

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

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

Кафедра «Геофизики»

Мендыбаев Темирлан Байдулович

«Геолого-геофизические поисковые признаки полиметаллических оруденений  
на северо-западной части Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

7M07105 «Нефтегазовая и рудная геофизика»

Алматы 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

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

УДК 550.31

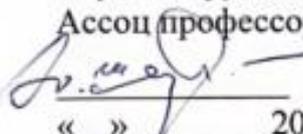
Мендыбаев Темирлан Байдулович

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание академической степени магистра

Название диссертации: «Геолого-геофизические поисковые признаки полиметаллических оруденений на северо-западной части Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория»

Направление подготовки 7М07105 - Нефтегазовая и рудная геофизика

Научный руководитель, доктор г.м - н,  
Ассоц профессор

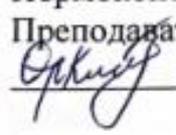
 Шарapatов А. Ш.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Рецензент

Директор центра данных ИГИ НЯЦ РК,  
Доктор физ.-мат. наук

 Михайлова Н. Н.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Нормоконтролер

Преподаватель кафедры ГФ  
 Кисеева Ш.Ө

«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой ГФ,  
Доктор т-н, ассоц. профессор

 Ратов Б.Т.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Алматы 2023 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

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

Кафедра Геофизика

7M07105 - Нефтегазовая и рудная геофизика



**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой ГФ,  
Доктор т-н. асоц. профессор

Ратов Б.Т.

«1» июня 2023г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение магистерской диссертации**

Обучающемуся Мендыбаеву Темирлану Байдуловичу

Тема: «Геолого-геофизические поисковые признаки полиметаллических оруденений на северо-западной части Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория»

Утверждена приказом Ректора Университета № 680-М «17» июня 2023 г.

Срок сдачи законченной работы “\_\_” июня 2023 г. Исходные данные к дипломной работе: были получены при прохождении производственной практики

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Геологическая характеристика Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория и полиметаллического оруденения района
- б) Физико-геологические условия применения геофизических методов для выделения полиметаллических площадей
- в) Методика и техника исследования полиметаллических площадей по данным магниторазведки и электроразведки
- г) Заключение

Перечень графического материала: представлены 26 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 7 источников:

1 Новиков К.В. Магниторазведка: Учебное пособие. Часть 1. – Москва.: 2013 г.



2 Курскеев А. К. Справочник физических свойств горных пород Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1983. — 288 с.

3 Доброхотова И. А., Новиков К. В. Электроразведка. Учебное пособие. Москва: РГГРУ, 2009 г.

4 Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры. Книга 1. Международный университет природы, общества и человека "Дубна", Дубна, 1999 г., 203 стр.

5 Жданов М. С. Электроразведка. Учебник для вузов. Недра, Москва, 1986 г., 316 стр.

6 Матвеев Б. К. Электроразведка. Учебник для вузов. — 2-е издание, перераб. и доп. — Недра, Москва, 1990 — 368 с.

7 Хасанов Д. И., Введение в электроразведку: пособие для самостоятельного изучения для слушателей курсов повышения квалификации специальности «Геофизика». — Казань: Казанский государственный университет, 2009. — 75 с.

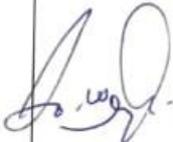
## ГРАФИК

подготовки магистерской диссертации

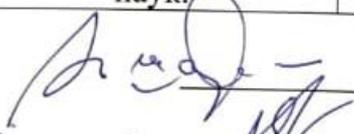
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Геологическая характеристика Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория и полиметаллического оруденения района	06.06.2023	Замечаний нет
Физико-геологические условия применения геофизических методов для выделения полиметаллических площадей	06.06.2023	Замечаний нет
Методика и техника исследования полиметаллических площадей по данным магниторазведки и электроразведки	06.06.2023	Замечаний нет

### Подписи

консультантов и нормо-контролёра на законченную магистерскую диссертацию  
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, Ф. И. О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Геологическая характеристика Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория и полиметаллического оруденения района	Шарапатов А. канд. геол.-мин. наук, ассоц. профессор	20.06.2023	
Физико-геологические условия применения геофизических методов для выделения полиметаллических площадей	Шарапатов А. канд. геол.-мин. наук, ассоц. профессор	20.06.2023	
Методика и техника исследования полиметаллических площадей по данным магниторазведки и электроразведки	Шарапатов А. канд. геол.-мин. наук, ассоц. профессор	20.06.2023	
Нормоконтроль	Кисеева Ш. Ө. Преподаватель, магистр технических наук.	20.06.2023	

Научный руководитель



Шарапатов А.

Задание принял к исполнению обучающийся



Мендыбаев Т. Б.

Дата

“20” июня 2023 г.

## АННОТАЦИЯ

В данном исследовании внимание было уделено комплексному анализу геологического и геофизического состояния исследуемой территории. Такие параметры, как тектоника, магматизм, стратиграфия, а также карты гравитационных и магнитных аномалий, были собраны и тщательно проанализированы. Это позволило получить ценную информацию о структуре и свойствах исследуемой зоны.

Для проведения разведочных работ использовались различные методы, включая магнитные и электрические методы, а также новую технику модифицированной электрической съемки OreVisionIP. Использование такого разнообразия методов позволило получить более полное представление о подземной геологической структуре и возможных рудообразованиях.

Анализ результатов магнитной съемки выявил зоны разломов и потенциальных месторождений полезных ископаемых. Кроме того, интерпретация данных, полученных из электрической съемки, позволила определить разрезы и составить карты оруденений, а также выделить предполагаемые точки для проведения скважин.

Этим исследованием были выявлены основные геолого-геофизические признаки, которые могут указывать на присутствие полиметаллических оруденений. Такие данные являются ценными для дальнейших поисковых и геологических работ в данной области.

Данный проект представляет собой значимый вклад в наше понимание геологической структуры и потенциала рудоносности исследуемой территории, и может служить основой для дальнейших исследований и разработок в области горнодобывающей промышленности.

**Актуальность исследований:** С появлением современных техник и технологии повышаются требования к результатам производственных и исследовательских работ по выделению и оконтуриванию рудовмещающих сред. В работе будут рассмотрены вопросы возможности применения современных методов, техник и технологии геолого-геофизических исследований и адаптации их к заранее известным рудопроявлениям Казахстана.

**Цель исследований:** Методическое обоснование применения комплекса электроразведки и магниторазведки по современной технологии на объекте исследовани.

### **Основные задачи:**

- а) Сбор, обзор и анализ геолого-геофизических и других материалов по объекту исследования
- б) Проведение аналитических работ.
- в) Обработка и интерпретация полевых данных с применением современных программных обеспечений.

г) Составление выводов и рекомендации об использовании современной технологии комплексирования магниторазведки и электроразведки для рудопроявлений Шынгыс-Тарбагатайского тектонического района.

## АНДАТПА

Бұл зерттеуде зерттелетін аумақтың геологиялық және геофизикалық жағдайын кешенді талдауға назар аударылды. Тектоника, магматизм, стратиграфия және гравитациялық және магниттік ауытқулар карталары сияқты параметрлер жиналып, мұқият талданды. Бұл зерттелетін аймақтың құрылымы мен қасиеттері туралы құнды ақпарат алуға мүмкіндік берді.

Барлау жұмыстарын жүргізу үшін әртүрлі әдістер, соның ішінде магниттік және электрлік әдістер, сондай-ақ Enevisionip модификацияланған электрлік түсірудің жаңа техникасы қолданылды. Осы алуан түрлі әдістерді қолдану жер асты геологиялық құрылымы мен мүмкін кен түзілімдері туралы толық түсінік алуға мүмкіндік берді.

Магниттік зерттеу нәтижелерін талдау ақаулар аймақтары мен ықтимал пайдалы қазбалар кен орындарын анықтады. Сонымен қатар, электрлік түсірілімнен алынған деректерді интерпретациялау кен орындарын анықтауға және картаға түсіруге, сондай-ақ Ұңғымаларды жүргізу үшін болжамды нүктелерді бөлуге мүмкіндік берді.

Бұл зерттеу полиметалл кендерінің болуын көрсететін негізгі геологиялық және геофизикалық белгілерді анықтады. Мұндай деректер осы саладағы одан әрі іздеу және геологиялық жұмыстар үшін құнды болып табылады.

Бұл жоба зерттелетін аумақтың геологиялық құрылымы мен кенділік әлеуетін түсінуімізге елеулі үлес болып табылады және тау-кен өнеркәсібі саласындағы одан әрі зерттеулер мен әзірлемелер үшін негіз бола алады.

## **ABSTRACT**

In this study, attention was paid to a comprehensive analysis of the geological and geophysical condition of the studied territory. Parameters such as tectonics, magmatism, stratigraphy, as well as maps of gravitational and magnetic anomalies were collected and thoroughly analyzed. This allowed us to obtain valuable information about the structure and properties of the studied zone.

Various methods were used for exploration, including magnetic and electrical methods, as well as the new OreVisionIP modified electrical survey technique. The use of such a variety of methods allowed us to get a more complete picture of the underground geological structure and possible ore formations.

The analysis of the magnetic survey results revealed fault zones and potential mineral deposits. In addition, the interpretation of the data obtained from the electrical survey made it possible to determine the sections and make maps of the mineralization, as well as to identify the proposed points for wells.

This study revealed the main geological and geophysical signs that may indicate the presence of polymetallic mineralization. Such data are valuable for further prospecting and geological work in this area.

This project represents a significant contribution to our understanding of the geological structure and ore potential of the studied area, and can serve as a basis for further research and development in the mining industry..

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	10
1 Геологическая характеристика Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинорий и полиметаллического оруденения района	11
1.1 История геолого-геофизической изученности района исследования	11
1.2 Особенности геологического строения района: стратиграфия, тектоника, магматизм	13
2 Физико-геологические условия применения геофизических методов для выделения полиметаллических площадей	16
2.1 Физические основы магниторазведки и магнитные свойства горных пород	16
2.2 Физические основы электроразведки и электрические свойства горных пород	19
3 Методика и техника исследования полиметаллических площадей по данным магниторазведки и электроразведки	24
3.1 Магниторазведочная и электроразведочная аппаратура	24
3.2 Порядок проведения полевых геофизических наблюдений	29
3.3 Результаты обработки и интерпретации магнитных и электрических данных	31
Заключение	38
Приложение А	39
Приложение Б	41
Приложение В	42
Приложение Г	45
Приложение Д	48
Приложение Е	52
Приложение Ж	53
Приложение И	58
Список использованной литературы	63

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследований:** С появлением современных техник и технологии повышаются требования к результатам производственных и исследовательских работ по выделению и оконтуриванию рудовмещающих сред. В работе будут рассмотрены вопросы возможности применения современных методов, техник и технологии геолого-геофизических исследований и адаптации их к заранее известным рудопроявлениям Казахстана.

**Цель исследований:** Методическое обоснование применения комплекса электроразведки и магниторазведки по современной технологии на объекте исследования.

**Объект исследования:** Полиметаллические оруденения в северо-западной части Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория.

**Решаемые задачи:** Сбор, обзор и анализ геолого-геофизических и других материалов по объекту исследования

- а) Проведение аналитических работ.
- б) Обработка и интерпретация полевых данных с применением современных программных обеспечений.
- в) Составление выводов и рекомендации об использовании современной технологии комплексирования магниторазведки и электроразведки для рудопроявлений Шынгыс-Тарбагатайского тектонического района.

# 1 Геологическая характеристика Шынгыс-Тарбагатайского мегаантиклинория и полиметаллического оруденения района

## 1.1 История геолого-геофизической изученности района исследования

Геологический отвод "Кок-Тас", описываемый в структурном аспекте, представляет собой северо-западный сегмент структур Шынгыс-Тарбагатайского мегантиклинория, который расположен в системе палеозойского периода Центрального Казахстана (Рисунок 1). В геологическом составе данной области присутствуют морские отложения вулканогенного и терригенного характера, а также хемогенные (яшмоидные) осадки, которые сформировались в конце кембрийского и ордовикского периодов, а также молассовидные отложения силура. Образования вулканогенного характера нижнего-среднего девона присутствуют на небольшой площади. Красноцветные молассы среднего и верхнего девона характеризуются орогенной стадией развития палеозойского периода в этой области. Важным элементом в геологическом строении данной площади является наличие тектонических структур типа наложения, состоящих из терригенно-карбонатных отложений верхнего девона (фаменский ярус) и нижнего карбона (турнейский и визейский ярусы, содержащие уголь).



Рисунок 1. – Расположение района работ

Степень экспозиции горных пород в данном районе варьирует на различных участках, однако в основном она низкая. На сопках, имеющих высокую относительную высоту и оставшихся нетронутыми, обычно образуется

слой элювиально-делювиальных осадков, что значительно затрудняет изучение расположения и взаимосвязи различных пород. Большое количество обширных долин заполняется тонкими кайнозойскими отложениями неогенского и четвертичного возраста толщиной до 5–10 метров. Также встречаются островные песчаники палеогена.

Магматические интрузии не характерны для данного региона. Ближайшие крупные изученные интрузии гранитоидов относятся к позднему карбону и включают массивы Коктас на западе и Калмаккырган на юге. На самой площади исследования Коктас присутствуют дайковидные тела среднекембрийского возраста, состоящие из ультрамафитов и габброидов, а также небольшие гипабиссальные интрузии различного состава, включая среднекислые, среднесодержащие и основные породы. Каждое из этих тел обладает определенной металлогенной значимостью, так как в них присутствуют никеленосные выветрившиеся коры, потенциальные меднопорфировые залежи и проявления золота в виде кварцевых жил. Также отмечаются островные песчаники палеогена.

В данном регионе также характерны субвулканические тела различного состава, от кислого до основного, связанные с вулканизмом раннего кембрия, ордовика и раннего-среднего девона.

Основной геотектонический элемент на рассматриваемой территории является Алкамерген-Джиланбинский антиклинорий, включая Улькентуз-Коктасскую грабен-синклиналь и Каражирскую грабен-мульду, а также восточный выступ Кызыладырской горст-антиклинали. Направление пространственного развития данных структур свидетельствует о северо-западном ориентировании.

Разломная тектоника играет существенную роль в формировании геологического строения данного района, включая участок Кок-Тас. Особое влияние оказывает главный Шынгысский региональный разлом северо-западного направления, а также связанные с ним смещения, обрывы и сколы. Разломы являются основной причиной мозаичного строения территории, включая грабеновые и горстовые структуры, зоны сжатия и интенсивных сдвигов.

Физические свойства осадочных пород на данной территории проявляются через слабые магнитные поля и равномерные гравитационные поля. В то же время, интрузивные массивы, ореолы контактного метаморфизма и вулканогенные отложения более отчетливо выражены в физических полях. Проявления разломной тектоники, включая главный Шынгысский разлом, протекающий на западной части рассматриваемой территории, наблюдаются неоднозначно в физических полях. Результаты предыдущих исследований, проведенных с использованием метода электроразведки ВП-СГ, также указывают на ограниченную эффективность этого метода для определения рудоперспективных структур на исследуемой территории. В связи с этим,

планирование и выбор методики для проведения дальнейших геологических исследований требуют особого внимания и тщательного подхода.

## **1.2 Особенности геологического строения района: стратиграфия, тектоника, магматизм**

Компания получила площадь геологического отвода (участок Коктас) в Павлодарской области Республики Казахстан для разведки медьсодержащих руд. Общая площадь составляет 261,7 кв.км. На этой площади были обнаружены 4 рудопроявления (Коктас, Алкамерген, Каражира Южная I и II) и 18 точек минерализации, которые подлежат учету кадастром. В результате опережающих геофизических работ в масштабе 1:50000, проведенных в 1977–1980 годах, были выявлены также 26 аномалий через точечное опробование и опробование в горных выработках.

Все известные рудные проявления, включая данные о литохимических ореолах рассеяния и аномалий по электроразведке, были объединены в рудоперспективные зоны и площади ученым А.М. Бурлаковым и его коллегами в 1980 году. Семь из этих зон (Алкамергенская I, Коктасская IV, Южно-Коктасская V, Кызыладырская XI, Басмалайсорская XII, Западно-Каражирская XIII и Каражирско-Улькентузская XIV) частично расположены на площади участка проектируемых работ. Трое из этих рудоперспективных зон (I, IV, XI) были рекомендованы для проведения детальных исследований первой очереди, так как являются зонами высокой перспективности. Остальные четыре зоны (V, XII, XIII, XV) считаются менее перспективными и требуют проведения дополнительных геологических исследований.

### **Алкамергенская рудоперспективная зона.**

В данной группе рудопроявлений включены следующие: рудопроявление №5 (Алкамерген), рудопроявление №18 (Коктас 2) и позднее выявленное рудопроявление золота №21 (Северный). Кроме того, имеется ряд знаков проявлений меди, цинка, барита и золота.

Алкамерген (№5) - рудопроявление золота, расположенное на расстоянии 11,5 км к северо-западу от месторождения Кок-Тас. Оно было обнаружено в 1948 году С.М. Мурзалевым (ГОК "Майкаинзолото"). Проявление связано с кварц-баритовой жилой, находящейся у западного подножия одной сопки, состоящей из вторичных кварцитов с примесью железа. Массив вторичных кварцитов имеет размеры 850х(50-170-250)м и ориентирован в субширотном направлении, поперек генерального простирания структур. Исходные породы составляют вулканиты различного состава и залегают вместе с красноцветными терригенными отложениями нижнего силура и терригенной толщей верхнего ордовика. Этот блок тянется в узком виде на юго-востоке и заканчивается в районе рудопроявлений №18 (Коктас 2) и №21 (Северный). Отмечается интересное совпадение направления массива метасоматитов Алкамерген и

рудоносной зоны Сувенир-Александровская, которая содержит богатые месторождения колчеданного типа.

В пределах расстояния 9–10 км к юго-востоку от рудопроявления Алкамерген расположены рудопроявления под номерами №18 (Коктас II) и №21 (участок Северный). Эти проявления связаны общей геолого-структурной позицией: они находятся в небольших тектонических блоках, состоящих из вулканитов нижнего-среднего ордовика, которые в некоторых случаях превратились во вторичные кварциты с жилами и прожилками барита. Эти рудопроявления залегают среди красноцветных терригенных отложений нижнего силура и живетского яруса среднего девона.

Рудопроявление Коктас II (№18) было обнаружено в ходе геолого-структурных работ в 1949 году (Севрюгин и др., 1950 г.). Оно находится на расстоянии 6 км к западу-юго-западу от месторождения Коктас. В сильно измененных порфиритах, которые местами переходят во вторичные кварциты, отмечаются небольшие примеси медной зелени на площади размером 0,5x0,7 м. Позже в этом районе было обнаружено медное оруденение в кварц-баритовых прожилках среди красноцветных отложений силура. Были проколоты небольшие каналы и выполнены 2 скважины глубиной 67 и 73 метра. Однако рудные интервалы на этой глубине не были обнаружены (Топунов и др., 1960 г.).

Участок Северный (№ 21). В период с 1979 по 1984 годы в районе рудопроявления Коктас II было проведено интенсивное геологическое исследование в рамках работ ГДП-50. На площади размером 3,95x1,35 км были прокопаны 3 каналы и пробурены 49 малоглубинных скважин с интервалом 200 метров. Кроме того, составлена геологическая карта масштаба 1:5000 и проведено штучное опробование. В результате исследований были обнаружены три массива вторичных кварцитов и шесть зон баритизации, а также выявлены две кварцевые жилы. В южной и северной частях массивов метасоматитов, расположенных на расстоянии 1,9 км друг от друга, были обнаружены высокие концентрации золота в штучных пробах. На основе этих результатов рудопроявление №21 (участок Северный) было признано перспективным для дальнейших поисковых работ. Площадь участка составляет примерно 3,5x0,4-0,7 км и ориентирована вдоль рудоносных структур, аналогичных тем, которые наблюдаются в рудопроявлении Алкамерген.

