхнее полупространство на высоту 250 м (Рисунок 5.1, в).

Региональное магнитное поле изменяется -100 нТл < $\Delta T_{\text{рег}}$ < 750 нТл, при фоновом значении $\Delta T_{\text{рег}} \approx -213$ нТл. В региональном поле всю центральную часть территории исследований занимает отрицательная изометрическая аномалия интенсивностью -100 нТл. Поля, характеризующиеся повышенным региональным полем, отражают влияние гранитных интрузий, отложений крыккудукской серии. Габбро-пироксенит и габбро-диабазы куртукульского интрузивного комплекса отражения в региональном магнитном поле отражения не находят. Региональные

глубинные разломы проявляются в региональном магнитном поле градиентными зонами.

Локальная составляющая (Рисунок 5.1, г) получена как разность исходного поля и регионального (пересчитанного вверх на высоту 250 м). Локальное магнитное поле изменяется $-450 \text{ нТл} < \Delta T_{\text{лок}} < +1450 \text{ нТл}$, при фоновом значении $\Delta T_{\text{лок}} \approx -213 \text{ нТл}$. Поле, в основном, спокойное. Осложнение поля в виде разнонаправленных линейных аномалий повышенной интенсивности связано с выходами интрузивных массивов различного состава. Наибольшими значениями локального магнитного поля характеризуются выходы габброидов куянбакского комплекса и дайковый комплекс крыккудукского массива. В локальном поле протяженными линейными зонами аномалий выделяются не только региональные глубинные разломы, но и тектонические нарушения более высоких порядков.

Для облегчения выделения и оконтуривания подобных элементов магнитного поля в отчете приводится набор трансформант исходного поля, приведенного к полюсу, позволяющий усилить (более контрастно визуализировать, локализовать) эффекты от различных локальных геологических объектов. В первую очередь, к трансформантам относятся градиентные характеристики магнитного поля и их модули, аналитический сигнал AS, угол наклона вектора градиента магнитного поля (TDR). Все эти трансформанты предназначены для локализации высокочастотной составляющей аномального магнитного поля. Вертикальный градиент VDR усиливает высокочастотную компоненту спектра, подчеркивает элементы поля, обусловленные локальными относительно неглубокозалегающими объектами, подавляет низкочастотную составляющую. Вертикальная производная более контрастно, чем исходное поле локализует верхние кромки возмущающих объектов. На карте вертикального градиента более отчетливо отображаются эпицентры (осевые линии) локальных аномалий.

Пересчет в вертикальный градиент магнитного поля (Рисунок 5.2) локализовал аномалии, позволяя подчеркнуть высокочастотную компоненту и увидеть более ярко особенности структурно-тектонического строения. По цепочкам аномалий можно картировать разломы, по которым, возможно, шло внедрение интрузий. По смене характера рисунка и интенсивности поля возможно определение не только границ массивов, но и определение литологического состава интрузивного тела.

Для локализации элементов разломной тектоники и осей геологических структур использован прием автотрассирования осей положительных и отрицательных аномалий магнитного поля. Применение процедуры позволяет провести автоматическое трассирование линейно вытянутых аномальных зон, выделить эпицентры локальных аномалий, обозначить их осевые линии. Полученные решения свидетельствуют о высокой эффективности данного алгоритма для выделения линеаментов вне зависимости от интенсивности аномальных проявлений в исходном поле. Выделенные оси магнитных аномалий, выстраиваются в протяженные

цепочки, объединяются в группы определенной ориентировки, создают предпосылки для выделения по данным магнитометрии тектонических нарушений основных и оперяющих, разделения площади на относительно крупные геомагнитные блоки. По характерным элементам магнитного поля проведен линеаментный анализ, который позволил выделить тектонические нарушения. Их наличие определялось по следующим основным признакам: 1) по резкой смене интенсивности магнитного поля вдоль определенной линии, линейные аномалии модуля горизонтального градиента; 2) по характерным смещениям аномальных значений относительно определенной линии; 3) по линейным цепочкам аномалий магнитного поля; 4) по наличию линейных аномалий значений dT_a/dZ и ΔT (Рисунок 5.3).

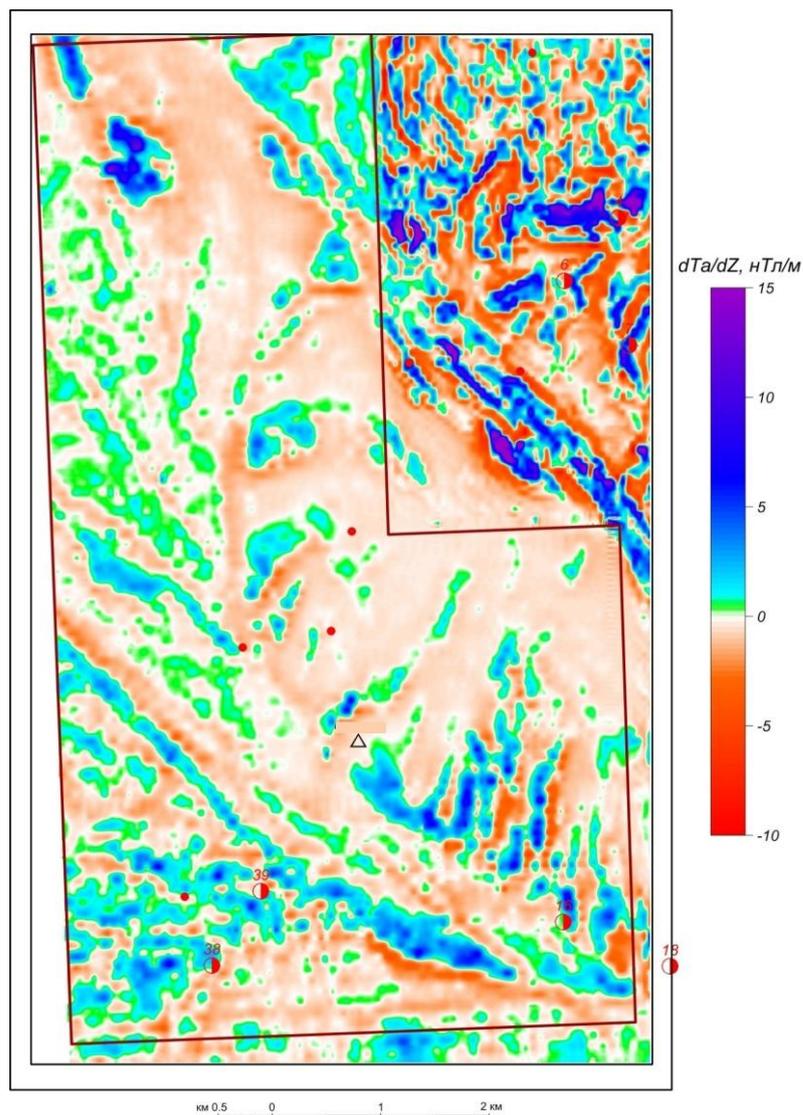


Рисунок 5.2 – Вертикальный градиент VDR магнитного поля, приведенного к полюсу

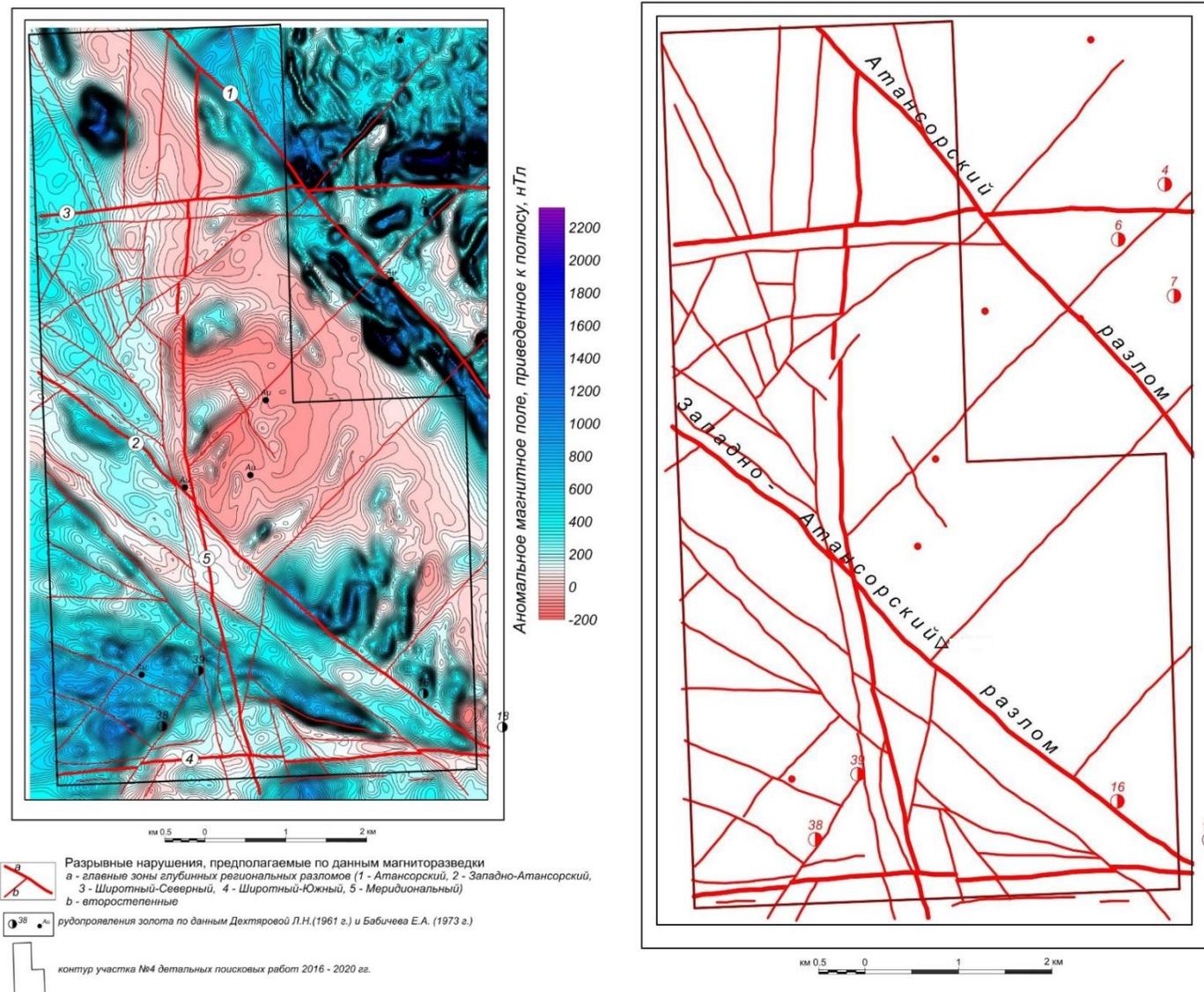


Рисунок 5.3 – Карта аномального магнитного поля с выделенными на основе линейного анализа элементами разломной тектоники

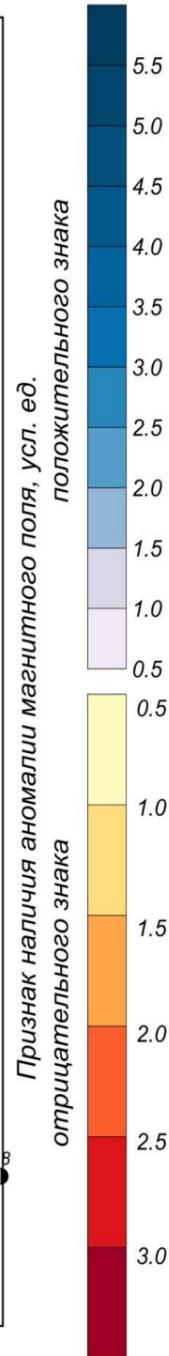
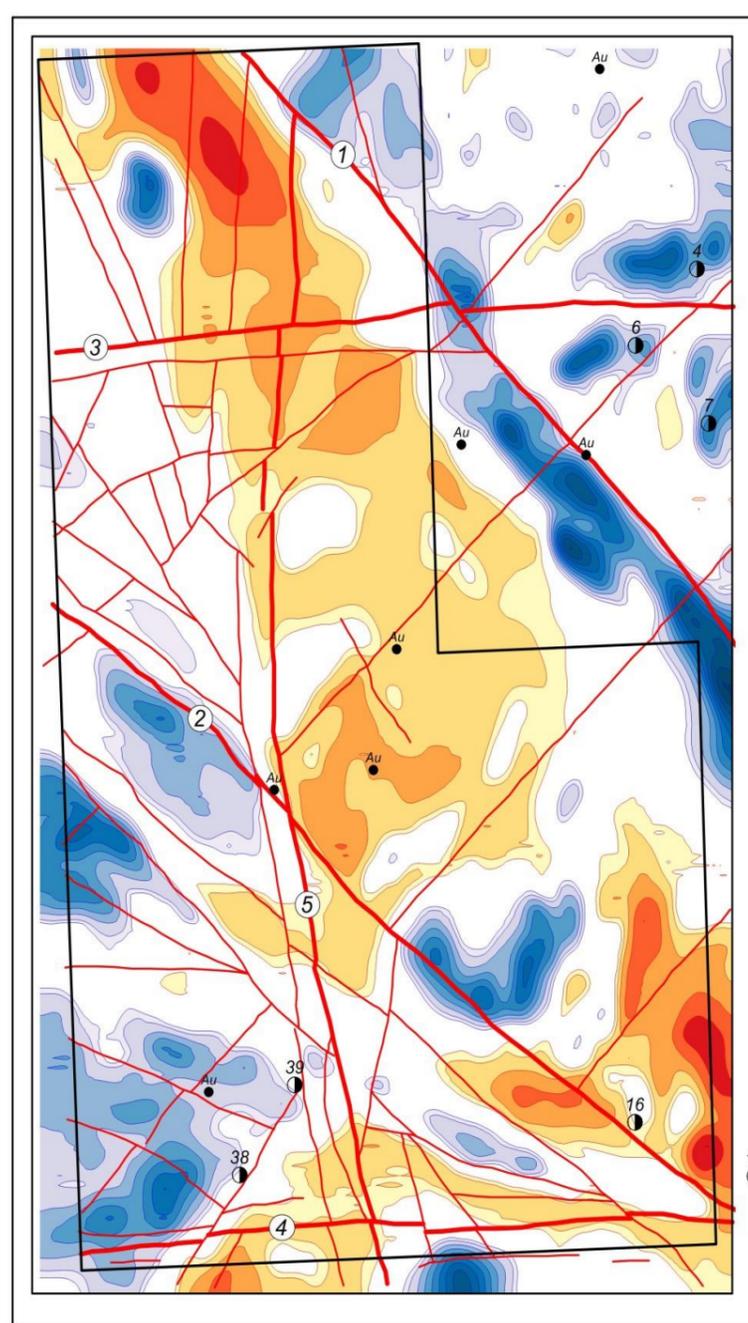
По перечисленным признакам на основе анализа рассчитанных трансформант аномального магнитного поля, приведенного к полюсу, с высокой достоверностью выделяются основные региональные разломы типа Атансорского и Западно-Атансорского. Также были выделены так называемые Северный субширотный, Южный субширотный, Центральный меридиональный разломы, которые также были определены, как глубинные и основные. Для достоверного выделения разломной тектоники в рамках интерпретации магнитного поля были проведены расчеты различных статистических характеристик, каждая из которых подчеркивала только ей свойственные особенности высокочастотных составляющих. Так, например, были рассчитаны статистические характеристики магнитного поля, приведенного к полюсу: среднее в двумерном скользящем окне 125x125 м (Рисунок 5.4) дисперсия в двумерном скользящем окне 125x125 м (Рисунок 5.4, б); стандарт (отношение дисперсии к среднему) в двумерном скользящем окне 125x125 м (Рисунок 5.4, в). Анализ данных трансформант дал возможность более достоверного выделения и элементов разломной тектоники, и оконтуривания разновозрастных литологических разностей. Из рисунков видно, что данные области тяготеют к зонам градиентов, или к положительным и отрицательным осям магнитных аномалий.

Для подчеркивания высокочастотной структуры магнитного поля, дополнительно к локальным аномалиям по аномальному полю, приведенному к полюсу, вычислены и построены карты модуля горизонтального градиента (Рисунок 5.5) и аналитического сигнала AS (Рисунок 5.5).

Также был рассчитан параметр, который называется угол наклона градиента TDR (Tiltderivative). Измеряется в радианах. Является альтернативным вариантом по отношению к вертикальному градиенту VDR для акцента высокочастотной составляющей гравитационных аномалий. По интенсивности максимумов TDR может быть дана оценка глубины залегания объектов. Угол наклона градиента TDR отображает все максимумы исходного поля независимо от их интенсивности, дает возможность картирования планового положения объектов, их контуров, трассирования структурных элементов. Интенсивность угла наклона градиента TDR существенно меньше, чем у вертикального градиента VDR, аналитического сигнала AS и зависит только от амплитуды аномалий исходного поля, что позволяет более четко трассировать оси слабых аномалий, связанных с более глубокими объектами. Экстремумы TDR соответствуют осевым линиям объектов, нулевые значения – границам. Карта угла наклона градиента TDR представлена на Рисунке 5.7. Карта модуля горизонтального градиента TDR (HD TDR) показана на Рисунке 5.8.

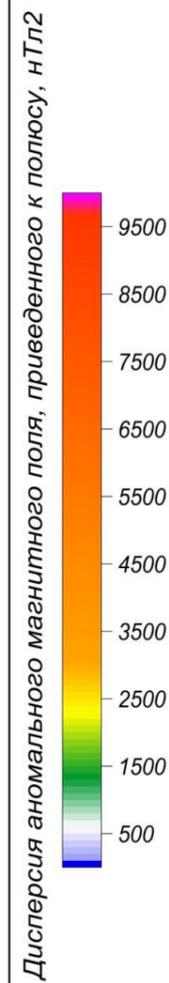
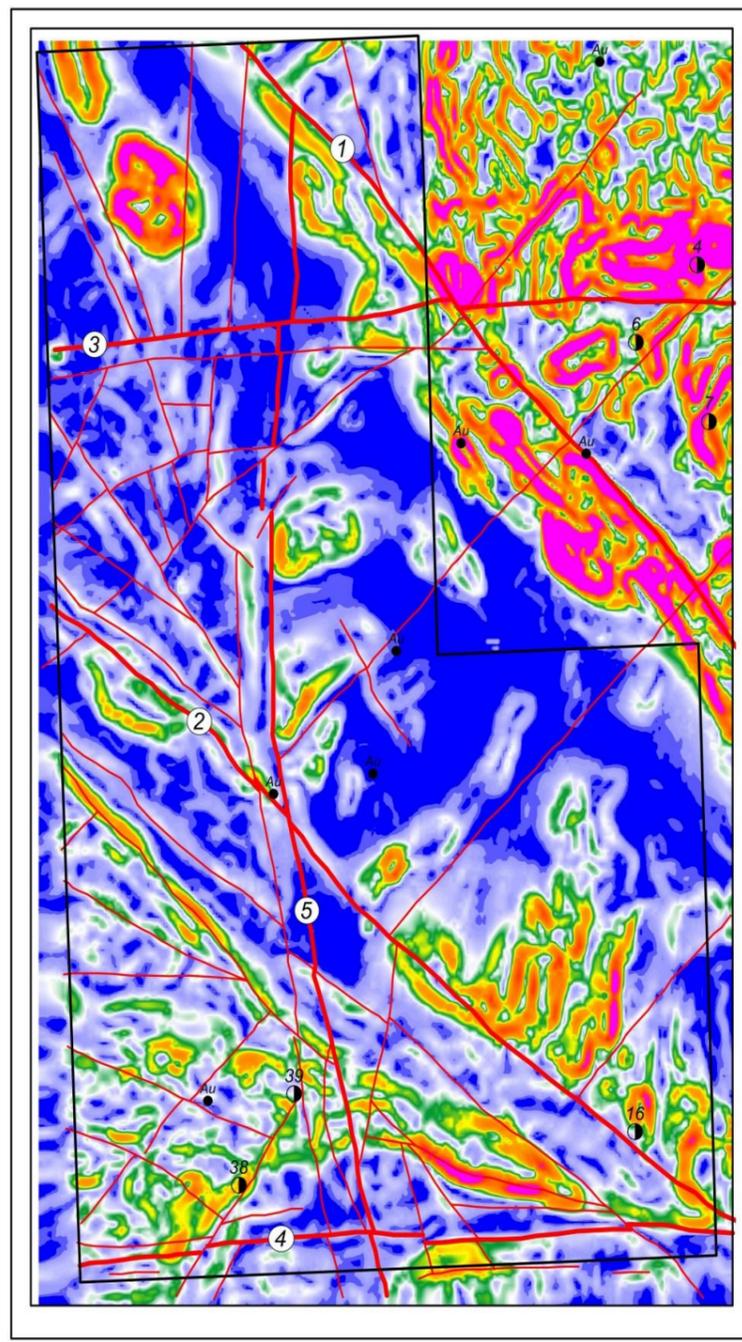
На Рисунке 5.9 представлена карта кажущейся магнитной восприимчивости, вычисленной по данным аэромагнитной съемки средствами Geosoft Oasis Montaj с использованием модуля MagMap Filtering.

Сечение карты $50 \cdot 10^{-6}$ ед. СГСМ. Результаты расчета позволяют дать оценку положения, глубины залегания, магнитных свойств геологических объектов.



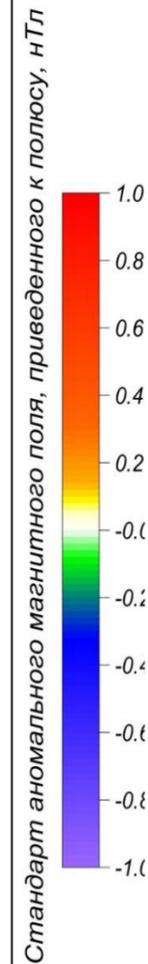
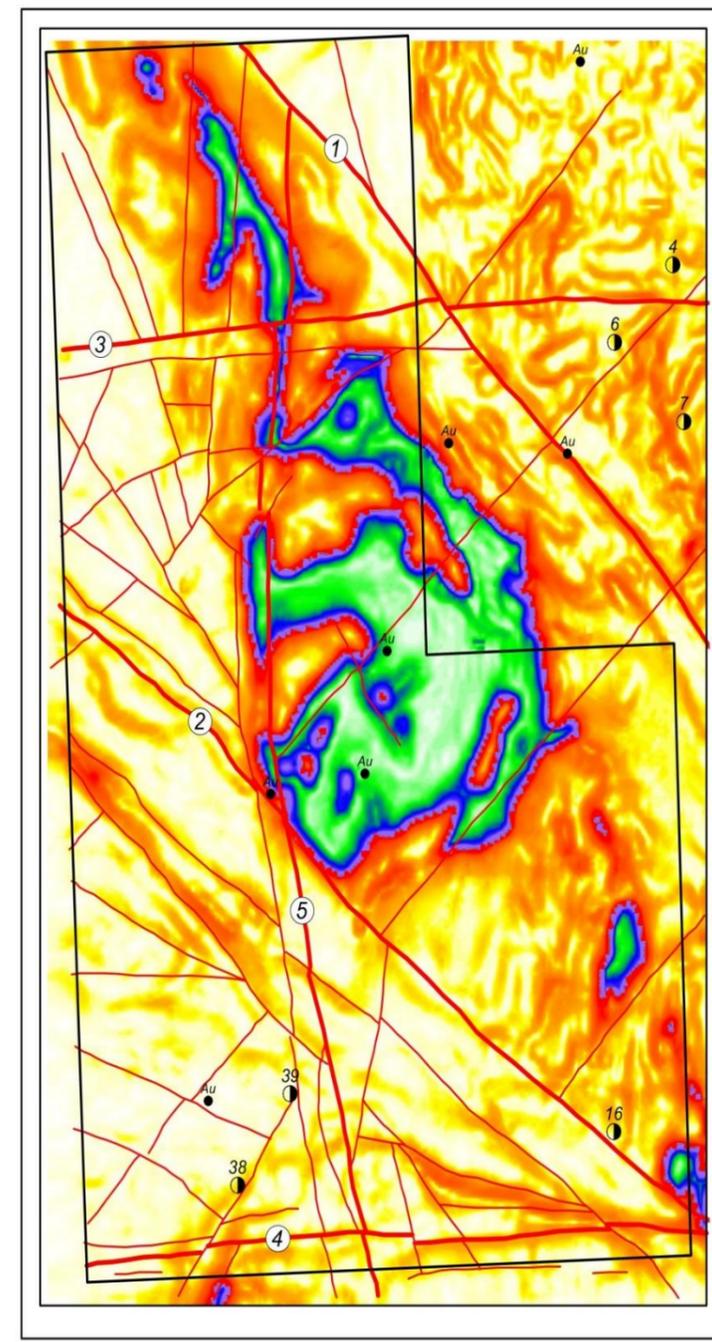
-  Разрывные нарушения, предполагаемые по данным магниторазведки
a - главные зоны глубинных региональных разломов (1 - Атансорский, 2 - Западно-Атансорский, 3 - Широтный-Северный, 4 - Широтный-Южный, 5 - Меридиональный)
b - второстепенные
-  рудопроявления золота по данным Дехтяровой Л.Н.(1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)
-  контур участка №4 детальных поисковых работ 2016 - 2020 гг.

А) Обнаружение аномалий магнитного поля, автоматический метод обратных вероятностей



-  Разрывные нарушения, предполагаемые по данным магниторазведки
a - главные зоны глубинных региональных разломов (1 - Атансорский, 2 - Западно-Атансорский, 3 - Широтный-Северный, 4 - Широтный-Южный, 5 - Меридиональный)
b - второстепенные
-  рудопроявления золота по данным Дехтяровой Л.Н.(1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)
-  контур участка №4 детальных поисковых работ 2016 - 2020 гг.

Б) Дисперсия в двумерном скользящем окне 125x125 м.



-  Разрывные нарушения, предполагаемые по данным магниторазведки
a - главные зоны глубинных региональных разломов (1 - Атансорский, 2 - Западно-Атансорский, 3 - Широтный-Северный, 4 - Широтный-Южный, 5 - Меридиональный)
b - второстепенные
-  рудопроявления золота по данным Дехтяровой Л.Н.(1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)
-  контур участка №4 детальных поисковых работ 2016 - 2020 гг.

В) Отношение дисперсии к среднему (стандарт) в двумерном скользящем окне 125x125 м.

