



ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А. П. КАРПИНСКОГО

ООО «АЛПОМ»

ТЕХНОЛОГИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Алексей Игоревич Атаков (ин-т Карпинского)

Ксения Михайловна Антащук (ООО «УК Полюс»)

Андрей Валерьевич Теремков (ООО «АЛПОМ»)

СОДЕРЖАНИЕ

- ❑ РОЛЬ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ
- ❑ ВОЗМОЖНОСТИ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ
- ❑ ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА РАБОТ
- ❑ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ



What defines a PCD?

1. Associated with oxidized and hydrous magma in convergent plate margins
2. Commonly spatially associated with major faults
3. Centered over apical part of pluton, stocks or dikes
4. Large tonnage and low hypogene grade (<1%)
5. Large volumes of hydrothermal alteration; up to 10 km across
6. Different exhumation levels results in different alteration assemblages in outcrop and in shallow crustal levels

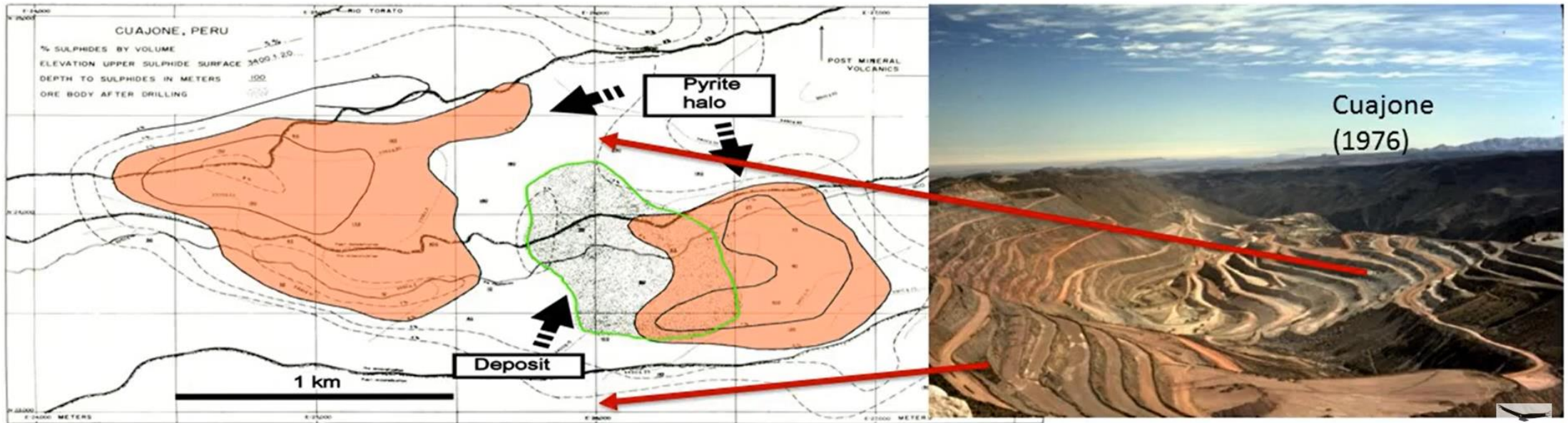


Sheeted quartz-magnetite veins

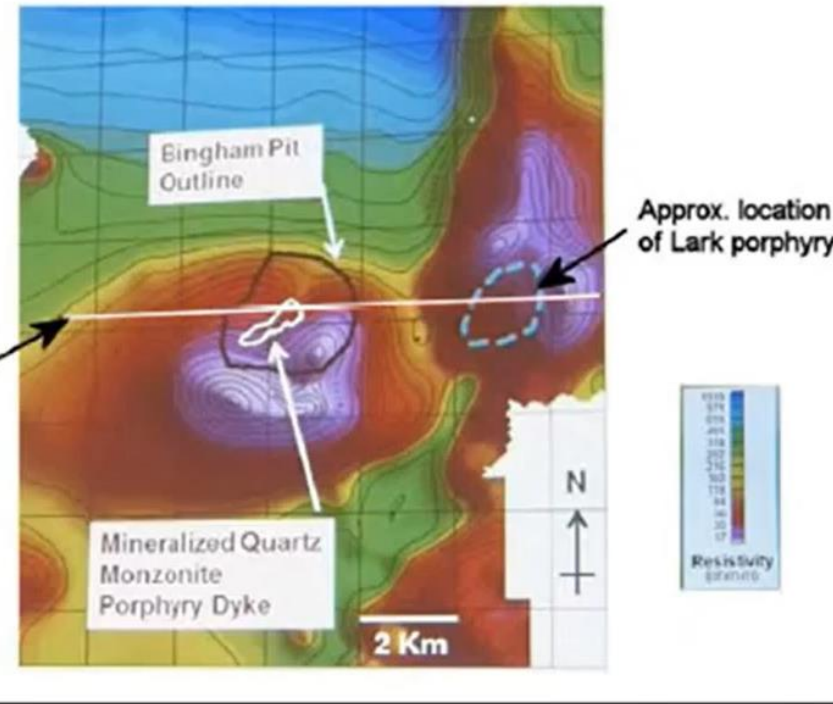
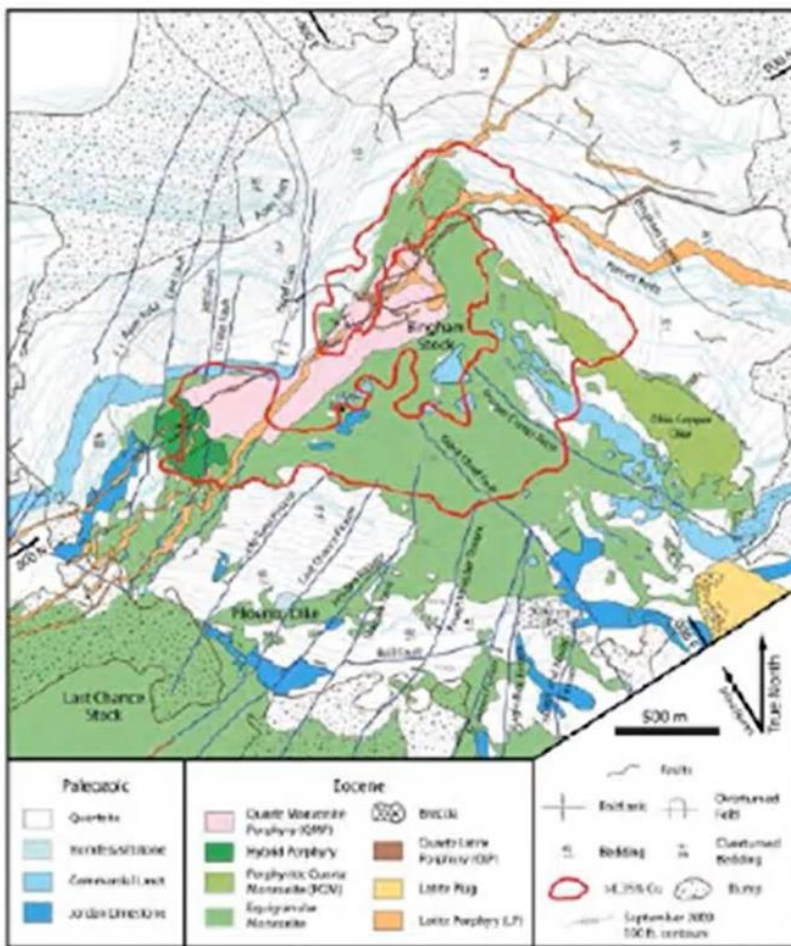
Presented by Richard Tosdal (PicachoEx LLC), in collaboration with Ken Witherly (Condor Consulting), at the 2018 Society of Exploration Geophysicists Conference, Porphyry Copper Workshop, held on October 18, 2018, in Anaheim California.

What can geophysics provide?

1. Magnetic susceptibility-mapping structure, lithology and alteration
2. Resistivity-mapping structure, lithology and alteration
3. Chargeability-mapping lithology and mineralization
4. Density-mapping structure and lithology
5. Radiometrics-mapping lithology and alteration



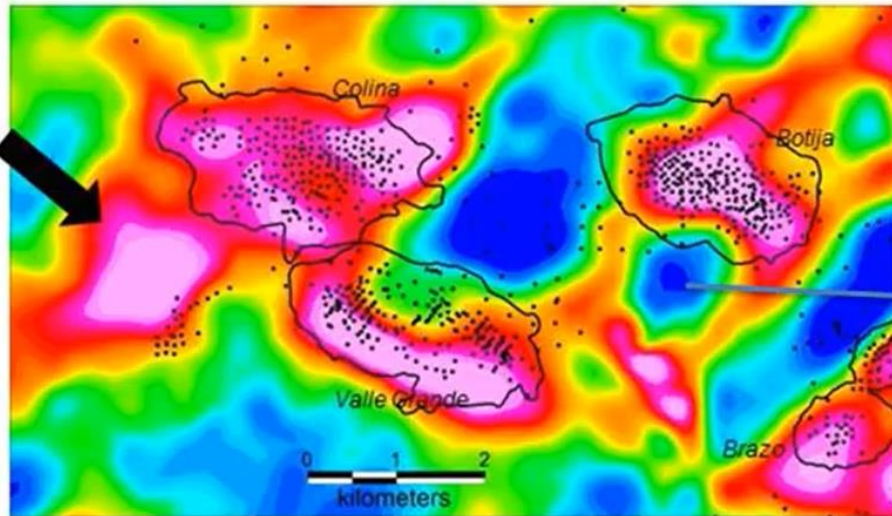
What does MT-conductivity at Bingham Canyon, Utah, imply?