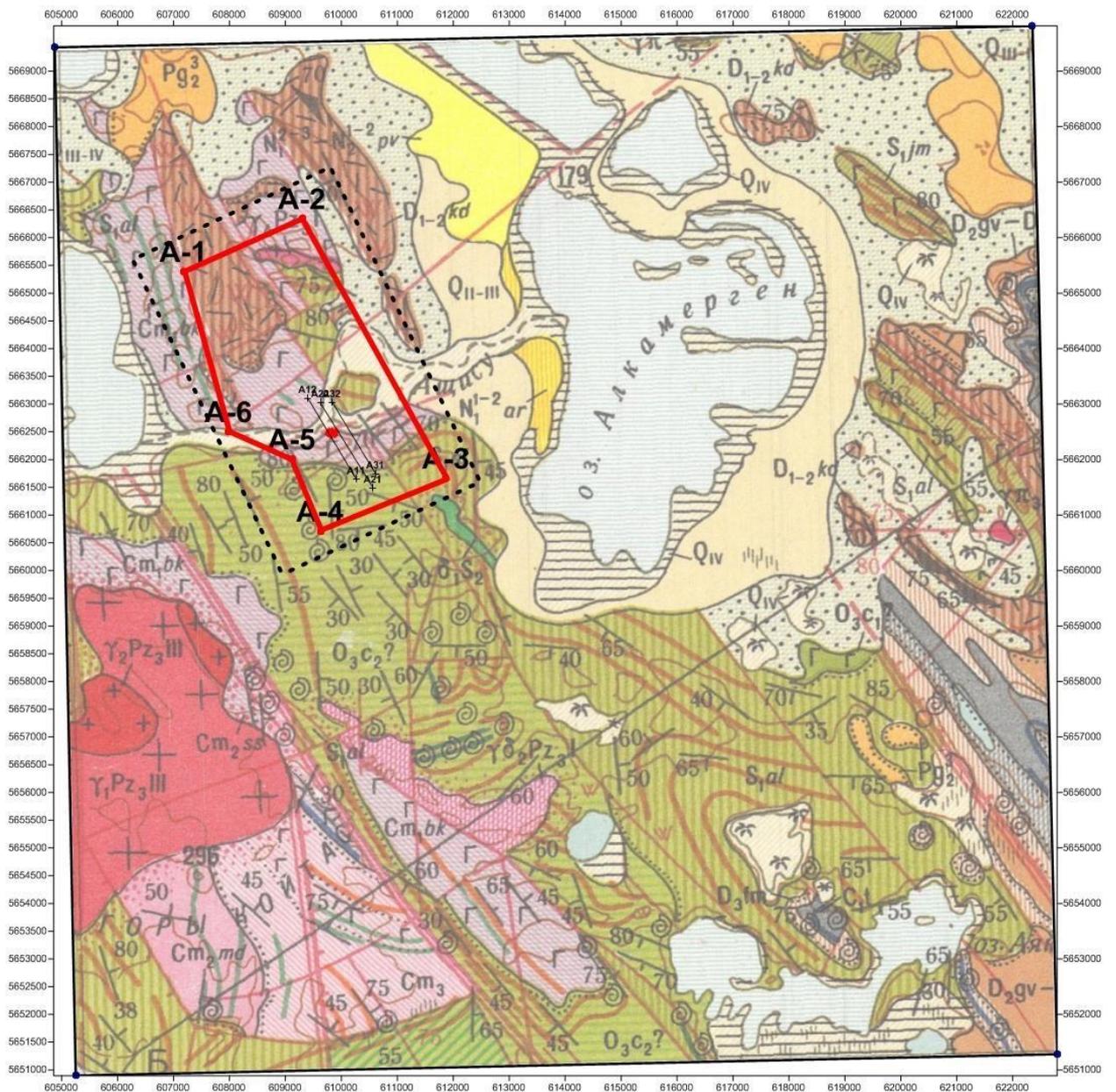


Рисунок 2 – Геологическая карта участка работ и расположение электроразведочных профилей

## 2 Физико-геологические условия применения геофизических методов для выделения полиметаллических площадей

### 2.1 Физические основы магниторазведки

**Напряженность магнитного поля**  $H$  – это векторная физическая величина, являющаяся количественной характеристикой магнитного поля, показывающая силу, с которой поле действует на единичную массу, точнее силу, с которой поле действует на точечную массу, отнесенную к единице этой массы. Напряжённость магнитного поля не зависит от магнитных свойств среды. Единицей напряжённости магнитного поля в СИ является ампер/метр (А/м), в системе единиц СГС – эрстед (Э);  $1 \text{ а/м} = 4\pi \times 10^{-3} \text{ Э}$ .

$$\vec{H} = \frac{\mu_0 \cdot m_1 \cdot m_2}{4\pi \cdot r_{12}^3} \cdot \vec{L}_{12} = \frac{\mu_0 \cdot m_2}{4\pi} \cdot \frac{\vec{L}_{12}}{L_{12}^3} \quad (1)$$

**Магнитная индукция**  $B$  показывает напряженность суммарного поля, то есть сумму напряженностей намагничивающего и внутреннего поля, возникающего внутри намагниченного тела под действием намагничивающего поля. Единица измерения – тесла (Тл), которая численно равна индукции такого однородного магнитного поля, в котором на 1 метр длины прямого проводника, перпендикулярного вектору магнитной индукции, с током силой 1 ампер действует сила 1 ньютон. Единица названа в честь изобретателя Николы Тесла. Магнитная индукция для поля в вакууме:

$$B = \mu_0 \cdot H \quad (2)$$

Магнитное поле в магнитной среде, обладающей остаточной намагниченностью определяется выражением:

$$B = \mu_0(H + J^{\Sigma}) = \mu_0(H + J^{\text{инд}} + J^{\text{ост}}) = \mu_0(H + \chi H + J^{\text{ост}}) = \mu_0(H(1 + \chi) + J^{\text{ост}}) = \mu_0(\mu H + J^{\text{ост}}) = \mu_0(\mu H + J^{\text{ост}}) = \mu_0\mu H + \mu_0 J^{\text{ост}} \quad (3)$$

То есть в общем виде имеем

$$B = \mu_0\mu H + \mu_0 J^{\text{ост}} \quad (4)$$

но если остаточной намагниченности нет, получаем:

$$B = \mu_0\mu\vec{H} + \mu_a\vec{H} \quad (5)$$

где  $B$  – индукция магнитного поля, в нанотеслах (нТл),  $H$  – напряженность магнитного поля,  $\mu_a$  – абсолютная магнитная проницаемость,  $\mu_0$  – магнитная постоянная (магнитная постоянная вакуума),  $\chi$  – магнитная восприимчивость (ед. СИ).  $J_{ост}$  остаточная намагниченность среды,  $J_{инд}$  – индуктивная намагниченность в амперах на метр А/м.

**Магнитный момент  $\vec{M}$**  – основная величина, характеризующая магнитные свойства вещества. В классической электродинамике магнитный момент может быть лишь результатом движения электрических зарядов по замкнутым траекториям. Так для замкнутого контура с эклектическим током

$$\vec{M} = IS\vec{n}, \quad (5)$$

где  $I$  – сила тока,  $S$  – площадь контура,  $\vec{n}$  – нормаль к плоскости контура. Магнитным моментом обладают также и элементарные заряженные частицы. Наличие магнитного момента у заряженных частиц связано со спином и рассматривается как первоначальное свойство.

**Намагниченность  $J$**  – магнитный момент единицы объема намагниченного вещества горных пород бывает двух видов: индуктивная и остаточная. Индуктивная намагниченность  $J_i$  возникает в породе под действием внешнего магнитного поля, и связана с ним соотношением:

$$J^{инд} = \chi H, \quad (6)$$

а компоненты  $J_z = \frac{\chi Z}{\mu_0}$  и  $J_H = \frac{\chi H}{\mu_0}$ , где  $T$  – полный вектор нормального магнитного поля Земли,  $Z$  – его вертикальная составляющая,  $H$  – горизонтальная. Без внешнего магнитного поля  $J_i$  не существует.

Другой вид намагниченности – остаточная  $J_n$  ( $J_r$ ) характерен только для ферромагнитных пород и минералов, и присутствует в них независимо от внешнего магнитного поля, в том числе и современного. Этот вид намагниченности будет рассмотрен отдельно. Порядок минимальной намагниченности горных пород –  $10^{-3}$  А/м. Между магнитным моментом и намагниченностью существует следующая связь:

$$\vec{M} = \vec{j} \cdot V \quad (7)$$

где  $V$  – объем магнетика. Единицей измерения магнитного момента является ампер·метр<sup>2</sup> (А·м<sup>2</sup>).

Если тело намагничено однородно, то магнитные массы располагаются на его поверхности с плотностью

$$\sigma = J \cos \varphi \quad (8)$$

где  $\sigma$  – магнитная масса, проходящая на единицу поверхности,  $\varphi$  – угол между вектором намагниченности и нормалью на поверхности в точке, где определяется  $\sigma$ . Если тело намагничено по нормали к поверхности  $\sigma = J$ .

**Магнитная восприимчивость  $\chi$**  – величина, характеризующая свойство вещества намагничиваться (изменять свой магнитный момент) под действием внешнего магнитного поля, равная отношению намагниченности к напряженности магнитного поля  $H$ .

$$\chi = \frac{\vec{J}}{\vec{H}} \quad (9)$$

Такая линейная зависимость справедлива для парамагнетиков, для ферромагнетиков применяют ту же форму записи, однако их  $\chi$  зависит от внешнего поля более сложным образом.

Магнитная восприимчивость является безразмерной величиной, но в системах СИ и СГС она имеет разную размерность, поэтому рядом со значениями  $\chi$  всегда указывают системные единицы, например  $\chi = 250 \cdot 10^{-5}$  ед. СИ.

$$\chi [\text{ед. СИ}] = 4\pi \cdot \chi [\text{ед. СГС}].$$

Магнитная восприимчивость связана и с относительной магнитной проницаемостью зависимостью

$$\mu = (1 + \chi). \quad (10)$$

Иногда используется удельная магнитная восприимчивость, которая показывает магнитную восприимчивость единицы массы с плотностью  $\sigma$ :

$$\chi_{\text{уд}} = \frac{\chi}{\sigma}. \quad (11) [1]$$

В Шынгыс-Тарбагатайском мегаантиклинории широко развиты эффузивно-осадочные отложения виле — намюра. Для обеих структур характерна повышенная магнитная восприимчивость, но низкая плотность

(таблица 1). Такая же закономерность в распределении физических свойств наблюдается и на территории Джунгаро-Балхашской складчатой системы [2].

Таблица 1 – Физические свойства горных пород Джунгаро-Балхашской складчатой системы [2]

Порода	Возраст	$\chi \cdot 10^{-5}$ СГС
Глины, пески, песчаники, конгломераты	Cr – Q	0
Глины, конгломераты, пески, песчаники	J	0
Порфириты и туфы андезитового и базальтового состава	P <sub>2</sub>	100
Песчаники, конгломераты, туффиты, аргиллиты	P <sub>1</sub>	96
Песчаники, конгломераты, туффиты, аргиллиты с прослоями базальтовых и дацитовых порфиритов и туфов смешанного состава	C <sub>2-3</sub>	100
Порфириты, лавобрекчии, туфы базальтового и андезитового состава	C <sub>2</sub>	350
Кварцевые порфиры	C <sub>1</sub> n <sub>2</sub>	330
Туффиты с прослоями известняков, ангидритов и вулканогенно-осадочных пород	C <sub>1</sub> n <sub>1</sub>	720
Известняки с прослоями андезитовых туфов и порфиров, туффитов и песчаников	C <sub>1</sub> v <sub>3</sub> – n	>100
Андезитовые порфириты и их туфы агломератовые	C <sub>1</sub> v <sub>2</sub>	До 1200
Глинистые, углисто-глинистые сланцы с прослоями известняков	C <sub>1</sub> t – v	0
Вулканогенные осадочные породы	S – D	–
Габбро-диориты	S – D	600
Гранит-порфиры	S – D	30

## 2.2 Физические основы электроразведки

Электрическая разведка или просто электроразведка — это большая группа геофизических методов, изучающих электромагнитные поля различной природы. Целью этих исследований является определение электромагнитных характеристик геологической среды (сопротивление, проводимость, поляризуемость и т.д.), зная которые можно получить ценную информацию о строении изучаемого участка или района. По виду электромагнитных полей электроразведку можно разделить на два отдела: первый – объединяет методы, исследующие естественные, второй – искусственные электромагнитные поля [3].

В основе теории электроразведки лежат уравнения Максвелла, являющиеся постулатами макроскопической электродинамики. Они включают в себя все основные законы электромагнетизма (законы Ома, Ампера, Кирхгофа и др.) и описывают поля в разных средах. Из уравнений Максвелла получается дифференциальное уравнение, решая которое можно получить электрическую (E) компоненту поля в средах вдали от источника с электромагнитными параметрами  $\rho$ ,  $\varepsilon$ ,  $\mu$ :

$$\Delta E = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial E}{\partial t} + \varepsilon \mu \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \Delta E = \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} \quad (12)$$

Учитывая, что для большинства горных пород  $\mu = 1$ ,  $\sigma = 1/\rho$  и для низких частот ( $f < 10^3$  Гц)  $dE/dt \approx \text{const}$  можно записать  $\Delta E = \sigma E + \varepsilon(dE/dt)$ , т. е. напряженность поля определяется плотностями токов смещения и токов проводимости (для гармонических колебаний):

$$i_{\text{пр}} = \sigma E = \frac{1}{\rho} E \quad (13)$$

$$i_{\text{см}} = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} = i\omega\varepsilon E \quad (14)$$

При наличии информации о геоэлектрическом разрезе возможно решение прямых задач электроразведки с помощью уравнений Максвелла. В результате можно получить аналитические или численные значения электрического поля (E), соответствующие заданному геоэлектрическому разрезу. В теории электроразведки прямые задачи решаются для различных физико-геологических моделей (ФГМ) среды. ФГМ представляют собой абстрактные геоэлектрические разрезы с простой геометрической формой, которыми приближаются реальные геолого-геофизические разрезы. Решение прямых задач осложняется выбором моделей, которые были бы близки к реальным, но в то же время позволяли получить хотя бы приближенное решение для E, используя выбранный тип первичного поля. Для этого применяется математическое моделирование с применением современных вычислительных систем. Примером простой модели является сфера в однородной полупространстве с различными значениями плотности ( $\rho$ ), магнитной проницаемости ( $\mu$ ) и электрической проницаемости ( $\varepsilon$ ) [4].

Электрическая разведка или просто электроразведка – это большая группа геофизических методов, изучающих электромагнитные поля различной природы. Целью этих исследований является определение электромагнитных характеристик геологической среды (сопротивление, проводимость, поляризуемость и т. д.), зная которые можно получить ценную информацию о строении изучаемого участка или района. По виду электромагнитных полей электроразведку можно разделить на два отдела: первый – объединяет методы, исследующие естественные, второй – искусственные электромагнитные поля.

Теория электроразведки базируется на системе уравнений электродинамики - уравнениях Максвелла. Эти уравнения для любой точки пространства вне сторонних источников поля записываются в виде:

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{div} \vec{D} = q \end{cases} \quad (15)$$

Здесь  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  – векторы напряженности электрического и магнитного полей,  $\vec{B}$  и  $\vec{D}$  – векторы электрической и магнитной индукции,  $\vec{j}$  – вектор плотности тока проводимости,  $q$  – плотность электрических зарядов.

Уравнения Максвелла дополняются уравнениями связи:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}; \quad \vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}; \quad \vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (16)$$

где  $\sigma$ ,  $\varepsilon$  и  $\mu$  – электромагнитные свойства среды: электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости. Отметим, что первое уравнение связи представляет собой закон Ома в дифференциальной форме.

Первое уравнение Максвелла представляет собой дифференциальное выражение закона полного тока, согласно которому циркуляция магнитного поля по замкнутому контуру равна полному току в нем. Оно указывает, что магнитное поле порождается как токами проводимости (первое слагаемое в правой части уравнения), так и токами смещения (второе слагаемое). Причем токи проводимости – это движение зарядов, а токи смещения – скорость изменения электрической индукции.

Второе уравнение есть дифференциальное выражение закона электромагнитной индукции, согласно которому изменение магнитной индукции возбуждает вихревое электрическое поле. Таким образом, переменное магнитное поле порождает переменное электрическое, постоянное же магнитное поле не создает электрическое поле.

Третье уравнение указывает, что в природе магнитных зарядов не существует, и силовые линии поля магнитной индукции замкнуты.

Четвертое уравнение говорит, что источниками поля электрической индукции являются электрические заряды. Изолинии поля электрической индукции начинаются на этих зарядах и непрерывны в них [5].

Исследуемый район хорошо дифференцируется в электрическом сопротивлении. Сопротивление рыхлых отложений четвертичного периода изменяются в диапазоне от 4–40 Ом·м. Для пород палеозоя  $\rho$  растет до 300–600 Ом·м.

Поляризуемость характеризует относительную интенсивность вторичного поля ВП в единице объема вещества. Она является безразмерной величиной и определяется отношением вторичного поля  $E_{ВП}$  к суммарному полю  $E$ . В общем случае для любого момента времени это отношение имеет вид:

$$\eta(t) = \frac{E_{ВП}(t)}{E} = E_{ВП}(t)/[E_0 + E_{ВП}(0)]$$

где  $E_0$  – напряженность первичного поля, возникающего в момент включения тока;  $E_{ВП}(0)$  – напряженность поля ВП в конце тока зарядки ( $t=0$ );  $E_{ВП}(t)$  – напряженность поля ВП в момент измерений  $t$  после выключения тока.

Вторичное поле  $E_{ВП}$  противодействует суммарному полю  $E$ , в результате чего создается эффект увеличения УЭС при ихмерении на постоянном или низкочастотном переменном токе. Количественно этот эффект можно оценить на основе формального рассмотрения закона Ома:

$$\vec{j} = \frac{1}{\rho_0(E - E_{ВП})} = \frac{1}{\rho_0(1 - \eta)} E = \frac{1E}{\rho}$$

где  $\rho$  – эффективное УЭС среды [6].

Таблица 2 – Сводная таблица поляризуемостей пород и руд (по В. А. Комарову) [6].

Типы горных пород и руд	Поляризуемость, %
Пески, глины, суглинки	0,5 – 1
Доломиты	0,5 – 2
Известняки	0,75 – 3
Глинистые сланцы,песчаники	0,6 – 2,3
Базальты	0,7 – 2,2
Граниты и диориты	0,9 – 1,8
Кварцевые порфиры и их туфы	0,7 – 3,6
Графитизированные сланцы	1,5 – 5,9
Углистые известняки	1,3 – 12
Скарны	1,9 – 5
Руды	19 – 50
Окисленные руды	0,9

Поляризуемость горных пород зависит от физических свойств твердой фазы, степени пористости и проницаемости, а также структуры поровых каналов. Влажность, минерализация поровой влаги и другие факторы также оказывают влияние. Электропроводящие породы, которые обладают высокой поляризуемостью (10-50%), преобладают в условиях низкой влажности и слабой

минерализации подземных вод. Эта категория включает в себя медно-колчеданные и полиметаллические руды, а также сланцы и известняки (см. таблицу 2). Поляризационные свойства этих пород обусловлены в основном электролитическими процессами, эффектами электролиза и изменением потенциала электрического слоя. [6].

### **3 Методика и техника исследования полиметаллических площадей по данным магниторазведки и электроразведки**

#### **3.1 Магниторазведочная и электроразведочная аппаратура**

Магнитометр GSM-19 v7.0.

Сбор магнитных данных на участке выполнен с использованием магнитометра на эффекте Оверхаузера GSM-19 v7.0 (рисунок 3).

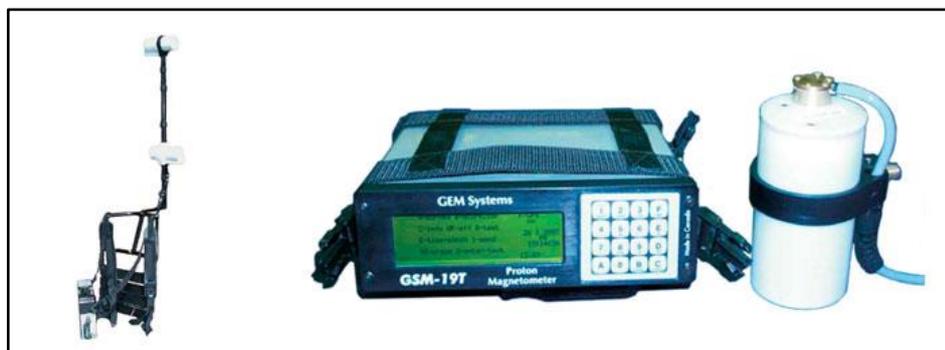


Рисунок 3 – Магнитометр GSM-19W

Магнитометр GSM-19 v7.0 — это прибор, обладающий высоким качеством обработки данных, эффективностью проведения исследований и возможностью подключения дополнительных опций. Новая усовершенствованная модель прибора v7.0 обеспечивает:

- Экспорт данных в двухмерный и трехмерный форматы, для совместимости с программным обеспечением от других производителей;
- Возможность внесения меток в регистрируемую информацию в процессе исследования;
- Программируемый формат экспорта данных для контроля результатов;
- Высокую точность работы GPS:
  - До 1,5 м при поддержке WAAS/EGNOS;
  - До 0,8 м при поддержке системы OmniStar;
  - Возможность использования моделей с несколькими датчиками для получения высокоточных результатов исследований в трехмерном изображении.