Рисунок 5.4 – Статистические характеристики аномального магнитного поля приведенного к полюсу

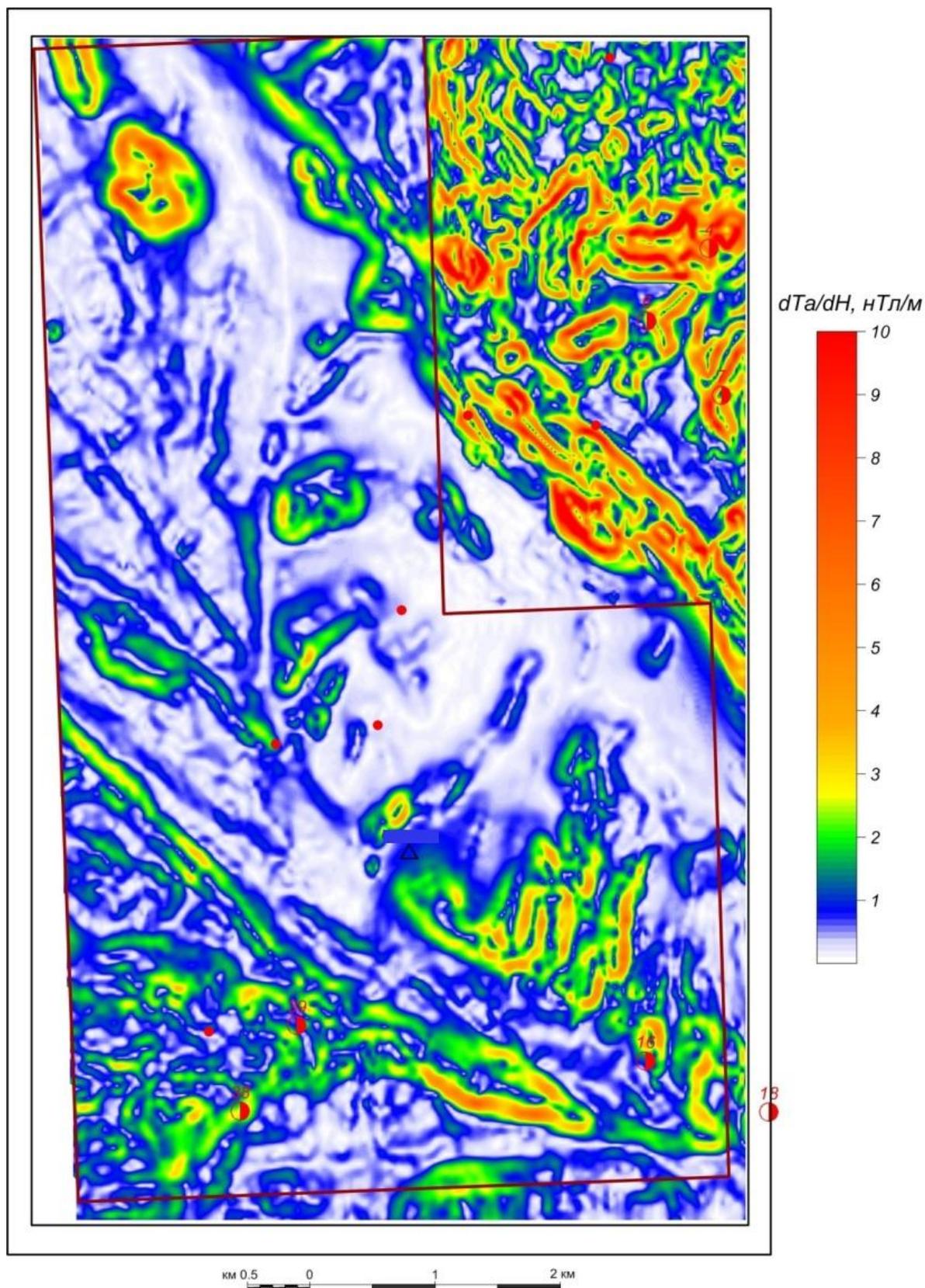


Рисунок 5.5 – Модуль горизонтального градиента аномального магнитного поля приведенного к полюсу

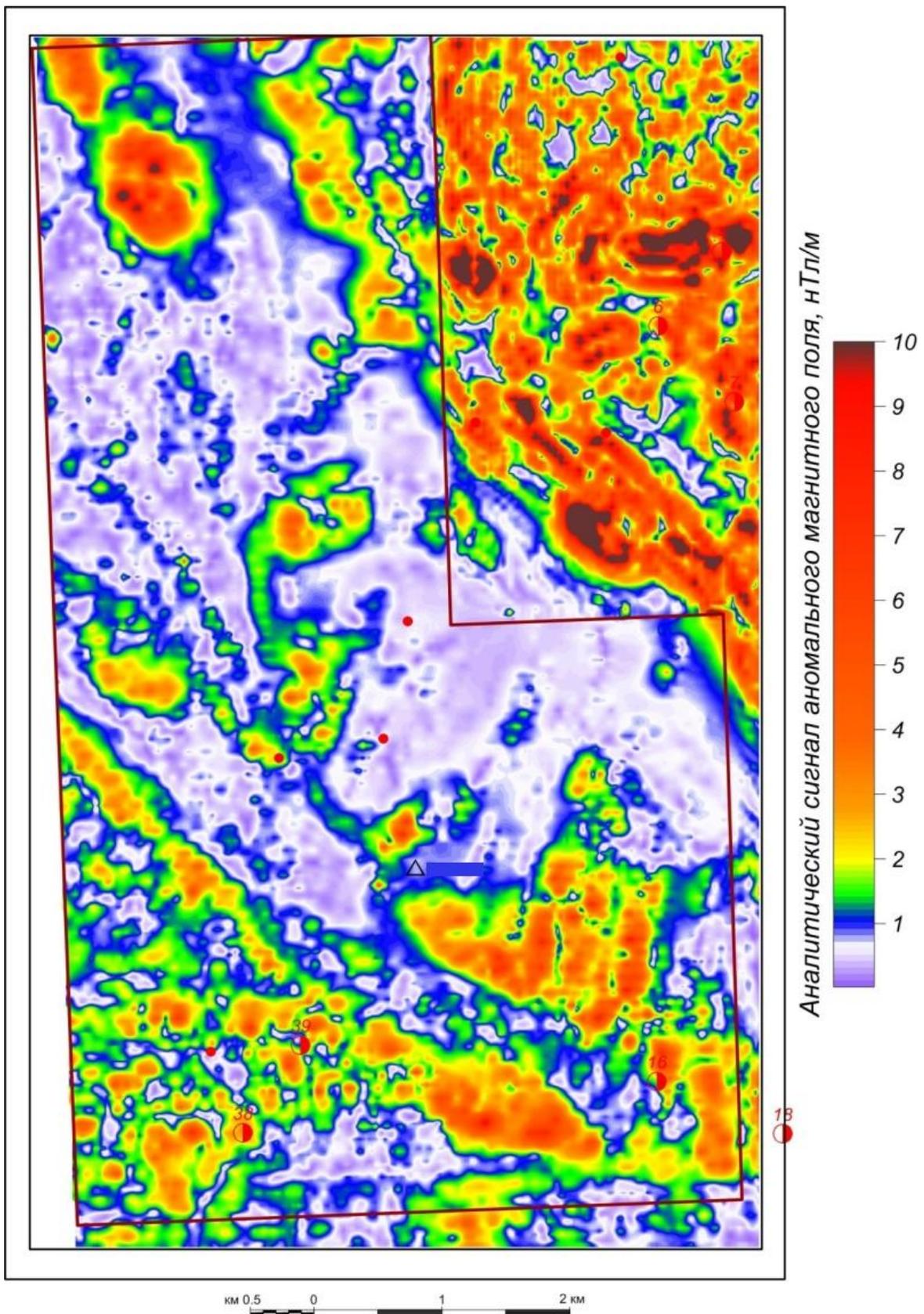


Рисунок 5.6 – Аналитический сигнал AS аномального магнитного поля

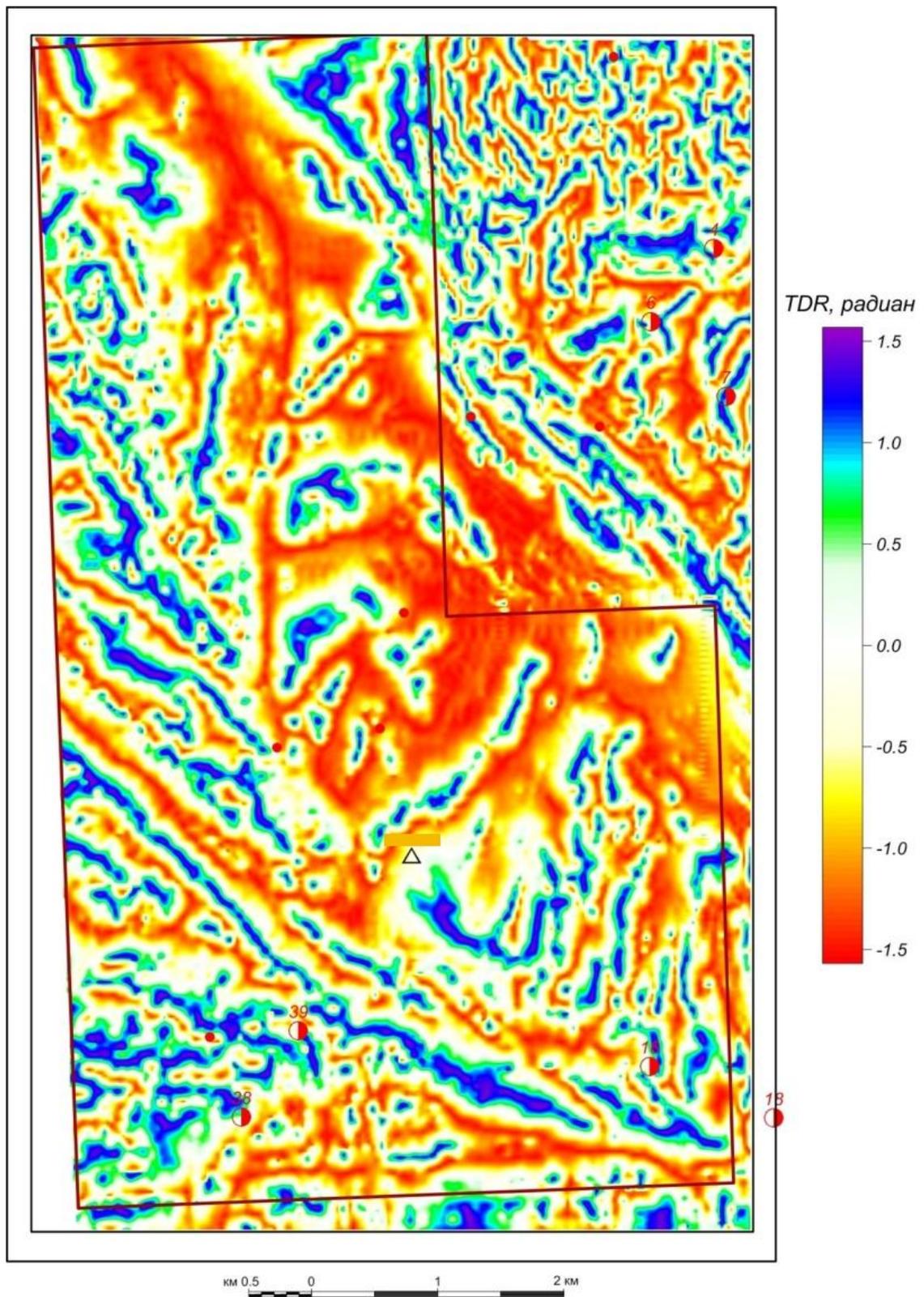


Рисунок 5.7 – Угол наклона вектора градиента TDR магнитного поля, приведенного к полюсу

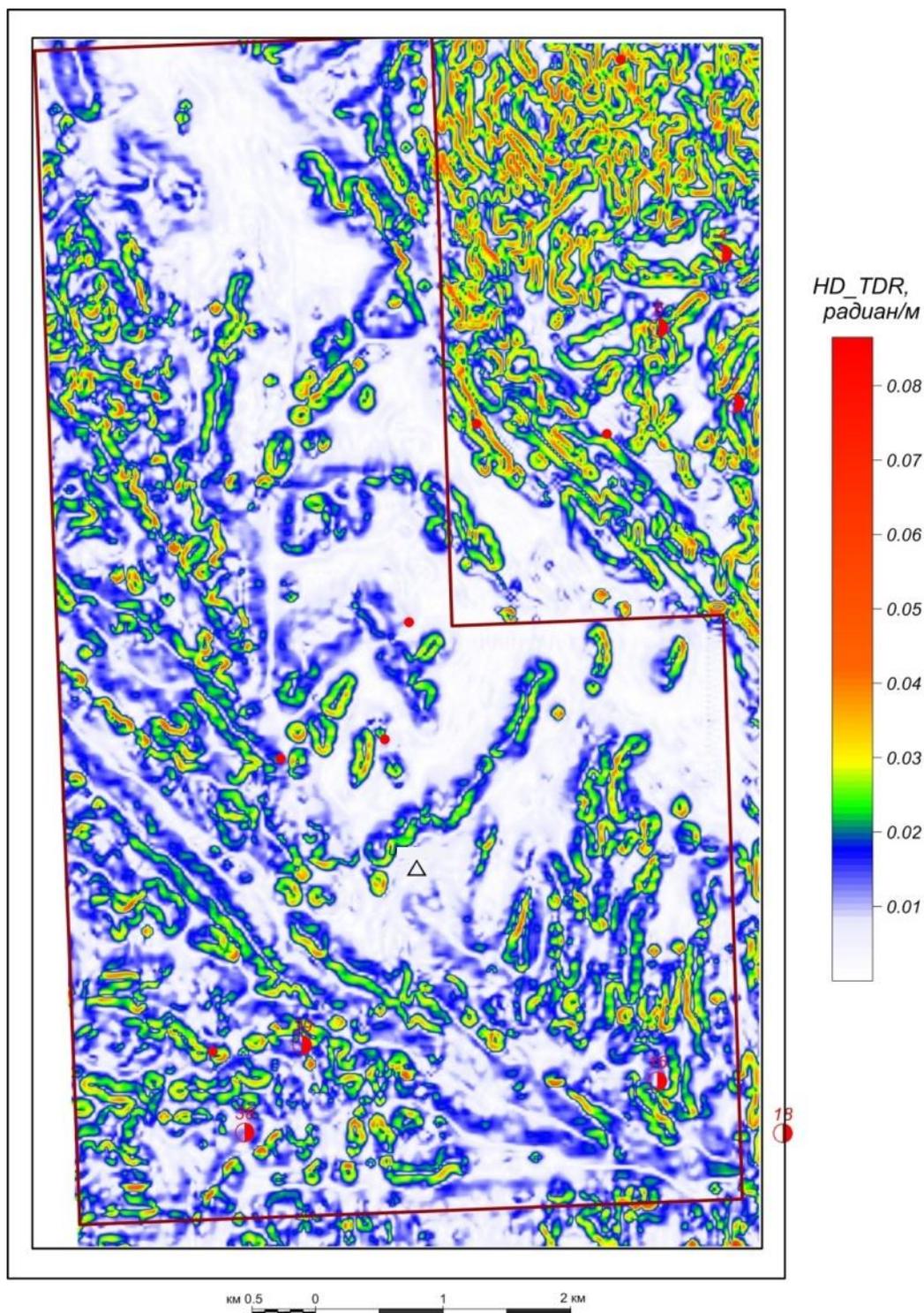


Рисунок 5.8 – Модуль горизонтального градиента угла наклона вектора градиента магнитного поля (HD TDR)

Анализ полученных расчетов показывает, что значения кажущейся магнитной восприимчивости изменяются в широких пределах от -500 до $+5\,000 \cdot 10^{-6}$ ед. СГСМ. Фоновое значение магнитной восприимчивости составило $500 \cdot 10^{-6}$ ед. СГСМ. Минимальными значениями характеризуются

осадочные породы Алтынской свиты. Внутри них небольшим повышением магнитных свойств характеризуются габброиды куртукульского интрузивного комплекса. Магнитная восприимчивость гранитов зависит от их состава, и магнитная восприимчивость варьирует от минимальных до средних значений. Дайковый комплекс, представленный дайками диоритовых порфиритов, микродиоритов, спессартитов, мелкозернистых гранитов, аплитов обладают довольно высокими значениями магнитной восприимчивости.

С целью получения представлений об объемном распределении магнитных параметров геологической среды выполнено 3D-моделирование на основе трех алгоритмов: аппроксимационной томографии, частотной фильтрации и деконволюции Эйлера.

Алгоритм аппроксимационной томографии реализуется с использованием программного комплекса SIGMA 3D (модуль DVOP). В качестве входного параметра при моделировании использовано аномальное магнитное поле, приведенное к полюсу. Сначала с нижнего слоя проводится подбор распределения намагниченности горизонтально слоистой модели. Нижний уровень пересчета – (-700) м. Верхний уровень пересчета – (-25) м. Толщина каждого слоя 25 м. Размеры элементов аппроксимации в плане для каждого слоя различны и равны глубине подошвы i -слоя. Программа выполняет вычисления погоризонтных планов намагниченности, которые затем сводятся в единую объемную модель. В результате была построена 3D-модель значений эффективной намагниченности (в условных единицах) (Рисунок 5.10). Нормальное значение магнитного поля рассчитывалось для модели IGRF 2019 года с параметрами: широта = 52.5; долгота = 71.8; северная компонента = 17 411.8 нТл; восточная компонента = 3 152.5 нТл; вертикальная компонента = 54783.0 нТл.

Отметим, что принятие толщины слоя равной расстоянию между уровнями пересчета приводит к тому, что вычисляемые значения эффективных параметров, в данном случае намагниченности, могут заметно отличаться от реальных избыточных величин. В этом смысле к вычисляемым значениям намагниченности следует относиться как к некоторым эквивалентным (относительным) параметрам. При таком подходе интерпретация результатов вычислений носит качественный характер. В качестве элементарной ячейки модели выбрана пятигранная призма с треугольными верхним и нижним основаниями и вертикальными боковыми гранями. Самый верхний слой ограничен сверху горизонтальной плоскостью, отождествляемой с дневной поверхностью. Результат вычислений представлен в виде прямоугольного параллелепипеда значений эффективной намагниченности с возможностью извлечения его горизонтальных срезов и вертикальных сечений по любой заданной линии.

Результат вычислений геомагнитной 3D-модели представляется в виде прямоугольного параллелепипеда значений эффективной намагниченности

пород с возможностью извлечения его горизонтальных планов и вертикальных сечений по любой заданной линии (Рисунок 5.11, а).

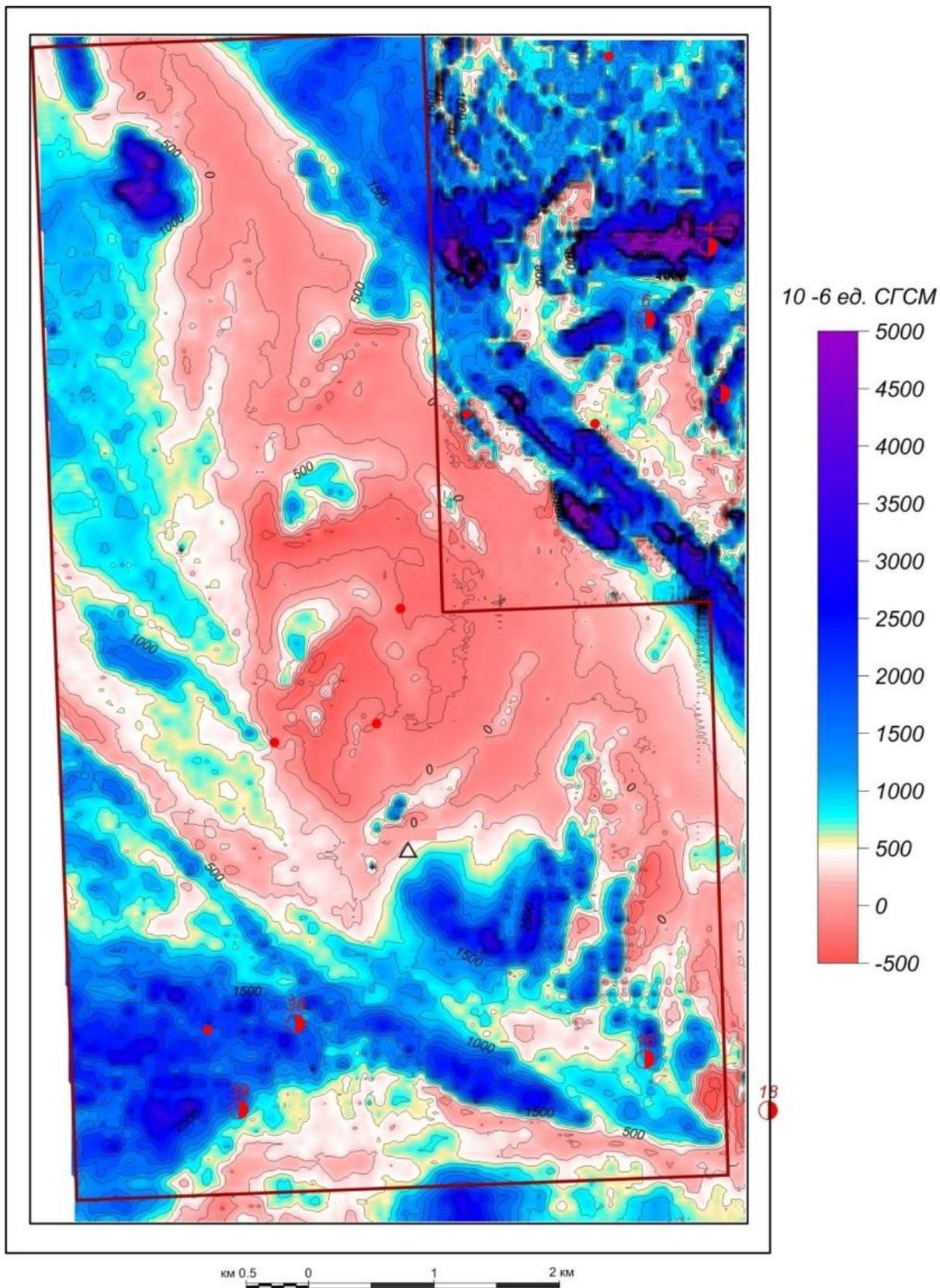


Рисунок 5.9 – Модель магнитной восприимчивости, построенная с использованием программы Geosoft Oasis Montaj / MagMap Filtering

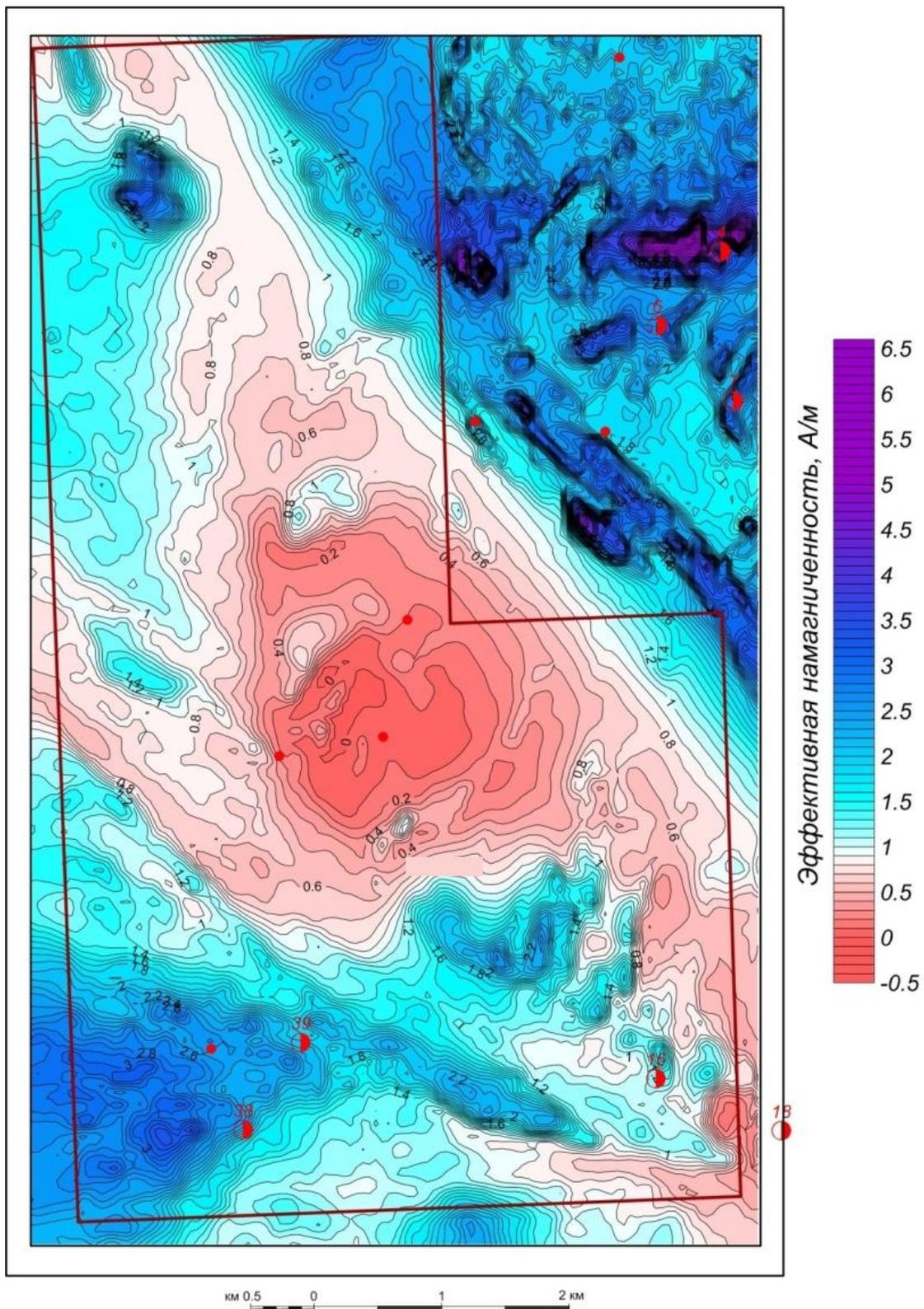
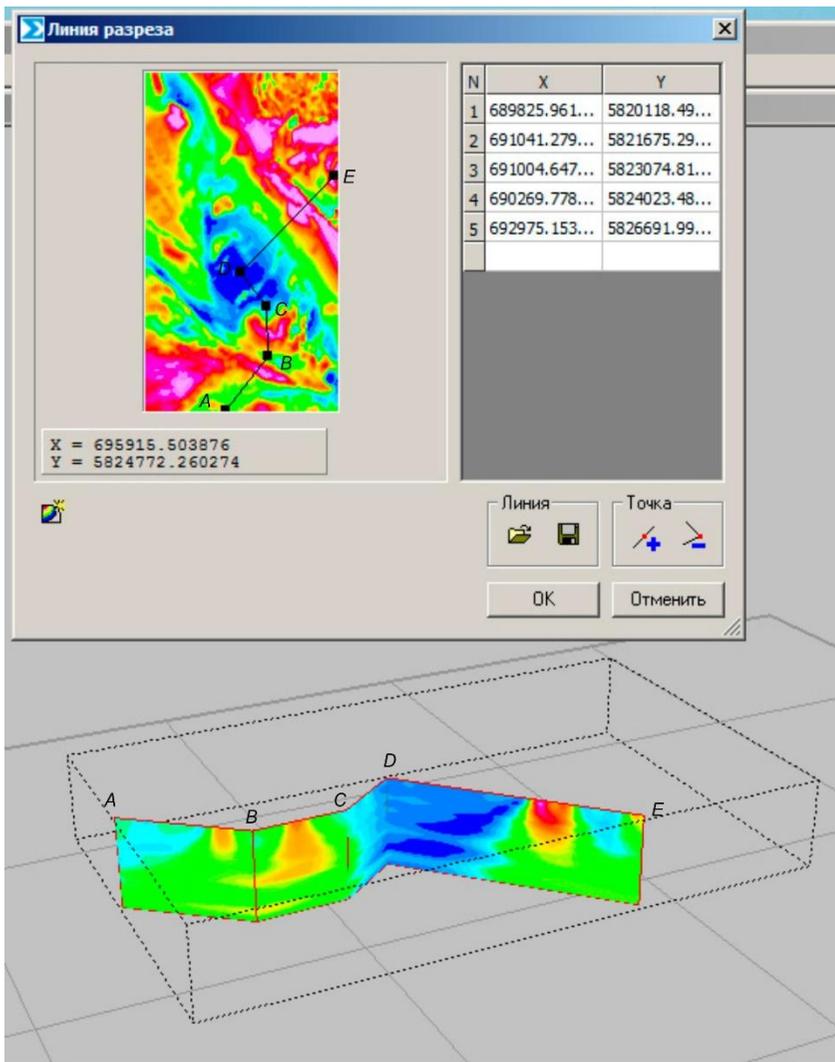
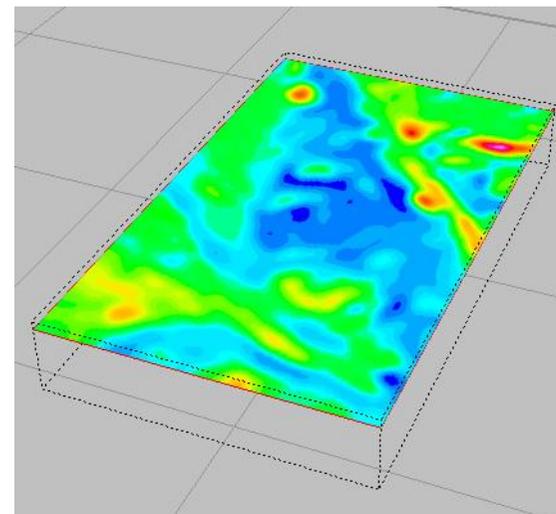