Hinks, 2013

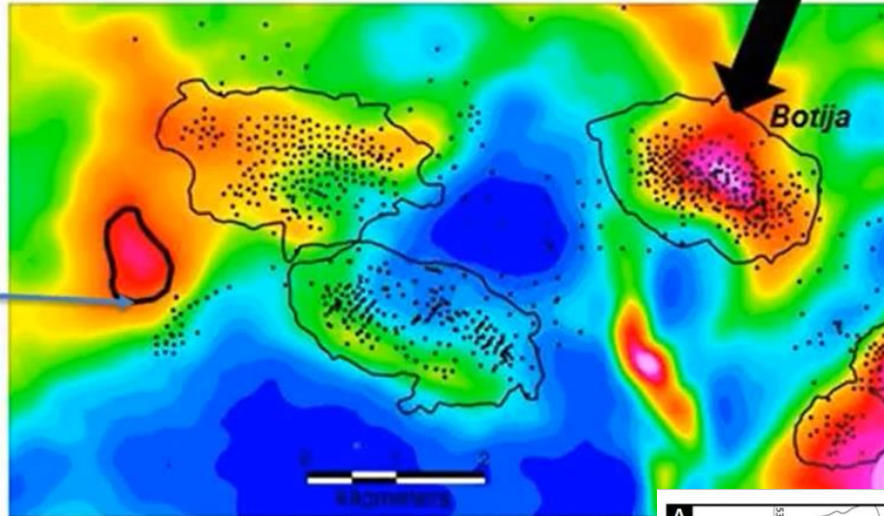
- Large conductivity anomaly corresponds with the giant Bingham Canyon PCD Cu-Mo deposit.
- Deposit sits on flank of anomaly in small indentation in the anomaly
- Anomaly corresponds on surface with Bingham Stock, an older precursor phase into which the mineralized system was emplaced.
- A similar indentation appears on the Lark porphyry, to the east

Аномалии электропроводности приурочены к известным объектам и позволяют выделить новые перспективные объекты