Модель GSM-19 v7.0 сочетает в себе качество обработки данных, высокую эффективность работы и уникальную конструкцию системы, позволяющую совмещать дополнительные функциональные возможности, что сильно отличает прибор от других квантовых магнитометров.

Принципом работы магнитометра на эффекте Оверхаузера является прецессия протона в магнитном поле. При этом, прибор обладает очень высокой чувствительностью. Кроме того, квантовый магнитометр на эффекте

Оверхаузера имеет высокую абсолютную точность, быструю скорость регистрации данных (до 5 измерений в секунду) и низкое энергопотребление.

По сравнению с протонно-прецессионными методами, возбуждение прецессии под воздействием высокой частоты позволяет свести к абсолютному минимуму энергопотребление и подавить шум (т.к. частота возбуждения находится далеко за пределами полосы пропускания сигнала прецессии).

Основные технические характеристики магнитометра GSM-19W представлены в таблице 2.

Таблица 3 – Технические характеристики магнитометра GSM-19W

Характеристика	Значение
Разрешение	0,01 нТ
Относительная чувствительность	0,022 нТ/корень Гц
Абсолютная погрешность	+/- 0,1 нТ
Диапазон	10 000 до 120 000 нТ
Допуск на градиент	Более 10 000 нТл/м
Период измерений	60+; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,2 сек.
Рабочая температура	От - 40 до + 55°C
Объем памяти	32 Мб
Общий вес	3,1 кг

Электроразведочная аппаратура.

Elresco Pro - это 10-канальный приемник индуцированной поляризации (IP) и сопротивления, разработанный для повышения эффективности при регистрации глубоких профилей и зондирования. В дополнение к обычным арифметическому и логарифмическому режимам, он имеет режим "вызов-вызов" и 20 программируемых окон для более гибкого определения кривой затухания ER. Мастер настройки проводит оператора через каждый параметр, чтобы убедиться, что прибор настроен правильно.

Также имеется встроенный инструмент QC, позволяющий операторам просматривать результаты измерений во время сбора данных, а кривая затухания ER может отображаться в режиме реального времени.

Elresc Pro разработан для использования с мощными передатчиками серий TPIX и VIP; Elresc автоматически синхронизируется с передаваемым сигналом посредством процесса распознавания формы волны (повторная синхронизация с каждым новым импульсом), обеспечивая высокую повторяемость измерений.

Для больших 2D и 3D съемок Elresc можно использовать в сочетании с коробкой Switch Pro box(es) для увеличения разброса до 96 электродов. При работе системы таким образом сложные измерительные последовательности могут быть спроектированы и загружены в систему с помощью программного обеспечения Electre II или Electre Pro (рисунок 4).



Рисунок 4 – Приемник «ElrecPRO»

Для проведения съемки «OreVision» был использован коммутатор «SwitchPRO 240» от IRIS Instruments.

Удлинительная коммутационная коробка для блоков SYSCAL PRO и ELREC PRO

Возможность привода от 24 до 192 электродов

Предназначен для расширенных 2D или 3D массивов

Нумерация электродов производится автоматически из устройства; две кнопки позволяют выбрать первый номер используемого электрода, чтобы сделать его совместимым с вашим коммутатором SYSCAL Pro и другими коробками SWITCH Pro; Устройство имеет собственный экран, позволяющий видеть номер используемых в данный момент электродов вместе с уровнем заряда батареи.

Несколько коробок SWITCH Pro (рисунок 5) могут быть соединены вместе для больших 2D или 3D приобретений (до 192 электродов может быть переключено на один блок SWITCH Pro с максимальным количеством 2000 электродов для всей системы).



Рисунок 5 – Коммутатор «SwitchPRO 240»

Методы вызванной поляризации применяются для поисков:

- Рассеянные сульфиды (менее 0.5%), которые могут быть связаны с золотом, серебром, медью, молибденом и пр.
- Полу массивные до массивных, непроводящие кластеры (богатые сфалеритом, окварцованные или электрически не связанные).
- Массивные кластеры, которые не очень хорошо выделяются в ЭМ полях (вертикальный цилиндр или кластер малого объема).

Ток, используемый при выполнении ВП метода может рассеиваться в зависимости от геологических особенностей строения участка работ при выполнении традиционных ВП методов. Например, более высокие показания от проводящего поверхностного слоя могут экранировать более слабые аномалии, которые находятся на глубине.

Метод OreVision имеет ряд преимуществ перед традиционными методами ВП (приложение А, рис. А.1-А.2):

- Увеличенное проникновение метода при наличии проводящего верхнего слоя;
- Глубина исследования в 2-4 раза выше;
- Улучшенное разрешение близ поверхности;
- Улучшенное выделение границ вертикальных тел.

Традиционный метод ВП позволяет выделить верхнюю границу тела на глубине 50 м. Метод OreVision® позволяет выделить все границы тела без ущерба разрешающей способности (приложение А, рис. А.3).

- Определение нескольких объектов, перекрывающих друг друга;
- Большое количество измеряющих электродов позволяет покрыть большую территорию;
- 3D инверсия данных позволяет задать более точные координаты для бурения скважин.

OreVision может определить рудные тела на большой глубине, либо перекрываемое другим телом. Это улучшение было достигнуто благодаря следующим техническим особенностям:

Эффективности увеличения количества «п» от расстояния между «а» для более глубокого изучения (приложение А, рис. А.4). Для объекта, залегающего на глубине 200 м, на рисунке сверху можно наблюдать неэффективность расстояния «а» = 200 м. На рисунке в центре можно увидеть очень слабый отклик на уровне шумов при расстоянии «а» = 100 м. На рисунке внизу показан тот же объект, который легко выделяется при расстоянии «а» = 25 м.

Топографические работы на участке проводились с целью обеспечения привязки и пикетирования последующих электроразведочных работ. Для этого применялся спутниковый навигационный комплекс GPS/GNSS Leica GS16, работающий по технологии RTKPlus (рисунок 6).



Рисунок 6 – Система Rover GPS/GNSS Leica в сборе

Комплект аппаратуры приобретен в июне 2019 года в компании Leica GeoSystem Kazakhstan, где в сервисном центре были проведены три уровня поверки аппаратурного комплекса. Результат поверки соответствует государственным стандартам РК и всем техническим требованиям завода-изготовителя с гарантией качества.

Топографические работы проводились следующим образом:

Предварительно, перед началом работ оператор заносил в память прибора проектные точки на профиле (каталог проектных точек был заранее подготовлен).

По прибытии на участок работ, оператор 15-20 минут проводил настройку прибора, где фиксировал на контроллере обнаружение навигационных спутников (минимум 13, обычно 16-17). Далее по координатам находил первую точку профиля, записывал в память прибора, устанавливал пикет (с номером профиля и пикетажа) и продолжал движение по продолжению профиля (с записью в память прибора координат (X, Y, Z) на каждом пикете), одновременно помощник оператора устанавливал пикеты (с нумерацией) через каждые 100м. Съём координат в память прибора осуществлялся при достижении инструментальной погрешности 10-20 см, от положения проектных.

На базе полевого отряда проводилась процедура скачивания измеренных данных с внутренней памяти контроллера на персональный компьютер, далее оператором составлялся каталог координат профилей.

### **3.2 Порядок проведения полевых геофизических наблюдений**

Перед началом геофизического исследования полевой оператор установил сваи на выявленных профилях с помощью устройства GPS. Расстояние между сваями составляло 100 м, а координаты измерялись с точностью 10-20 см в соответствии с проектными значениями.

Электрическая съёмка проводилась вдоль четырех профилей с использованием метода OreVision IP, который улучшает разрешение и измерение глубины за счет увеличения количества приемных электродов и уменьшения расстояния между электродами. При использовании OreVision в данном проекте расстояние между приемниками увеличилось до 37,5 метров, а количество электродов - до 30. Это позволило увеличить глубину инверсии 2D-модели до 450 м от поверхности.

Работы по магнитной съёмке проводились поверхностными методами. Проектная документация включает 11 профилей, проходящих с северо-запада на юго-восток (Приложение Е). Навигация осуществлялась по заранее заданному маршруту с автоматической записью данных в память магнитометра. В обычном режиме съёмки цикл измерения магнитного поля составлял 0,2 секунды.

В районе съёмки была установлена базовая магнитно-диссипативная станция для получения исходных данных о суточных геомагнитных вариациях.

Регистрация геомагнитных вариаций осуществлялась с помощью магнитометра Overhauser GSM-19 v7.0. Станции геомагнитного обмена были расположены вблизи района исследования. Частота геомагнитных записей составляла 0,5 Гц. Геомагнитные изменения регистрировались с шагом в 2

секунды в течение всего периода исследований. Данные со станций магнитной вариации ежедневно передавались на компьютер и анализировались на предмет полноты и качества геомагнитной записи.

Все магнитометры, используемые в плановой съемке, были синхронизированы по времени. Измеренные и синхронизированные по времени значения магнитного поля соответствующих профильных и магнитовариационных станций хранились во внутренней памяти магнитометров и автоматически считывались в память процессорного компьютера через соответствующий порт в конце дня.

### **3.3 Результаты обработки и интерпретации электрических и магнитных данных**

В ходе исследования OreVision были успешно отображены удельное сопротивление и поляризация пласта.

Контроль качества (КК) собранных данных OreVision подтвердил 97% точность записанных измерений. Проверенные данные были подвергнуты 3D-инверсии с использованием платформы Geosoft DC-ВП VOXI. Алгоритм VOXI DC-ВП выполняет две задачи инверсии. Во-первых, он инвертирует постоянный ток для реконструкции пространственного распределения электрического сопротивления, а во-вторых, он инвертирует данные поляризации для реконструкции пространственного распределения поляризуемого материала. Целью процесса инверсии является преобразование измерений поляризации и удельного сопротивления в реалистичную модель земли, которая более точно характеризует местоположение, геометрию и физические параметры проводящих, резистивных и поляризуемых источников. На основе этих полученных моделей земли были созданы вертикальные сечения.

По результатам работ построены и созданы:

1. Разрезы поляризуемости, сопротивления и индекса золота (Приложение В.).
2. Построены глубинные уровни по каждому параметру: 200м, 180м 150м, 100м, 50м и 0м (абсолютные высоты).
3. На карты глубинных уровней вынесены результаты геологических изысканий и ранее проведенных буровых работ: канавы и скважины.
4. Построены 3D модели по каждому параметру.
5. Рекомендованы к бурению 6 скважин (параметры скважин указаны в таблице ниже).

Таблица 4 – Рекомендованные скважины к бурению

Профиль	Скважина	Пикет	глубина	угол	X-UTM	y-UTM
350	GF6	-150	200	60	xxxxxx	уууууу
350	GF5	-300	200	60	xxxxxx	уууууу
175	GF4	-75	170	60	xxxxxx	уууууу
175	GF3	-375	200	60	xxxxxx	уууууу
0	GF2	225	170	60	xxxxxx	уууууу
0	GF1	-75	200	60	xxxxxx	уууууу

Результаты электроразведки выявили три аномальные зоны, основанные на параметрах GoldIndex и высокой поляризации (Приложение Г, Д):

Зона 1 расположена на профилях 0 и 175. Эта зона характеризуется умеренными значениями GoldIndex и высокими значениями поляризации. Основное геологическое бурение в прошлом было сосредоточено в этой зоне.

Зона 2 расположена в центре участка и показывает максимальные значения GoldIndex и EP на профиле 175 и продолжается до профиля 0 (ПК -200 -75). В этой зоне рекомендуется геотехническое бурение для изучения природы аномалий электроразведки.

3. Зона 3 расположена в юго-восточной части участка исследования, на профиле 350. После геологических исследований (проходка траншей и бурение) рекомендуется продолжить геофизические исследования в восточном направлении, если результаты окажутся положительными.

В юго-восточной части участка работ выявлены зоны с высокими значениями удельного сопротивления (более 200 Ом), что обусловлено изменением состава горных пород в этом районе. Аномалии поляризуемости и GoldIndex находятся на периферии высоких значений УЭС.

Высокие параметры GoldIndex и ВП (индуцированная поляризация) обусловлены присутствием сульфидных минералов (пирит и пирротин) в геологических породах этого участка.

Расчеты инверсии были выполнены для всех разведочных профилей 0, 175 и 350 для получения поперечных сечений, содержащих предлагаемые буровые скважины (Приложение В, рисунки В.1 – В.3).

### **Результаты магниторазведочных работ**

Обработка данных съемки выполнена в два этапа. Непосредственно в полевых условиях проводилась предварительная (полевая) 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.

Данные магнитного поля, навигационные данные, спутниковое время и другие параметры процесса съемки записывались на внутренней памяти магнитометра и по завершении работ ежедневно передавались для приемки, контроля и последующей обработки на базовый обрабатывающий компьютер в месте базирования

Оперативная полевая обработка данных осуществлялась в процессе съемки ежедневно и включала в себя:

- Ввод в память компьютера полевого обрабатывающего комплекса данных с магнитометра и вариационной станции;
- Анализ полноты и качества полевых материалов съемки;
- Ввод информации в соответствующие базы данных системы Geosoft Oasis Montaj;
- Проверку качества геофизических материалов съемки;
- Визуальный анализ и редактирование исходных данных (удаление единичных отскоков – нелинейная фильтрация, интерполяция и т.п.);
- Визуальный анализ и коррекция магнитовариационных данных;
- Исключение суточных геомагнитных вариаций
- Проверку качества материалов съемки;
- Взаимную увязку профилей методом статистического уравнивания с трендом нулевого порядка. Остаточная «профильность» (как правило, меньше заданной точности съемки) ликвидировалась с помощью процедуры «микроуравнивание» (microlevelling) программы Oasis Montaj;
- Обработка материалов съемки и построение карт магнитного поля;
- Создание электронного архива полевых данных.

Блок-схема обработки магнитометрических данных показана на рисунке 7.

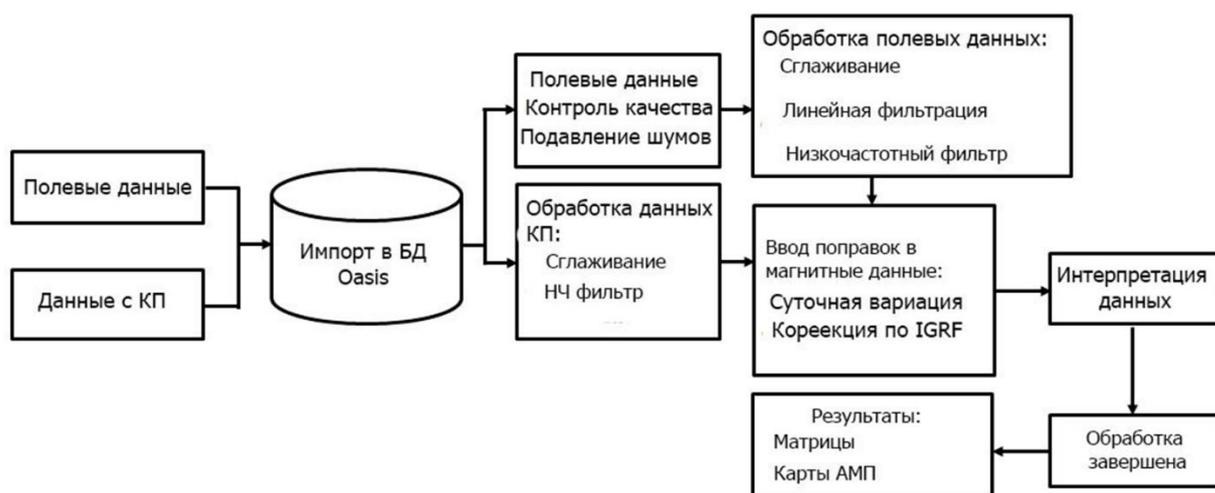


Рисунок 7 – Блок-схема обработки данных магнитометрии

Оперативная оценка качества съемки проводилась ежедневно по результатам контрольного пункта. После завершения полевых работ материалы наземной магнитной съемки переданы в офис для окончательной камеральной обработки и составления карт.

Окончательная камеральная обработка материалов магнитной съемки включала в себя следующие процедуры:

- Фильтрация и корректировка данных магнитометрии путем вычитания искажающего влияния техногенных помех, построение карт графиков высоко частотной компоненты магнитного поля;
- Формирование базы магнитовариационных данных, сопоставление с ближайшими обсерваториями, ввод поправок за вариации геомагнитного поля земли;
- Вычисление нормального магнитного поля, вычисление аномального магнитного поля;
- Вычисление матрицы аномального магнитного поля и его наиболее информативных трансформант. Матрицы построены с использованием алгоритма «Минимальная кривизна», размер ячейки 25×25 м.

При вычислении аномального магнитного поля использовалась международная аналитическая модель IGRF в качестве нормального магнитного поля Земли. После обработки данных была создана финальная база магнитометрических данных, по которой были вычислены сетки аномального магнитного поля и его градиентных характеристик для исследуемого участка. Результирующая карта аномального магнитного поля была построена в масштабе 1:50 000.

В первую очередь, аномальное поле было редуцировано к полюсу для исключения влияния косой намагниченности. Это означает, что

намагниченность источников аномалий была приведена к вертикальной плоскости. При этом, аномалии в плане точно отображают места реального расположения возмущающих источников.

Для устранения влияния регионального фона, связанного с глубинными источниками, выполнялась процедура аналитического продолжения магнитного поля в верхнее полупространство на высоту 100 метров и 200 метров. Это позволило выделить региональную компоненту поля, при этом сохранялась возможность проведения дальнейших количественных расчетов. Для выделения локальной составляющей магнитного поля, связанной с малоглубинными объектами, результат продолжения вверх вычитался из исходного поля. Разность между ними представляет собой искомую локальную составляющую, что позволяет более ясно выявить и проследить геологические границы и объекты с повышенными или пониженными магнитными характеристиками.

Затем, рассчитывается горизонтальный градиент  $dX$  аномального магнитного поля. Расчет производится в площадном варианте в направлении профиля и в перпендикулярном направлении

Вертикальная производная магнитного поля (первого порядка) и анализируемый сигнал рассчитываются для разделения высокочастотных составляющих магнитного поля. Горизонтальный градиент ( $dX$ ) характеризует скорость изменения магнитной индукции в горизонтальном направлении и широко используется как качественно, так и количественно при интерпретации магнитных аномалий. В результате поле горизонтального градиента практически не отражает влияние глубоко залегающих объектов, устраняя линейный зональный фон и приближая контур аномалии к контуру объекта. В этом случае локальные аномалии на диаграмме горизонтального градиента выделяются двумя полярными значениями, соответствующими интервалам резкого увеличения и уменьшения магнитной индукции. Когда градиент рассчитывается по исходным данным, симметричная форма аномалии искажается, но общая тенденция и амплитуда магнитного поля сохраняются. Расстояние между конечными точками примерно соответствует ширине аномального объекта на глубине.

Наземная магниторазведка является эффективным инструментом для картографирования и выявления литологических и структурных элементов. В данном проекте высокоточные магниторазведочные исследования были проведены с целью выявления основных тектонических особенностей, таких как разломы, сдвиговые зоны и интрузивные образования, которые могут быть связаны с наличием золотоносных месторождений (Au минерализация).

По результатам проведенной обработки магниторазведочных данных построены следующие составляющие и трансформанты магнитного поля:

Карта аномального магнитного поля (Приложение Ж).

Карта локальной составляющей аномального магнитного поля (Высота пересчёта 100 м).

Карта локальной составляющей аномального магнитного поля (Высота пересчёта 200 м) (Приложение Ж).

Карта вертикальной производной аномального магнитного поля (Приложение Ж).

Карта модуля полной горизонтальной производной аномального магнитного поля (Приложение Ж)..

Карта региональной составляющей аномального магнитного поля (Приложение Ж).