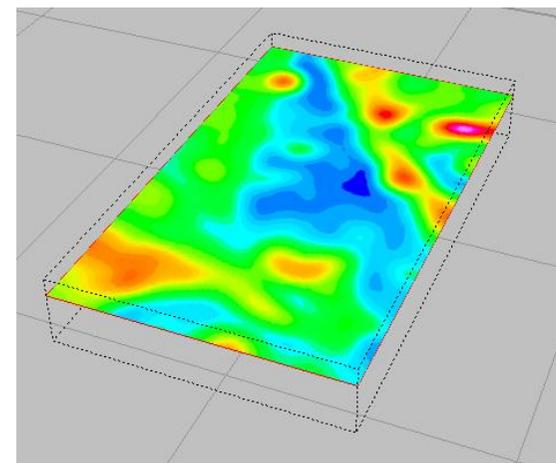
Рисунок 5.10 – Модель эффективной намагниченности пород, сечение изолиний 0.1 А/м. Модель вычислена средствами программы SIGMA 3D/REIST



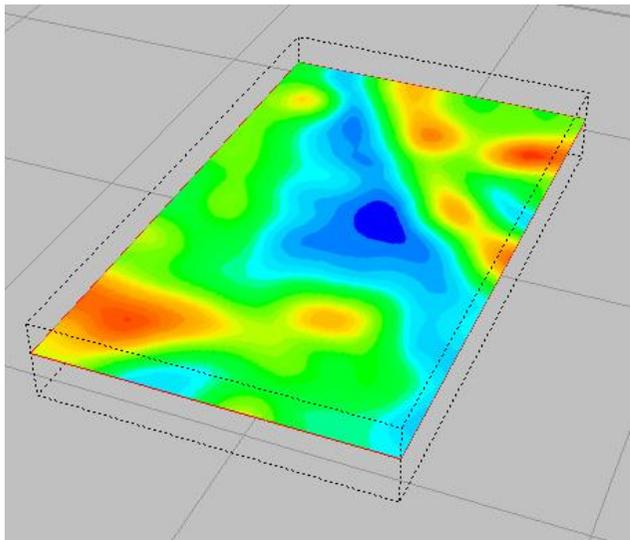
а) 3D геомагнитная модель района исследования и геомагнитный разрез вдоль профиля ABCDE



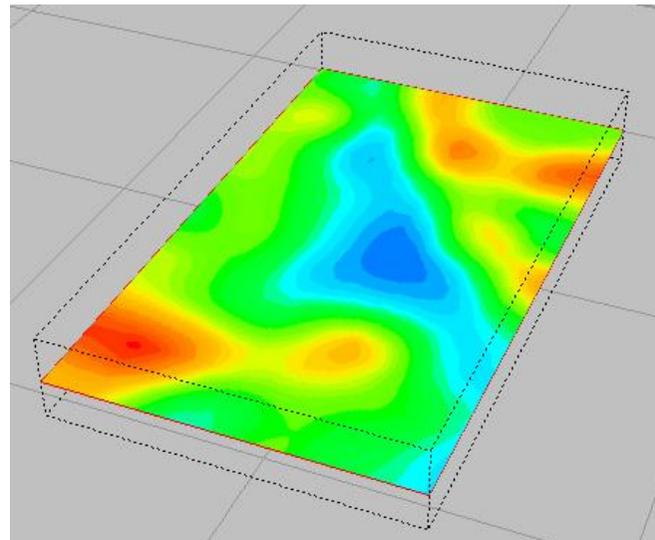
б) погоризонтный план геомагнитной 3D-модели на глубине 100 м



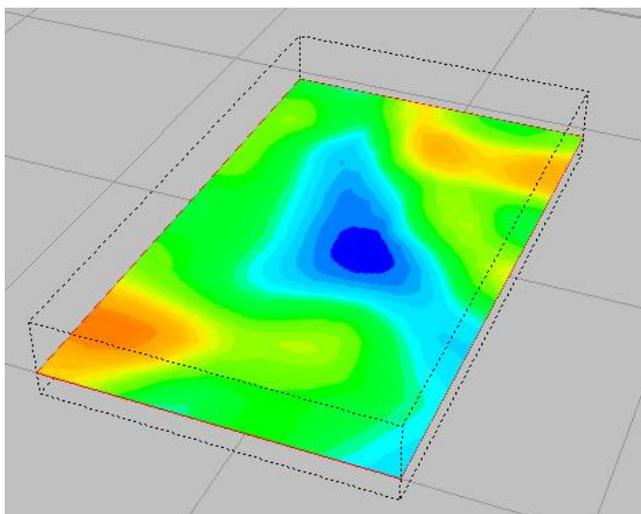
в) погоризонтный план геомагнитной 3D-модели на глубине 200 м



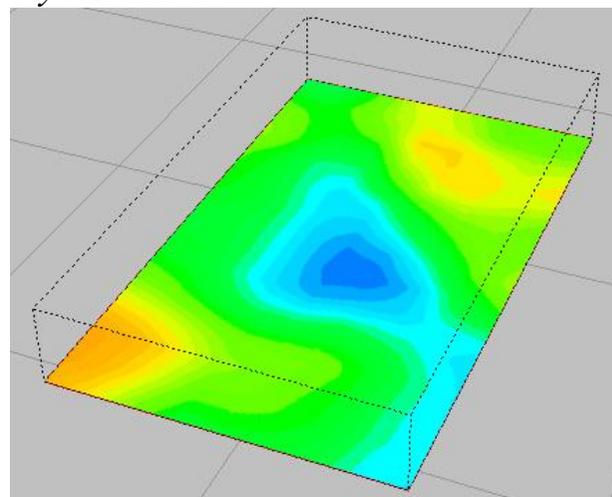
г) погоризонтный план геомагнитной 3D-модели на глубине 300 м



д) погоризонтный план геомагнитной 3D-модели на глубине 400 м



е) погоризонтный план геомагнитной 3D-модели на глубине 500 м



ж) погоризонтный план геомагнитной 3D-модели на глубине 700 м

Рисунок 5.11 – Элементы объемной геомагнитной модели, вычисленной методом аппроксимационной томографии

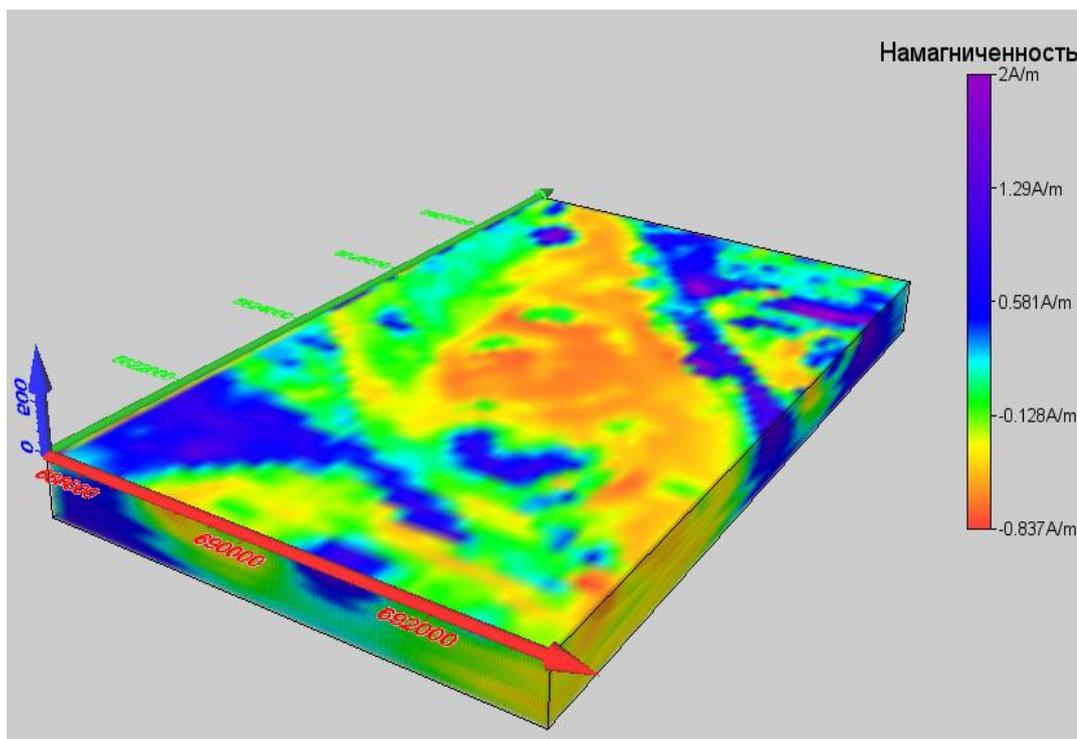
На геомагнитном разрезе можно наблюдать влияние геологических объектов разных размеров, глубинности и ориентировки в пространстве. На Рисунке 5.11 представлены горизонтальные планы геомагнитной 3D модели на глубинах 100 (б), 200 (в), 300 (г), 400 (д), 500 (е) и 700 (ж) м. На погоризонтных планах отображаются все структурные элементы Алтын-Байского узла, с высокой достоверностью выделяется не только Атансорский, но и Западно-Атансорский разломы. Зона повышенных значений эффективной намагниченности, расположенной северо-восточнее Западно-Атансорского разлома, ранее интерпретировалась, как самостоятельный геологический объект, представленный базальтоидами. На погоризонтном плане геомагнитной модели (400 м) видно, что аномальный объект, который связывался с гранитоидным массивом крыккудукской свиты и рассматривался в составе перспективного участка №1, а также аномалия эффективной намагниченности, расположенная северо-восточнее Западно-Атансорского разлома могут интерпретироваться, как единый гранитоидный массив повышенной основности. Еще один вывод, который был сделан при анализе 3D-модели, вычисленной на основе аппроксимационной томографии, касается того, что возможно, породы Алтынской свиты наложились на массив погруженных кислых пород и с этим связан глубокий минимум, который наблюдается на всех планах.

В рамках выполнения данного проекта результаты 3D-моделирования на основе алгоритма аппроксимационной томографии, были использованы для визуализации их средствами программы Voxler. Данная программа дает возможность строить трехмерные модели с различными эффектами. Так, например, на Рисунке 5.12 показана модель с использованием модуля VolRender, который дает возможность визуализации пород с эффективной намагниченностью от 0,033 до 2 А/м. На Рисунке 5.12, б мы видим геомагнитную модель с максимальными значениями намагниченности. Информация является полезной с точки зрения распространения гранитоидного массива не только на поверхности, но и с глубиной – мы видим устойчивые, практически вертикальные контакты гранитоидов с другими горными породами. Мы видим, что интенсивная аномалия магнитного поля, расположенная на участке №4, природа которой до сих пор была не выяснена, все же является магнитным эффектом от штокообразного тела, который входит в состав интрузий крыккудукского комплекса. По интенсивности магнитного поля можно предположить, что данное тело представлено гранитами в фазе более основного состава. Если принять, что это штокообразное тело представлено кварцевыми диоритами, залегающими в плагиогранитах, то он может представлять интерес для дальнейшего изучения геологами. Отметим, что рассматриваемый объект связан и с широтным, и с меридиональным разломами.

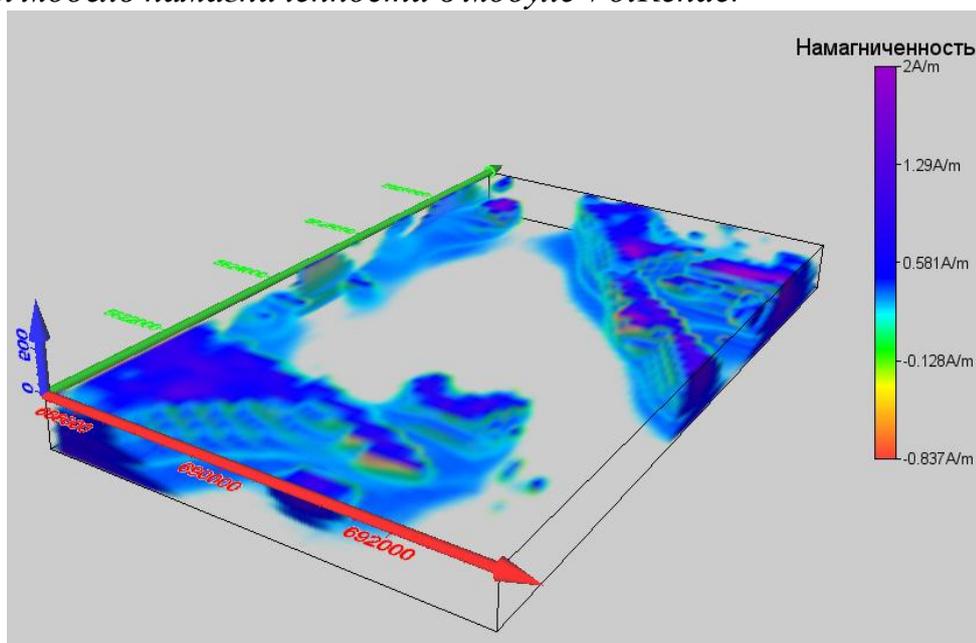
Такая же геомагнитная модель была построена и в модуле FaceRenger программы Voxler (Рисунок 5.13, а), когда можно ослабить влияние

магнитных пород и постепенно усиливать влияние немагнитных образований.

Рассмотрим 3D геомагнитную модель, вычисленную средствами фильтрационной томографии на основе использования пакета программ COSCAD 3D. Вычисления выполнены с применением метода Б.А. Андреева. Глубина расчета 360 м, число слоев – 58. Мы уже говорили о том, что достоинством таких 3D кубов является возможность построения геомагнитных разрезов и графиков вдоль любой ломаной линии.

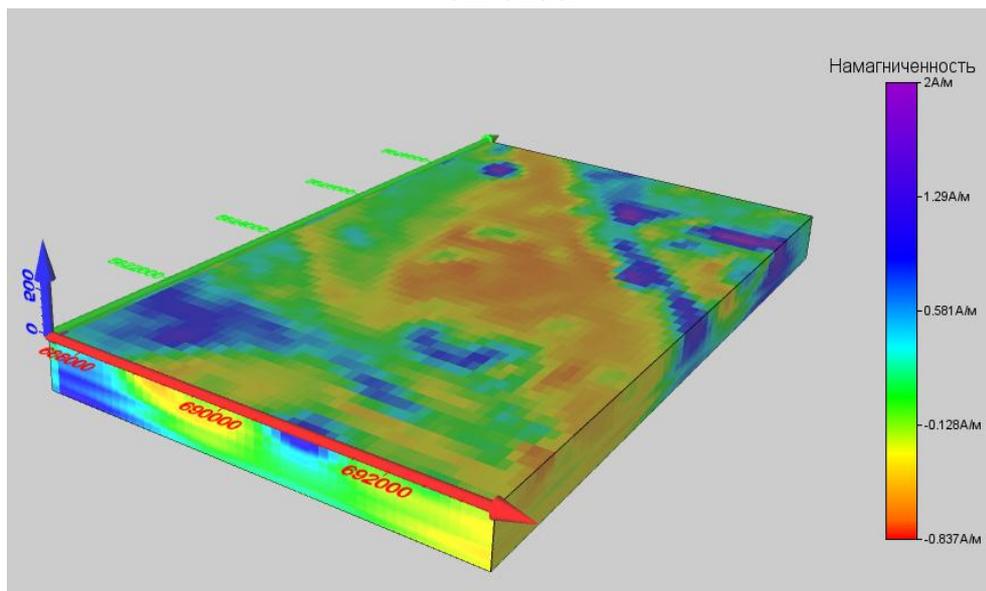


а) полная модель намагниченности в модуле *VolRender*

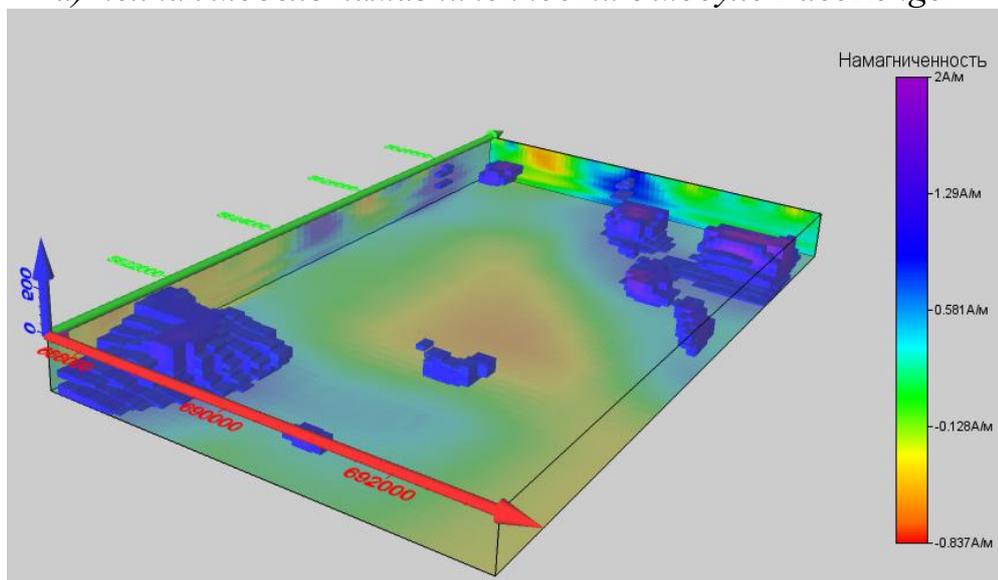


б) модель в интервале намагниченности с 0,013 до 2 А/м

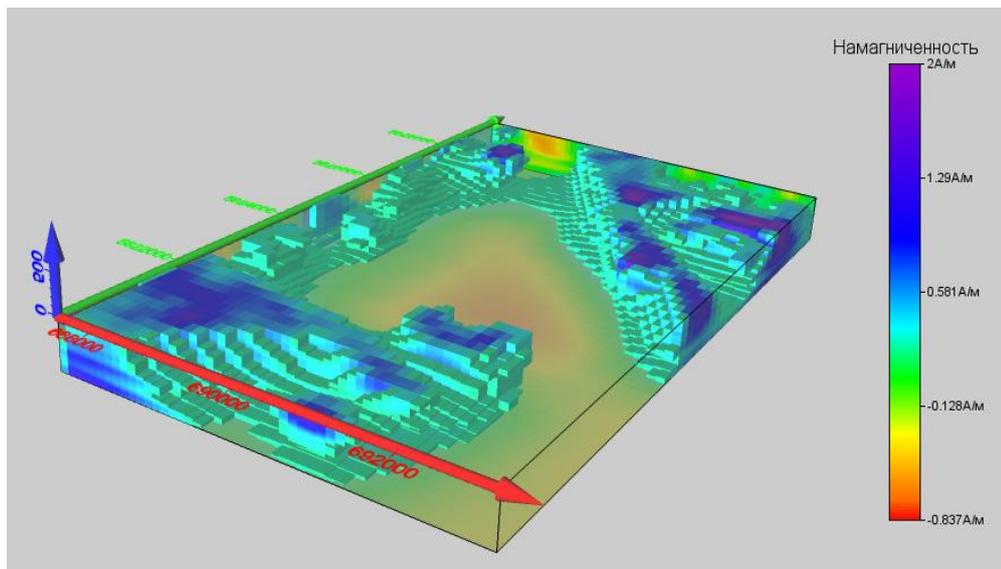
Рисунок 5.12 – Визуализация 3D-модели средствами Voxler, модуль VolRender



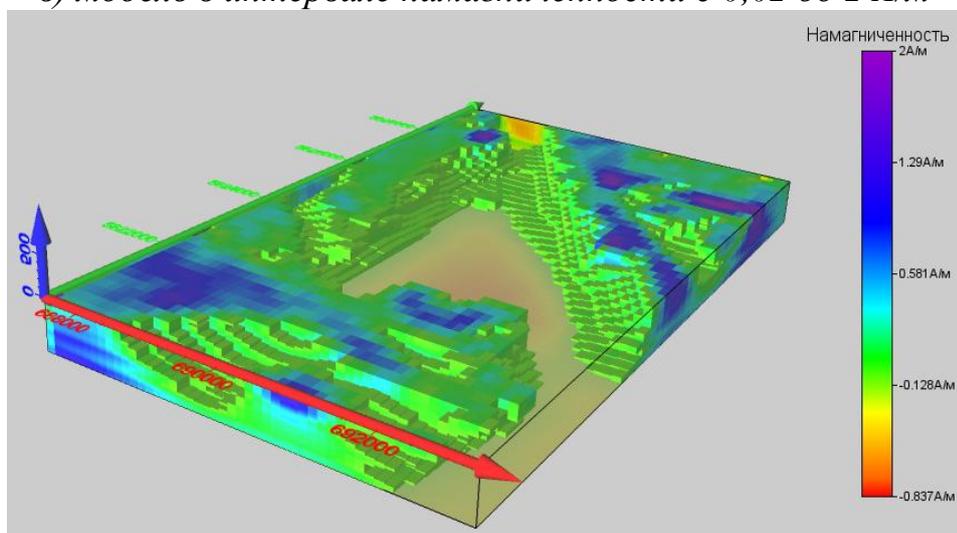
а) полная модель намагниченности в модуле FaceRender



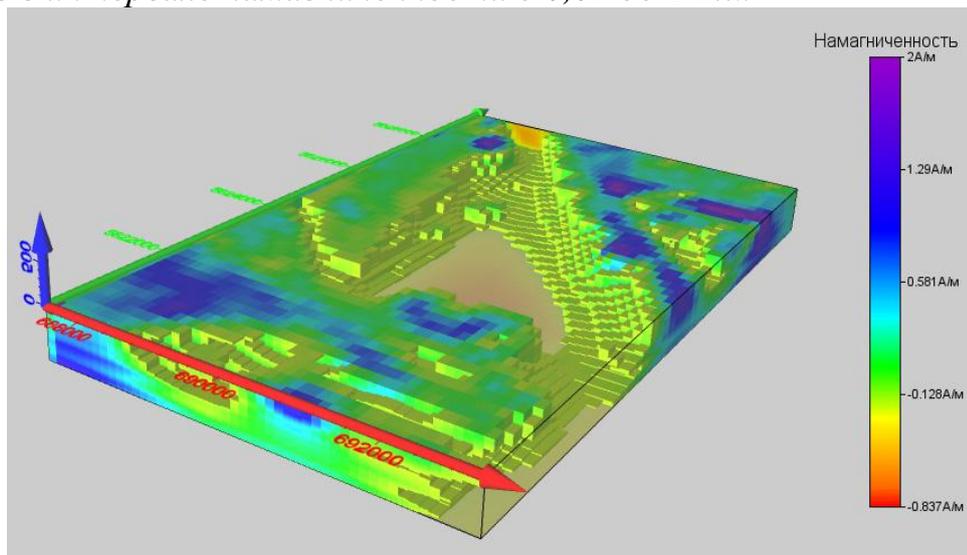
б) модель в интервале намагниченности с 0,06 до 2 A/m



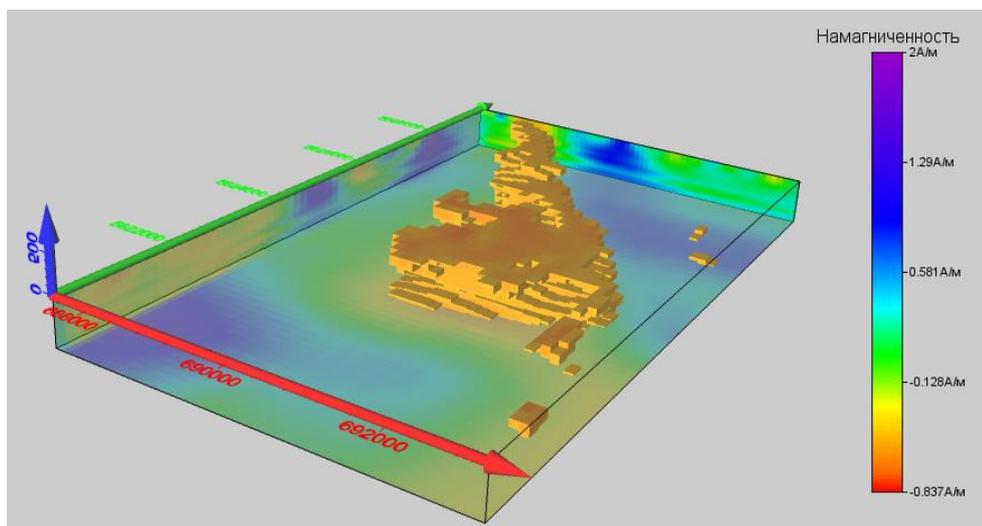
в) модель в интервале намагниченности с 0,02 до 2 А/м



г) модель в интервале намагниченности с 0,01 до 2 А/м



д) модель в интервале намагниченности с -0,03 до 2 А/м



е) модель в интервале намагниченности с -0,04 до -0,7 А/м

Рисунок 5.13 – Визуализация 3D-модели средствами Voxler, модуль FaceRenger

В рамках выполнения интерпретации в данном проекте такие разрезы были построены вдоль интерпретационных профилей, представленных на Рисунке 5.14. Все профили имеют северо-восточное направление. По рисунку видно, что часть профилей сечет вкрест простирания все контакты отложений и основные рудоконтролирующие разломы и аномалии поля ВП. К ним относятся профили 1-1, 2-2, 4-4, 5-5, 6-6. Часть профилей имеет субширотное простирание. Они предназначены для изучения магнитных аномалий высокой интенсивности (профили 3-3 и 7-7).