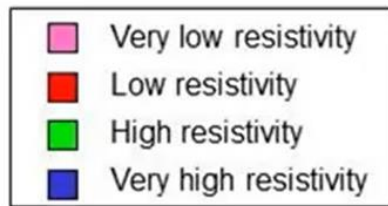
360Hz Total Phase Rotated In-phase

SHALLOW



45Hz Total Phase Rotated In-phase

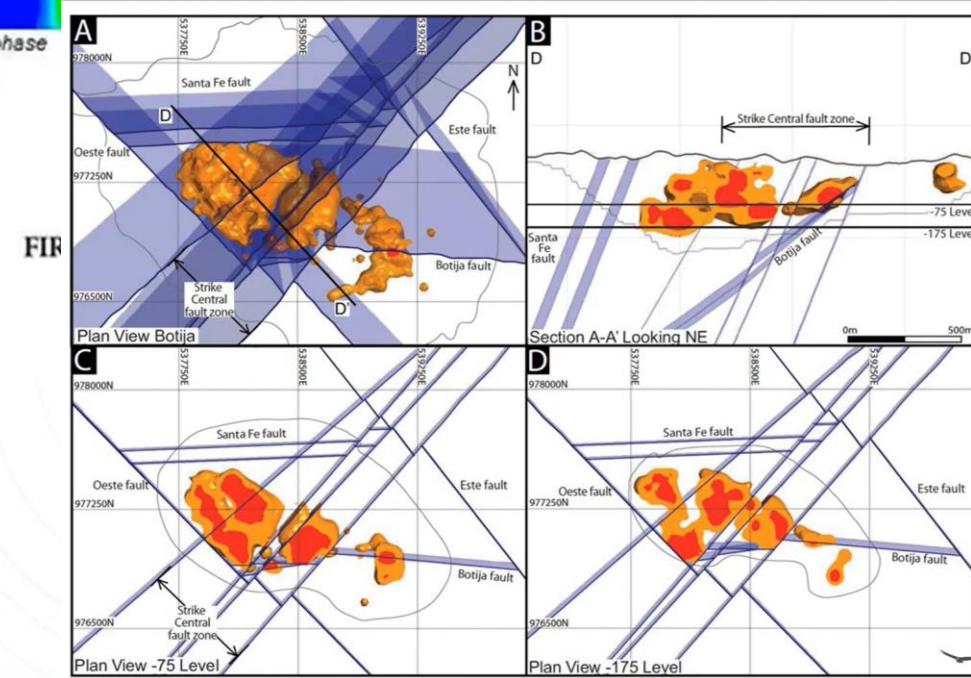
DEEP



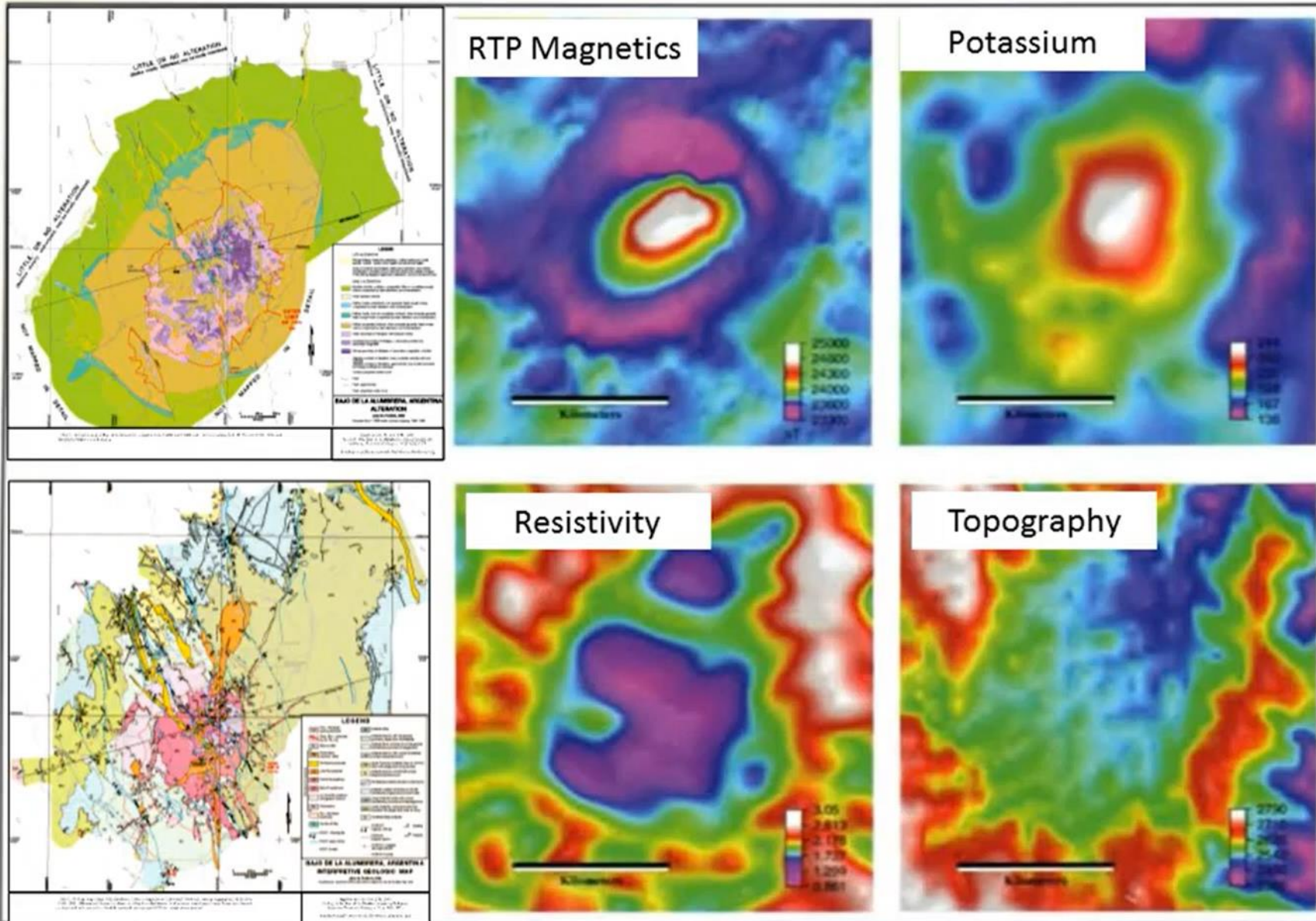
Minera Panamá

Assume EM response due to increased amount of sulfides

Аномалии электропроводности приурочены к известным объектам и позволяют выделить новые перспективные объекты, смещенные разрывными нарушениями



Geology and geophysics of Bajo de la Alumbraera PCD, Argentina



Пример «идеального» объекта.

Необходимо проведение полного комплекса аэрогеофизических работ.

При выполнении на одном носителе неизбежны снижение качества и потеря разрешающей способности одного или нескольких методов.

МЕТОДЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ИССЛЕДОВАНИЙ

РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

- Уточнение общего геологического строения территории;
- Уточнение факторов глубинного контроля ПИ (рудоконтролирующих и рудовмещающих структур);
- Определение границ локальных участков для дальнейших работ;
- Определение методики площадных наблюдений.