Карта региональной составляющей аномального магнитного поля (Высота пересчёта 100 м) (Приложение Ж)..

Карта региональной составляющей аномального магнитного поля (Высота пересчёта 200 м) (Приложение Ж).

Совокупная качественная интерпретация трансформант магнитного поля позволила выявить сеть разнонаправленных тектонических нарушений, блоков и определить аномальные зоны, обладающих специфическими характеристиками (интенсивность МП, изменчивость и разнонаправленность изолиний МП, зоны градиента и резкой смены знака поля).

Ниже приводится описание регионов, выбранных в соответствии со значениями интенсивности и специфическими характеристиками аномального МП (Приложение Ж, Рисунки -Ж.5 – Ж.6):

Зоны были определены путем совместного качественного анализа карты результатов.

Зона 1. Эта зона пространственно расположена в северной части исследуемой территории. Эта зона характеризуется высокими значениями поля (100–840 нТл), которые плавно изменяются; аномалии МП имеют высокую интенсивность и контролируются серией субдуктивных боковых тектонических разломов, которые "разбиты" на несколько блоков и неглубоких вулканических единиц (нижнекембрийские диабазы и базальтовые порфиры (Сm1bk)), представляющих собой мозаичную структуру. Границы этого рельефа четко отображены резкими изменениями в сигнатуре магнитного поля.

Зона 2 расположена в центре исследуемой территории. Интенсивность аномалии зоны высокая и колеблется в пределах 200-800 нТл. Эта зона состоит из нескольких крупных блоков (не менее трех), ограниченных крупными тектоническими разломами. Эти границы (с юга и севера) отличаются резкими изменениями знака МП между 20 и 400 нТл. Вся территория исследования лежит в пределах тектонически активной зоны консолидации, и состав пород аналогичен зоне 1.

Интенсивность значений МП позволяет сделать выводы о многофазном осаждении вулканических пород в зонах 1-2: приложение И, Рисунок И.1. Первая фаза показана розовым цветом, а вторая - фиолетовым.

Более высокие значения МП в зонах 1-2 обусловлены повышенным содержанием магнетита во время формирования этих пород.

Зона 3 расположена в южной части участка. Аномалии МП в определенных зонах низкие (интенсивность 3-84 нТл). Породы, образующие эту зону, менее магнитные и, вероятно, представляют собой толстые терригенные осадочные породы (песчаник и алевролит нижнесилурийский S1a1). В магнитном поле эта зона выделяется резким изменением ориентации элементов МП; резкий градиент МП выделяет породы этой зоны как отдельный блок.

В результате качественной интерпретации основные структурные разломы, блоки и зоны консолидации выделены и показаны на качественной интерпретации МП (Приложение Ж, рисунок Ж.5-Ж.6).

Эти зоны наиболее подвержены геологическим изменениям (например, кварцевые жилы, метасоматиты, сети трещин), поскольку они являются источником минеральных флюидов для формирования месторождений Cu-Au. Метасоматиты возникают в сильно трещиноватых областях, где присутствуют месторождения типа Au-кварцевых жил.

Базируясь на полученных результативных картах магнитных и электроразведочных исследований, были разработаны схемы интерпретации геофизических работ (Приложение И, рисунки И.2-И.5). Анализ вычисленных геофизических параметров позволяет сделать следующие выводы:

1. В геологическом разрезе северной и южной частей исследуемого участка наблюдаются различные горные породы по своему составу: в южной части преобладают слабомагнитные породы, в то время как в северной части встречаются породы с высокой интенсивностью магнитного поля.

2. В обеих частях участка присутствуют многофазные вулканогенные образования с повышенным содержанием пород, содержащих магнетит. Важно отметить, что возраст этих пород моложе основных пород, составляющих основу исследуемого участка.

3. Горные породы, содержащие магнетит, образуют консолидированные зоны в северной и центральной частях участка. Эти зоны контролируются сетью тектонических нарушений, преимущественно расположенных субмеридионально и субширотно. Геологическая эволюция привела к мозаично-блочной структуре на исследуемой площади.

4. Основные тектонические нарушения, выявленные в результате магнитных исследований (а также некоторые меньшие нарушения), вместе с областями контакта между вулканогенными и окружающими породами, формируют пересечения, которые представляют интерес для геологических исследований.

5. Аномальные значения параметров поляризуемости и GoldIndex связаны с периферийными областями более молодых фаз вулканогенных образований (в

области высокоинтенсивных магнитных значений) и с узлами и зонами тектонических нарушений).

6. Предыдущие геологические исследования (канавы, буровые работы) были проведены в аномальной зоне №1, обнаруженной при электроразведочных работах в 2020 году.

7. Рекомендуется проведение буровых работ в зонах №№1-3 с целью выявления природы геофизических аномалий. Зоны №2 и №3 представляют собой новые области для поиска золото-медно-сульфидных месторождений.

8. Геофизические аномалии параметров (ВП и GoldIndex), обнаруженные в зоне №1, соответствуют наличию кварц-золото-сульфидных месторождений (КЗС) согласно геолого-геофизическим критериям, таким как минимальные значения УЭС, средние значения ВП, тектоника, периферия или зоны градиентов магнитных аномалий.

9. Геофизические аномалии параметров (ВП и GoldIndex), выявленные в зонах №2 и №3, предположительно связаны с наличием медно-колчеданного месторождения (МКЛ) согласно геолого-геофизическим критериям, таким как средние значения УЭС, высокие значения ВП, тектоника, зоны градиентов или минимумов магнитных аномалий.

10. После проведения геологических исследований (канавы, буровые работы) на основе результатов геофизических работ 2020 года и в случае положительных результатов, рекомендуется продолжать геофизические исследования в юго-восточном (МКЛ) и северо-восточном направлениях (КЗС).

Вышеупомянутые выводы и заключения были сделаны на основе результатов трех профилей электроразведочных исследований и одиннадцати профилей магниторазведочных работ. Однако, для получения более полной картины и оценки перспективности Алкамергенской зоны рудных проявлений рекомендуется провести более подробные магниторазведочные работы, включающие детализированную электроразведку.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты геологических и геофизических исследований указывают на наличие различных горных пород и вулканогенных образований на исследуемом участке. Северная часть характеризуется наличием пород с высокой интенсивностью магнитного поля, в то время как в южной части преобладают слабомагнитные породы.

Области с магнетитсодержащими породами образуют консолидированные зоны, контролируемые тектоническими нарушениями, и представляют интерес для дальнейших геологических исследований. Аномалии параметров поляризуемости и GoldIndex связаны с периферийными областями вулканогенных образований и зонами тектонических нарушений.

На основе проведенных исследований рекомендуется провести буровые работы в зонах с геофизическими аномалиями с целью выявления природы этих аномалий. Зоны №2 и №3 представляют новые перспективные области для поиска золото-медно-сульфидных и медно-колчеданных месторождений соответственно.

Дальнейшие геофизические и геологические исследования в указанных направлениях позволят уточнить наличие и характеристики этих потенциальных месторождений. При положительных результатах исследований рекомендуется продолжить дополнительные геофизические и буровые работы для более детального изучения и оценки ресурсного потенциала участка.

Автор и руководитель дипломной работы выражают благодарность ТОО «Nomad Geo Service» за предоставленные материалы.

## Приложение А

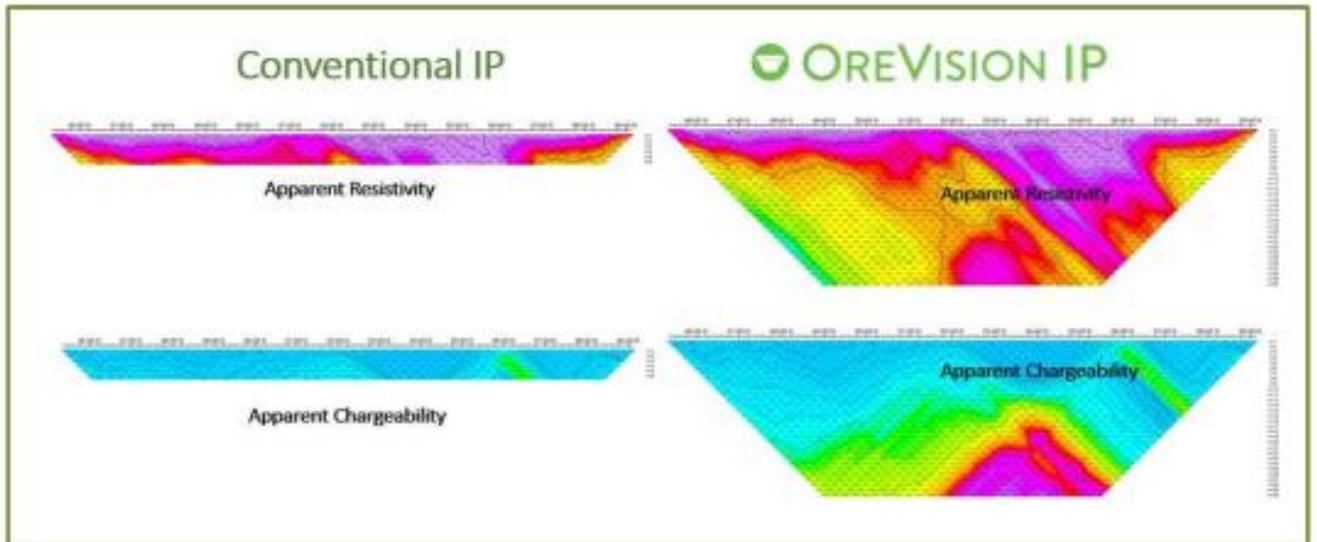


Рисунок А.1 – Псевдоразрезы для сопоставления традиционной ВП съемки (слева) и съемки OreVision® (справа)

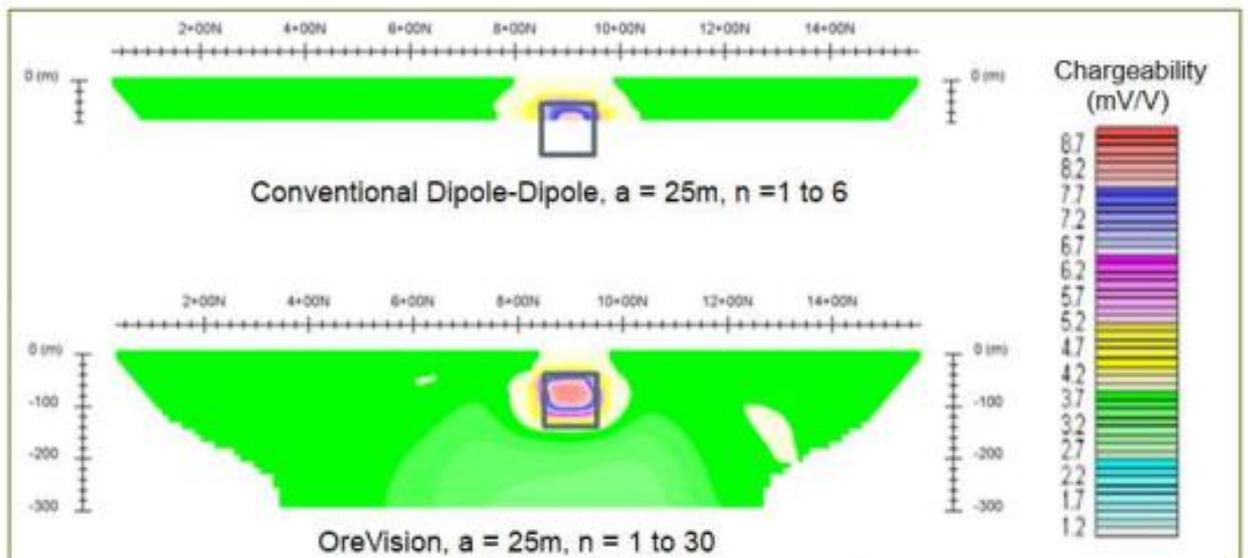


Рисунок А.2 – Синтетическая модель данных традиционного ВП метода тела залегающего на небольшой глубине (вверху) в сравнении с данными метода OreVision® (внизу)

## Продолжение приложения А

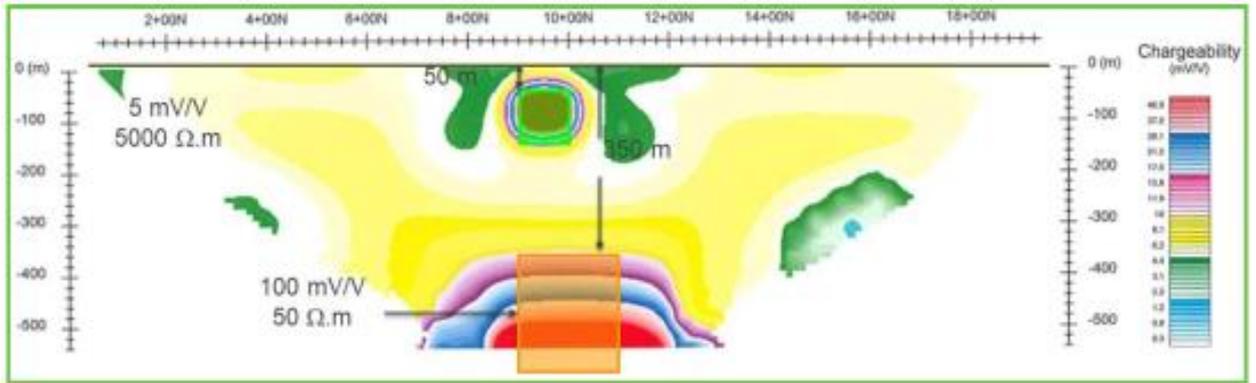


Рисунок А.3 – Синтетическая модель данных OreVision® при неглубоко залегающем объекте, расположенном стратиграфически над более глубоким объектом

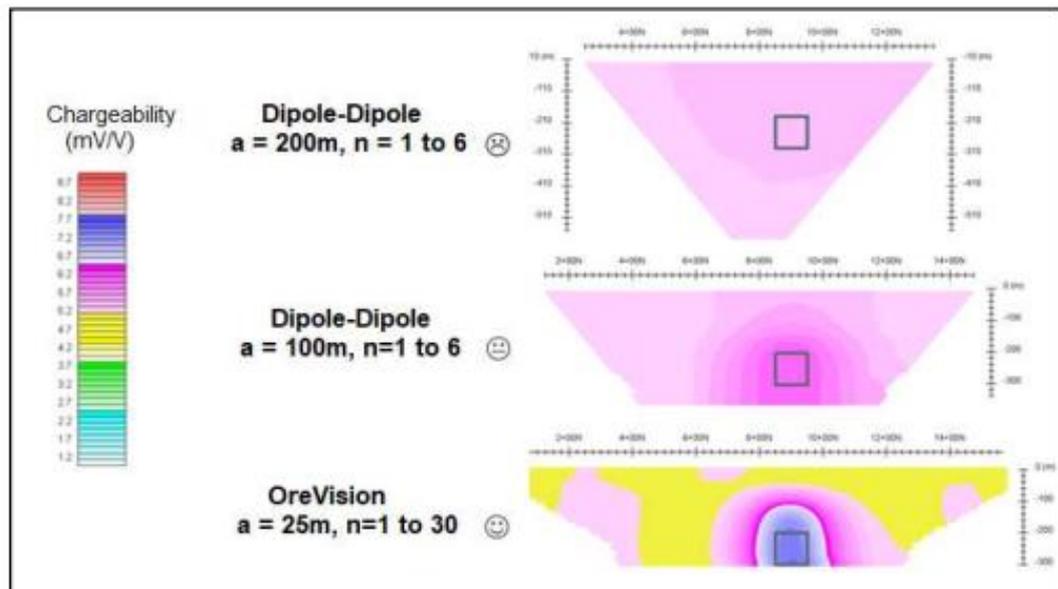


Рисунок А.4 – Синтетические модели традиционного ВП метода глубоко залегающего тела (вверху и по центру) по сравнению с методом OreVision® (внизу)