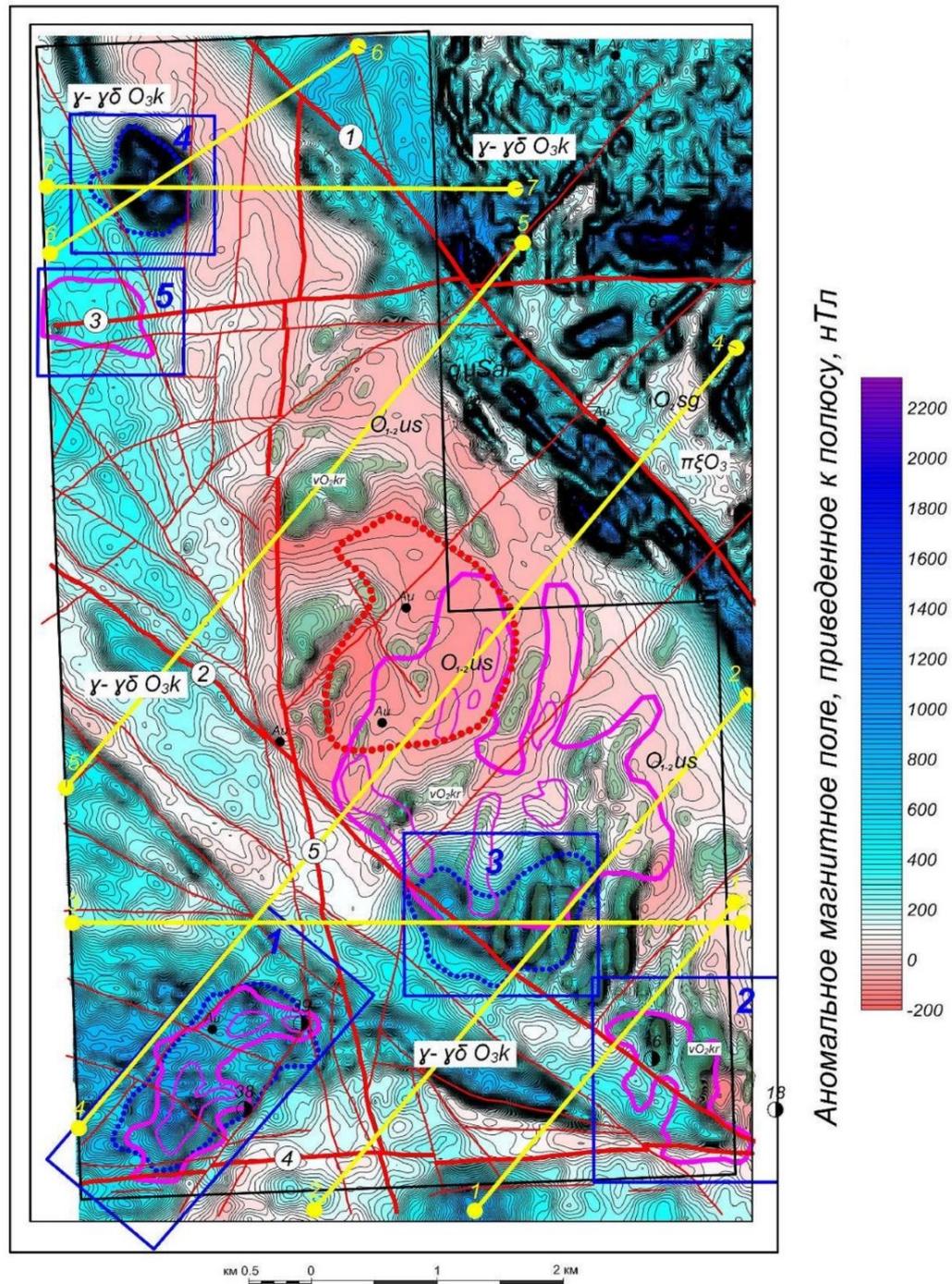


Рисунок 5.14 – Схема расположения интерпретационных профилей
 По данным интерпретационным профилям из 3D-куба эффективной намагниченности были вырезаны геомагнитные разрезы с соответствующими графиками. На Рисунке 5.14 представлена 3D-модель, вычисленная методом фильтрационной томографии по Б.А.Андрееву, и геомагнитный разрез вдоль профиля 1-1.

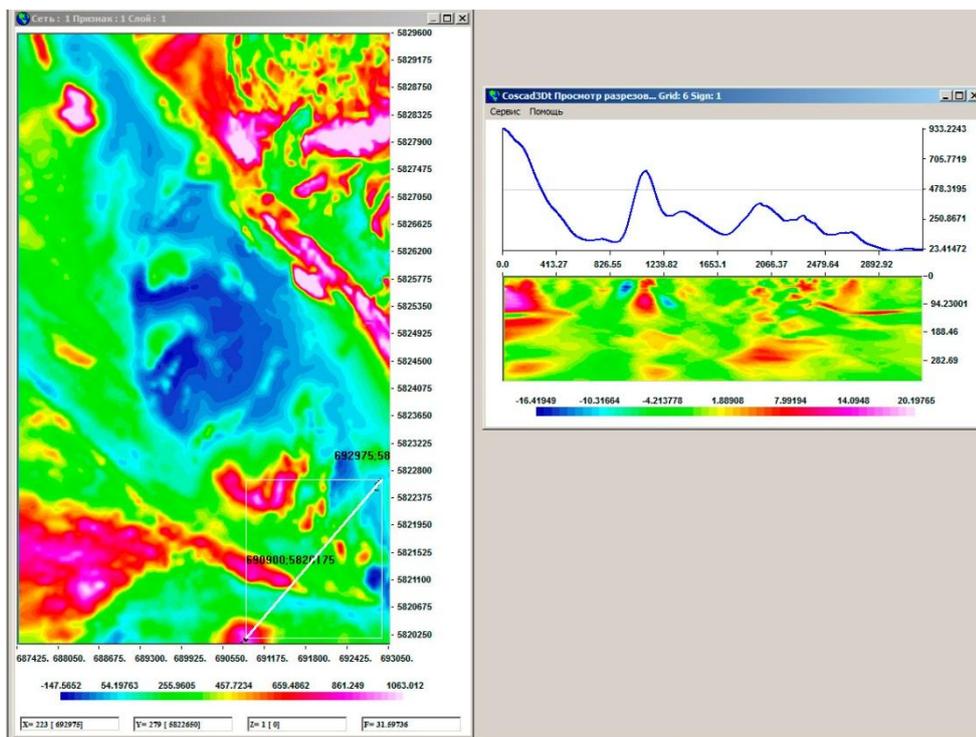


Рисунок 5.15 – Положение интерпретационного профиля 1-1 на 3D-модели и геомагнитный разрез и график эффективной намагниченности

Профиль 1-1 проходит через гранитоиды крыккудукского интрузивного комплекса, сечет широтный Южный и Западно-Атансорский разломы, пересекает горные породы Алтынской свиты, над которыми наблюдается обширная аномалия поляризуемости, и заканчивается у юго-восточной границы контура исследований.

Характер магнитных свойств горных пород вдоль интерпретационного профиля 3-3 представлен на Рисунке 5.16. Данный профиль имеет субширотное простирание. Своим западным окончанием пересекает интрузии крыккудукского массива, сечет систему второстепенных нарушений, Центральный меридиональный и Западно-Атансорский разломы и горные породы, возмущающие магнитный максимум изометричной формы.

Интерпретационный профиль 4-4 предназначен для изучения характера распределения магнитных свойств гранитов крыккудукского массива, пересекает систему второстепенных нарушений и Западно-Атансорский, Центральный меридиональный и Атансорский разломы, проходит через серию пород Алтынской свиты, возмущающих глубокий магнитный минимум, и над которыми наблюдается обширная аномалия поля ВП, и выходит за пределы исследований.

Еще один субширотный профиль 7-7 проходит через гранитоиды крыккудукского комплекса, над которыми наблюдается аномалия намагниченности высокой интенсивности, сечет систему второстепенных нарушений и Центральный меридиональный и Атансорский разломы (Рисунок 5.18).

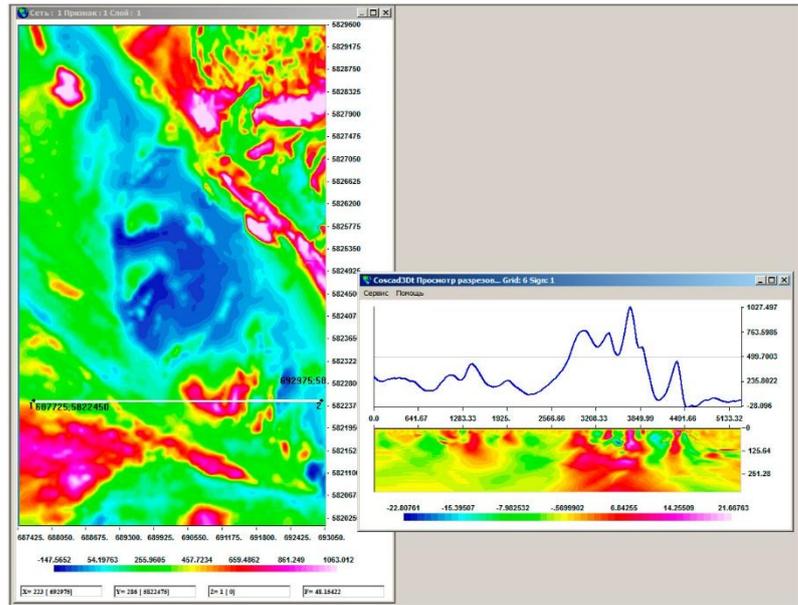


Рисунок 5.16 – Положение интерпретационного профиля 3-3 на 3D-модели и геомагнитный разрез и график эффективной намагниченности

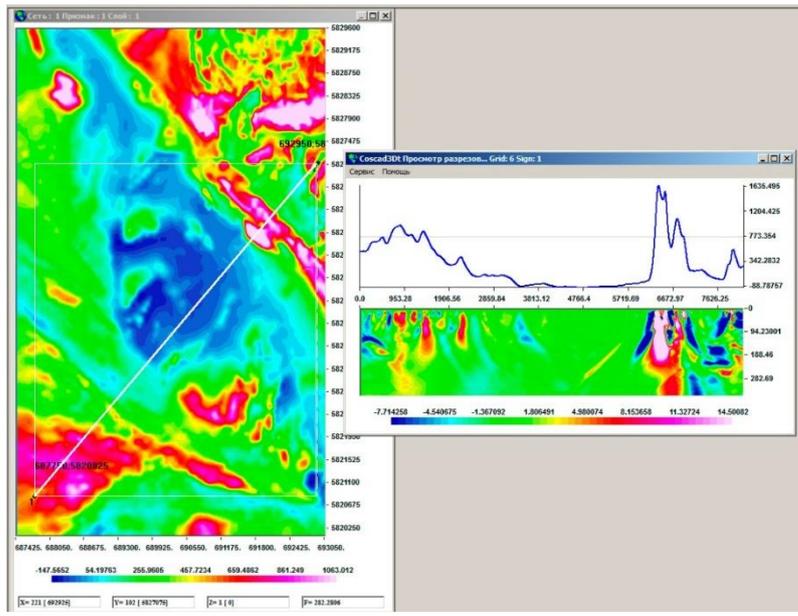


Рисунок 5.17 – Положение интерпретационного профиля 4-4 на 3D-модели и геомагнитный разрез и график эффективной намагниченности

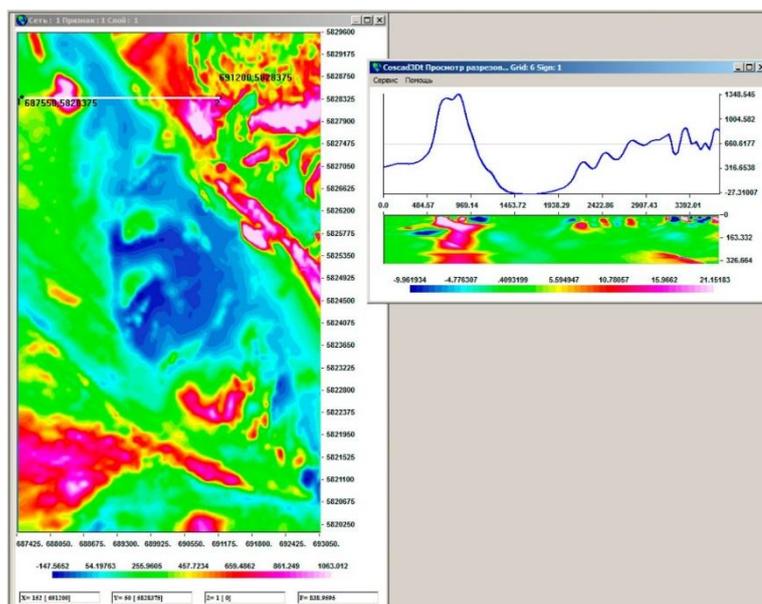
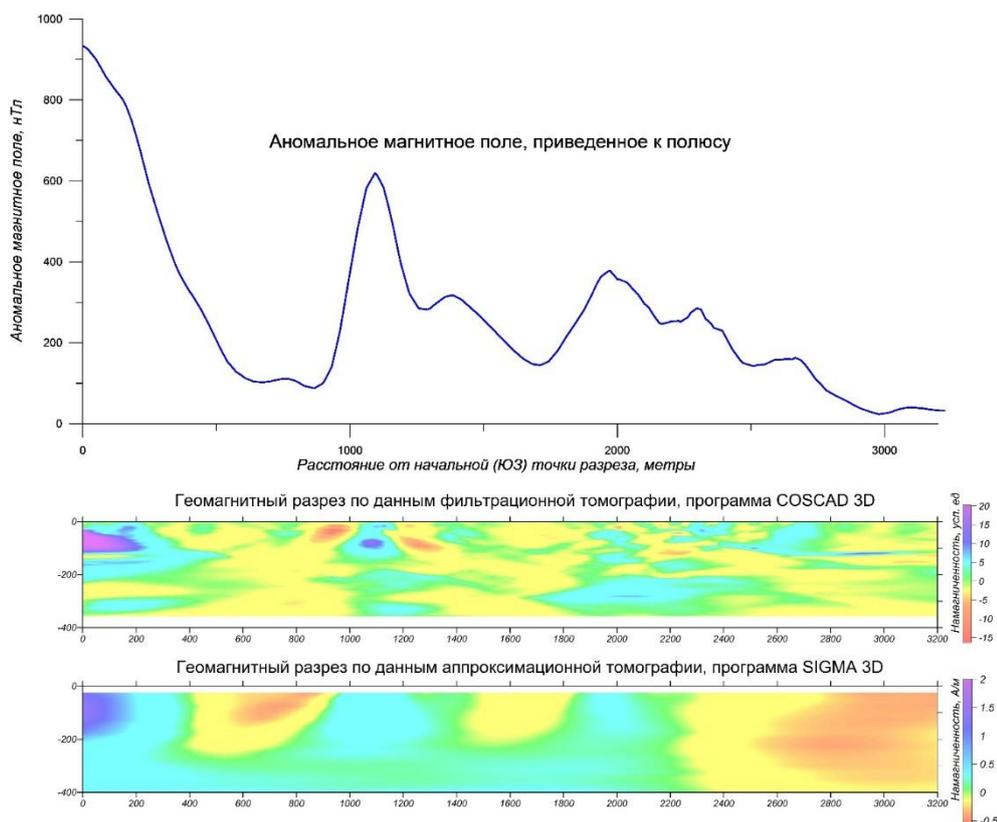


Рисунок 5.18 – Положение интерпретационного профиля 7-7 на 3D-модели и геомагнитный разрез и график эффективной намагниченности

По всем рассмотренным профилям можно сделать следующие общие выводы:

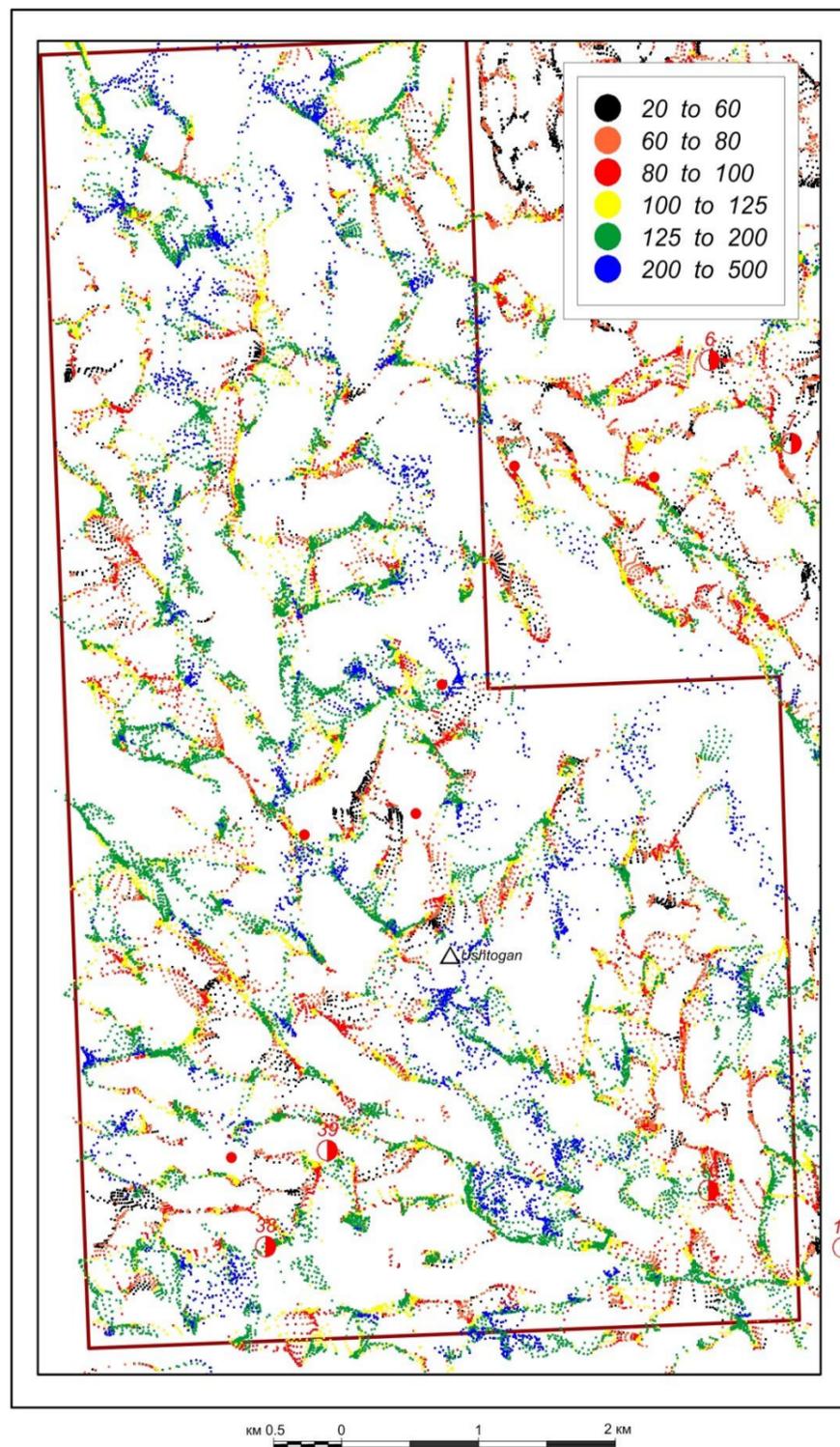
1. Объемные модели, вычисленные с использованием аппроксимационной и фильтрационной томографии, не противоречат характеру исходного аномального магнитного поля, что говорит о высоком качестве выполненных вычислений;
2. Результаты объемного моделирования дали возможность получить дополнительную информацию о более тонких особенностях аномального магнитного поля Алтын-Байского узла;
3. Объемные модели, вычисленные с использованием аппроксимационной и фильтрационной томографии, дают локальные аномалии разной частоты. Общая конфигурация полей, полученных по программе SIGMA 3D и COSCAD 3D, не противоречат друг другу. Однако, крупное блоковое строение проявляется на результатах вычислений на основе программы SIGMA 3D, а локальные аномалии четко фиксируются на результатах фильтрационной томографии, рассчитанной в COSCAD 3D (Рисунок 5.19).

Еще одним инструментом, позволяющим получать объемное представление аномального магнитного поля и используемым для приблизительного определения глубины залегания магнитоактивных масс, проявляющихся в аномальном магнитном поле, является положение особых точек Эйлера геомагнитной модели. Эта процедура проводилась средствами Geosoft Oasis Montaj™ с использованием алгоритма деконволюции Эйлера.

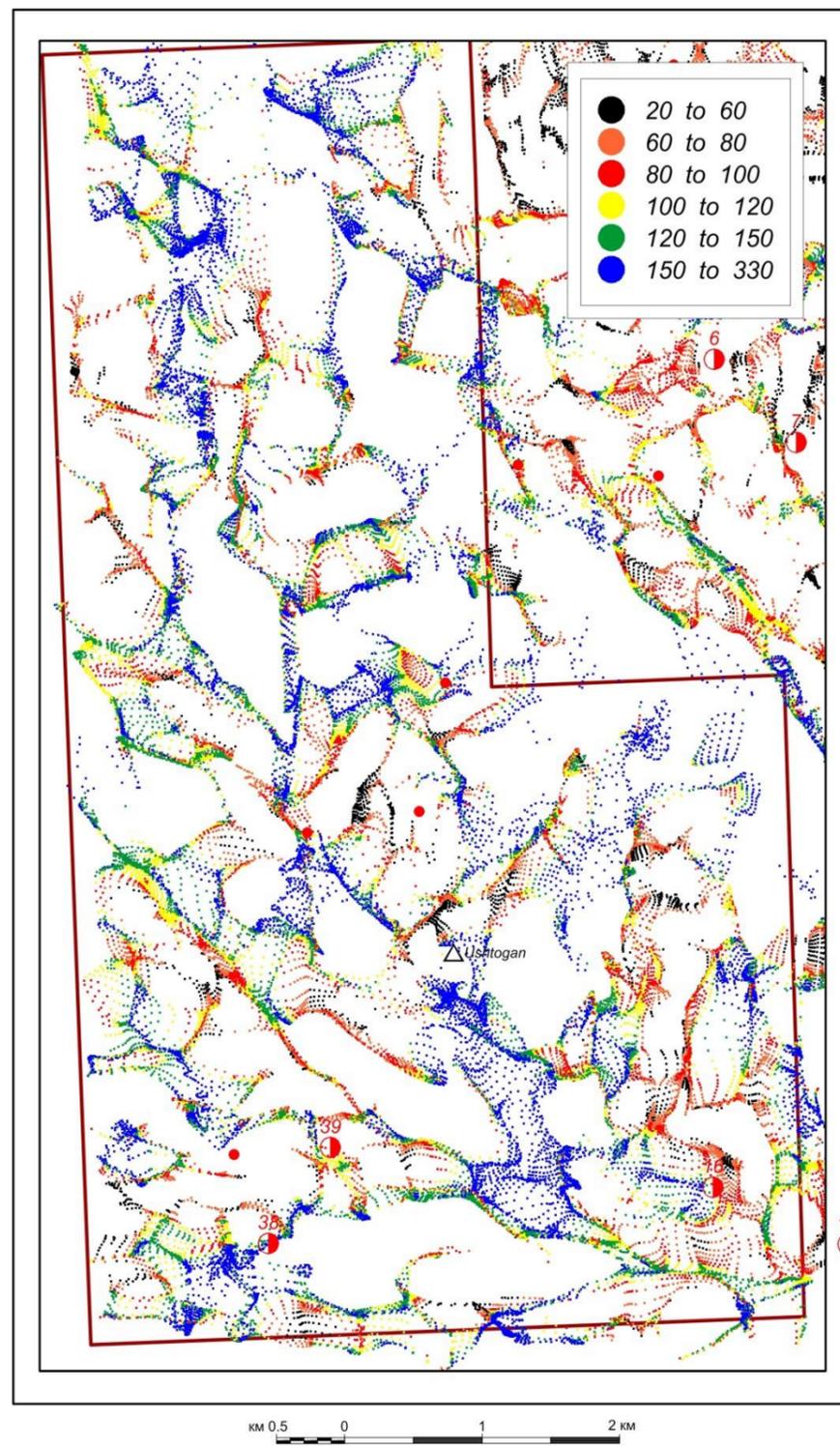


Процедура выполнялась в окнах 250, 375 и 500 со структурным индексом 1. Результат проведения данной процедуры представлен на Рисунке 5.19. Особые точки поля соответствуют положению границ аномалиеобразующих тел, а также дают оценку их глубины. Анализ рисунков дает основание полагать о небольших глубинах залегания геологических объектов. Распределения глубин в разных окнах также не противоречат друг другу. Скопления эйлеровых точек, их наибольшая плотность и группирование в упорядоченные линии трассируют контуры аномалиеобразующих объектов. На Рисунке 5.20 представлена геомагнитная 3D-модель, визуализированная в программе Voxler с наложенными на нее точками Эйлера.

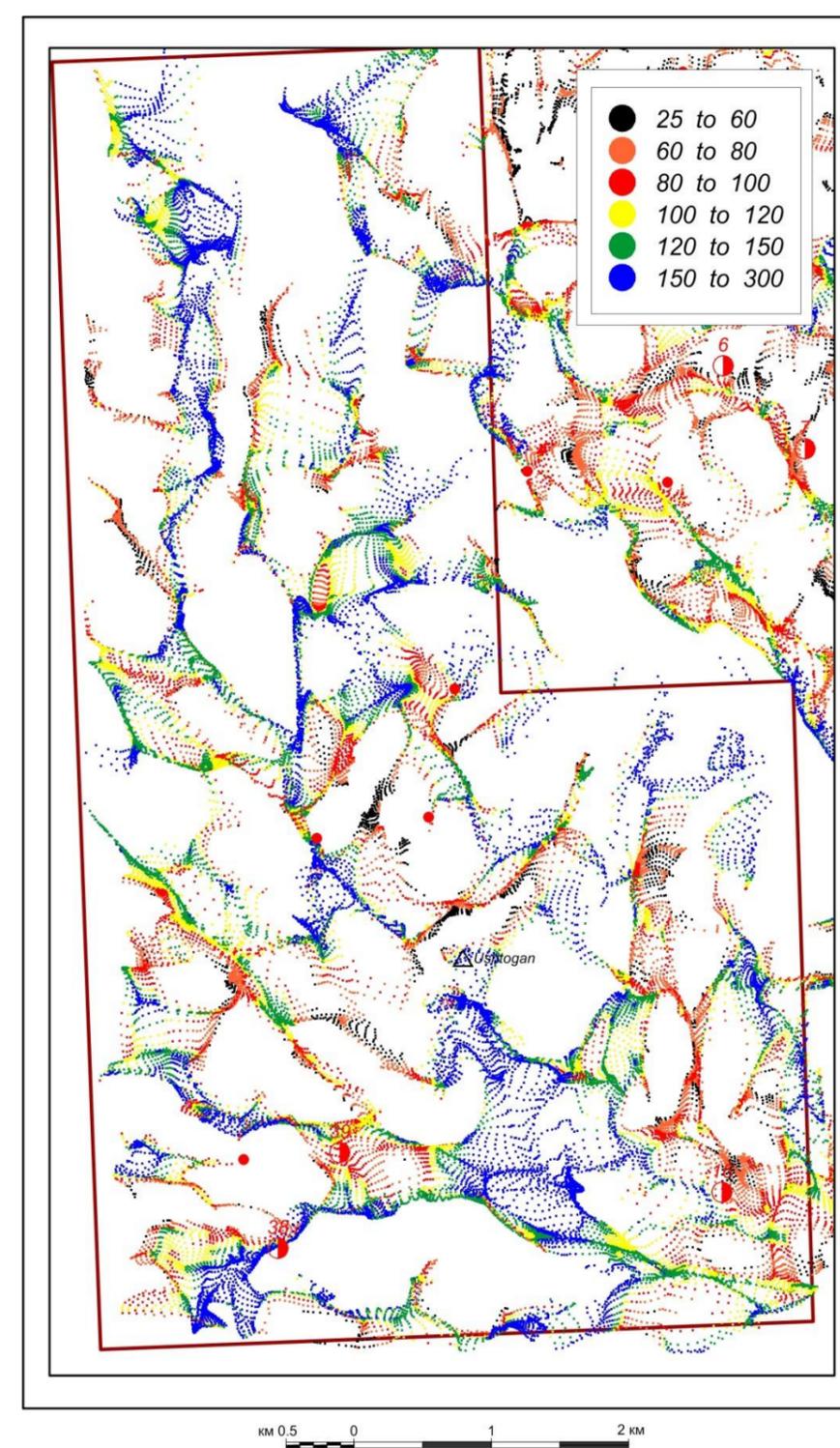
В рамках интерпретации данных магниторазведки выполнено районирование площади исследований по параметрам и признакам магнитного поля средствами программного комплекса COSCAD-3D (алгоритм разделения многомерных, нормальных смесей Петрова А.В.). Вычисление по данной процедуре позволило разделить площадь исследований на области, однородные по комплексу признаков. Исходным признаком явилось аномальное магнитное поле, приведенное к полюсу. В режиме автоматического определения конечного числа классов выделено 7 областей. Классификация по классам проведена на основе объединения средних значений аномального магнитного поля и значений дисперсии. Схема районирования и характеристика выделенных областей (классов) приведены на Рисунке 5.21.