МЕТОДЫ

- Обобщение архивных данных
- Аэрогеофизические съемки
- МТ+АМТ зондирования
- МПП (ЗСБ)

- Магниторазведка
- Электроразведка

- Магниторазведка
- Электропрофилирование ВП
- Электротомография ВП
- АМТ и CSAMT
- ЧЗ (CSEM)
- МПП
- Гравиразведка

Региональные исследования

Беспилотные съемки

- Детальная геологическая и структурно-тектоническая схемы участка работ;
- Уточнение поисковой модели;
- Картирование рудоперспективных зон.

Заверочные наземные геофизические работы

- Заверка выделенных структур
- Локализация и определение параметров рудных объектов

БЕСПИЛОТНЫЕ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЯ: ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

Ключевые особенности:

- Проведение съемки в труднодоступных районах;
- Высокая производительность;
- Изучение участков со сложным горным рельефом;
- Исследования на участках площадью от первых до сотен км²
- Адаптация методики под решаемые задачи.

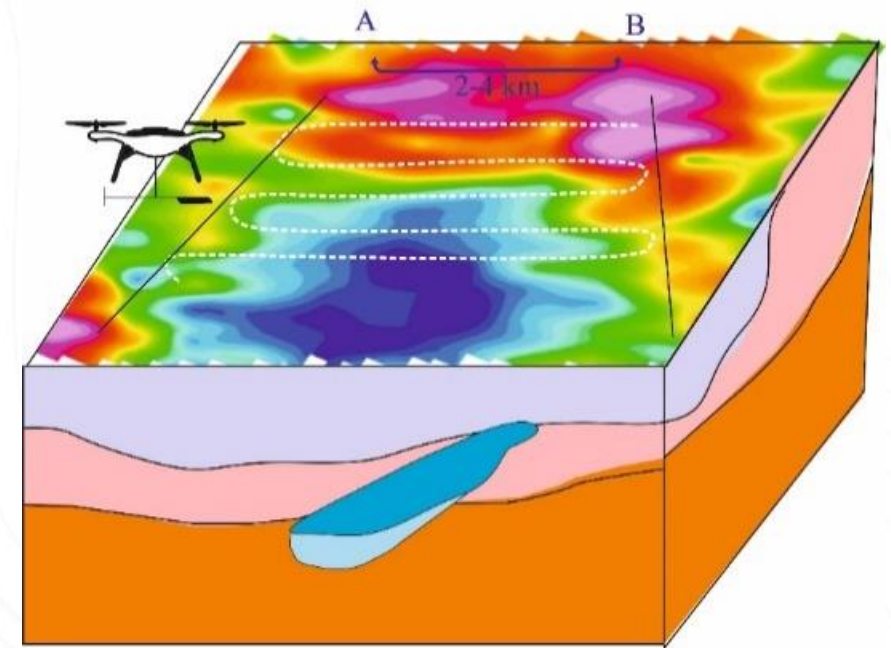
Создание геоэлектрических моделей до глубин несколько сотен метров, включая:

- прослеживание разрывных нарушений;
- уточнение границ интрузивных массивов, в том числе скрытых;
- выделение зон приконтактных изменений горных пород;
- локализацию перспективных для обнаружения рудной минерализации зон.



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЙ:

- Частотные исследования с горизонтальным электрическим диполем
- Частотный диапазон 10 Гц – 100 кГц;
- Регистрация несущей частоты и ее гармоник, использование свип-сигналов;
- Регистрация трех магнитных компонент (H_x , H_y and H_z);
- Регистрация сигналов СДВ радиостанций;
- Синхронная запись;
- Контроль качества данных;
- Расчет компонент поля и инвариантов;
- 1D инверсия данных



ОБОРУДОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЙ

РЕГИСТРАТОР



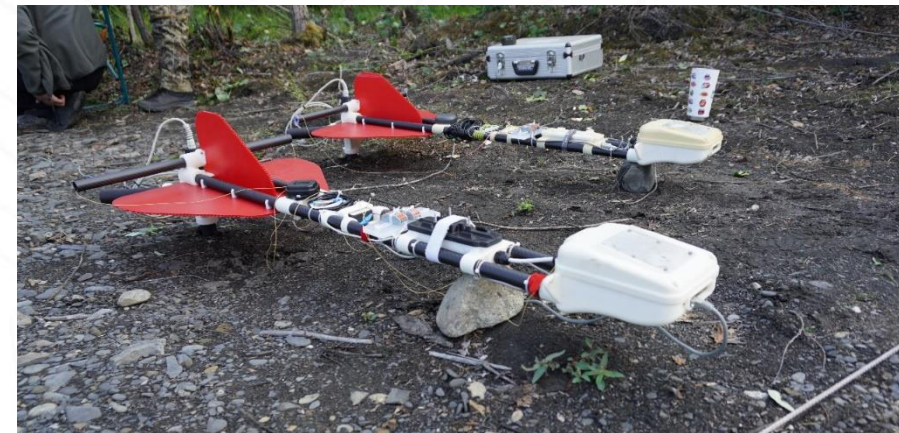
GPS

Инклинометр

индукционные датчики



- Регистратор смонтирован на буксируемом подвесе с учетом минимизации взаимных шумов компонентов системы;
- Вес 2.5 кг;
- Частота дискретизации 312 кГц



МЕТОДИКА БЕСПИЛОТНЫХ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЙ



Источник ЭМ поля:

Мощность: 37 кВт

Сила тока в линии: 18-20 А

Тип сигнала: прямоугольный с паузой

Длина ГЭД: 1-6 км

Ориентировочная площадь
рабочего планшета: 10-20 км²



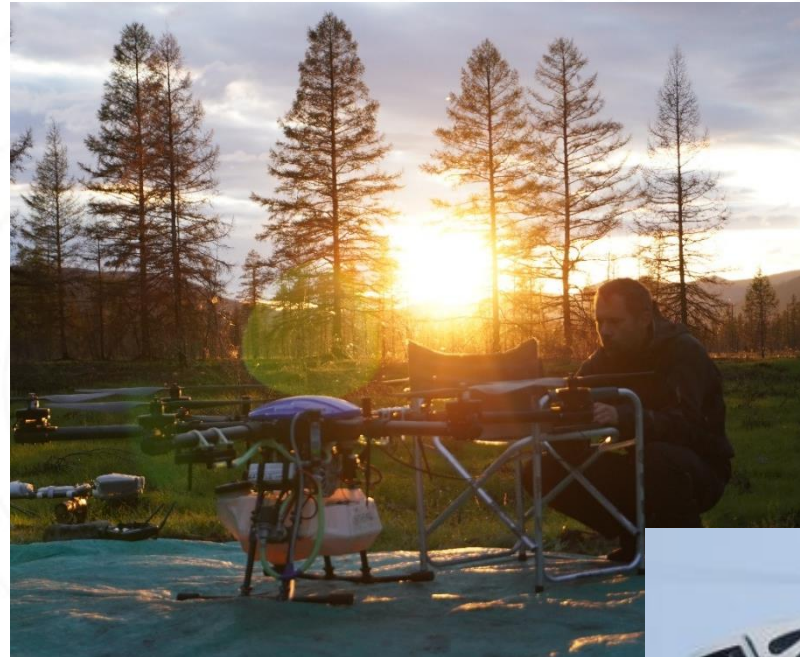
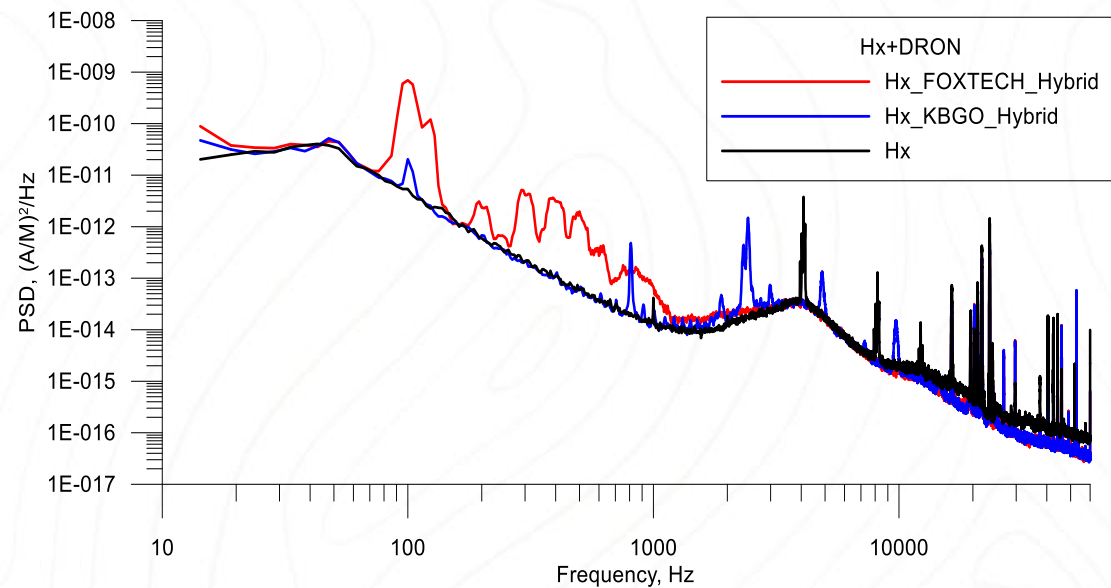
МЕТОДИКА БЕСПИЛОТНЫХ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЙ

Ключевые особенности:

- Проведение съемки в труднодоступных районах;
- Высокая производительность;
- Изучение участков со сложным горным рельефом
- Исследования на участках площадью от первых до сотен км²

Беспилотные носители:

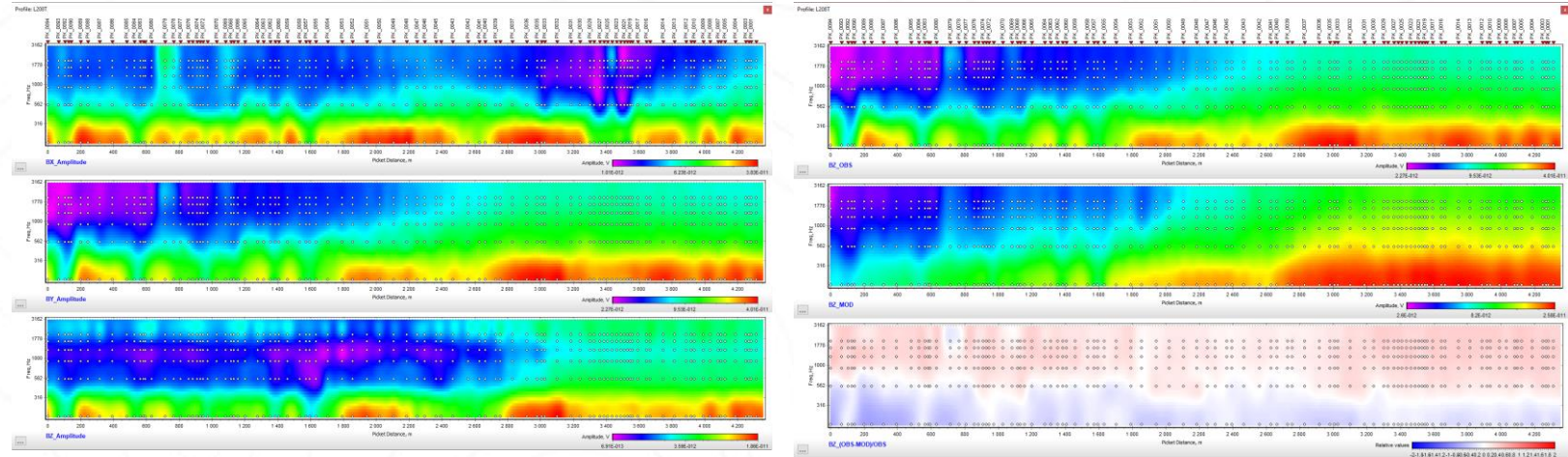
- автономность полета не менее 2 часов
- с массой полезной нагрузки не менее 2.5 кг



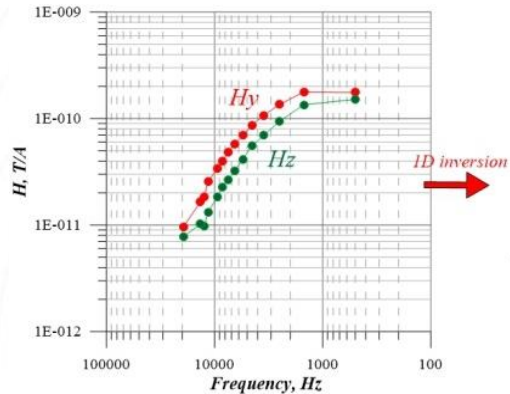
ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЙ

ЭТАПЫ ОБРАБОТКИ:

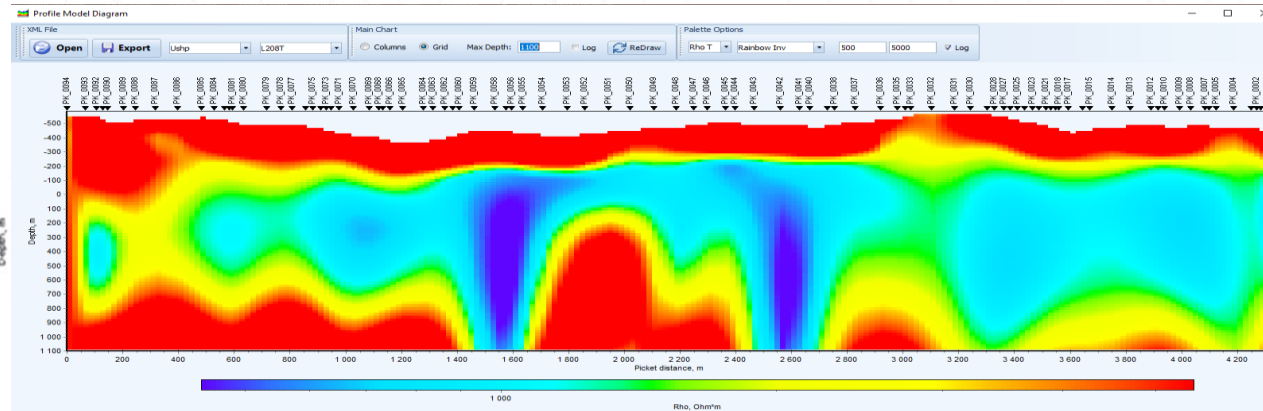
- учет и коррекция шумов, связанных с вращением и тряской системы;
- приведение к заданному азимуту;
- фильтрация шумов;
- расчет компонент ЭМ поля;
- расчет функций отклика среды для дальнейшей инверсии.



ОБРАБОТКА ДАННЫХ-АМПЛИТУДЫ КОМПОНЕНТЫ ЭМ ПОЛЯ НА ЗАДАННЫХ



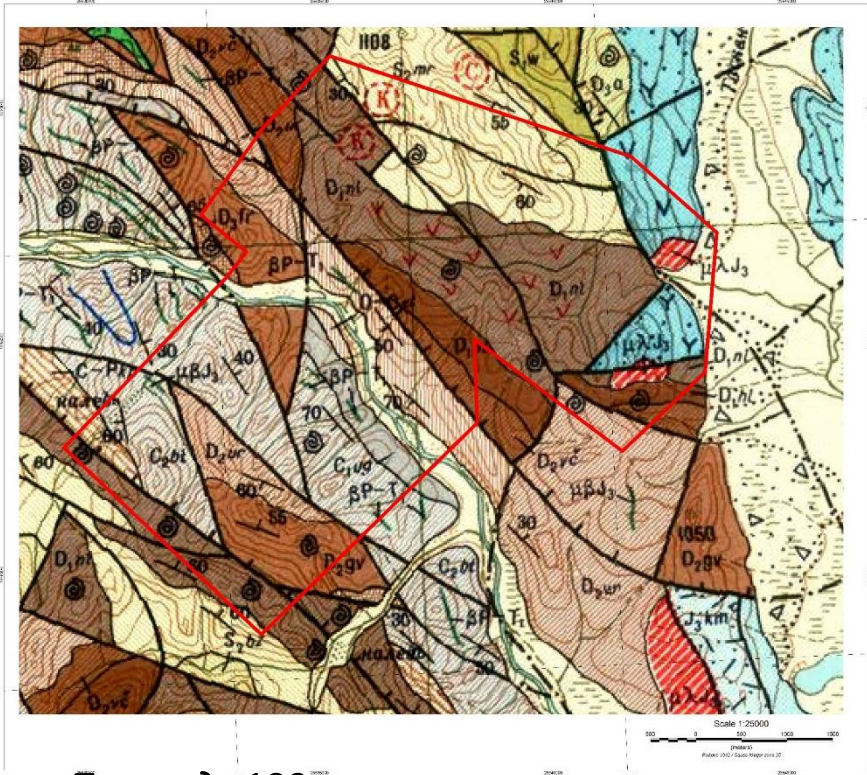
ИНВЕРСИЯ ЭМ ЗОНДИРОВАНИЙ



1D инверсия – эффективный инструмент для оперативного получения информации о распределении геоэлектрических параметров на участке работ, выделения аномальных областей для детальных съемок, создания стартовой модели для 3D инверсии.

3D инверсия – на сегодняшний день единственным апробированным доступным программным пакетом для работы с данными CSEM и других ЭМ зондирований является MODEM (A.Kelbert, N.Meqbel, G.Egbert, 2014).