## Приложение Б

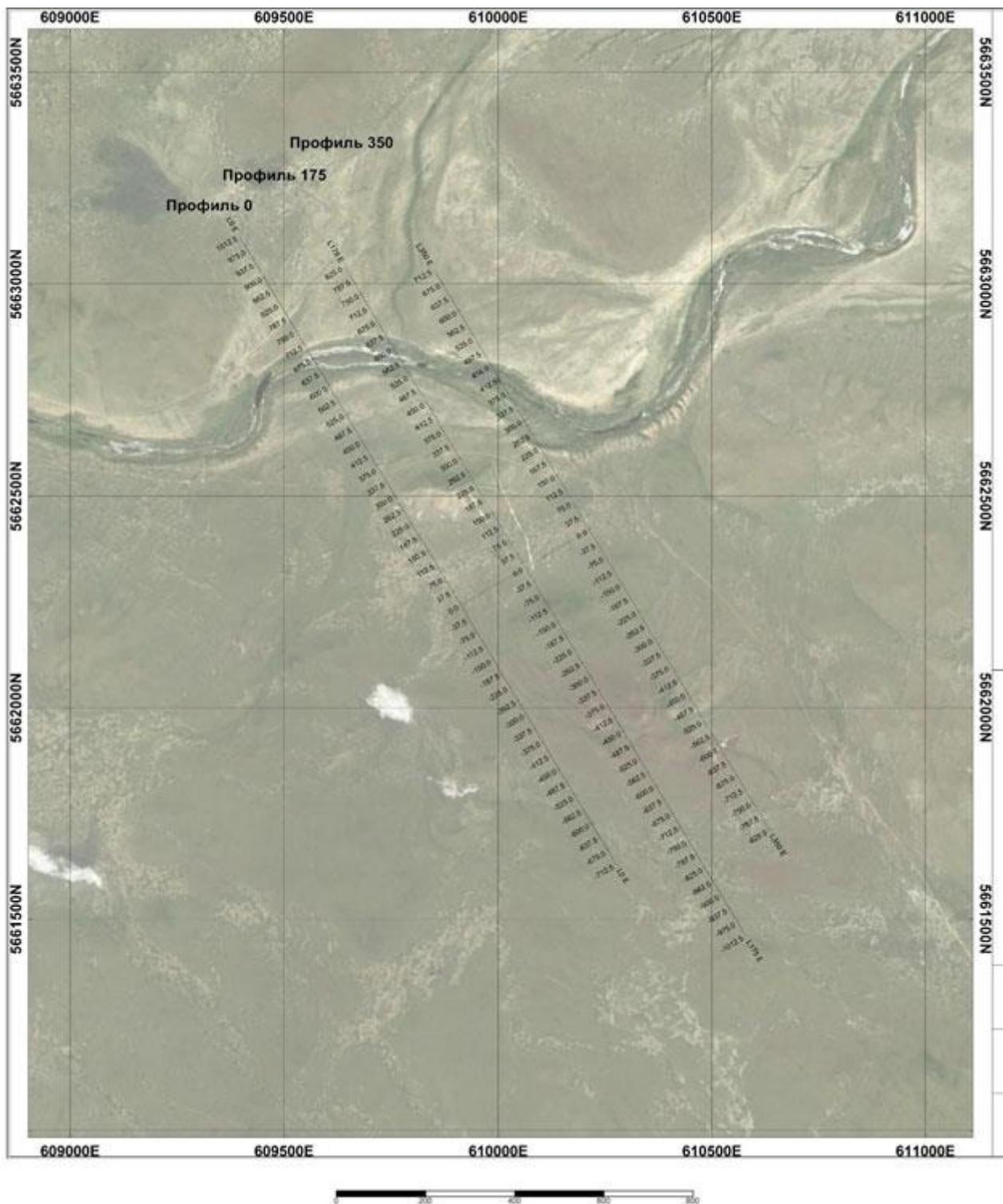


Рисунок Б.1 – Схема электроразведочных профилей OreVision 2019 и 2020 годов

## Приложение В

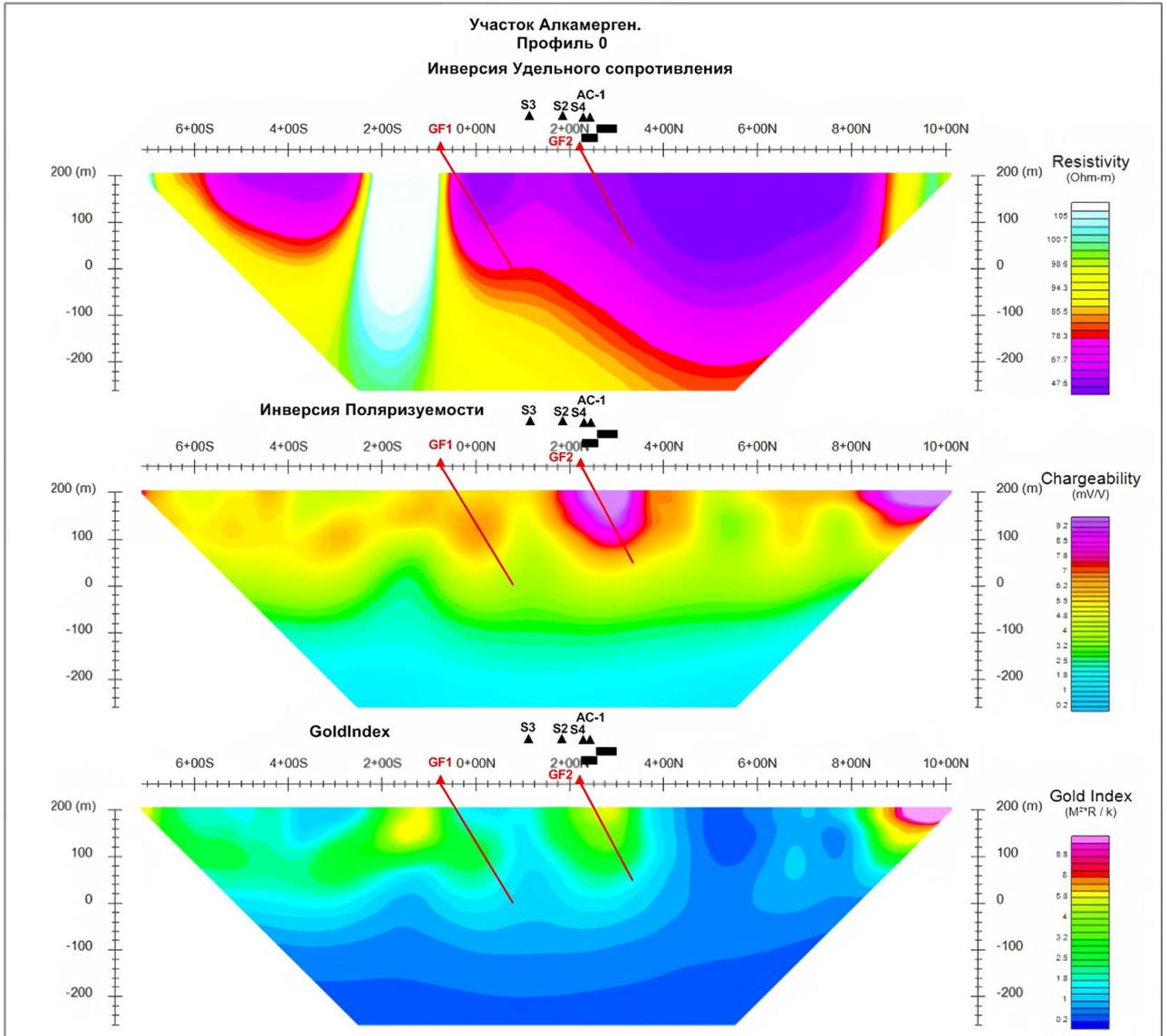


Рисунок В.1 – Результаты электроразведочных работ по профилю 0

## Продолжение приложения В.

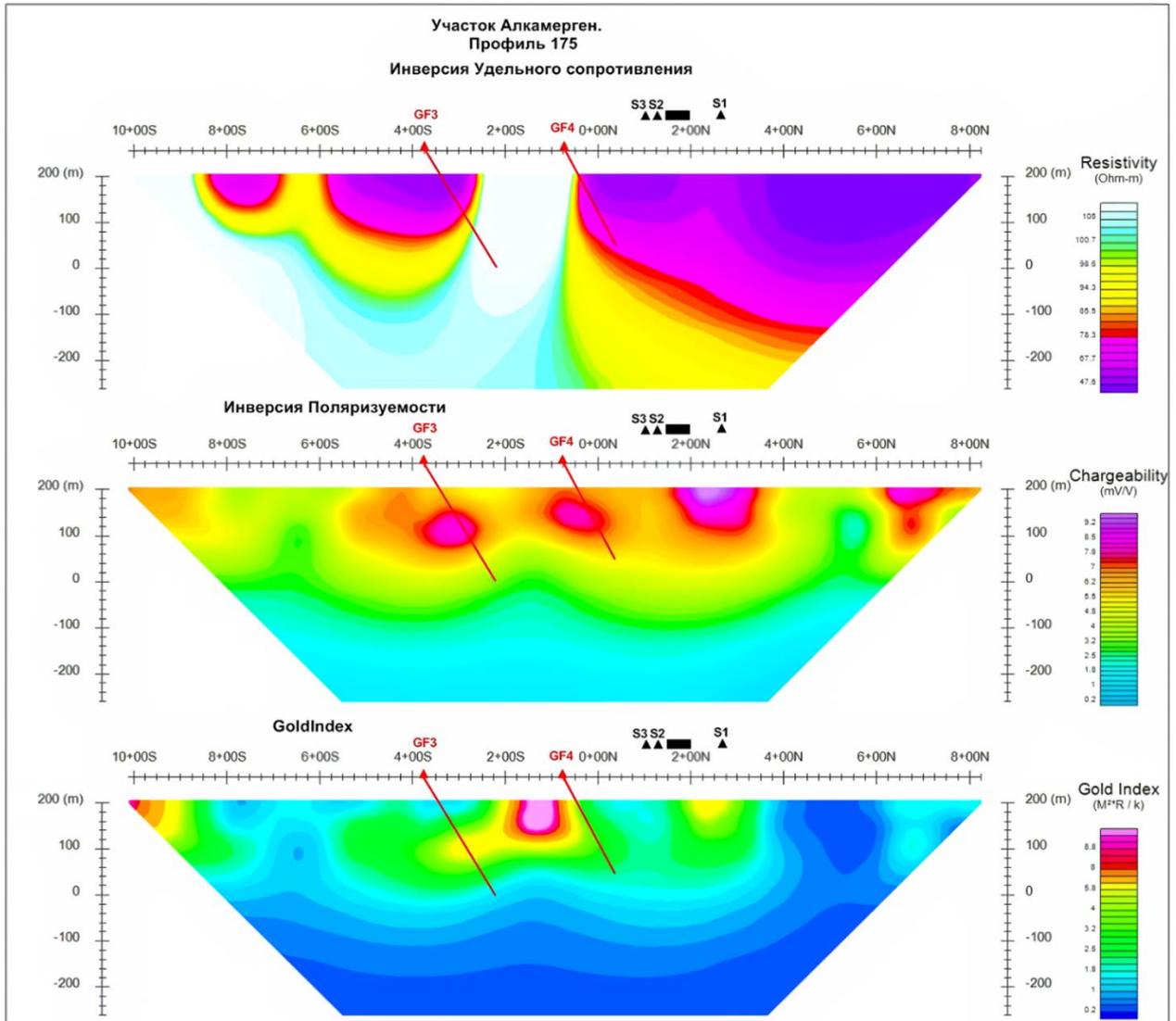


Рисунок В.2 – Результаты электроразведочных работ по профилю 175

## Продолжение приложения В

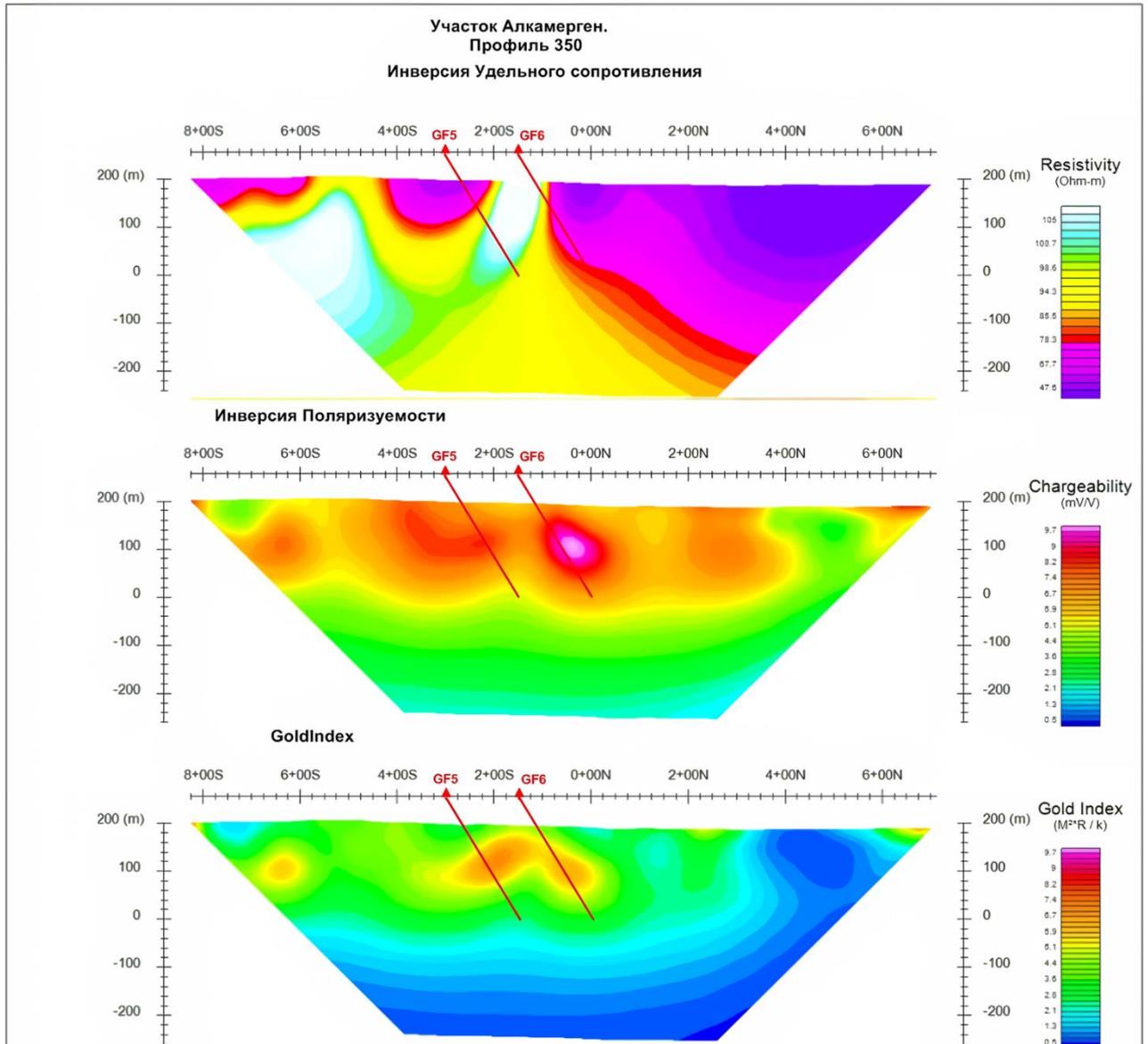


Рисунок В.2 – Результаты электроразведочных работ по профилю 350

# Приложение Г

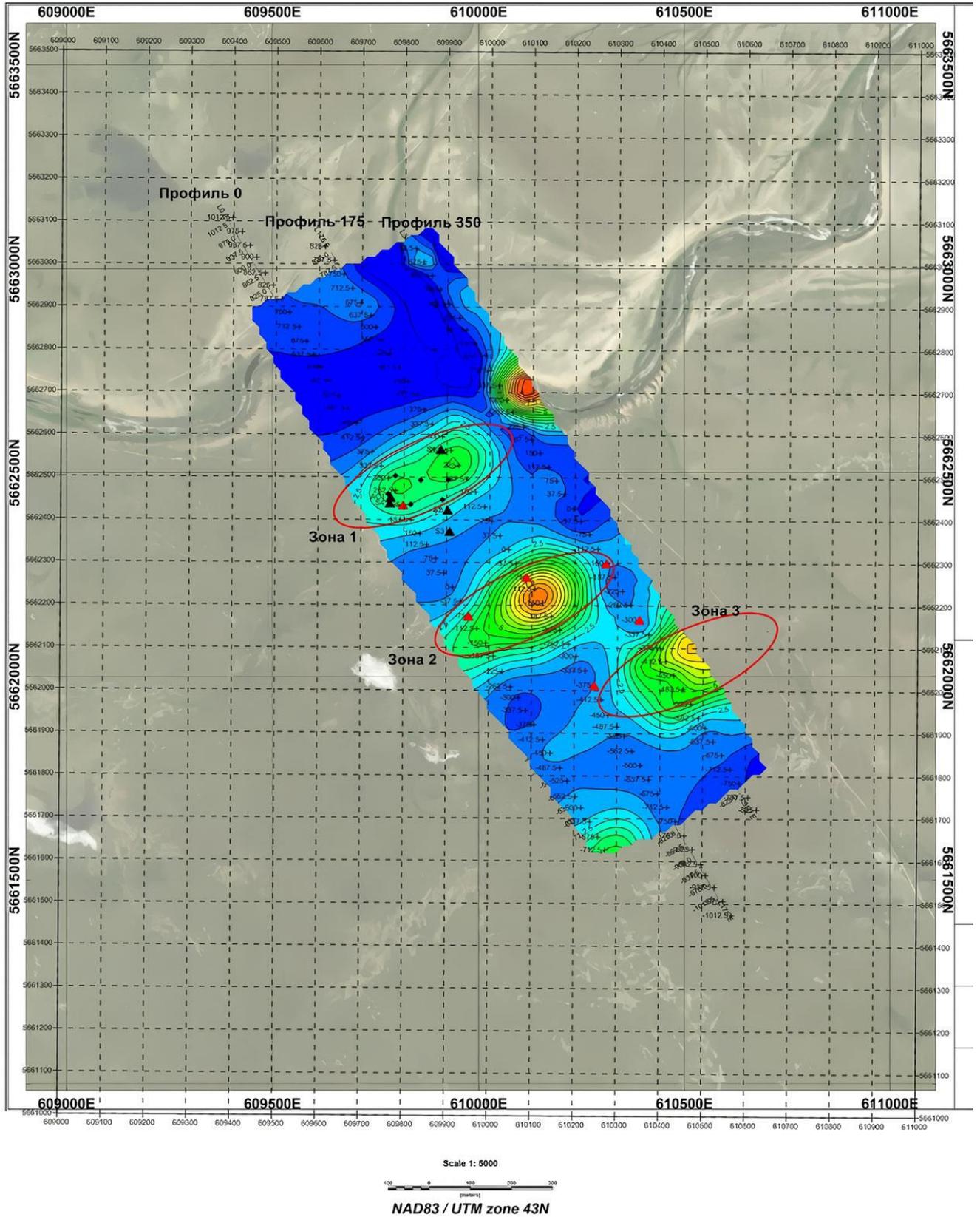


Рисунок Г.1 – GoldIndex 50м

# Продолжение приложения Г

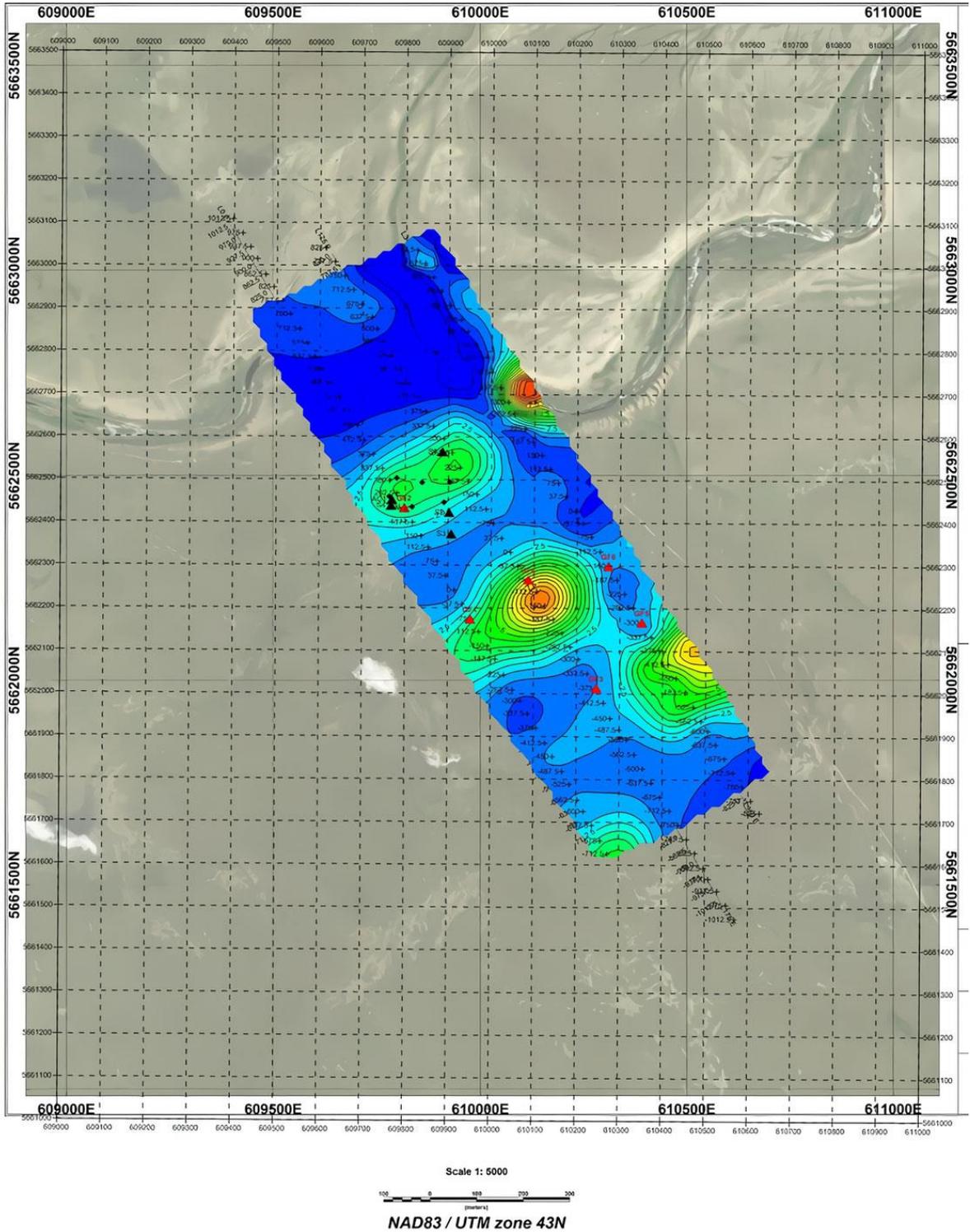


Рисунок Г.2 – GoldIndex 150 м.