А) окно 250 м



Б) окно 375 м



В) окно 500 м

Рисунок 5.19 – Особые точки геомагнитной модели (точки Эйлера), структурный индекс 1

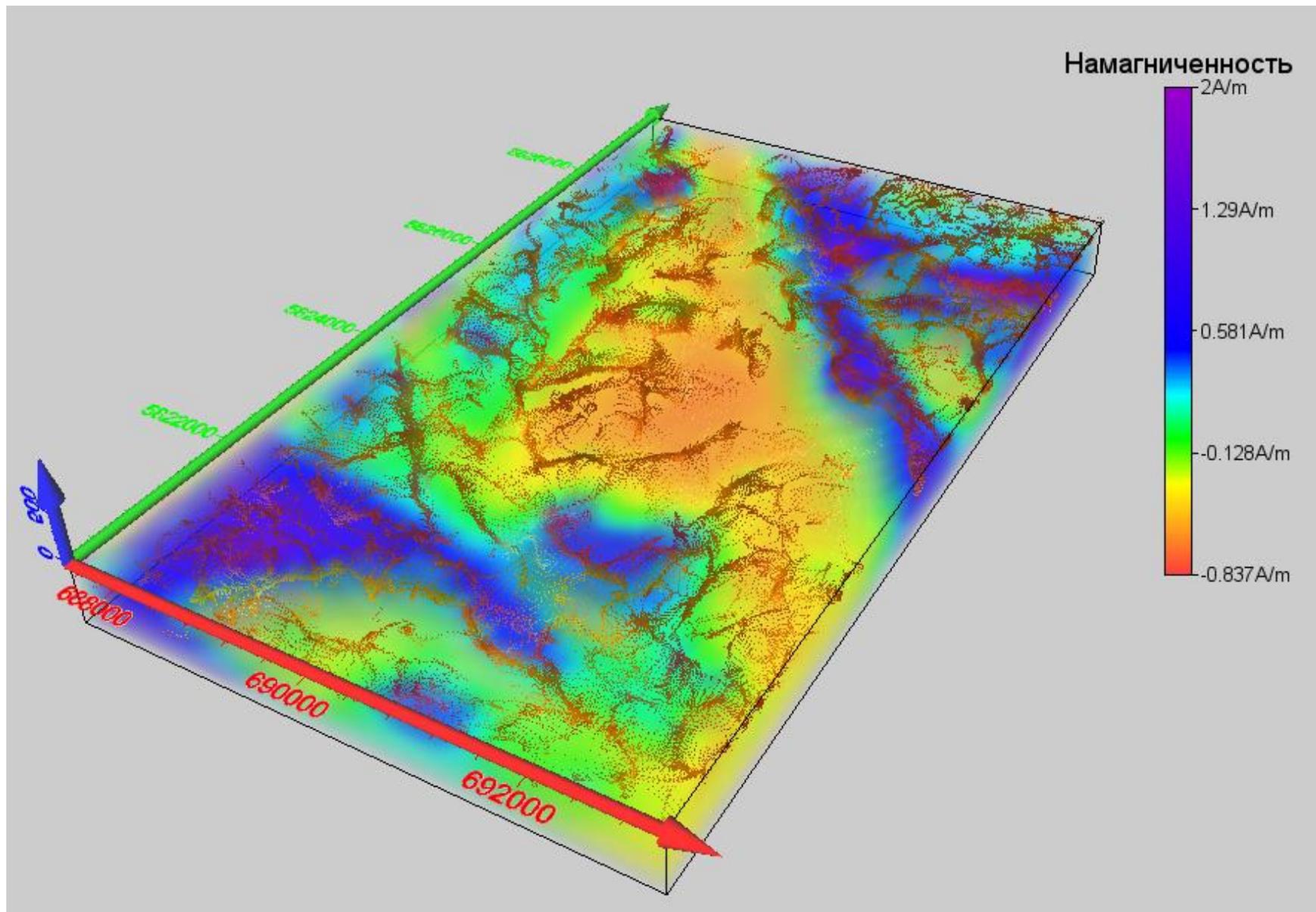
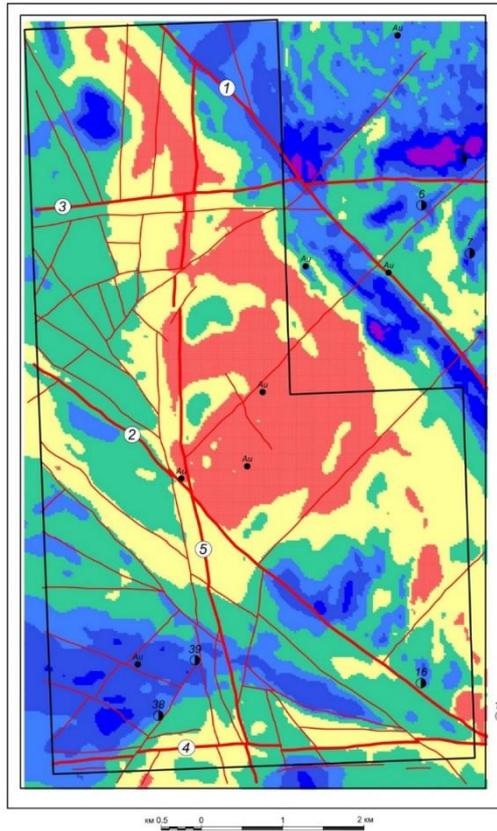


Рисунок 5.20 – Объемная геомагнитная модель с наложенными особыми точками Эйлера



Разрывные нарушения, предполагаемые по данным магниторазведки
 а - главные зоны глубинных региональных разломов (1 - Атланторский, 2 - Западно-Атланторский, 3 - Широкий-Северный, 4 - Широкий-Южный, 5 - Меридиональный)
 б - второстепенные

рудопролеженья золота по данным Дехтаровой Л.Н. (1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)

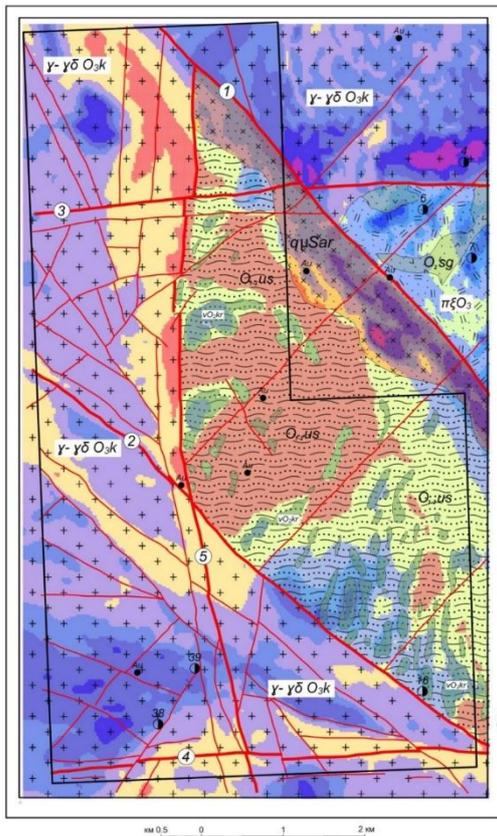
контур участка №4 детальных поисковых работ 2016 - 2020 гг.

Классы и признаки классификации по параметрам магнитного поля

| Номер класса | Цветовая раскраска | Параметры магнитного поля | | | % занимаемой площади |
|--------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------|
| | | среднее, нТл | дисперсия, нТл ² | стандарт, нТл | |
| 1 | Красный | -45 | 35 | -0.792 | |
| 2 | Оранжевый | 85 | 45 | 0.535 | 13.9 |
| 3 | Желтый | 270 | 65 | 0.245 | 24.9 |
| 4 | Зеленый | 490 | 60 | 0.125 | 32.1 |
| 5 | Синий | 720 | 75 | 0.103 | 15.6 |
| 6 | Фиолетовый | 1020 | 125 | 0.122 | 10.1 |
| 7 | Черный | 1695 | 205 | 0.121 | 2.9 |

Коэффициент качества классификации 86.8%

Рисунок 5.21 – Районирование территории по параметрам аномального магнитного поля, приведенного к полюсу



Стратифицируемые толщи нижнего палеозоя

- даунские порфириты субвулканической фазии верхнего ордовика (πξO₃)
- туфы и лавы андезитового, андезит-базальтового состава, сагская серия (O₃sg)
- песчаники, алевролиты, конгломераты, аргиллиты, реже известняки и кремнистые породы уштоганской свиты нижнего-среднего ордовика (O₁₋₂ uS)

Интрузивные породы

- дайкиобразная интрузия сиено-диоритов, кварцевых сиенодиоритов, граносиенитов тасусского (арапаульского) сиурийского интрузивного комплекса (qu Sar)
- гранодиориты, лейкабритовые граниты, кварцевые диориты, средне-мелкозернистые граниты, реже лейкоабсорбиты позднеордовикского крякузского комплекса (γδ-O₃k, q δ-O₃k, p γ-O₃k). Дайковый комплекс - дайки диоритовых порфиритов, микродиоритов, спессаритов, мелкозернистых гранитов, антитов.
- габбро, габро-диабазы, пироксениты кутуульского интрузивного комплекса (γO₃k)

Разрывные нарушения

а - главные зоны глубинных региональных разломов (1 - Атланторский, 2 - Западно-Атланторский, 3 - Широкий -Северный, 4 - Широкий - Южный, 5 - Меридиональный)
 б - второстепенные

рудопролеженья золота по данным Дехтаровой Л.Н. (1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)

контур участка №4 детальных поисковых работ 2016 - 2020 гг.

Классы и признаки классификации (районирование) территории участка №4 по параметрам магнитного поля

| Номер класса | Параметры магнитного поля | | | % занимаемой площади | Цветовая раскраска | | |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|----------------------|---|---|---|
| | среднее, нТл | дисперсия, нТл ² | стандарт, нТл | | гранитоиды ирландского цикла O ₃ k | граносиениты арапаульского цикла qu Sar | песчаники, алевролиты, конгломераты уштоганской свиты (O ₁₋₂ uS) |
| 1 | -45 | 35 | -0.792 | 13.9 | | | |
| 2 | 85 | 45 | 0.535 | 24.9 | | | |
| 3 | 270 | 65 | 0.245 | 32.1 | | | |
| 4 | 490 | 60 | 0.125 | 15.6 | | | |
| 5 | 720 | 75 | 0.103 | 10.1 | | | |
| 6 | 1020 | 125 | 0.122 | 2.9 | | | |
| 7 | 1695 | 205 | 0.121 | 0.5 | | | |

Коэффициент качества классификации 86.8%

Рисунок 5.22 – Схема интерпретации магнитного поля

По цветовой раскраске можно районировать области по различным статистическим характеристикам магнитного поля типа среднее и дисперсией. Отметим, что основной характеристикой качества выполненного районирования является коэффициент качества классификации. В нашем случае он равен 86,8%.

Расчеты всех представленных трансформант проводились с целью выделения геологических объектов, получения информации об их геометрических размерах, глубине залегания, принадлежности к литологическим разностям определенного возраста, уточнения геологического и тектонического строения, выделения перспективных зон на золото. Вся полученная современная информация была сведена в схему интерпретации магнитного поля, представленной на Рисунке 5.22.

Анализ схемы дает возможность сделать следующие выводы об аномальном магнитном поле района исследований:

1. Поле (ΔT)а не зависит от возраста отложений и зависит, в основном, от литологического состава горной породы;

2. Амплитуда аномального магнитного поля изменяется от -200 до +2 400 нТл при фоновом значении +100 нТл. Магнитное поле участка №4 разнородно по своему уровню, частоте, конфигурации и интенсивности аномалий;

3. Горные породы района исследований обладают хорошей дифференциацией по магнитным свойствам, что дало возможность не только стратифицировать комплексы отложений, но и выделить все выходы интрузивных образований на территории исследований. Так, эффективная намагниченность пород изменяется в широких пределах от -0.5 до 6.5 А/м (напомним, что это некоторая условная величина, характеризующая магнитные свойства горных пород района).

4. Осадочные отложения, представленные песчаниками, алевролитами, конгломератами, аргиллитами, реже известняками и кремнистыми породами Алтынской свиты нижнего-среднего ордовика (O1-2 uś) являются практически немагнитными и характеризуются минимальными значениями эффективной намагниченности. Немагнитными являются также чистые гранитоиды крыккудукского комплекса, имеющие развитие в северной части площади вдоль Центрального меридионального разлома;

5. Эффективная намагниченность гранитоидов зависит от состава. Это очень хорошо заметно по гранитоидам крыккудукского комплекса. Максимальными магнитными свойствами из этого ряда обладают гранодиориты;

6. Среди интрузий крыккудукского комплекса выделяются тела, которые отображаются в магнитном поле изометричными интенсивными аномалиями. Они характеризуются максимальными значениями эффективной намагниченности и их геологическая природа выяснена на основе объемного моделирования;

7. Анализ всех трансформант магнитного поля позволил уточнить контур аралаульского силурийского интрузивного комплекса (qm Sar). Средние значения аномального магнитного поля здесь колеблются от минимальных (-45 нТл) до максимальных (1 695 нТл). Связано это с неоднородным составом комплекса, представленного сиено-диоритами, кварцевыми сиенодиоритами, граносиенитами;

8. Габбро, габбро-диабазы, пироксениты куртукульского интрузивного комплекса (vO_2kr) характеризуются повышенными значениями эффективной намагниченности;

9. Элементы разрывной тектоники отображаются в магнитном поле зонами градиентов, по резкой смене интенсивности магнитного поля вдоль определенной линии, по характерным смещениям аномальных значений относительно определенной линии, по линейным цепочкам аномалий магнитного поля и т. д.

5.4 Результаты интерпретации данных электроразведки ВП-СГ

Во время интерпретации в качестве основного информационного параметра использовались кажущаяся поляризуемость η_k и кажущееся сопротивление рк.

Существенным преимуществом использования кажущейся поляризуемости в качестве информационного параметра является слабое влияние на измеренные значения η_k превышений рельефа дневной поверхности. Этот факт и способствует повышению глубинности рудопоисковых работ методом ВП.

По результатам камеральной обработки данных ВП-СГ (Рисунок 3.12), значения кажущейся поляризуемости изменяются в довольно узких пределах от 0 до 6.03%. На основе анализа карты-имиджа кажущейся поляризуемости на площади исследований условно были выделены 4 контура аномалий ВП (Рисунок 5.23).

Контур 1 располагается в западном углу в районе рудопроявлений золота 38 и 39. В геологическом отношении аномальная зона приурочена к отложениям интрузивного комплекса позднеордовикского крыккудукского комплекса, представленного гранодиоритами, лейкократовыми гранитами, кварцевыми диоритами, средне-мелкозернистыми гранитами, реже лейкогаббро-норитами. Диапазон изменения поляризуемости в аномальной области составляет 2.8-3.8%.

Форма аномалии больше изометричная, вытянутая в северо-восточном направлении. Линейные размеры составляют 1.5x0.2 км. Аномалия поля ВП, скорее всего, вызвана влиянием кварцевых жил, развитых в отложениях крыккудукского комплекса в виде маломощных прослоев. Отметим еще одну особенность. Аномалия поляризуемости приурочена к области развития разрывных нарушений северо-восточного и широтного направлений и

соответствует высокоинтенсивной магнитной аномалии изометрической формы (Рисунок 5.24). Если принять во внимание, что в условиях Уштоган-Байского узла проявления золота кварцево-жильного типа приурочены к зонам тектонической активности, где горные породы характеризуются повышенными магнитными свойствами, то выявленные факторы в первом приближении можно принять в качестве геологических критериев для выделения перспективных зон на золото.

2 контур приурочен к отложениям Алтынской свиты. Здесь геофизические поля ведут себя совершенно иначе. На фоне минимальных, отрицательных значений магнитного поля наблюдается аномалия поля ВП сложной формы. Геологическая ситуация также отличается от условий формирования аномалии ВП в контуре 1.

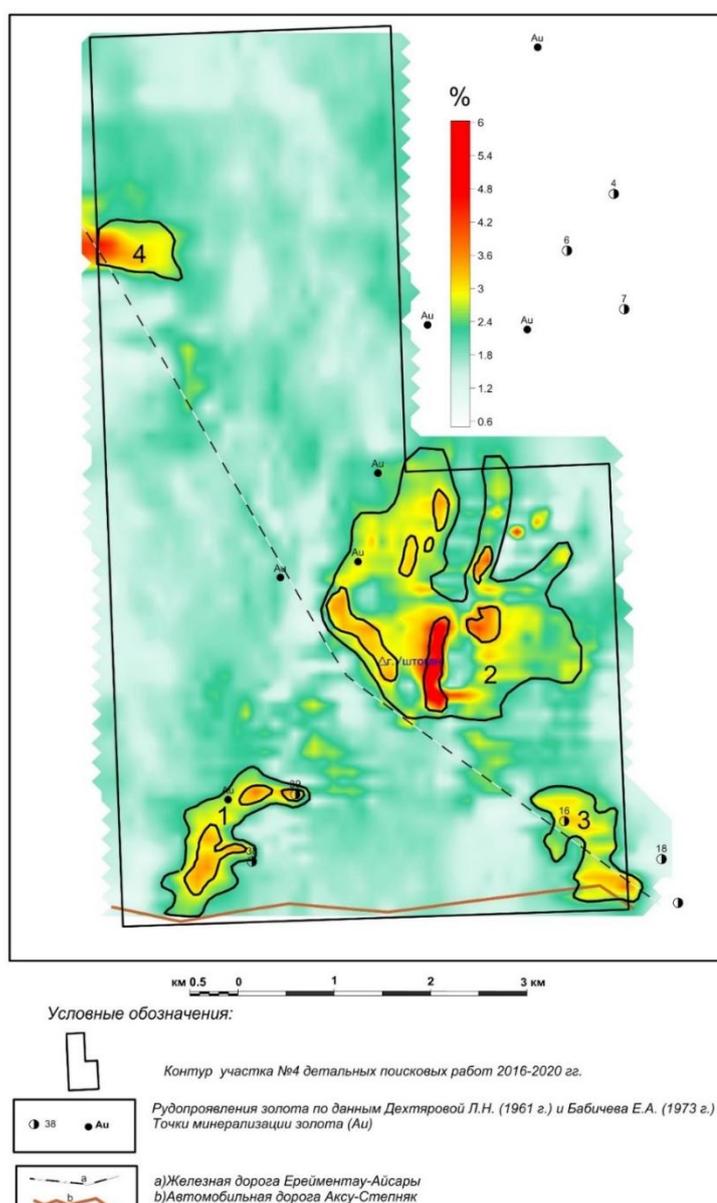


Рисунок 5.23 – Положение контуров аномальных зон кажущейся поляризуемости

Рисунок 5.24 – Положение аномальных зон кажущейся поляризуемости на карте аномального магнитного поля

Алтынская свита представлена осадочными отложениями в виде песчаников, алевролитов, конгломератов, аргиллитов, реже известняков и кремнистых пород и ограничена основными региональными глубинными Атансорским и Западно-Атансорским разломами. Максимальные значения поляризуемости вызваны внедрением габбро-пироксенит и габбро-диабазов куртукульского интрузивного комплекса. На территории аномалий имеются точки минерализации золота, свинца, цинка и т. д.

3-й контур аномалии ВП территориально принадлежит восточному нижнему углу площади исследований. Значения поляризуемости изменяются в пределах 2.5-3.5%. Форма аномалии линейная, простирается с севера на запад. Длина аномалии 1.2 км, ширина – 250 м. Контур 3 приурочен к Западно-Атансорскому разлому и по характеру геофизических параметров аналогичен контуру 1.

4-й контур аномалий ВП расположен в северо-западном углу карты кажущейся поляризуемости. Значения η_k изменяются в пределах 4-5%. Форма аномалии линейно вытянутая в восточно-западном направлении. Линейные размеры составляют 0.5x0.2 км. Природа аномалии проинтерпретирована техногенным влиянием железной дороги. Тем не менее, авторы отчета считают, что в геологическом отношении данная зона недоисследована. При анализе магнитного поля мы обращали внимание на интенсивную магнитную аномалию изометричной формы, расположенной чуть выше к северу от аномалии η_k . Аномалия ВП хоть и не соответствует по местоположению аномальной магнитной зоне, но имеет достаточно уверенный ореол распространения по направлению к магнитной аномалии.

Теперь остановимся на оценке геологической природы аномалий поляризуемости. Это одна из наиболее трудных задач интерпретации. Связано это с тем, что при поисках электронно-проводящих массивных и вкрапленных руд в качестве геологических помех выступают аномалии, связанные с поляризацией ионно-проводящих рудовмещающих пород, их графитизацией и рассеянной непромышленной минерализацией рудными минералами.

Изучение временных (частотных) характеристик процесса вызванной поляризации (ВП), для получения дополнительной информации о природе поляризующихся объектов, сегодня является одним из приоритетных направлений в электроразведке. Скорость и длительность процесса ВП является дополнительным, независимым параметром, который позволяет нам разделять аномалии от сульфидов и углеродсодержащих пород, выделять на месторождениях меднопорфирирового типа области богатых руд на фоне пиритизированных пород и т. д.

С этой целью в рамках интерпретации было проведено изучение так называемого дифференциального фазового параметра (ДФП) $\Delta\varphi$ вызванной поляризации (ВП) и его фазово-частотных характеристик (ФЧХ).

Использование дифференциального фазового параметра $\Delta\varphi$ было предложено для борьбы с явлениями электромагнитной индукции, которые, как и вызванная поляризация, могут приводить к значительным фазовым сдвигам сигнала [7].

Применение $\Delta\varphi$ (ДФП) основано на том, что в области малых параметров поля фаза индукции прямо пропорциональна частоте. Дифференциальный фазовый параметр построен таким образом, что он полностью подавляет линейную компоненту фазы, не меняя постоянной составляющей. ДФП давно и успешно применяется на практике для обнаружения и изучения эффектов ВП.

Если в токовой линии используется «меандр» – разнополярные прямоугольные импульсы – то ДФП можно рассчитать по фазам 1-ой и 3-ей гармоник измеренного сигнала.

$$\Delta\varphi(\omega,3\omega) = \frac{3\varphi(\omega) - \varphi(3\omega)}{2}$$

Кроме того, ДФП определяется однозначно и устойчиво, поэтому частотная характеристика (ЧХ) $\Delta\varphi$ может быть использована для классификации и разделения пород, наравне со скоростью спада ВП во временной области.

В данной работе значения $\Delta\varphi$ были пересчитаны в кажущуюся поляризуемость (η_k) для задержки 0.5 с путем умножения на эмпирический коэффициент $k=-2.5$. Такой пересчет позволяет перевести полученные данные из размерности градусов фазы в более привычную, для методов ВП, размерность процентов поляризуемости.

Таким образом, для изучения фазово-частотных характеристик в рамках выполнения полевых работ были проведены дополнительные измерения. Для этого в аномальных зонах поля ВП были выбраны участки профилей (на Рисунке 5.25 представлены синим цветом), на которых измерения ФЧХ производились в диапазоне от 0.076 Гц до 4.88 Гц. По результатам измерений были построены графики частотных характеристик ДФП. В качестве простого и надежного способа оценки временных характеристик вызванной поляризации была использована разность значений ДФП на двух частотах. Учитывая, что графики ЧХ ДФП практически симметричны, рабочие частоты были подобраны таким образом, чтобы разница двух ДФП, рассчитанных на этих частотах, принимала отрицательное значение над одной породой и положительное – над другой.

Так как положение максимума ЧХ ДФП слабо зависит от поляризуемости η , то полученный параметр даст возможность разделять породы по постоянной времени τ . Этим свойством $\Delta\varphi$ и воспользовались авторы отчета для разделения аномалий от углефицированных пород, характеризующихся большими значениями τ , и сульфидных руд, обладающих, как правило, быстрым спадом вызванной поляризации [8]. График частотных характеристик ДФП над

контуром 1 аномалии ВП представлен на Рисунке 5.26, а, б. Характерное поведение графиков фазово-частотных характеристик ДПФ дает возможность предположить, что аномалия поляризуемости в контуре 1 вызвана влиянием сульфидной минерализации в составе интрузии. Для сравнения в этом же рисунке, в представлены графики ФЧХ по аномалии ВП в контуре 3 (Рисунок 5.26, в). Анализ графиков показывает, что при общей схожести графиков, при наличии спада, кривые над контуром 3 немного отличаются осложнениями в ходе кривых. Анализ геологических сведений о строении района в данной части площади исследований дал возможность сделать вывод о том, что, возможно, аномалии ВП связаны с сульфидной минерализацией пород. Изменения в ходе кривых, видимо, вызваны другим составом гранитоидов.

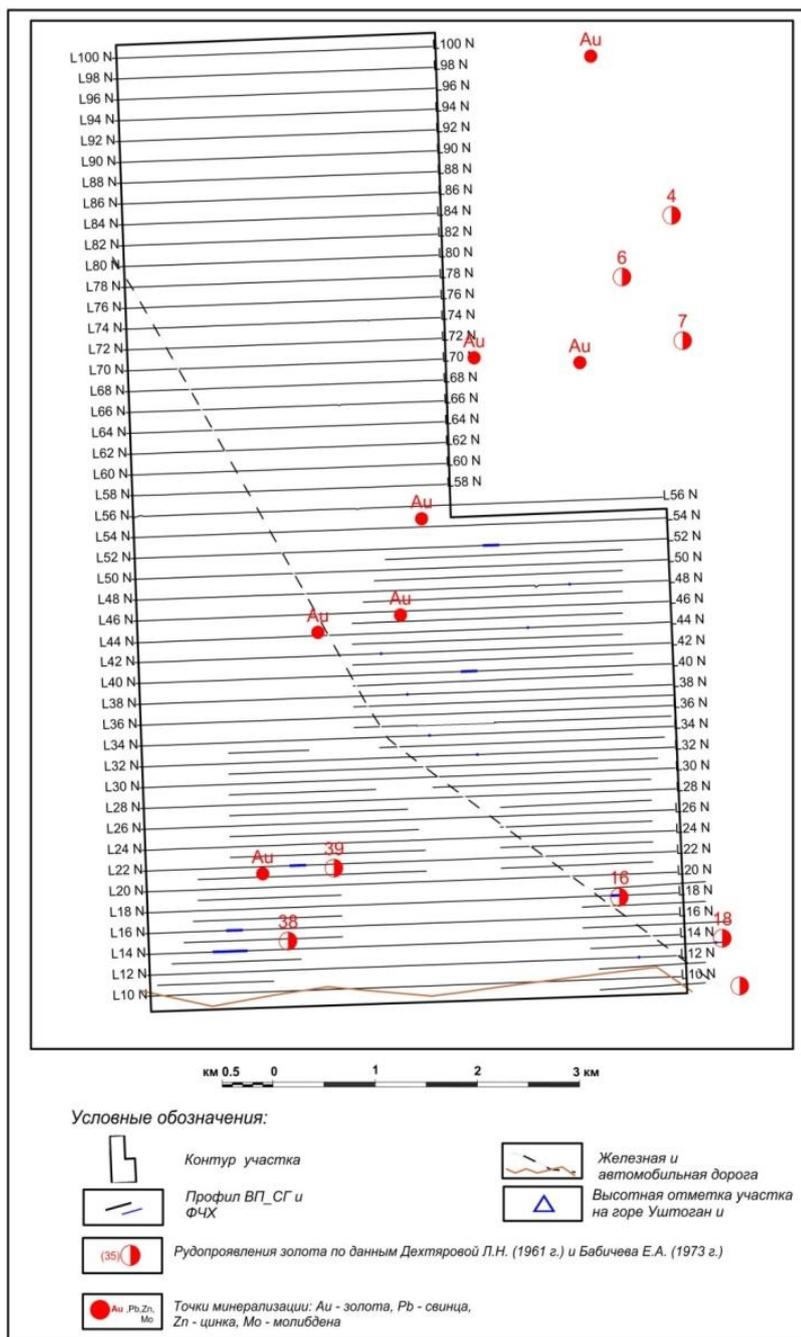
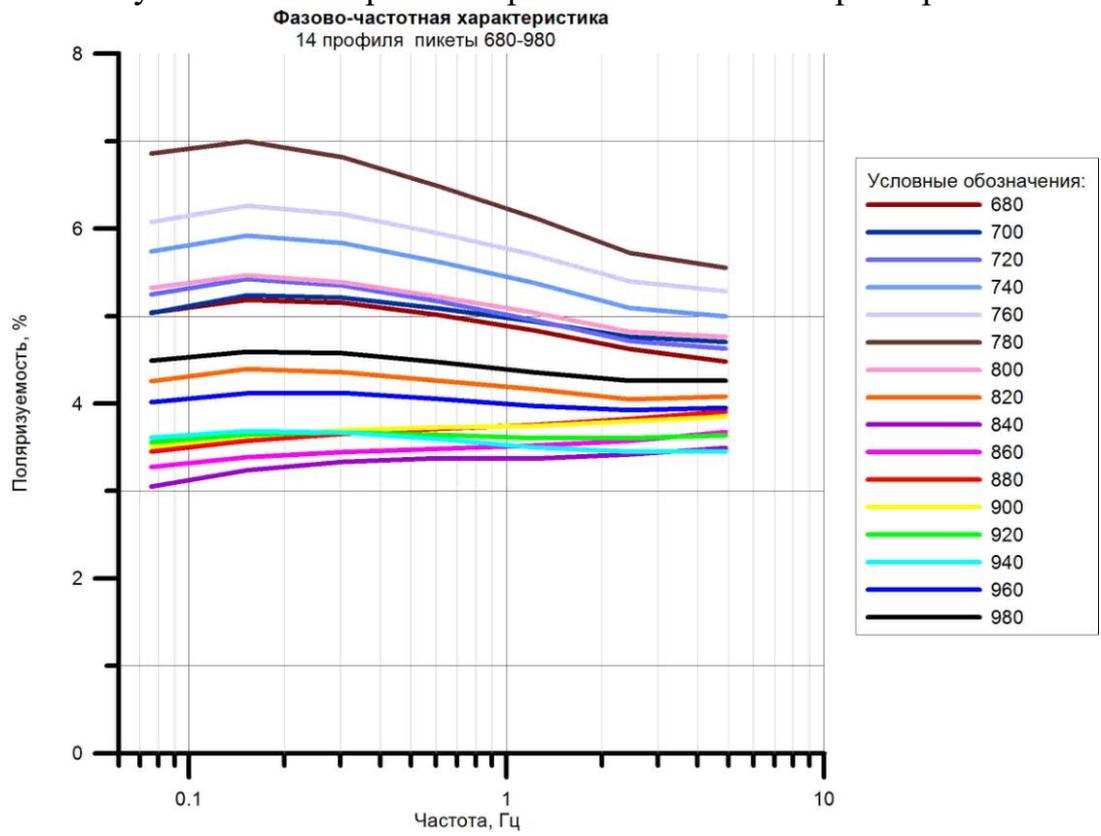
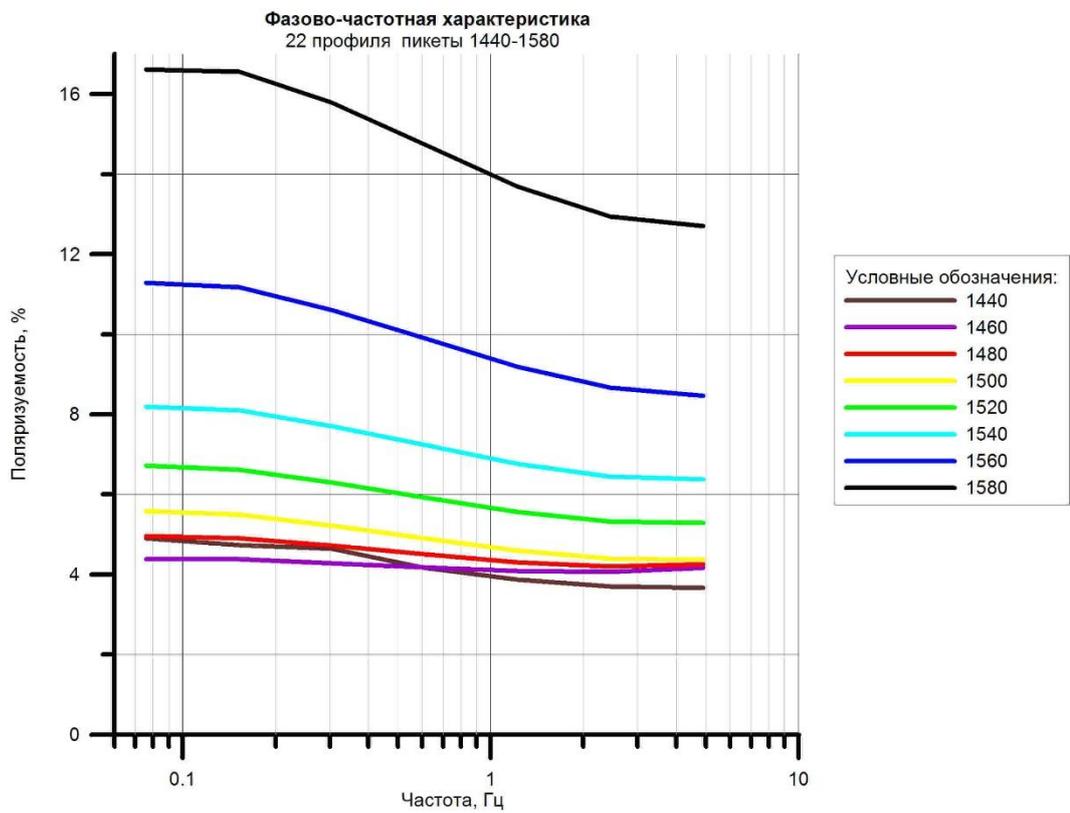


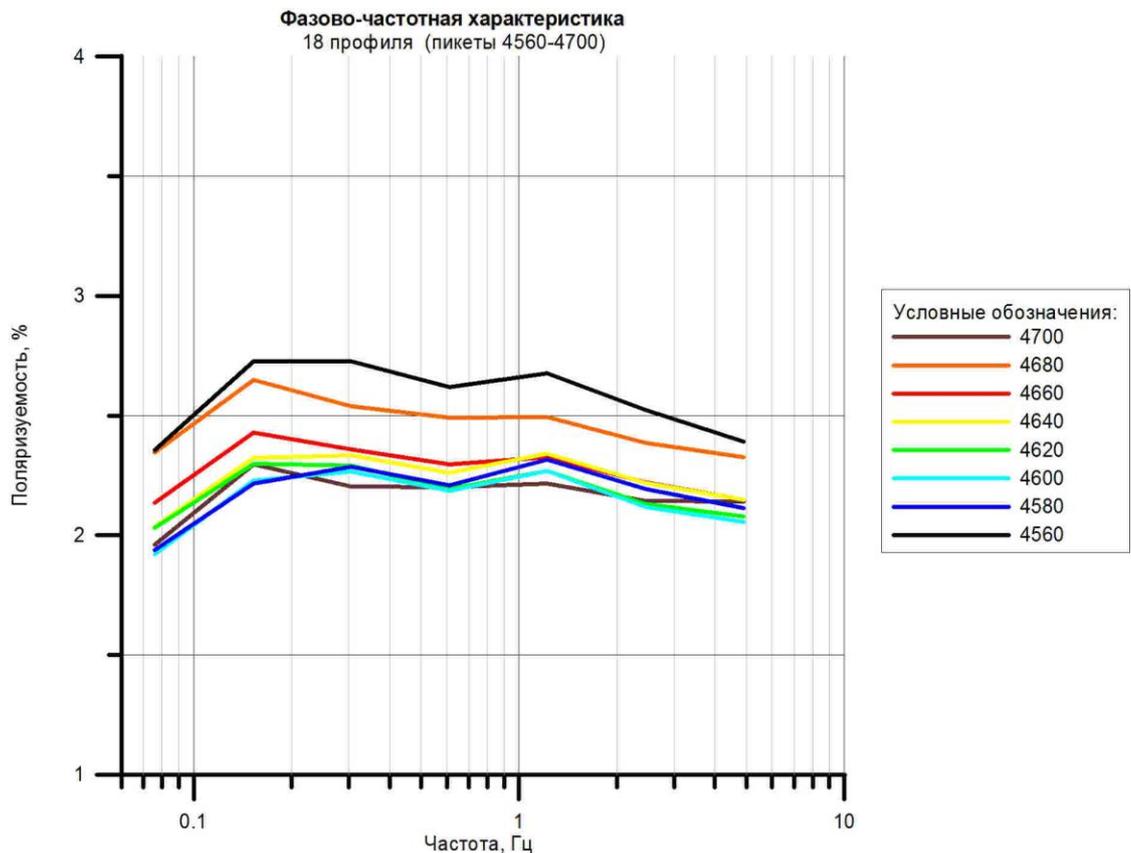
Рисунок 5.25 – Отработка фазово-частотных характеристик



а)



б)



в)

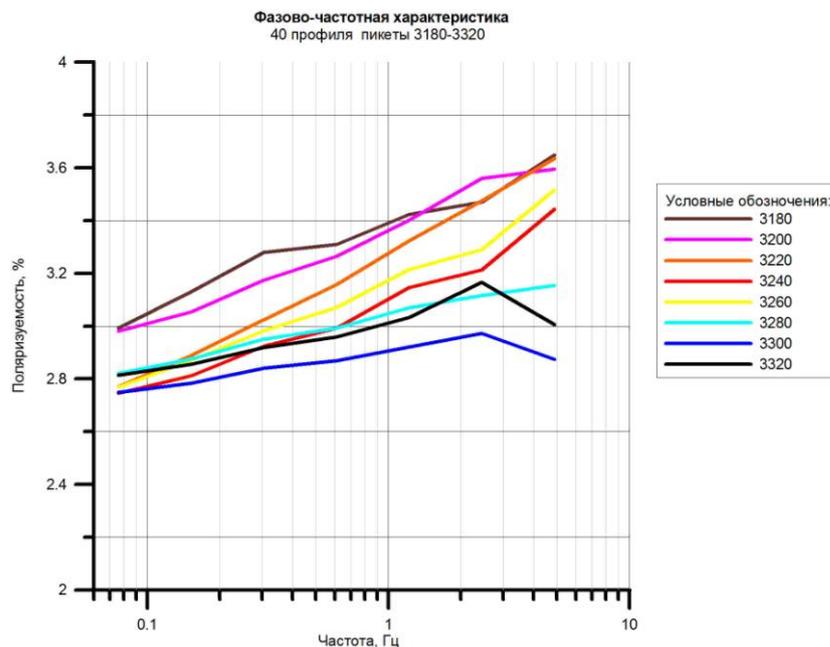
Рисунок 5.26 – Графики фазово-частотных характеристик ДФП над крыккудукской интрузией по профилям 14 (а) и 22 (б) и в районе контура 3 по профилю 18 (в)

Такие же графики ДФП были построены и над аномальными зонами поляризуемости в районе Алтынской свиты (контур 2). Анализ графиков показывает, что фазово-частотные характеристики отличаются от ранее рассмотренных графиков контуров 1 и 3. Вообще, такое поведение графиков характерно, когда в составе пород присутствует магнетит. Однако, данный факт не находит подтверждения в характерном поведении магнитного поля. Отсутствие спада кривых и более сложная форма графиков дает возможность связать данные аномалии с влиянием графитизированных пород (Рисунок 5.27).

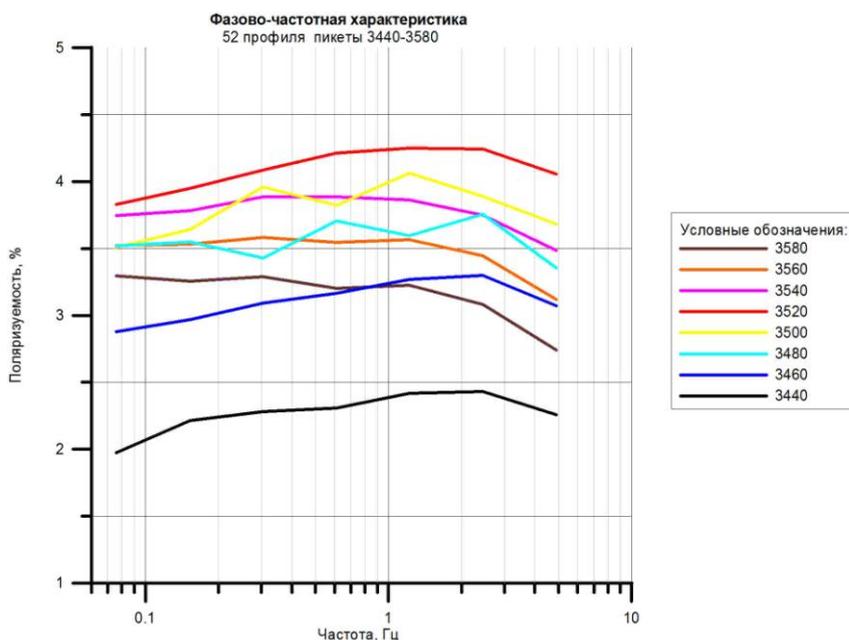
По кажущемуся сопротивлению максимальные значения наблюдаются в юго-западной части участка и связываются с интрузивами позднеордовикского крыккудукского комплекса. В интрузивных отложениях выделены зоны окварцевания горных пород, на которые поле кажущихся сопротивлений реагирует увеличением до 10 000 Ом·м на фоне 3 000-4 000 Ом·м. В общем случае, такие изменения сопротивлений соответствуют зонам высокой поляризуемости.

Также максимальные значения наблюдаются в южной части участка. Приурочены к интрузивам позднеордовикского крыккудукского комплекса. Значения кажущегося сопротивления доходят до 13 000 Ом·м, которые

соответствуют довольно низким значениям поляризуемости 1-2 %. Это говорит о том, что, возможно, породы в южной части района исследований менее окварцованы.



а)



б)

Рисунок 5.27 – Графики фазово-частотных характеристик ДФП над Алтынской свитой по профилям 40 (а) и 52 (б)

Минимальные значения кажущегося сопротивления наблюдаются в юго-восточной и центральной части участка, приуроченного к Алтынской свите. Основные породы Алтынской свиты – песчаники, конгломераты, алевролиты – отображаются минимальными значениями кажущегося сопротивления до 2 000 Ом·м.

6 Результаты работ

Эффективность выделения аномалиеобразующих объектов, надежность обоснования их вероятной геологической природы, понимание истории геологического развития района, достоверность выделения поисковых участков существенно возрастают только при комплексном анализе результатов магнитной и электроразведочных съемок.

Ниже приводится совместное рассмотрение геологической, геомагнитной и геоэлектрической моделей, полученных по результатам полевых работ.

Поскольку задача выявления площадей или зон, которые могут быть связаны с сульфидной минерализацией и окварцеванием пород фундамента выполнялась на основе электроразведочных измерений ВП-СГ, то контуры для проведения дальнейших детализационных работ выбирались в первую очередь на базе карт кажущейся поляризуемости и кажущегося сопротивления. Аэромагниторазведочные данные использовались, в основном, для картирования пород фундамента, разрывных нарушений, гидротермально-металлогенических образований, а также с целью поисков малых интрузий.

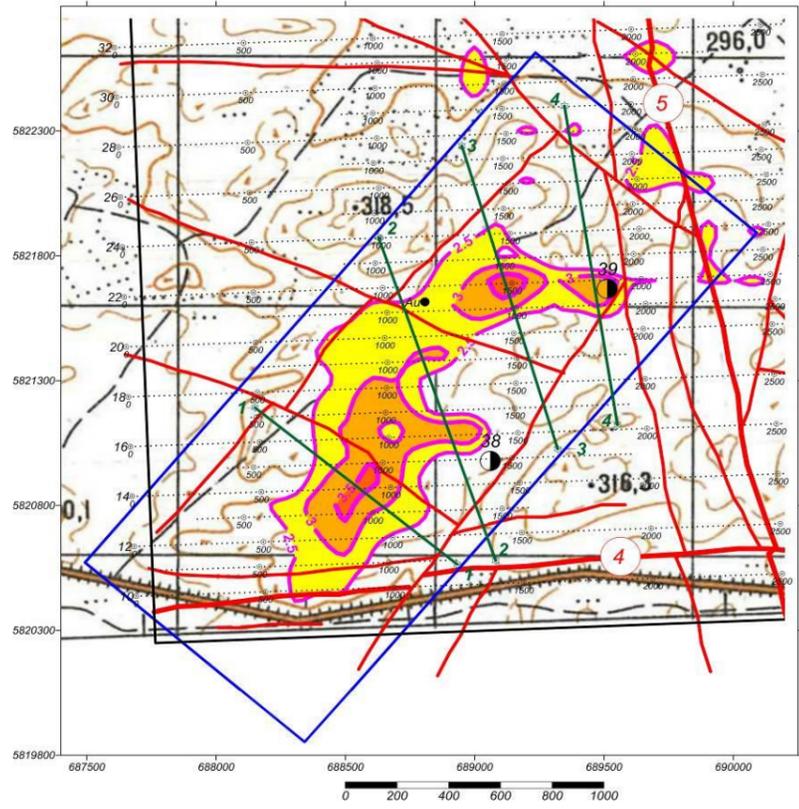
На основе выполненной интерпретации в качестве первоочередных выделено пять перспективных участков, рекомендуемых для дальнейшего изучения.

Участок №1

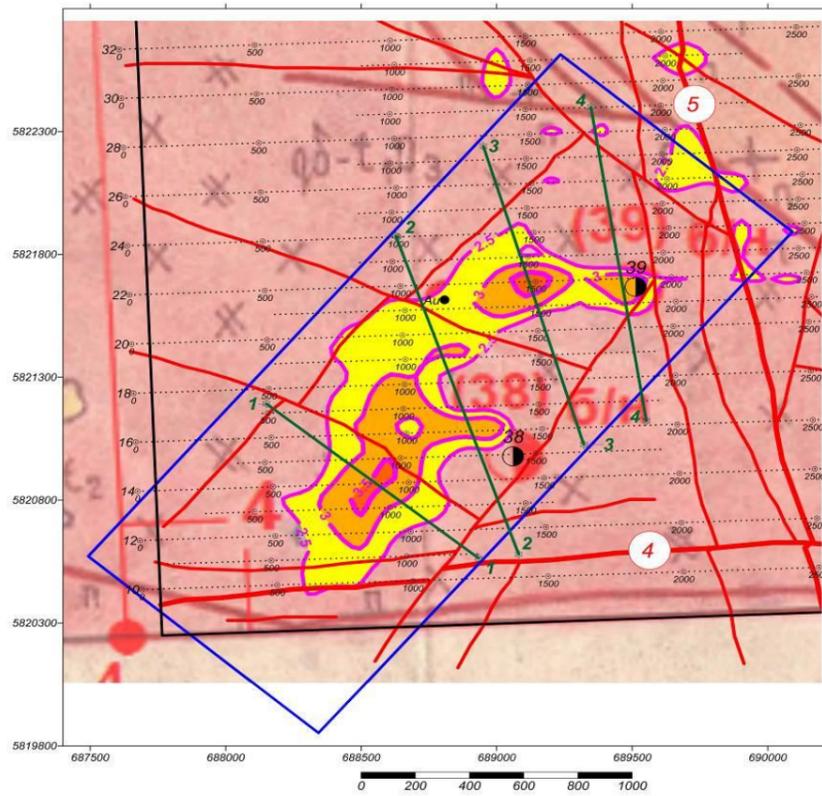
Участок расположен в юго-западной части контура геологического отвода. Южную часть участка пересекает асфальтированная автодорога Аксу-Степняк, вдоль северной границы участка в северо-западном направлении проходит однокальная железнодорожная линия Айсары-Ерейментау (Рисунок 6.1, а).

Положение участка №1 на фрагменте геологической карты масштаба 1:50 000, построенной по результатам геологической съемки, выполненной Степнякской группой партий Центрально-Казахстанской экспедиции МГУ по работам 1968-72 гг. (Бабичев Е.А., Спиридонов В.М. и др. 1973 г.) представлено на Рисунке 6.1, б.

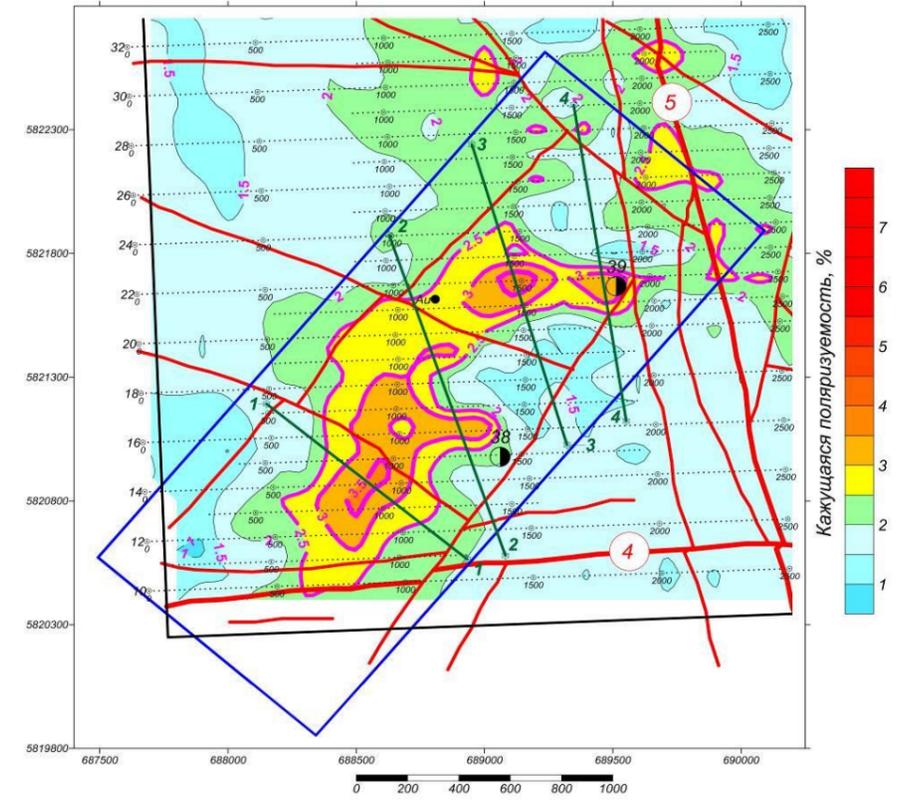
Согласно геологической карте участок слагают интрузивы позднеордовикского крыккудукского комплекса. Комплекс представлен гранодиоритами, лейкократовыми гранитами, кварцевыми диоритами, средне-мелкозернистыми гранитами, реже лейкогаббро-норитами. Дайковый комплекс представлен дайками диоритовых порфиритов, микродиоритов, спессартитов, мелкозернистых гранитов, аплитов. Вдоль Западного-Атансорского разлома интрузивные породы рассланцованы и пропилитизированы. Западно-Атансорский разлом к юго-востоку сливается с Атансорским глубинным разломом и совместно с Омск-Целиноградским глубинным разломом контролирует в пространстве крупный Аксу-Мыныбайский рудный узел с рудными полями месторождений золота Кварцитовые Горки, Аксу и месторождение урана Маныбайское. Второстепенные тектонические нарушения образуют густую сеть пересекающихся между собой нарушений северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного направлений, определяющих сложное блоковое строение участка.