# Продолжение приложения Г

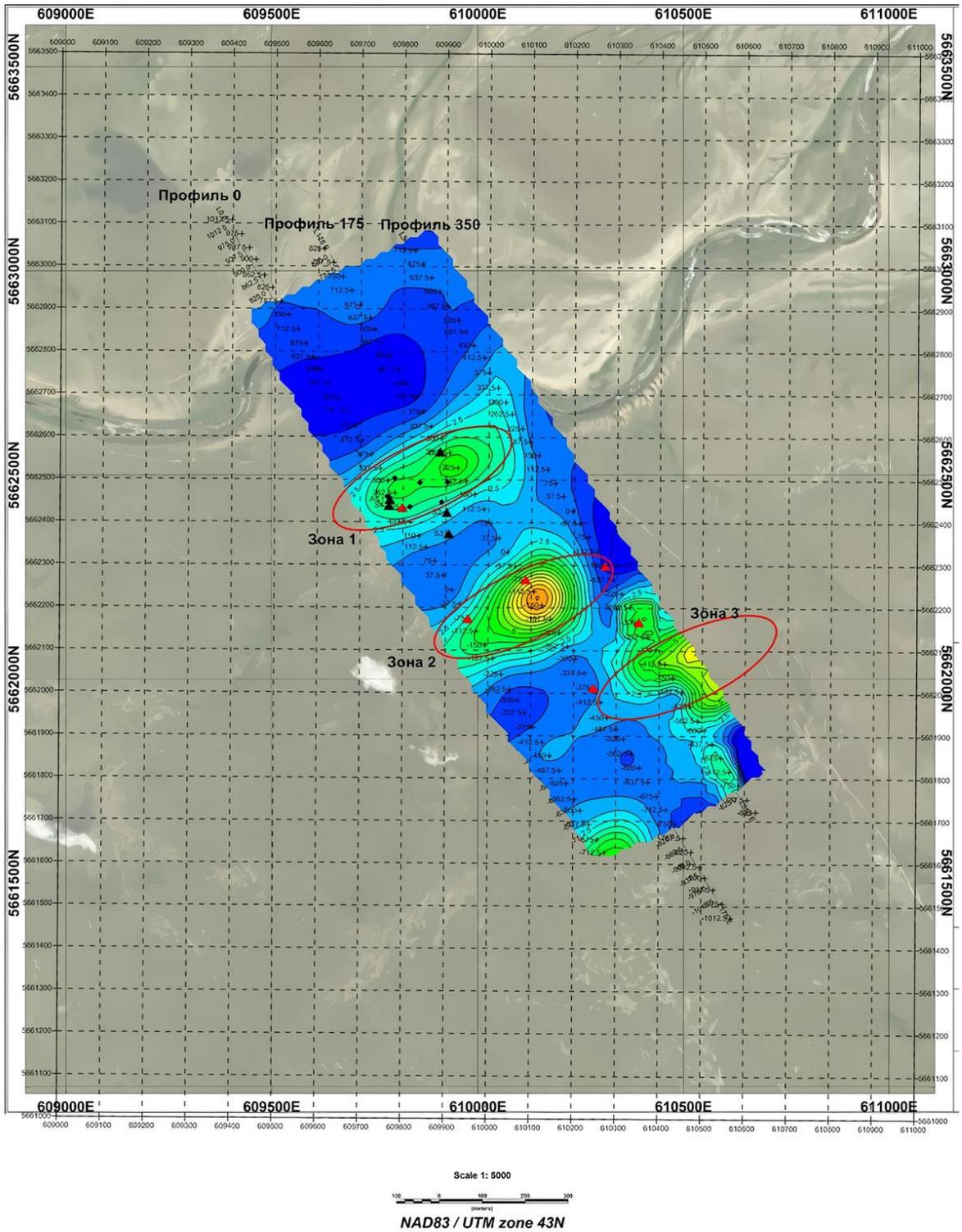
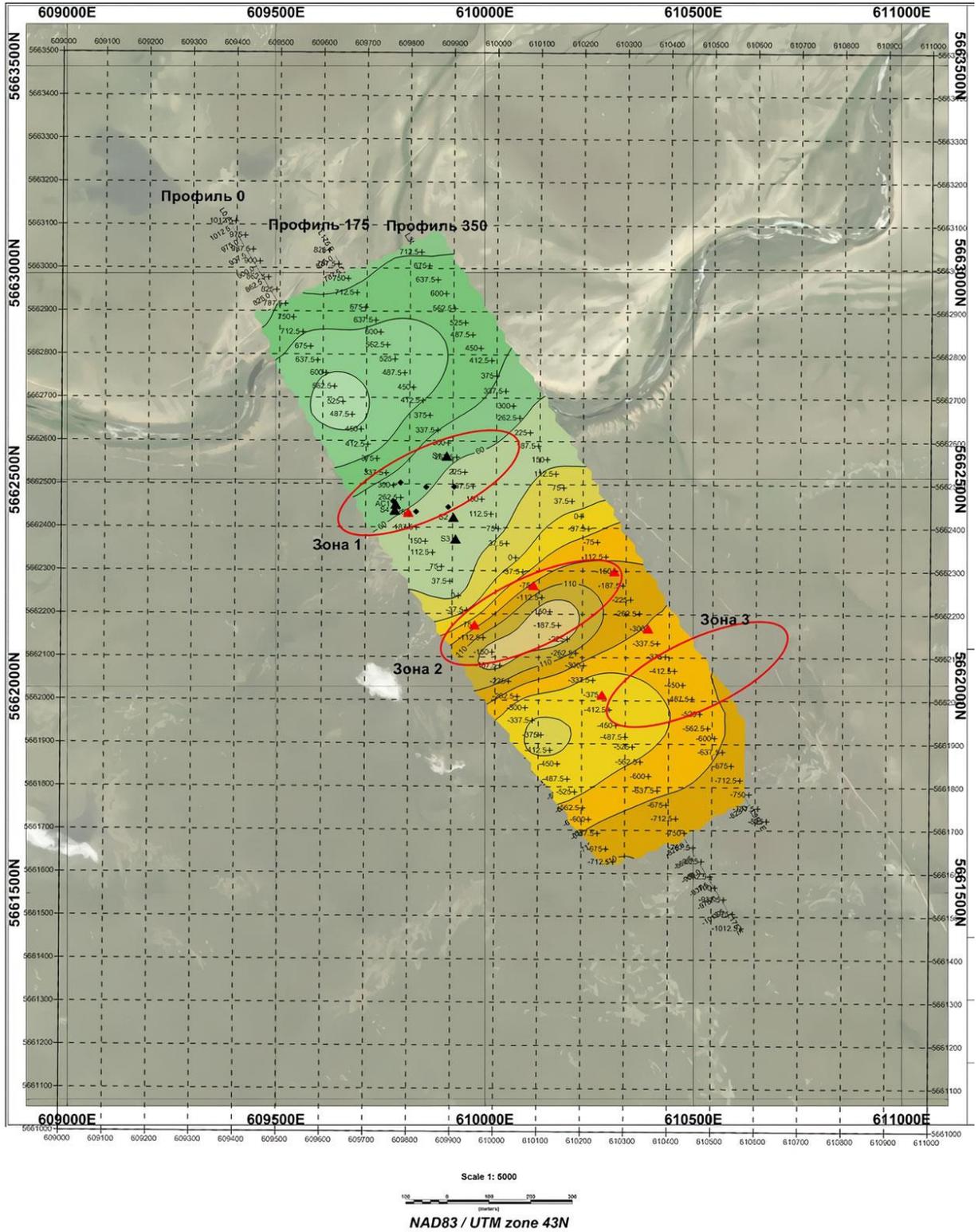


Рисунок Г.3 – GoldIndex 200 м.

# Приложение Д



## Продолжение приложения Д

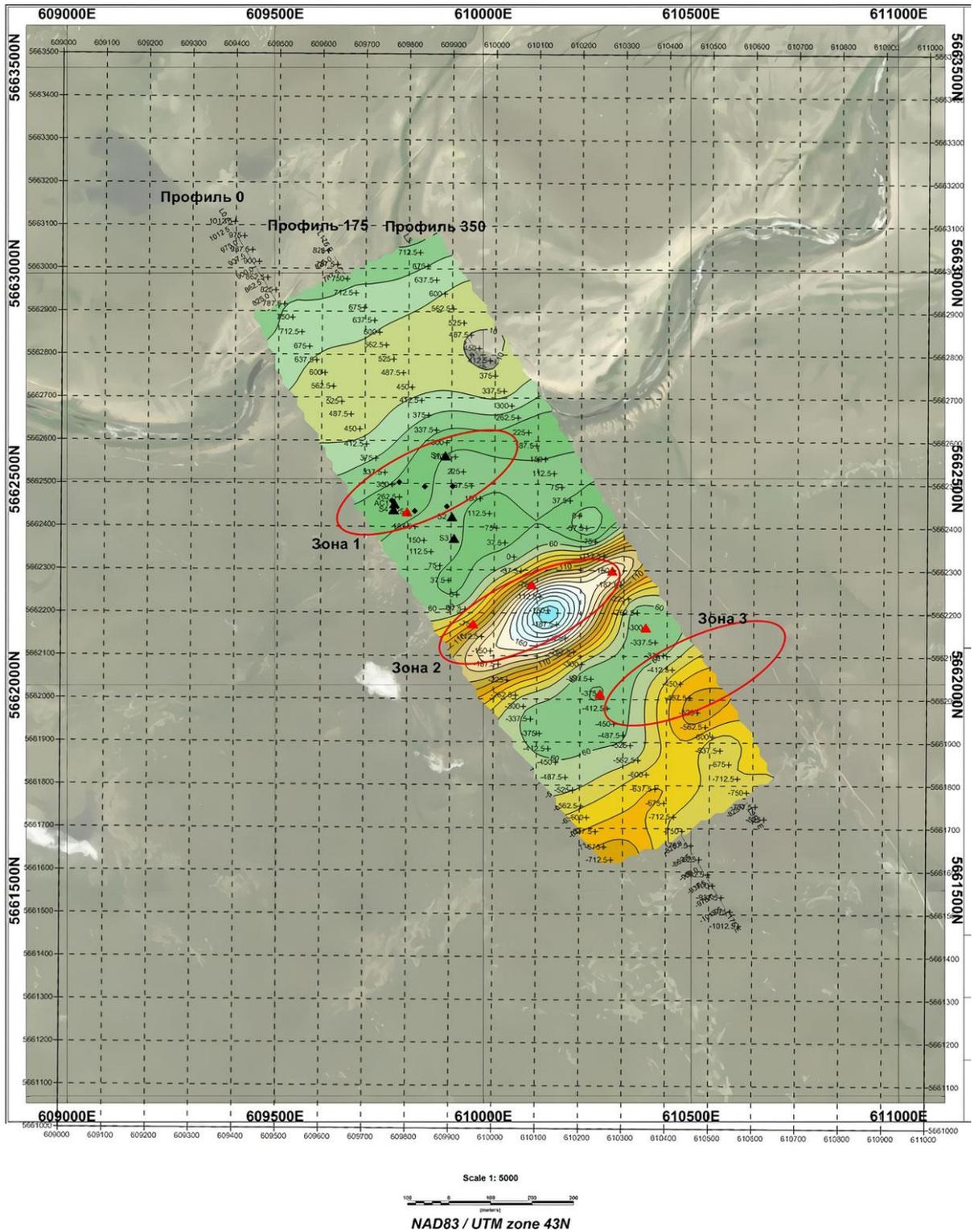


Рисунок Д.2 – Карта удельного электрического сопротивления (Уровень 150 м).

## Продолжение приложения Д

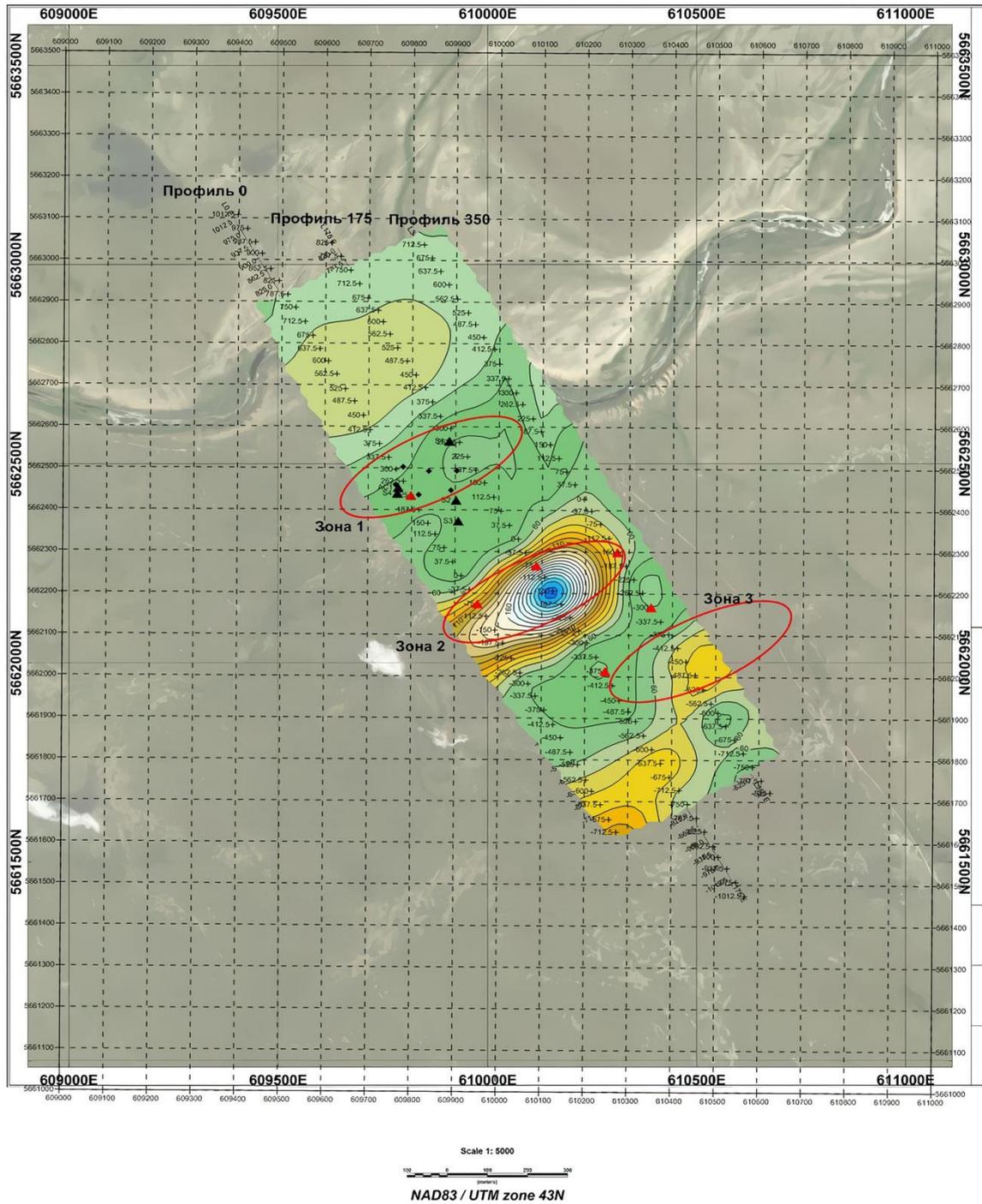


Рисунок Д.3 – Карта удельного электрического сопротивления (Уровень 200 м).