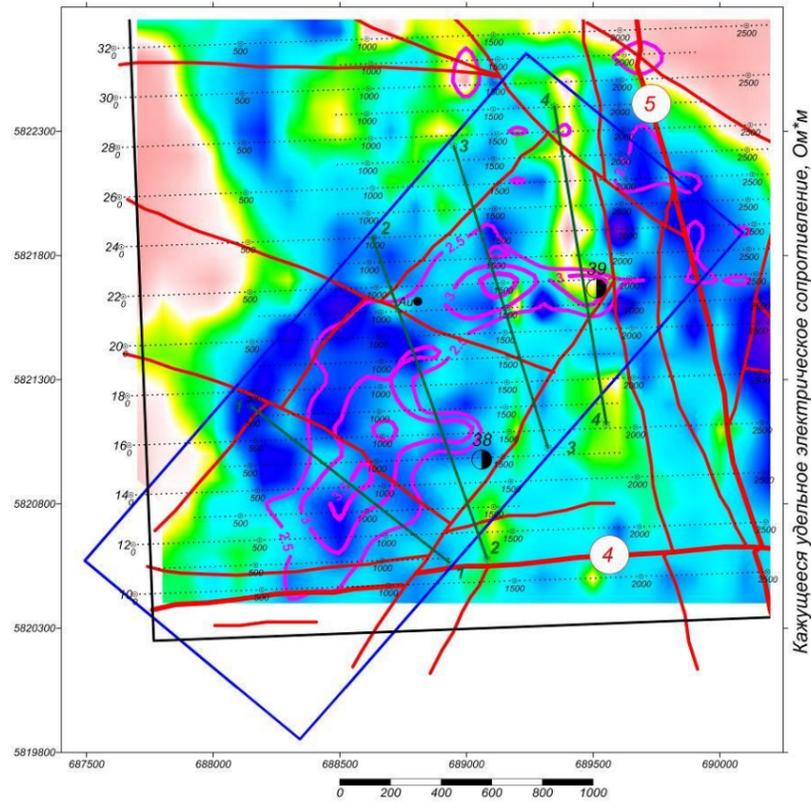
а) Топографическая ситуация



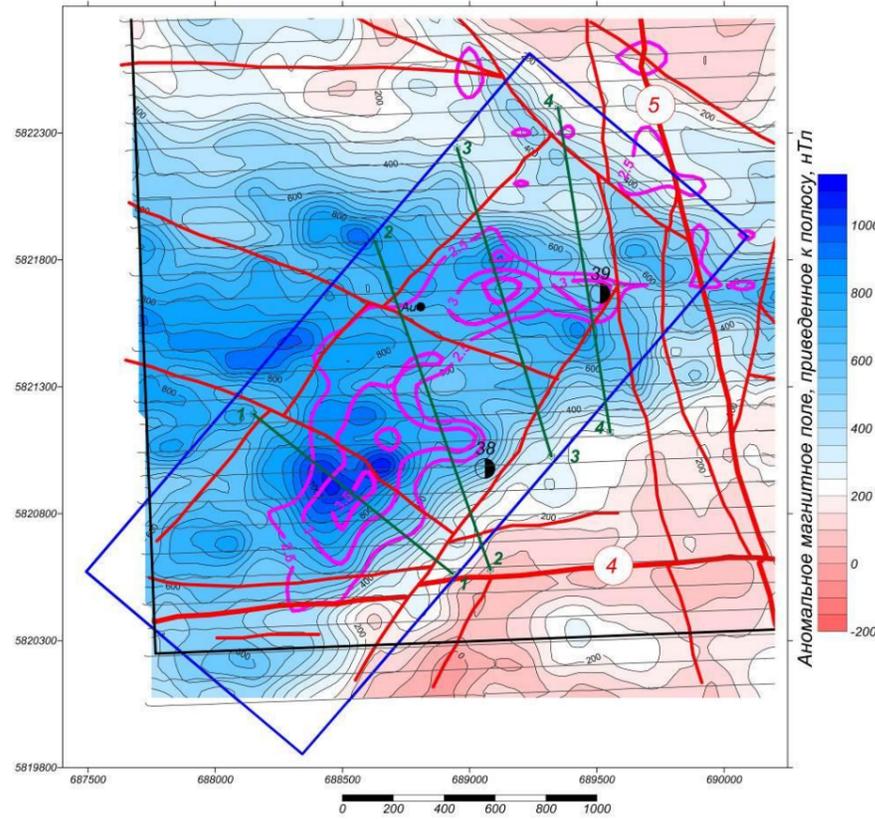
б) фрагмент геологической карты масштаба 1:50 000



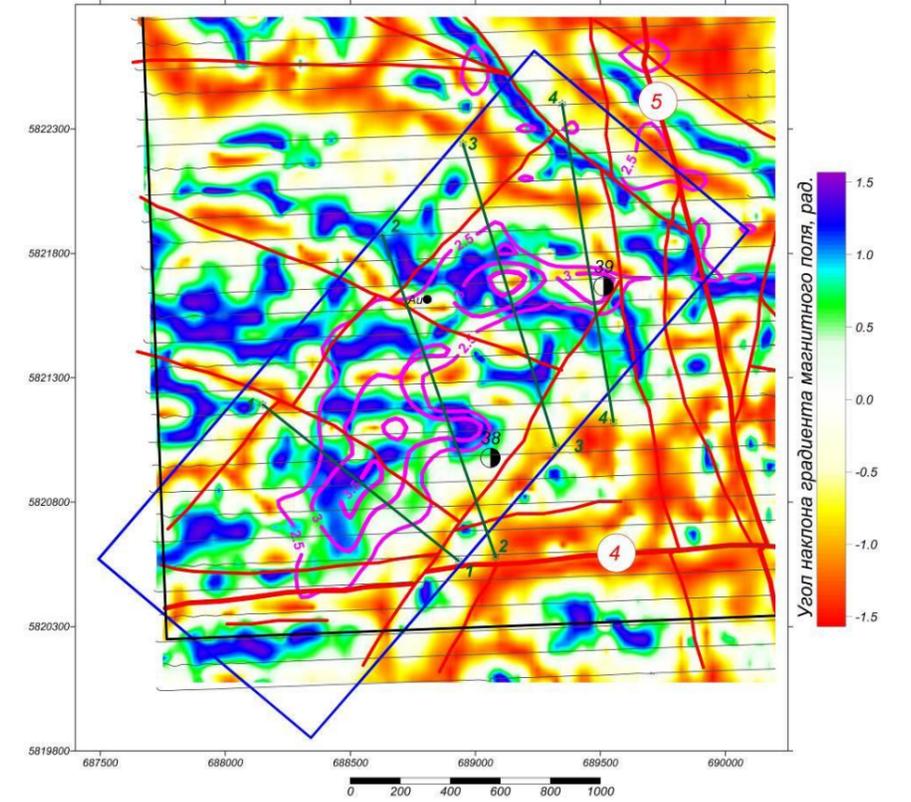
в) аномальная зона поляризуемости



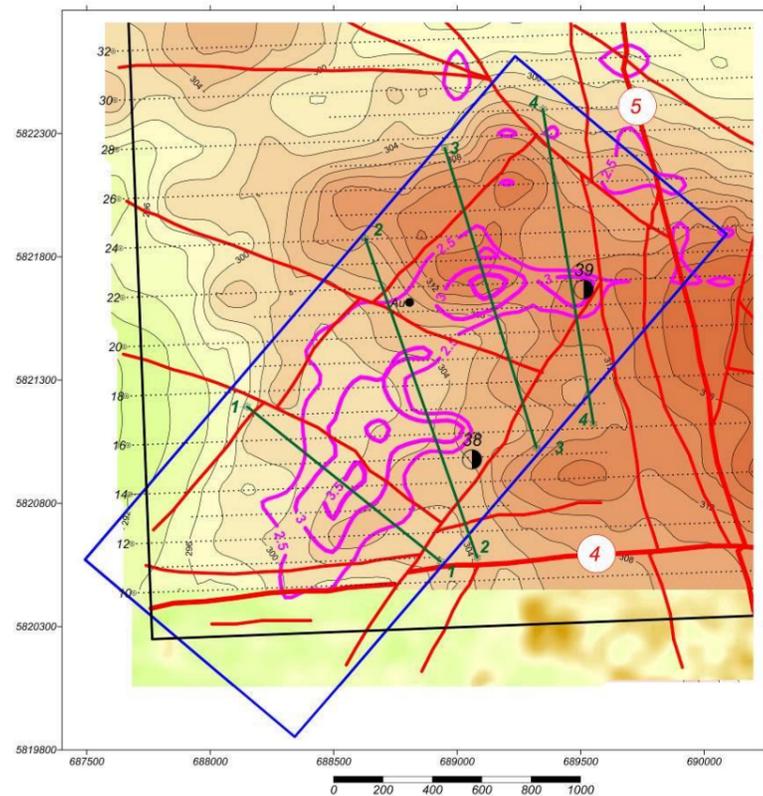
г) положение аномальной зоны поляризуемости на карте кажущегося сопротивления



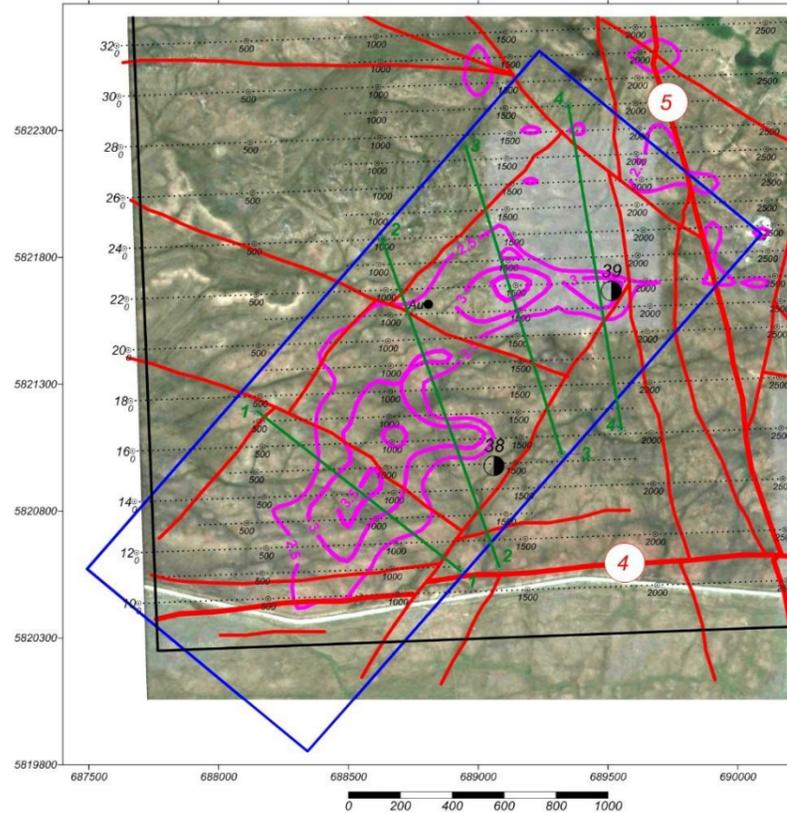
д) фрагмент аномального магнитного поля, приведенного к полюсу



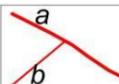
е) высокочастотная составляющая магнитного поля (угол наклона вектора градиента)



ж) положение аномалии поляризуемости на карте рельефа

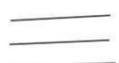


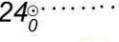
з) Участок №1 на космоснимке

- 

Разрывные нарушения, предполагаемые по данным магниторазведки
a - главные зоны глубинных региональных разломов (4 - Широтный-Южный, 5 - Меридиональный); *b* - второстепенные
- 

рудопоявления золота по данным Дехтяровой Л.Н.(1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)
- 

контур площади детальных геофизических работ 2018 г.
- 

маршруты аэромагнитной съемки 2018 г.
- 

профили и пикеты электроразведки ВП-СГ 2018 г.
- 

контур участка №1, выделенного по результатам геофизических работ 2018 г. для оценки перспектив на золото
- 

линии равных значений поляризуемости (%) по результатам электроразведки ВП СГ, 2018 г.
- 

положение рекомендуемых линий интерпретационных профилей электроразведки ВП ДЭЗ

Рисунок 6.1 – Геологическое, геофизическое и топографическое положение перспективного участка №1

Непосредственно в контуре участка находятся рудопроявления золота №38 и №39, открытые в 1948 г. при проведении ГСП-100. Рудопроявления расположены в кварцевых диоритах крыккудукского интрузива. Рудопроявление №38 приурочено к субширотному разлому. На площади рудопроявления выделены участки с кварцевыми жилами. В кварце отмечаются пирит и халькопирит, содержание золота в них по штуфному опробованию от следов до 3-10 г/т.

Рудопроявление №39 представлено маломощными кварцевыми жилами в кварцевых диоритах с содержанием золота в жилах до 3 г/т. Позже рудопроявления дополнительно не оценивались.

По результатам электроразведки выделена аномалия поляризуемости интенсивностью до 2,8-3,8 % на фоне 2,4%. Аномальная зона, в целом, имеет северо-восточное простирание, в пределах зоны выделяются 4 локальных максимума интенсивностью 3-3,5%. Аномалия поляризуемости по изолинии 2,0 имеет линейные размеры 2х(0.5-0.9) км. Данной аномальной зоне соответствуют зоны повышенных значений сопротивлений.

На своем северо-восточном окончании аномалия ВП меняет свое простирание на субширотное. В этом случае направление электроразведочных профилей проходит по простиранию аномалии, что не дает возможности качественного выделения этой зоны.

Аналогичная ситуация прослеживается и на карте аномального магнитного поля, приведенного к полюсу (Рисунок 6.1, д). По рисунку видно, что аномальной зоне поля ВП соответствует интенсивный магнитный максимум. Форма аномалии тяготеет больше к изометрической и может отображать влияние штокообразного тела. При этом в непосредственной близости к рассмотренной аномалии характер магнитного поля можно охарактеризовать, как мозаичный, составленный из совокупности линейных аномалий с различным простиранием. По всей видимости, такой характер поля вызван наличием системы разломов, протягивающихся в северо-восточном и субширотном направлении и неоднородным составом крыккудукского интрузивного комплекса. Как и в поле ВП, практически в той же части, аэромагнитные профили проходят по простиранию аномалий, что должно быть доизучено системой профилей, проходящих вкрест простирания аномалий ВП и .

Сложное строение аномального магнитного поля участка №1, составленное из протяженных линейных аномалий разного направления более четко наблюдается на трансформантах, где подчеркнута высокочастотная составляющая, например, на фрагменте карты угла наклона градиента магнитного поля (Рисунок 6.1, е).

На Рисунках 6.1, ж и з представлена приуроченность аномалии ВП к формам рельефа. Анализ показывает, что максимальные значения поляризуемости соответствуют по местоположению зонам незначительного повышения рельефа.

Таким образом, в юго-западной части участка выделен участок №1, на котором ожидаемым типом оруденения являются минерализованные зоны с прожилково-вкрапленным оруденением. Критерии выделения данной зоны представлены в Таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Критерии перспективности участка №1

| Номер участка | Состав пород | (ΔT) _a , нГл | ηк, % | ρк, Ом·м | Наличие тектонического фактора |
|-------------------------------|---|---|--|-----------------------------|---|
| №1 юго-западная часть площади | Приурочен к крыккудукскому интрузивному комплексу: гранодиориты, лейкократовые граниты, кварцевые диориты, средне-мелкозернистые граниты, реже лейкогаббро-нориты | Интенсивная изометричная аномалия 1 400-1 800 | 2.4-2.8 на фоне 2%. В ядрах аномалий до 3.0% | >10 000 на фоне 3 000-4 000 | густая сеть пересекающихся между собой нарушений северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного направлений |

Участки №2-3

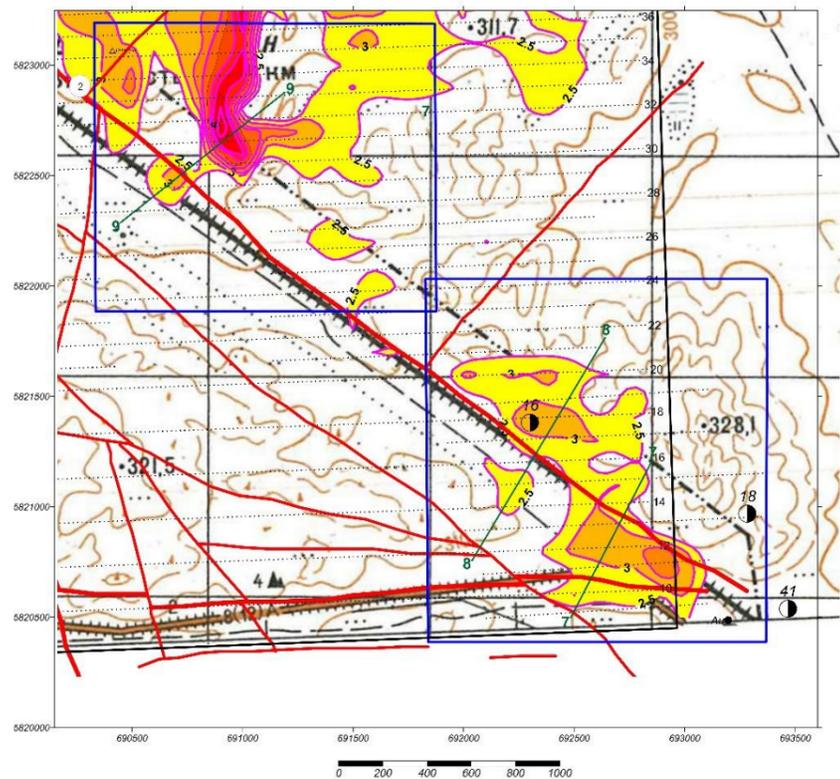
Участки №2 и 3 расположены в юго-восточной части контура геологического отвода. Южную часть участка №3 пересекает асфальтированная автодорога Аксу-Степняк. Оба участка в северо-западном направлении пересекает однокалейная железнодорожная линия Айсары-Ерейментау (Рисунок 6.2, а).

Положение участков №2 и 3 на фрагменте геологической карты масштаба 1:50 000, построенной по результатам геологической съемки, выполненной Степнякской группой партий Центрально-Казахстанской экспедиции МГУ по работам 1968-72 гг. (Бабичев Е.А., Спиридонов В.М. и др. 1973 г.) представлено на Рисунке 6.2, б.

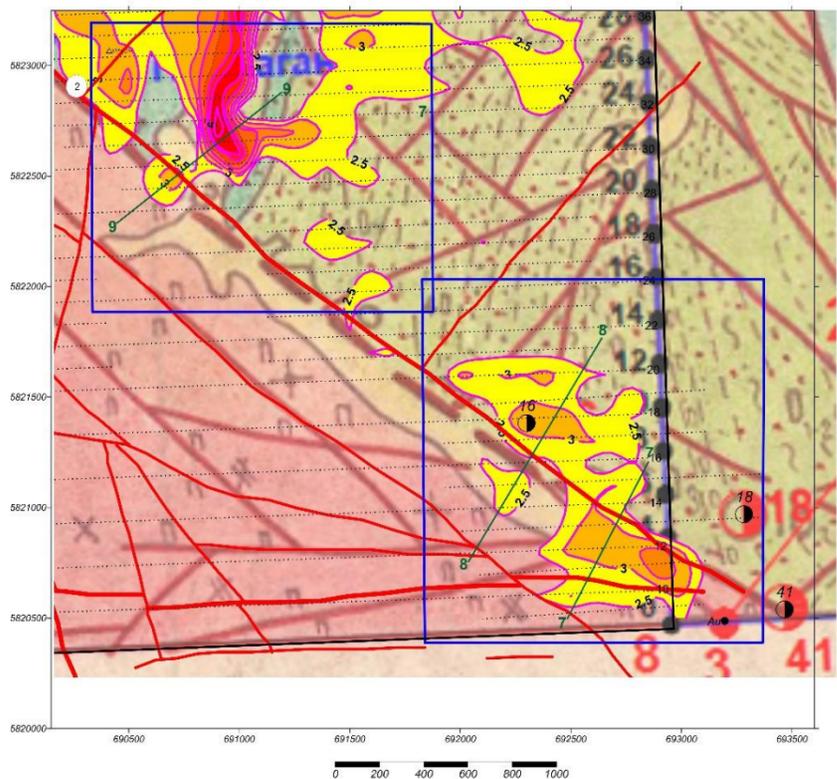
Согласно геологической карте оба участка Западно-Атансорским разломом делятся на две части. Верхнюю часть участков слагают интрузивы средней толщи Алтынского комплекса (O₁₋₂us₃) представленного песчаниками, алевролитами, конгломератами и линзами известняков. В некоторых частях разреза отмечаются алевролиты и известняки черного цвета за счет углеродистого вещества. Геологическое строение верхней части участка №2 осложнено внедрением габбро, габбро-диабазов, пироксенитов куртукульского интрузивного комплекса (vO₂kr). Вторая половина перспективных участков, расположенная юго-западнее Западно-Атансорского разлома, представлена интрузивами позднеордовикского крыккудукского комплекса. Здесь интрузивный комплекс представлен гранодиоритами, лейкократовыми гранитами, кварцевыми диоритами, средне-мелкозернистыми гранитами, реже лейкогаббро-норитами. Вдоль Западно-Атансорского разлома интрузивные породы расланцованы и пропилитизированы. Пересекающиеся между собой разломы северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного направлений образуют густую сеть второстепенных тектонических нарушений, определяя сложное блоковое строение участков.

Юго-восточнее выделенных участков №2 и 3 расположен крупный Аксу-Мыныбайский рудный узел с рудными полями месторождений золота Кварцитовые Горки, Аксу и месторождение урана Маныбайское. Проявления золотой минерализации (1,6 г/т) отмечено в темных известняках участка №2 (точка №10). Ожелезненные известняки (охры) установлены в западной части проявления золота Алтын (№33). Расположено в зоне южного экзоконтакта Аккудукского интрузива гранитоидов в поле развития вулканитов кислого-среднего состава с подчиненными прослоями туфопесчаников, алевролитов, песчаников (сагская свита среднего ордовика). Породы прорваны большим количеством субвулканических тел, среди которых преобладают риолиты, риодациты, реже встречаются диоритовые порфириты, диабазы.

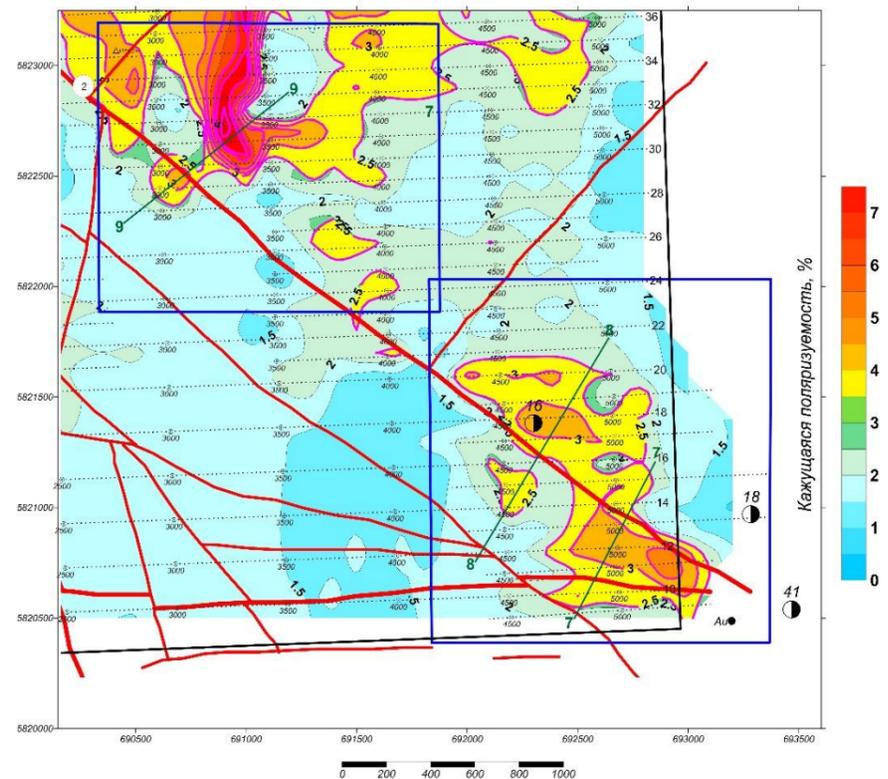
Породы тектонически переработаны (дробление, рассланцевание) и гидротермально-метасоматически изменены (березитизация, грейзенизация). Окварцевание прожилковое и по массе до вторичных кварцитов. Наиболее широко развиты вторичные кварциты по субвулканическим породам кислого состава. Вдоль линейно вытянутых зон, шириной до 150 м породы интенсивно пиритизированы (до 15-20% объема).