## Приложение Е

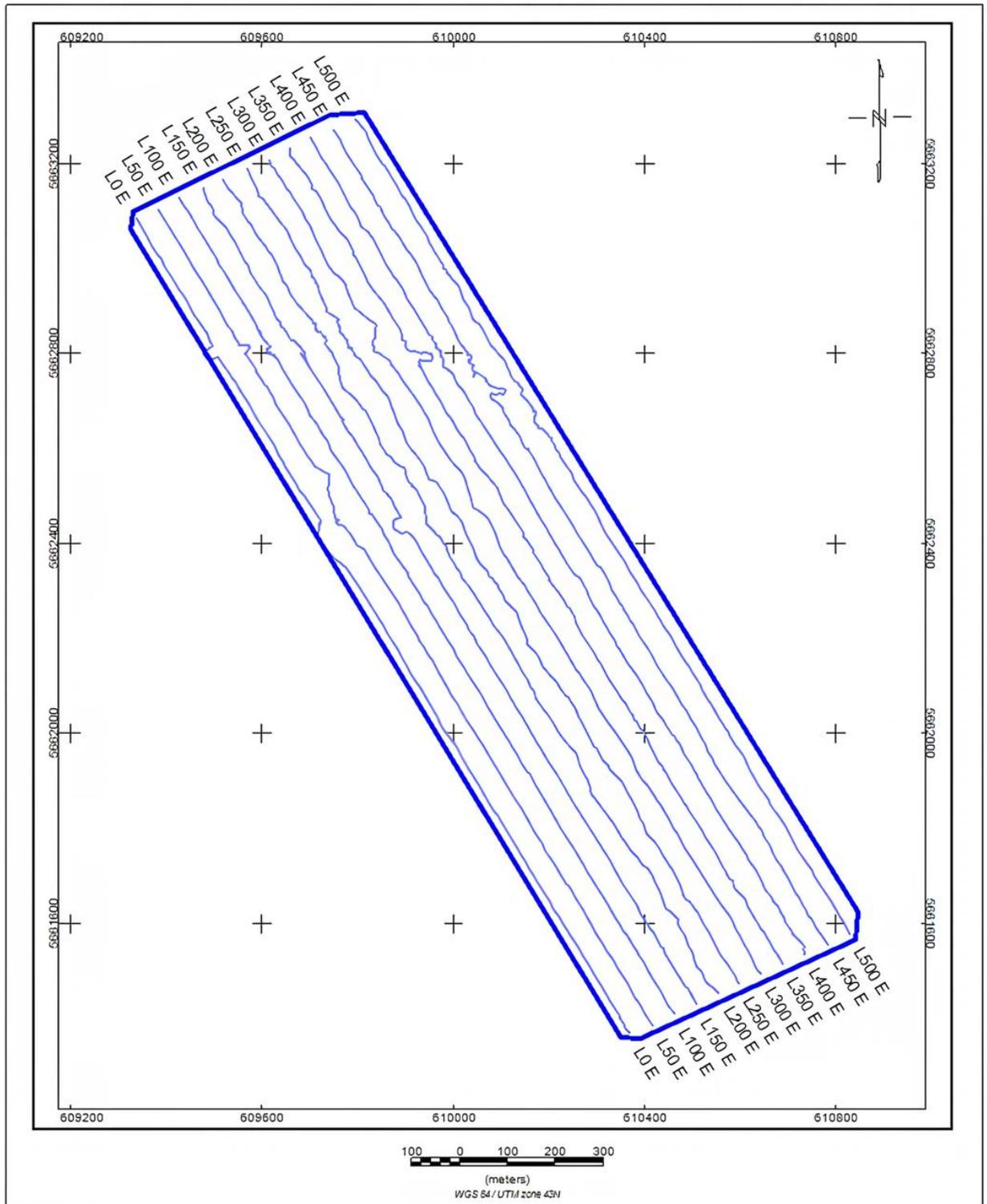


Рисунок Е.1 – Схема магниторазведочных профилей

## Приложение Ж

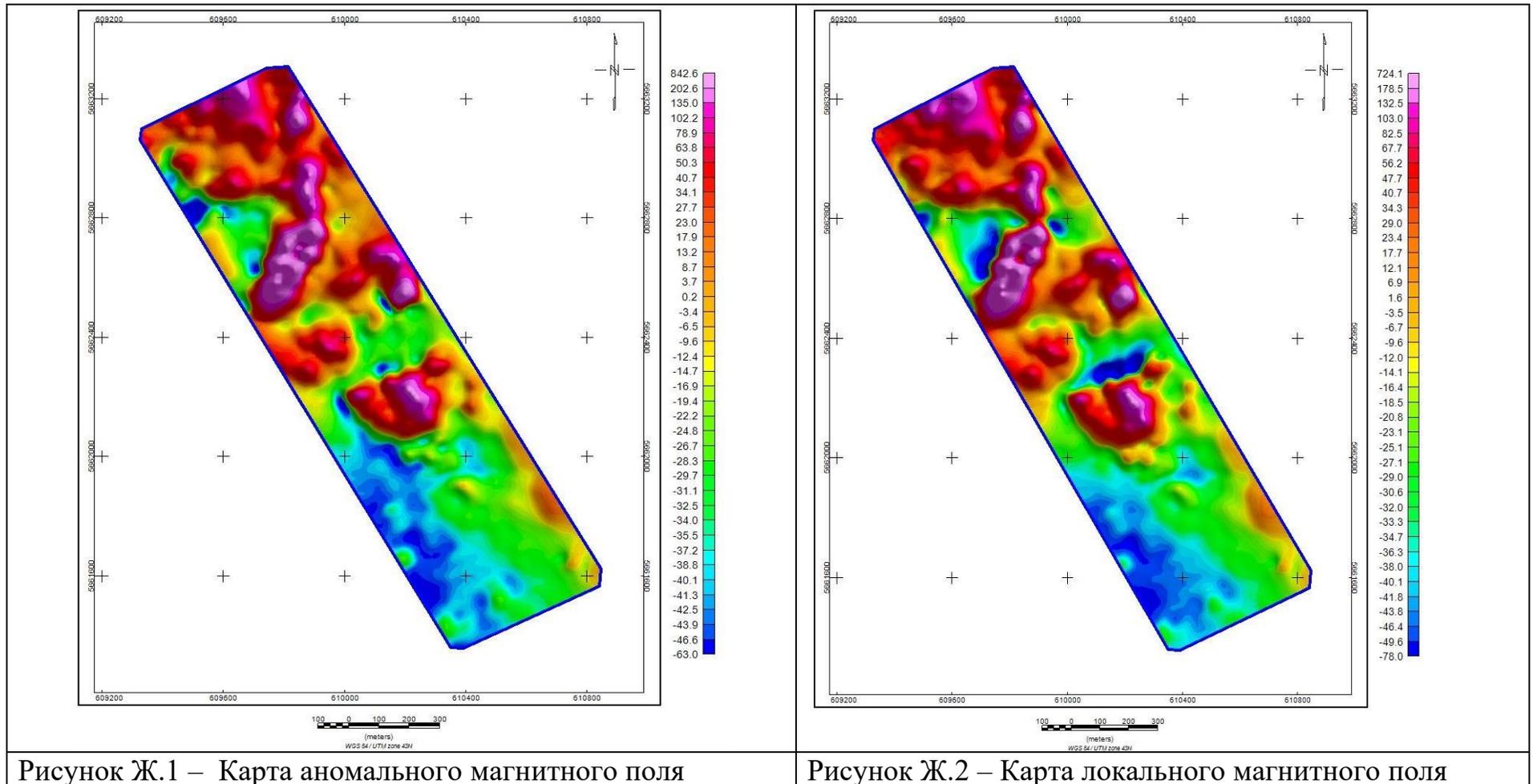
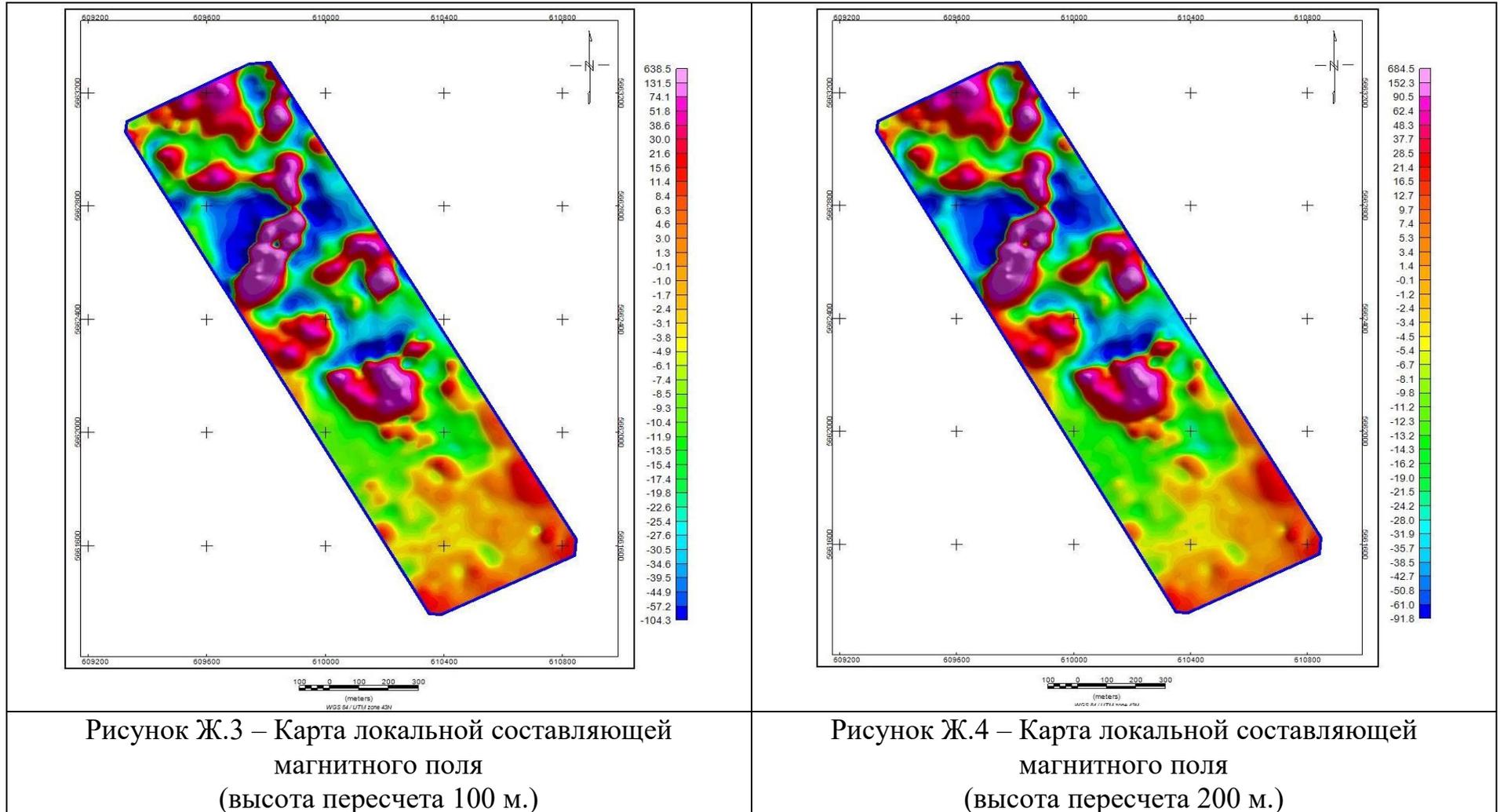


Рисунок Ж.1 – Карта аномального магнитного поля

Рисунок Ж.2 – Карта локального магнитного поля

## Продолжение приложения Ж



## Продолжение приложения Ж

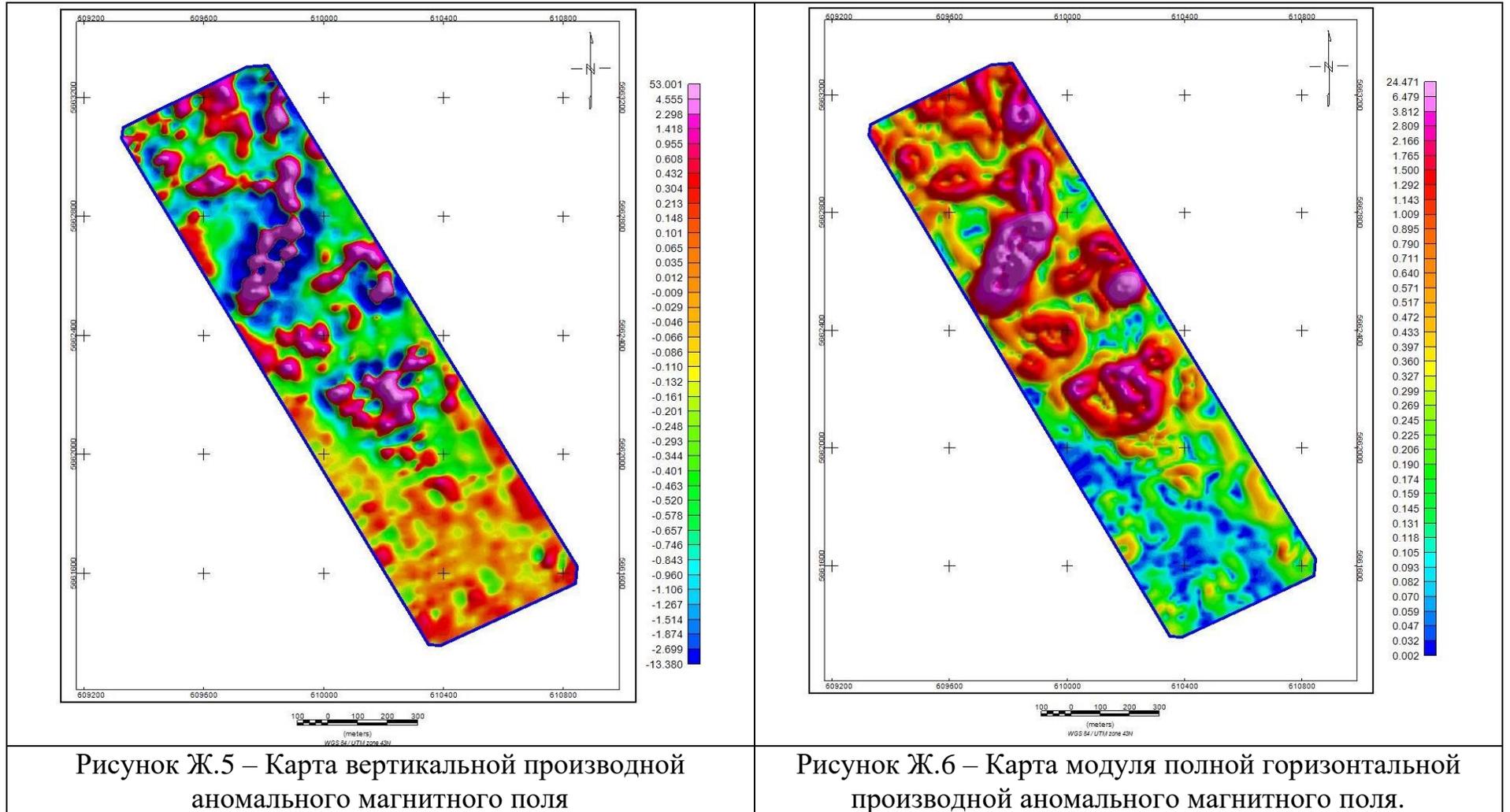


Рисунок Ж.5 – Карта вертикальной производной аномального магнитного поля

Рисунок Ж.6 – Карта модуля полной горизонтальной производной аномального магнитного поля.

## Продолжение приложения Ж

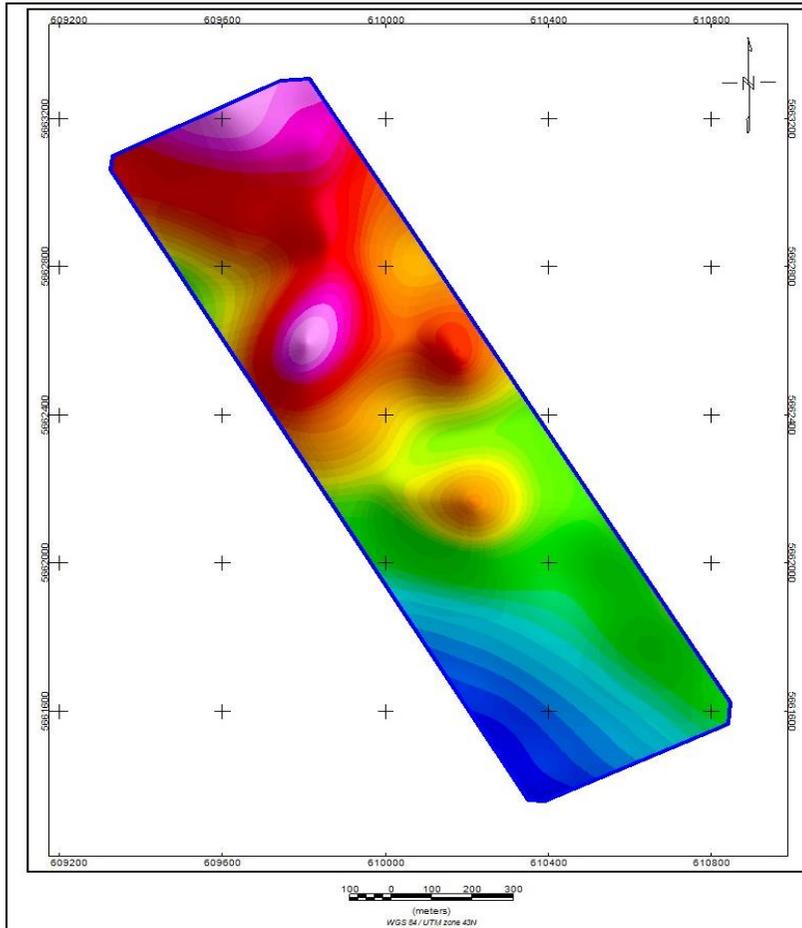


Рисунок Ж.7 – Карта региональной составляющей аномального магнитного поля (Высота пересчёта 100 м).

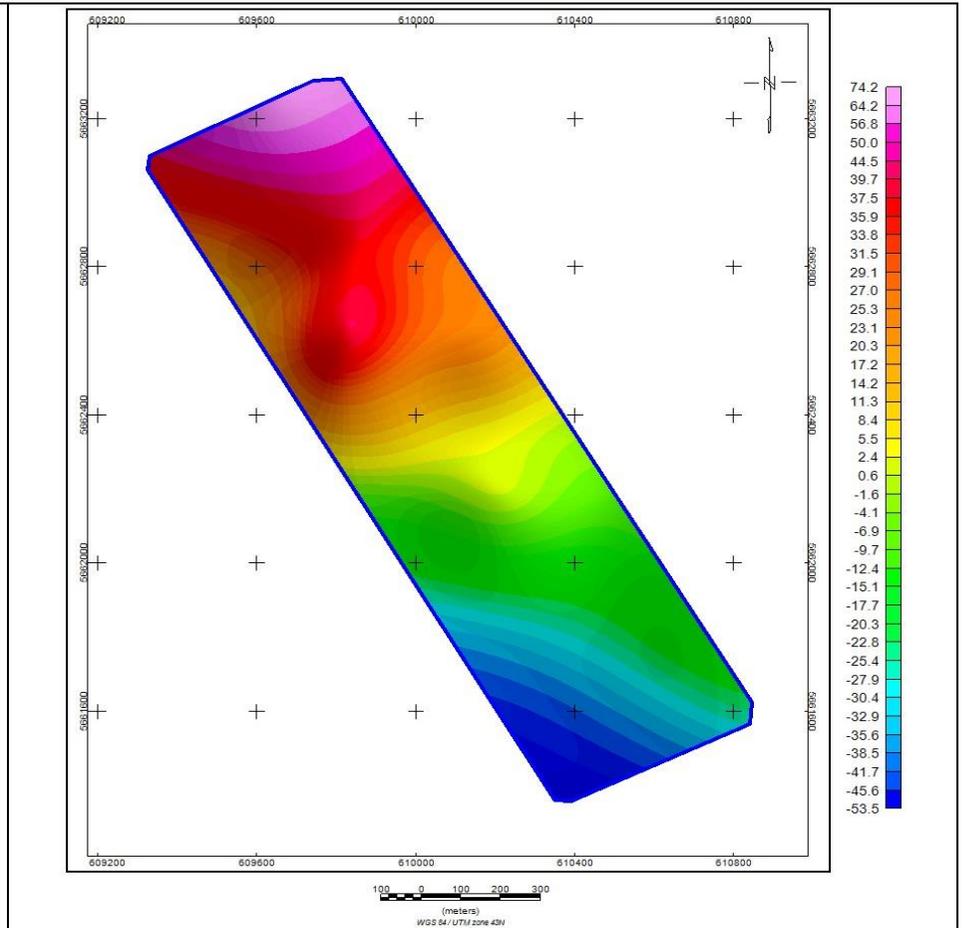
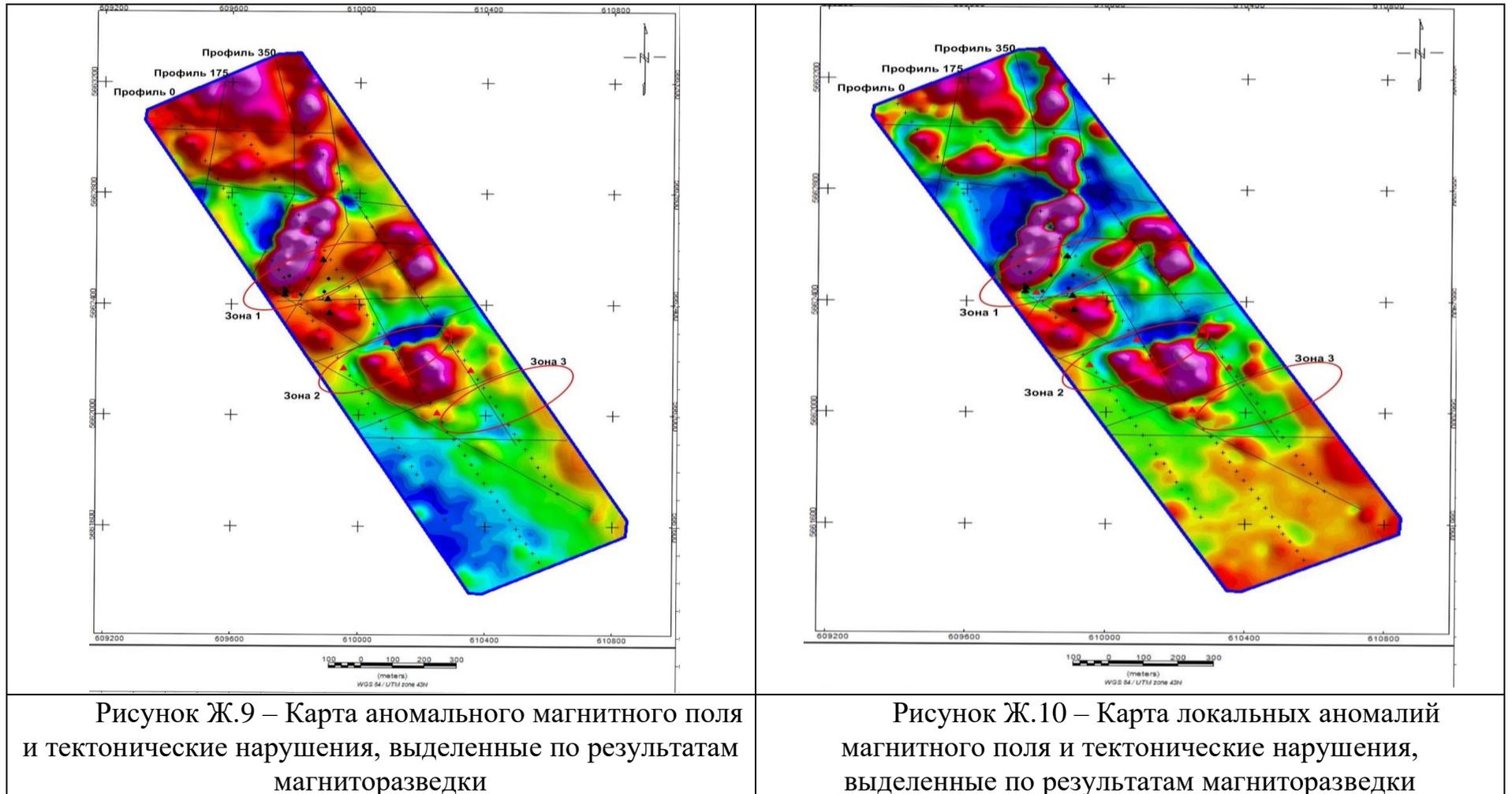
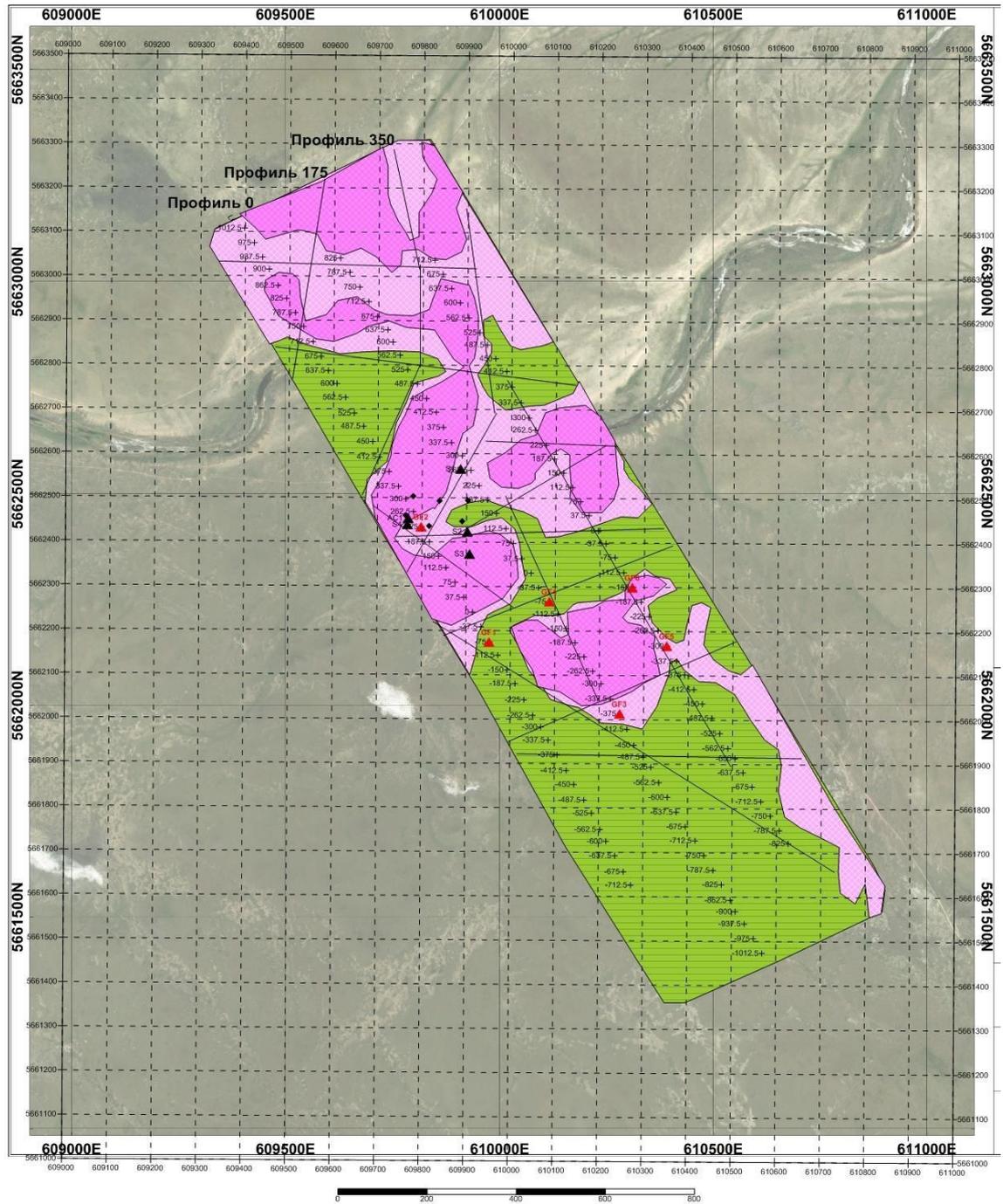


Рисунок Ж.8 – Карта региональной составляющей аномального магнитного поля (Высота пересчёта 200 м).

## Продолжение приложения Ж



## Приложение И

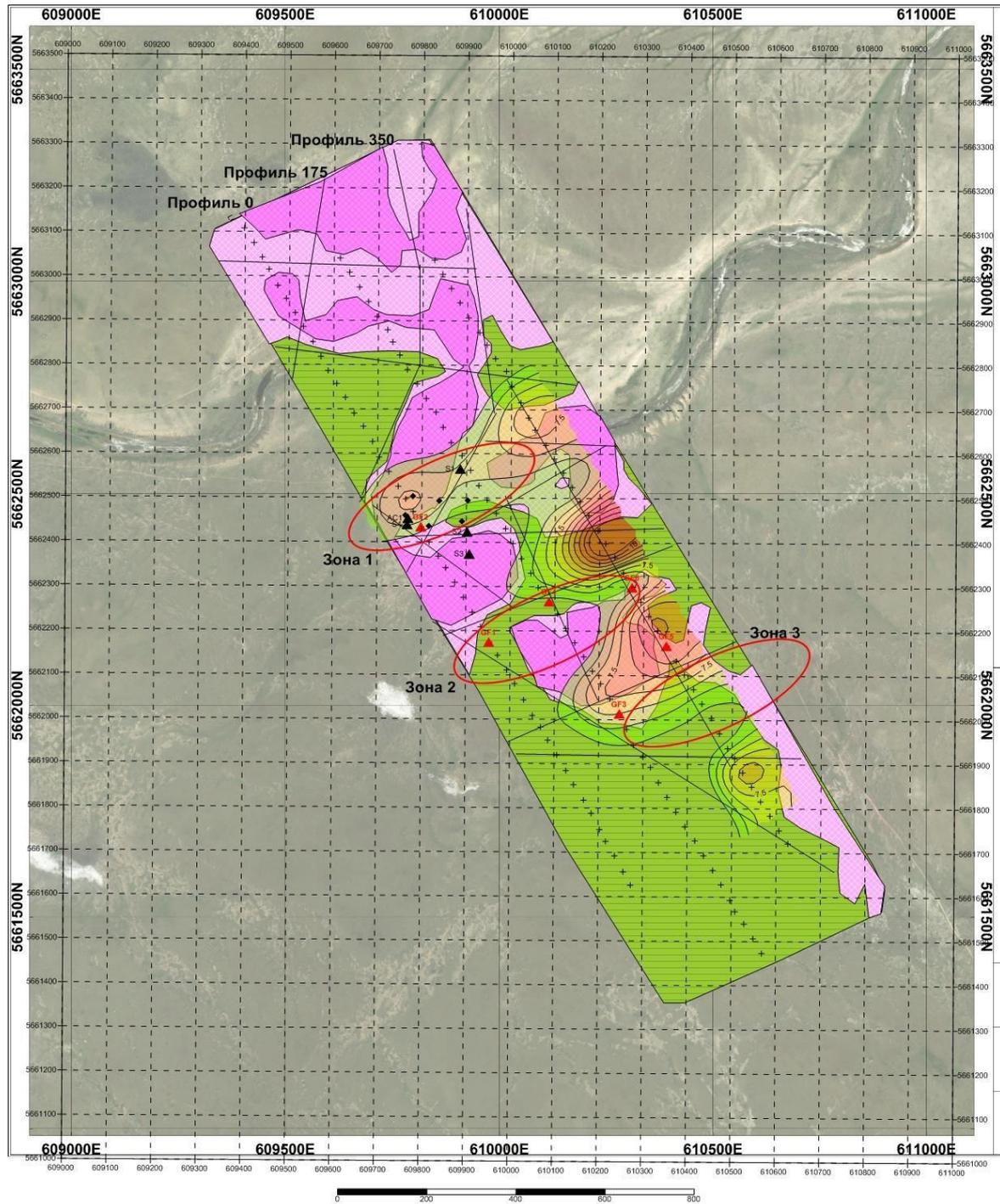


Условные обозначения:

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с низкими значениями МП, вулканогенно-осадочные породы нижнего кембрия (S1al)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFB6C1; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с повышенными значениями МП, вулканогенные породы нижнего кембрия (Cm1bk)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FF69B4; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с высокими значениями МП, вулканогенные породы нижнего кембрия (Cm1bk) (вторая фаза).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></span> канавы</li> <li><span style="display: inline-block; width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid black; margin-right: 5px;"></span> скважины, пробуренные ранее</li> <li><span style="display: inline-block; width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid red; margin-right: 5px;"></span> скважины, рекомендуемые к бурению по геофизическим данным</li> </ul> |  |
|---|--|--|

Рисунок И.1 – Схема качественной интерпретации магнитного поля

## Продолжение приложения И

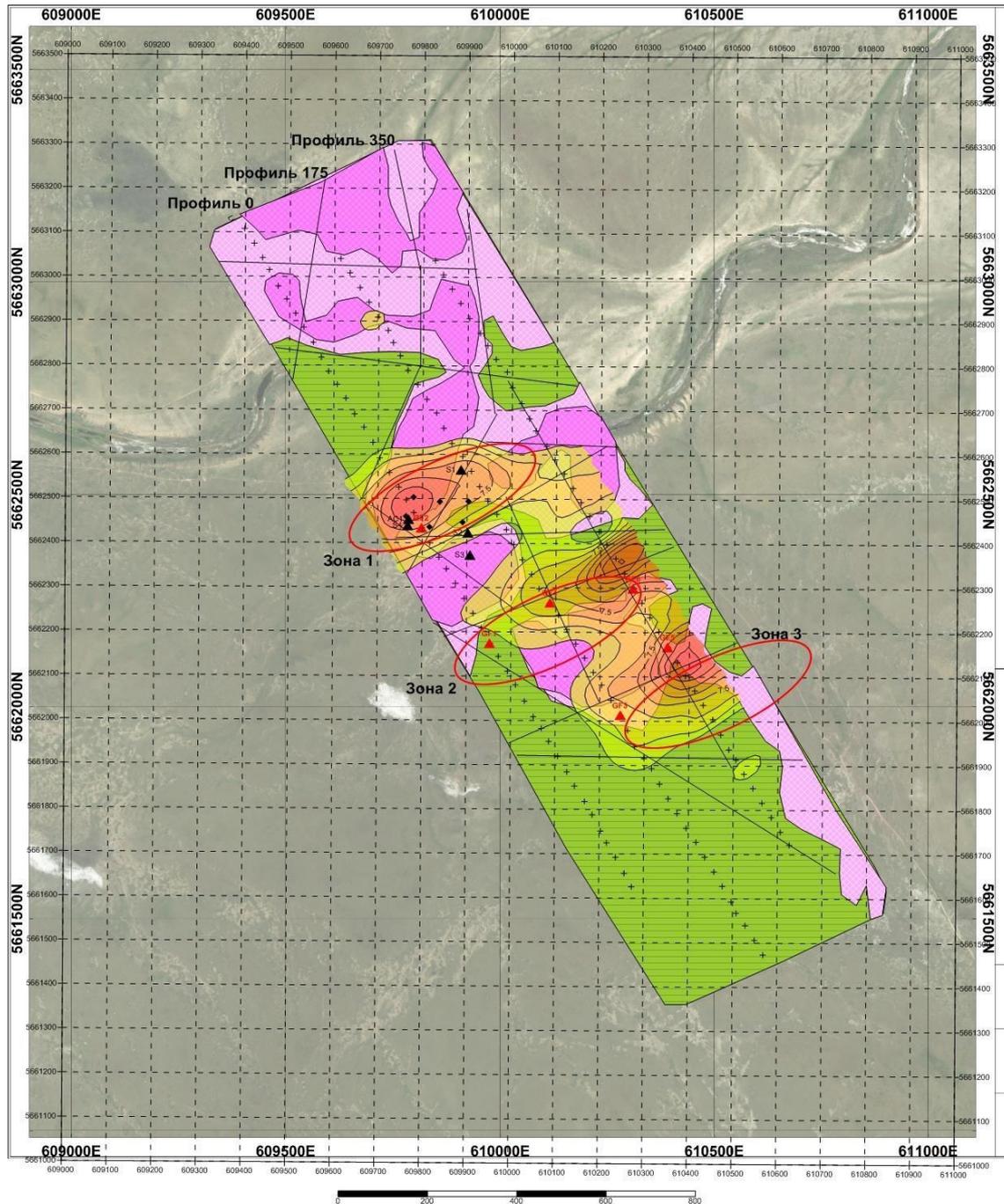


Условные обозначения:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с низкими значениями МП, вулканогенно-осадочные породы нижнего силура (S1a)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFB6C1; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с повышенными значениями МП, вулканогенные породы нижнего кембрия (Ст1bk)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с высокими значениями МП, вулканогенные породы нижнего кембрия (вторая фаза).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></span> канавы</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> S1 скважины, пробуренные ранее</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> GF3 скважины, рекомендуемые к бурению по геофизическим данным</li> </ul> |
|---|---|

Рисунок И.2 – Схема качественной интерпретации МП и аномалии поляризуемости (уровень 100м)

## Продолжение приложения И



**Условные обозначения:**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #90EE90; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с низкими значениями МП, вулканогенно-осадочные породы нижнего силура (S1a)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFB6C1; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с повышенными значениями МП, вулканогенные породы нижнего кембрия (Ст1bk)</li> <li><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #FFC0CB; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> - зоны с высокими значениями МП, вулканогенные породы нижнего кембрия (вторая фаза).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></span> каналы</li> <li><span style="display: inline-block; width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid black; margin-right: 5px;"></span> S1 скважины, пробуренные ранее</li> <li><span style="display: inline-block; width: 0; height: 0; border-left: 5px solid transparent; border-right: 5px solid transparent; border-bottom: 10px solid red; margin-right: 5px;"></span> GF3 скважины, рекомендуемые к бурению по геофизическим данным</li> </ul> |
|---|---|

Рисунок И.3 – Схема качественной интерпретации МП и аномалии поляризуемости (уровень 150м)

## Продолжение приложения И

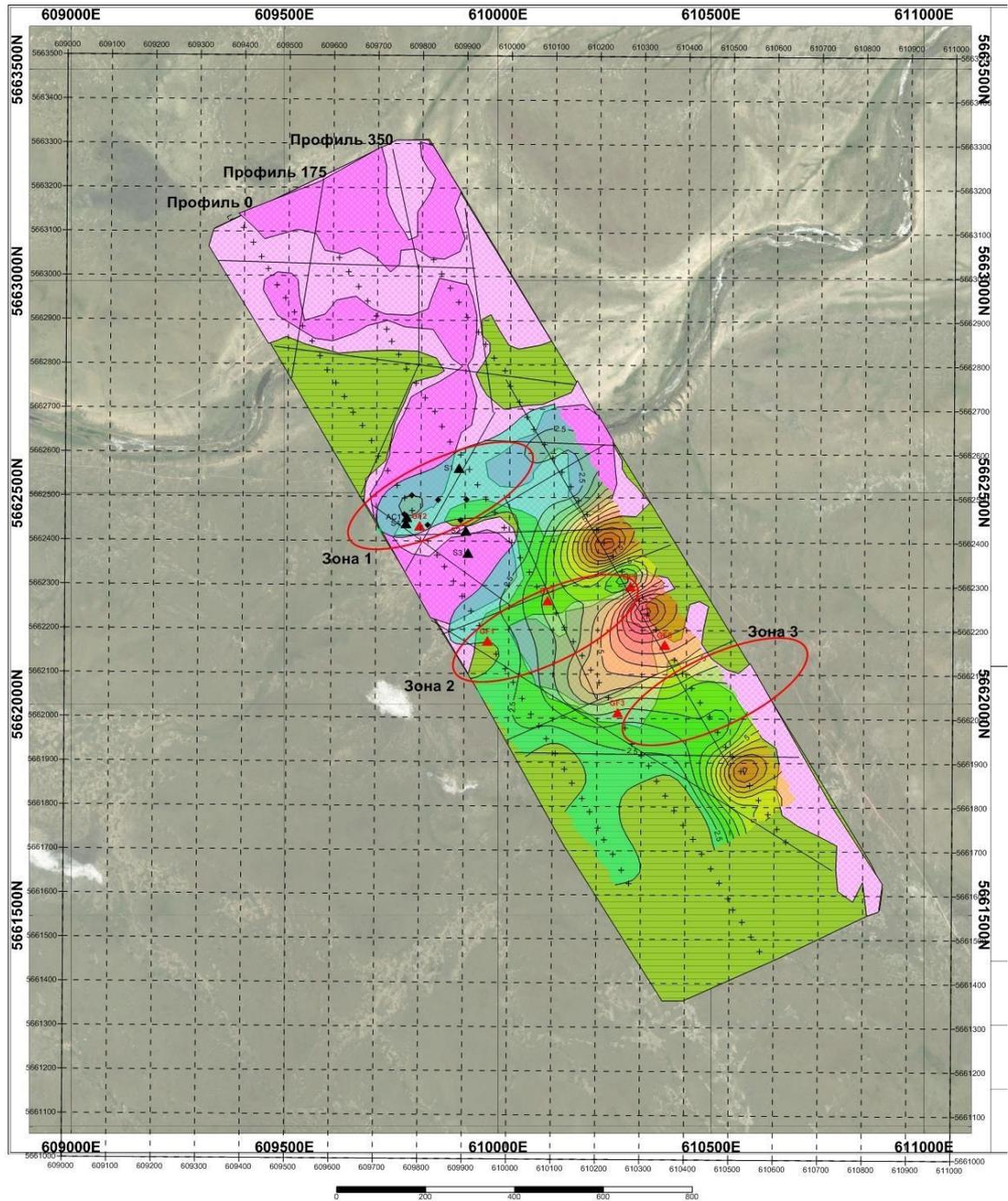


Рисунок И.4 – Схема качественной интерпретации МП и аномалии GoldIndex (уровень 100м)

## Продолжение приложения И

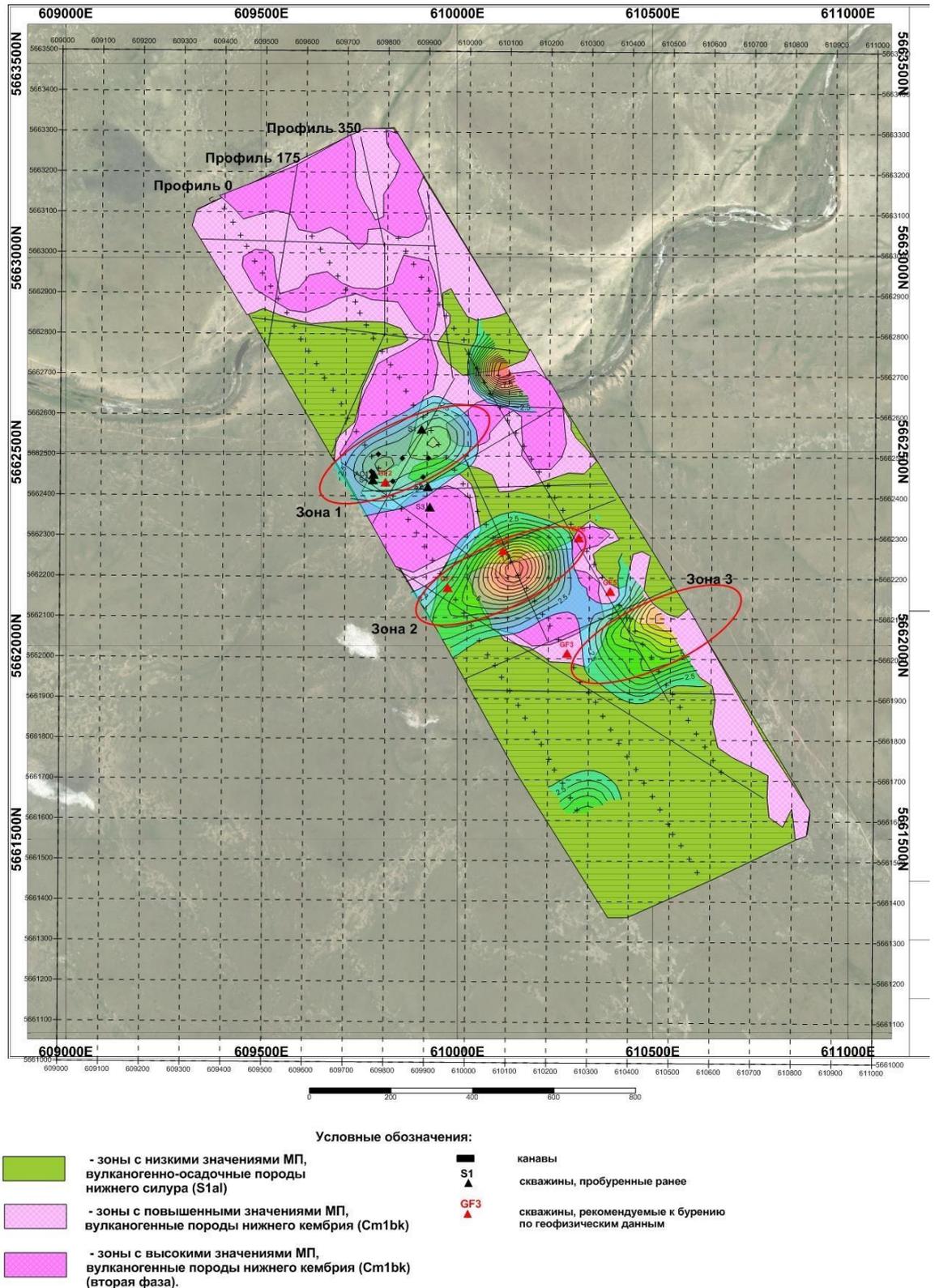


Рисунок И.5 – Схема качественной интерпретации МП и аномалии GoldIndex (уровень 150м)

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Новиков К.В. Магниторазведка: Учебное пособие. Часть 1. – Москва.: 2013 г.
- 2 Курскеев А. К. Справочник физических свойств горных пород Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1983. — 288 с.
- 3 Доброхотова И. А., Новиков К. В. Электроразведка. Учебное пособие. Москва: РГГРУ, 2009 г.
- 4 Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры. Книга 1. Международный университет природы, общества и человека "Дубна", Дубна, 1999 г., 203 стр.
- 5 Жданов М.С. Электроразведка. Учебник для вузов. Недра, Москва, 1986 г., 316 стр.
- 6 Матвеев Б. К. Электроразведка. Учебник для вузов. – 2-е издание, перераб. и доп. – Недра, Москва, 1990 – 368 с.
- 7 Хасанов Д.И., Введение в электроразведку: пособие для самостоятельного изучения для слушателей курсов повышения квалификации специальности «Геофизика». – Казань: Казанский государственный университет, 2009. – 75 с.