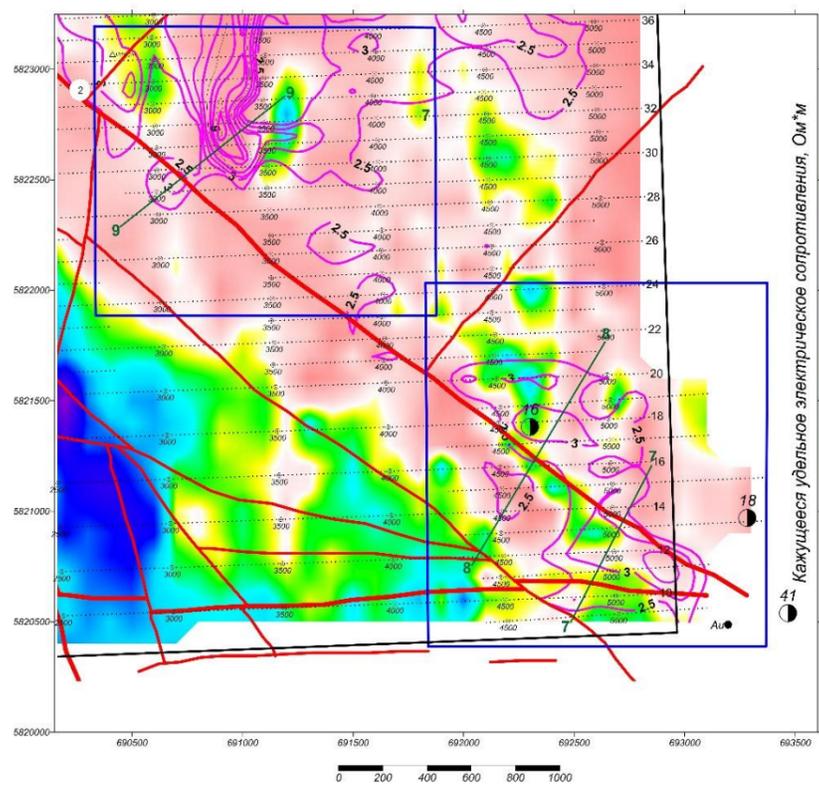
а) Топографическая ситуация



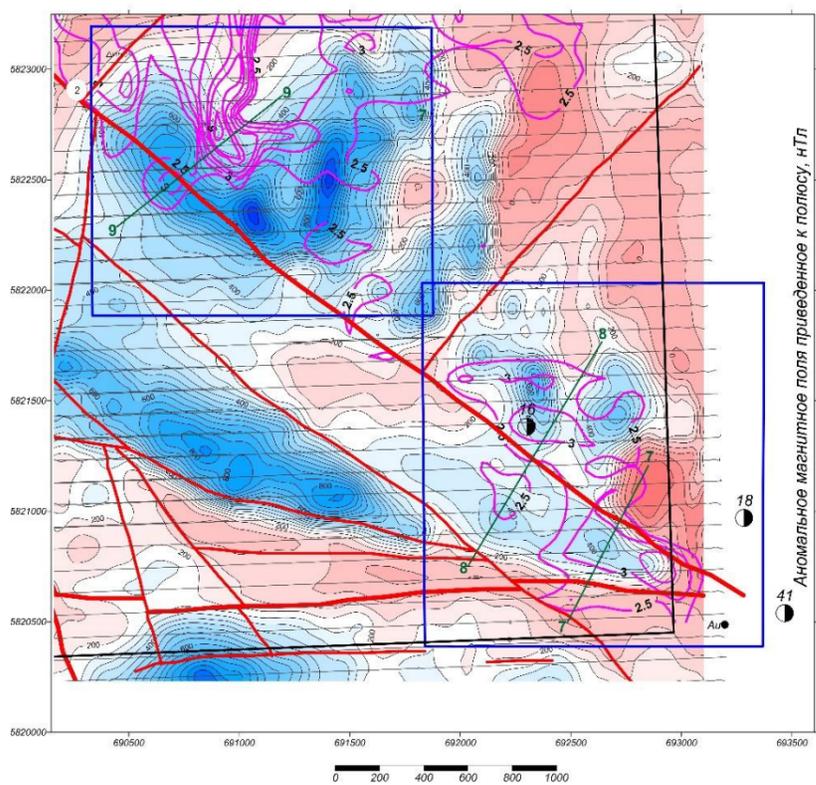
б) фрагмент геологической карты масштаба 1:50 000



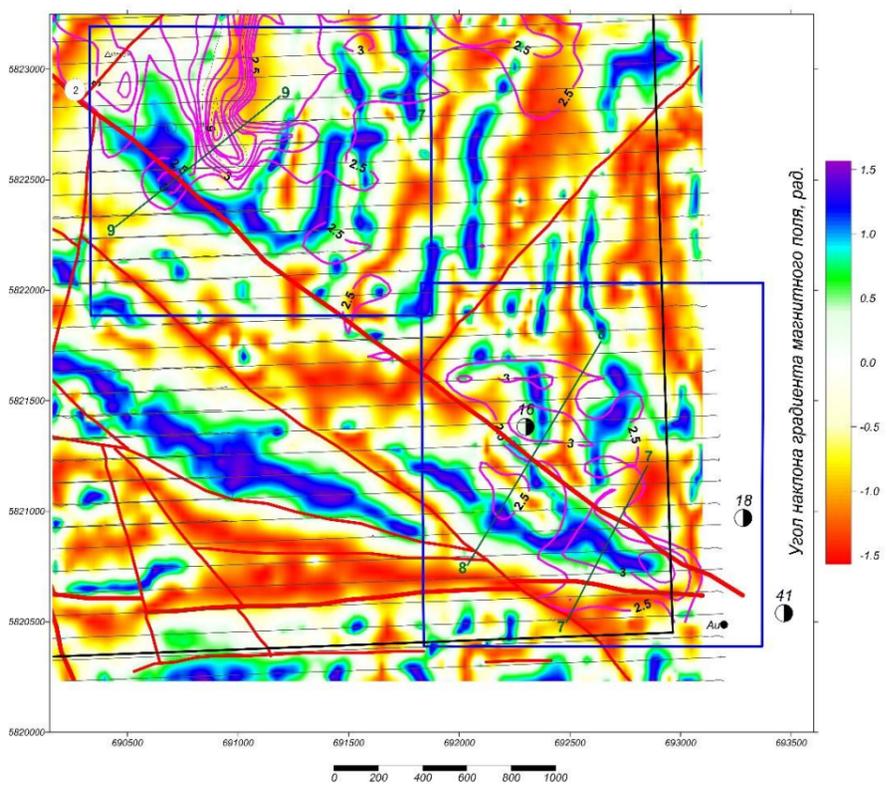
в) аномальные зоны поляризуемости



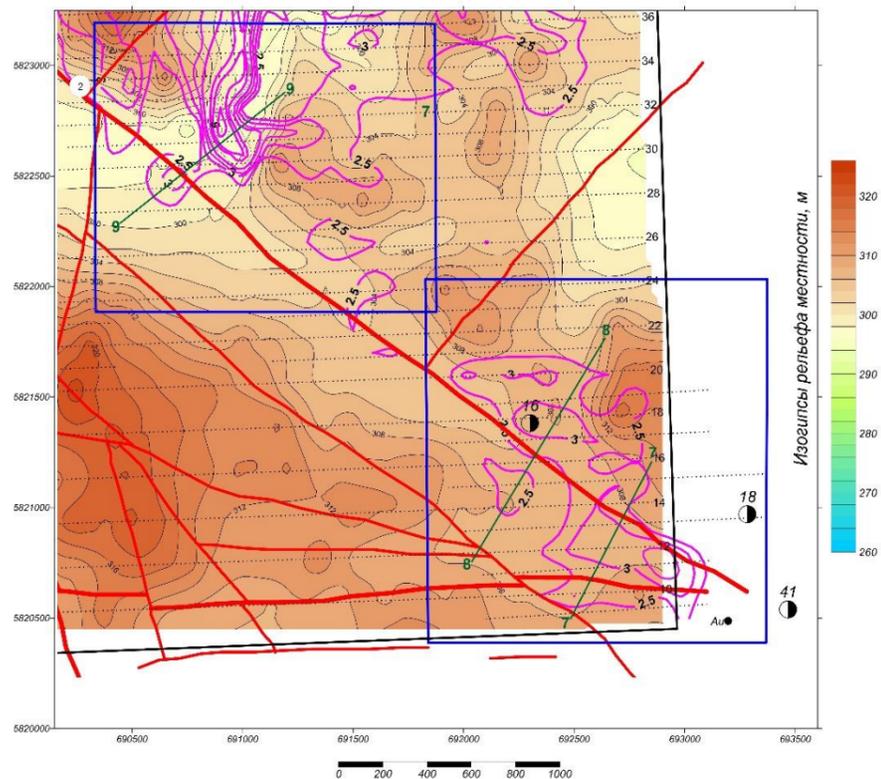
г) положение аномальной зоны поляризуемости на карте кажущегося сопротивления



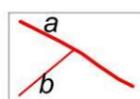
д) фрагмент аномального магнитного поля, приведенного к полюсу



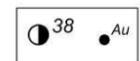
е) высокочастотная составляющая магнитного поля (угол наклона вектора градиента)



ж) положение аномалии поляризуемости на карте рельефа



Разрывные нарушения, предполагаемые по данным магниторазведки
a - главные зоны глубинных региональных разломов (4 - Широтный-Южный, 5 - Меридиональный); *b* - второстепенные



рудопоявления золота по данным Дехтяровой Л.Н.(1961 г.) и Бабичева Е.А. (1973 г.)

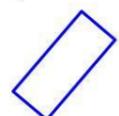


контур площади детальных геофизических работ 2018 г.



маршруты аэромагнитной съемки 2018 г.

24₀ профили и пикеты электроразведки ВП-СГ 2018 г.



контур участка №1, выделенного по результатам геофизических работ 2018 г. для оценки перспектив на золото



линии равных значений поляризуемости (%) по результатам электроразведки ВП СГ, 2018 г.



положение рекомендуемых линий интерпретационных профилей электроразведки ВП ДЭЗ

Рисунок 6.2 – Геологическое, геофизическое и топографическое положение перспективных участков №2 и 3

На рудопроявлении по данным металлометрической съемки масштаба 1:10 000 (1982 г.) выделены вторичные ореолы рассеяния меди, серебра, молибдена, висмута. Оценка ореолов выполнена бурением скважин глубиной 30-60 м.

В 25-ти скважинах отмечены гидротермально измененные породы с содержанием золота 0,1-0,5 г/т. В скважине №531 (350 м восточнее г. Кожастау) во вторичных кварцитах содержание золота составило 36 г/т на глубине 7-8 м. По остальной части скважины содержание золота находится в пределах 0,2 г/т.

В 2,2 км юго-западнее г. Кожастау канавами вскрыты 4 кварцевые жилы мощностью 0,2 м и протяженностью до 200 м с вкрапленностью пирита, халькопирита с содержанием золота от следов до 8,6 г/т (в одной пробе 17,9 г/т). Во вмещающих жилы кварцитах содержание золота от следов до 3 г/т.

Рудопроявление №41 (Бай). Приурочено к небольшому телу интрузивных кварцевых диоритов, возможно, степняцкого типа. Породы березитизированы. Золотое оруденение связано с малосульфидными кварцевыми жилами в зоне одного из северо-западных разломов. Отдельные кварцевые жилы контролируются дайками кварцевых порфиритов. Длина жил до 150 м, мощность в среднем 0,2 м. Содержание золота в жилах от следов до 144 г/т. Часть жил отработана старателями до уровня грунтовых вод. Березитизированные кварцевые диориты в то время поискового интереса не представляли и поэтому не опробовались. Но весьма вероятно, что именно с ними могут быть связаны прожилково-вкрапленные руды с золотом на уровне 1,5-2 г/т, а в зоне окисления до 3 г/т. Примеры: Аксуское кварцево-жильное рудное поле, малые интрузии степняковского типа Южного участка месторождения Жолымбет.

Таким образом, мы видим, что перспективность выделенных участков №2 и 3 не вызывают сомнений.

В районе участка №2 выделяется довольно обширная зона с повышенными значениями поляризуемости, которая состоит из шести локальных аномалий (Рисунок 6.2, в). Максимальное значение поля ВП соответствует территории рудопроявления Алтын. Значения поляризуемости здесь достигают 6%. Интенсивность поляризуемости остальных аномалий составляет 3% на фоне 2,6%. Все локальные аномалии характеризуются различным простиранием и размерами. Линейная аномалия поляризуемости, тяготеющая к зоне контакта отложений Алтынской свиты и гранитоидов крыккудукского комплекса, проходящего вдоль Западно-Атансорского разлома, имеет северо-западное простирание. Все остальные аномалии распространяются в субмеридиональном направлении. Совокупность рассмотренных аномалий объединяется в довольно обширную зону и, возможно, отражают влияние одного крупного массива преимущественно кислого состава. Возможно, что и аномалия участка №3 входит в эту же зону. Данная аномалия состоит из двух локальных максимумов с поляризацией до 4%. Эти локальные максимумы тяготеют к Западно-Атансорскому разлому и имеют простирание такое же, как и у разлома.

Рассмотренным аномальным зонам поля ВП участка №2 соответствуют зоны пониженных сопротивлений до 2 000 Ом·м (Рисунок 6.2, г). Местами встречается незначительное повышение кажущегося сопротивления до 3 000 Ом·м. Значения кажущегося удельного сопротивления участка №3 составляют 3 000 Ом·м.

Характер аномального магнитного поля на территории участков №2 и 3 представлен на Рисунке 6.2, д. Анализ рисунка показывает, что зонам повышенной поляризуемости участка №2 соответствуют минимальные значения магнитного поля до -200 нТл. Незначительное повышение значений (ΔT)а до +100-200 нТл наблюдается на выходах габброидов куртукульского интрузивного комплекса. Характер изодинам спокойный.

Немного другая картина наблюдается на участке №3. Аномалиям поляризуемости здесь соответствуют небольшие линейные аномалии (ΔT)а амплитудой +400-600 нТл. На юго-западной части участка №3 простирание магнитных аномалий соответствует направлению Западно-Атансорского разлома. Аномалии северо-восточной части участка имеют субмеридиональное направление. На Рисунке 6.2, е можно наблюдать более тонкие особенности аномального магнитного поля в виде его высокочастотной составляющей. Здесь разное направление распространения в пространстве локальных геологических объектов юго-западной и северо-восточной частей рассматриваемой территории выглядит более акцентировано.

На Рисунках 6.2, ж и з представлена приуроченность рассмотренных аномалий ВП к формам рельефа.

Таким образом, в центральной и юго-восточной части района исследований выделены два участка №2 и 3, на которых ожидаемым типом оруденения являются гидротермально-измененные зоны в виде вторичных кварцитов (кварцевых жил). Критерии выделения перспективных участков представлены в Таблице 6.2.

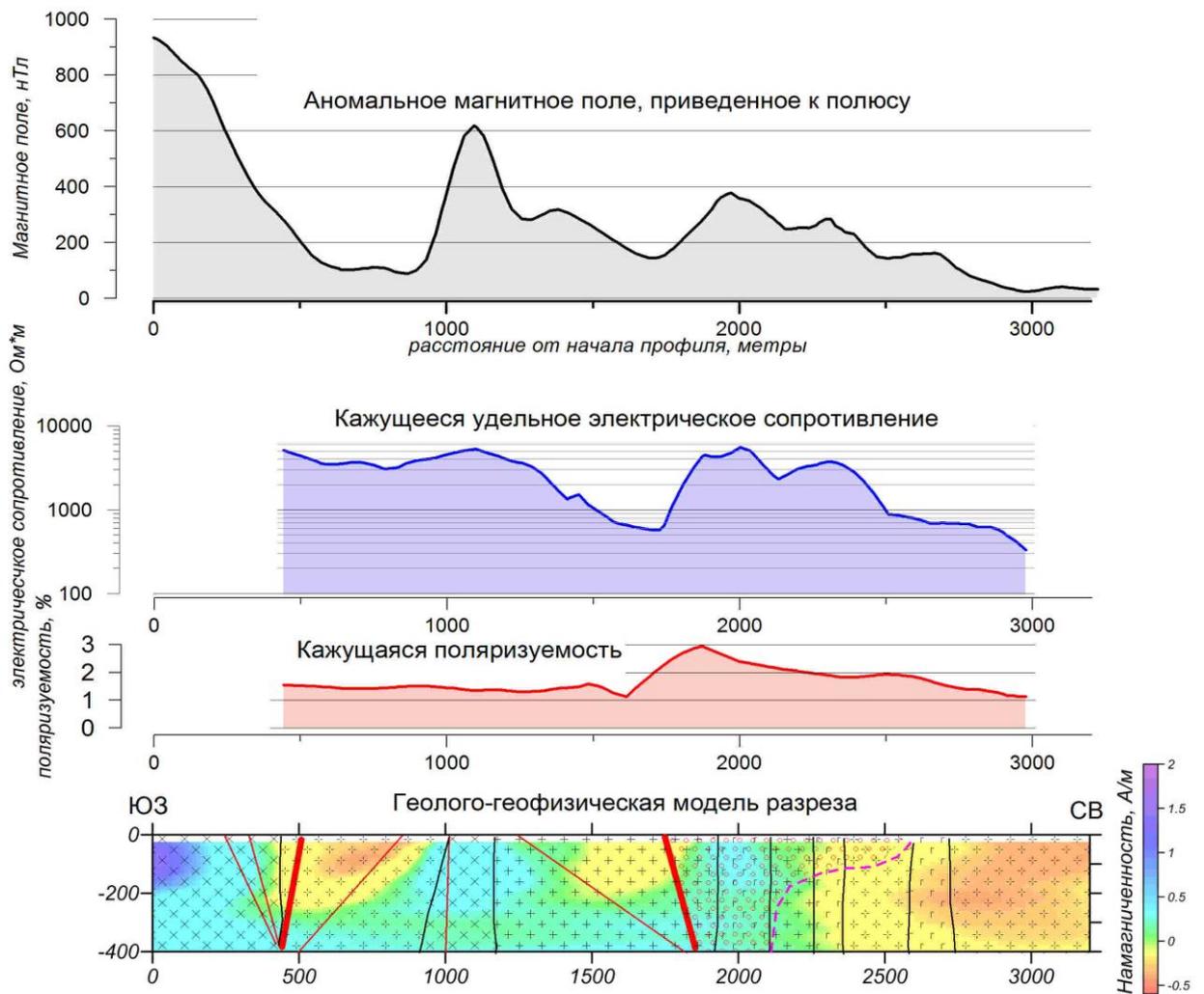
Таблица 6.2 – Критерии перспективности участков №2 и 3

| Номер участка | Состав пород | (ΔT)а, нТл | η к, % | ρ к, Ом·м | Наличие тектонического фактора |
|--------------------------------|--|---|---------------------------|-----------------------------------|---|
| №2 центральная часть площади | интрузивы средней толщи Алтынского комплекса (O ₁₋₂ us ₃): песчаники, алевролиты, конгломераты и линзы известняков. Иногда | отрицательные аномалии - 200 нТл, иногда повышение значений до +400-600 нТл | 3 на фоне 2,5. Иногда 5-6 | 2 000, иногда 3 000 на фоне 4 000 | густая сеть пересекающихся между собой нарушений северо-восточного, северо-западного, субмеридионального и субширотного направлений |
| №3 юго-восточная часть площади | алевролиты и известняки черного цвета (графитизация). крыккудукский интрузивный комплекс: гранодиориты, лейкократовые граниты, кварцевые диориты, средне-мелкозернистые граниты, реже лейкогаббро-нориты | +400-600 нТл | 3 на фоне 2,5 | 3 000-4 000 | |

В рамках выполнения следующего этапа интерпретации были построены геолого-геофизические модели Алтын-Байского рудного узла вдоль интерпретационных профилей, представленных на Рисунке 5.14. На Рисунке 6.3 показан геолого-геофизический разрез, построенный вдоль интерпретационного профиля 1-1. Элементы геологического строения определены по данным магнитометрической и электрометрической съемок, выполненных в 2018 г.

В состав геолого-геофизических разрезов входят: набор графиков геофизических полей вдоль профиля и разрез с элементами геологического строения. В качестве основы использован разрез намагниченности, вычисленный по данным аппроксимационной томографии с использованием программного комплекса SIGMA 3D (модуль DVOP). На разрезе выделена зона сульфидной минерализации, приуроченная к области развития повышенных значений магнитного поля, низких кажущихся удельных сопротивлений и повышенной поляризуемости выше 3%.

Геолого-геофизические модели по интерпретационным профилям 2-7 представлены на Рисунках 6.3-6.12. Условные обозначения к рисункам показаны на Рисунке 6.3.



Условные обозначения:

Элементы геологического строения получены по данным магнито- и электроразведки 2018 г.

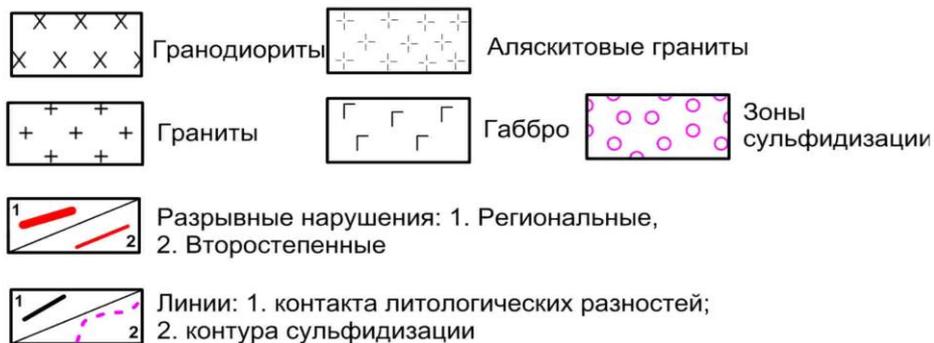


Рисунок 6.3 – Геолого-геофизическая модель разреза вдоль интерпретационного профиля 1-1

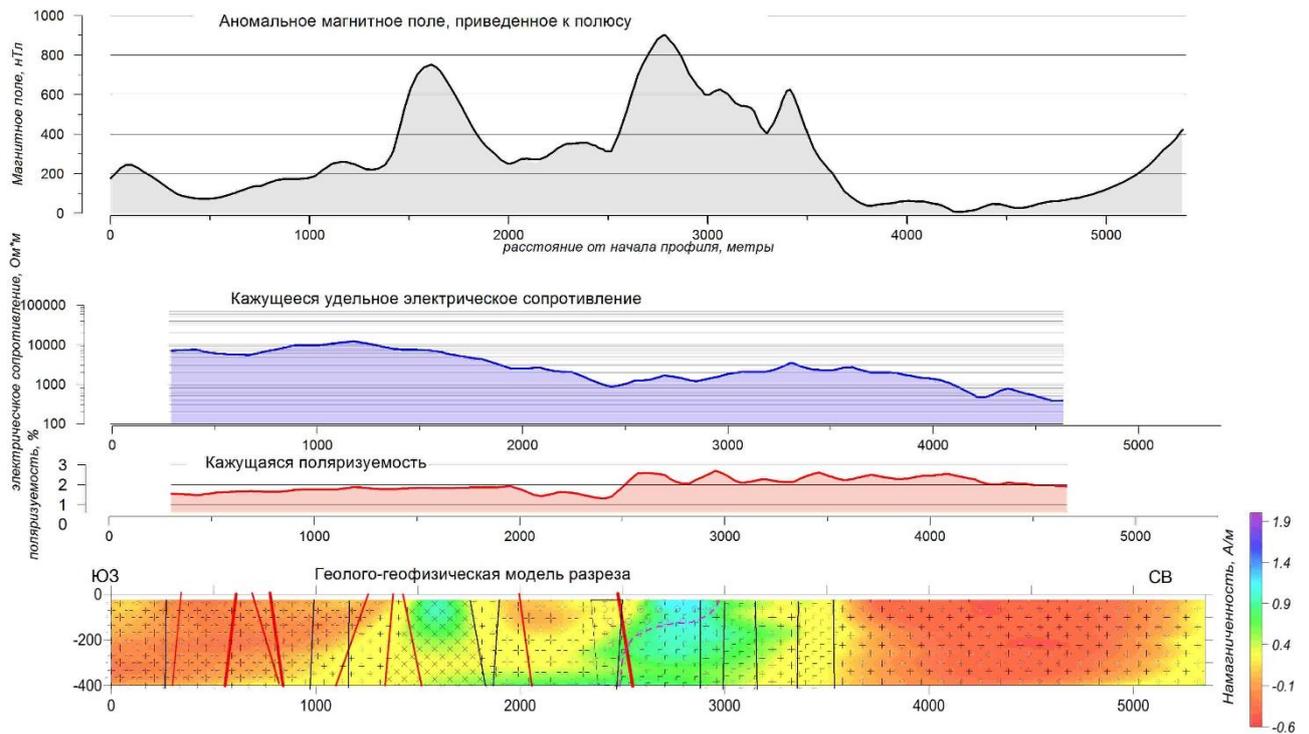


Рисунок 6.4 – Геолого-геофизическая модель разреза вдоль интерпретационного профиля 2-2

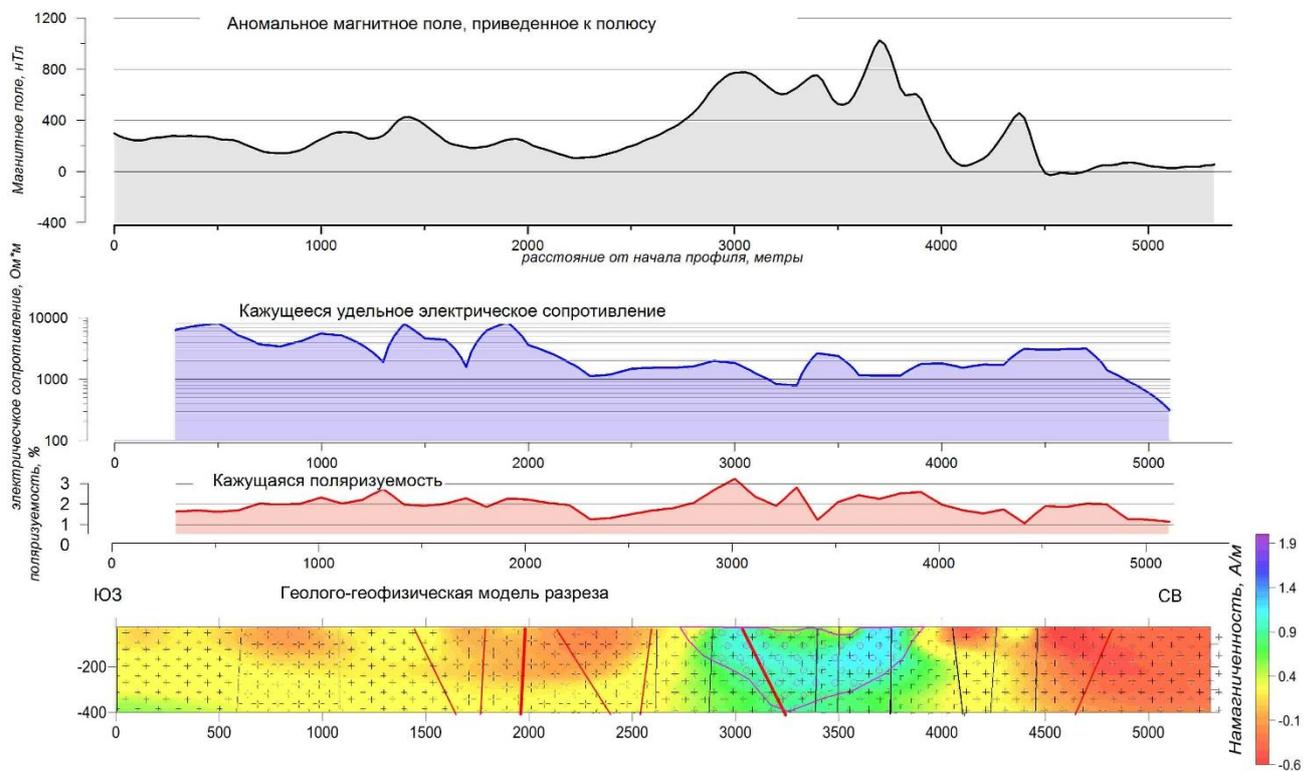


Рисунок 6.5 – Геолого-геофизическая модель разреза вдоль интерпретационного профиля 3-3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геофизические работы по объекту исследования проведены с применением наиболее передовых технологий сбора, обработки, анализа и геологической интерпретации геофизических данных. Выполненные комплексные геофизические съемки оказались вполне способными решить поставленные перед ней задачи. Интерпретационные построения выполнены с применением современных технологий и программных комплексов. Вычислены различные линейные трансформанты геопотенциальных полей: градиентные характеристики (вертикальный и горизонтальный градиенты, аналитический сигнал), региональные и локальные компоненты, отражающие петромагнитные неоднородности, залегающие на разной глубине, районирование (классификация) магнитного поля, объемные геомагнитные 3D-модели.

По итогу научной работы уточнено геологическое строение площади, построены объемные геомагнитные модели с использованием разных алгоритмов расчета, уточнено положение границ интрузивных массивов, крупных тектонических структур и элементов. Кроме того, появились основания для выделения серии разломов, которые ранее отсутствовали на геологических картах.

Построенные в масштабе 1:10 000 карты геофизических полей и их трансформант, схемы районирования и геологической интерпретации дополняют имеющиеся представления о геологическом строении исследуемой территории и могут служить дополнительным источником информации при построении различных структурно-тектонических и прогнозных схем.

Выполненные исследования, в целом, повышают эффективность геологоразведочных работ, сокращают сроки и стоимость геологических исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инструкция по электроразведке (наземная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка)/М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 534 с.
- 2 Савин А.П. Физические величины применяемые в разведочной геофизике, их единицы. Справочные данные – Л.: Недра, 1985- 128 с.
- 3 М.С. Жданов. Электроразведка. М. , «Недра», 1986.
- 4 Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. 1980. Недра. Учебное пособие.
- 5 Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка)/М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 263 с.
- 6 Коврижных П.Н., Кожамсугиров Д.О., Кожевников С.Н. и др. Инновационная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата при поисках рудных месторождений в Казахстане// Ж. Геология и охрана недр. Алматы, - 2017, №4(65). - с. 34-42
- 7 Куликов А.В. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации / А.В.Куликов, Е.А.Шемякин – Москва: Недра, 1978. - 157с.
- 8 Куликов, В.А. Практическое применение временных (частотных) характеристик процесса вызванной поляризации для разделения аномалий от углефицированных пород и сульфидов / В.А.Куликов, А.Г.Яковлев // Геофизика. – 2008. - №6. - с.55-60.