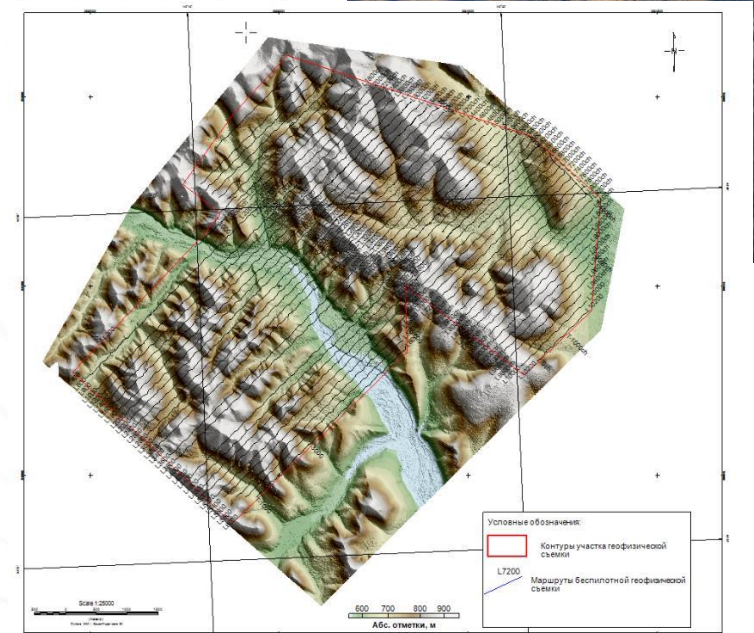
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ РЕШЕНИИ КАРТИРОВОЧНЫХ ЗАДАЧ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)



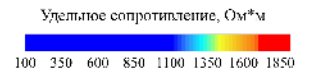
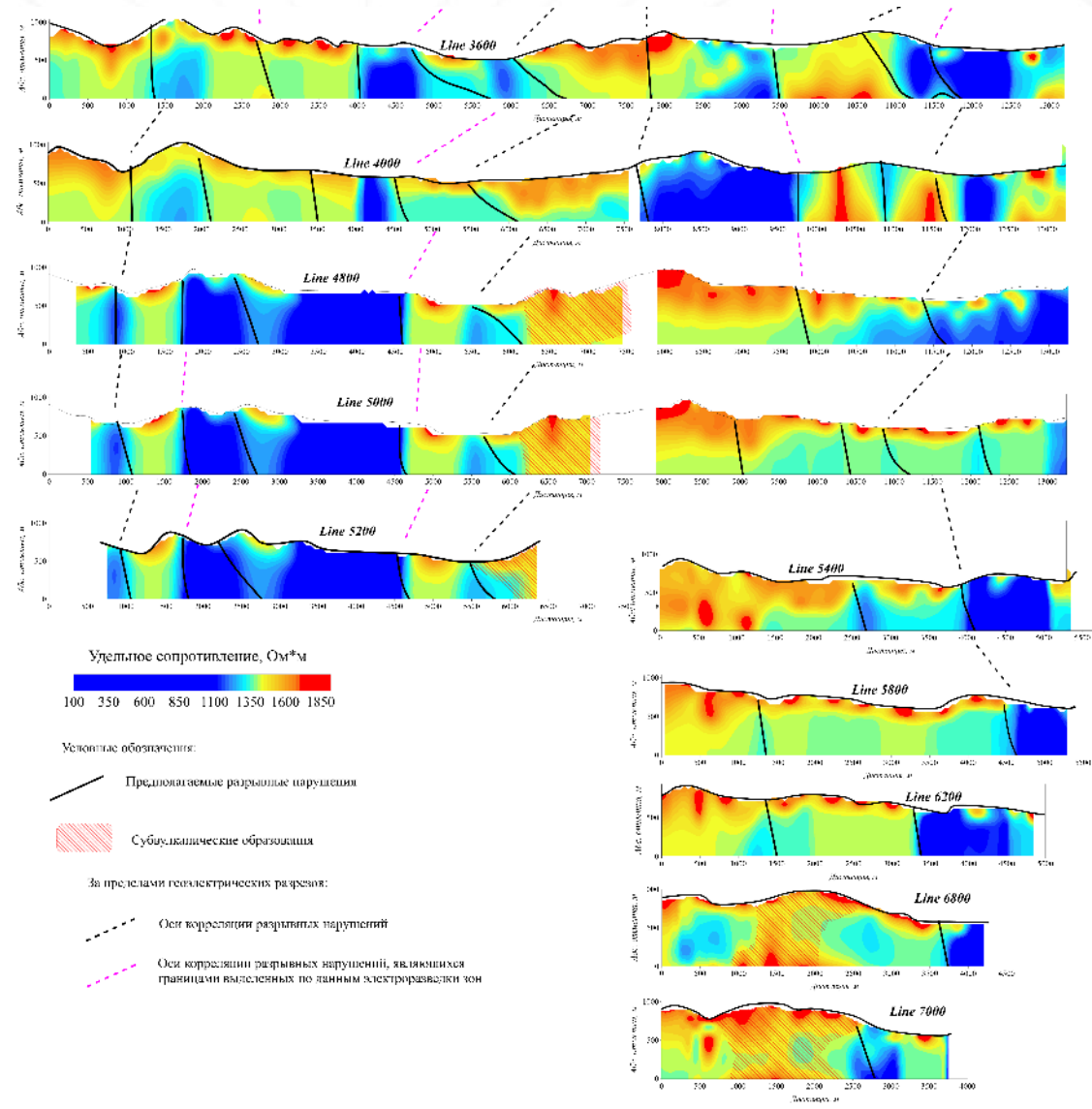
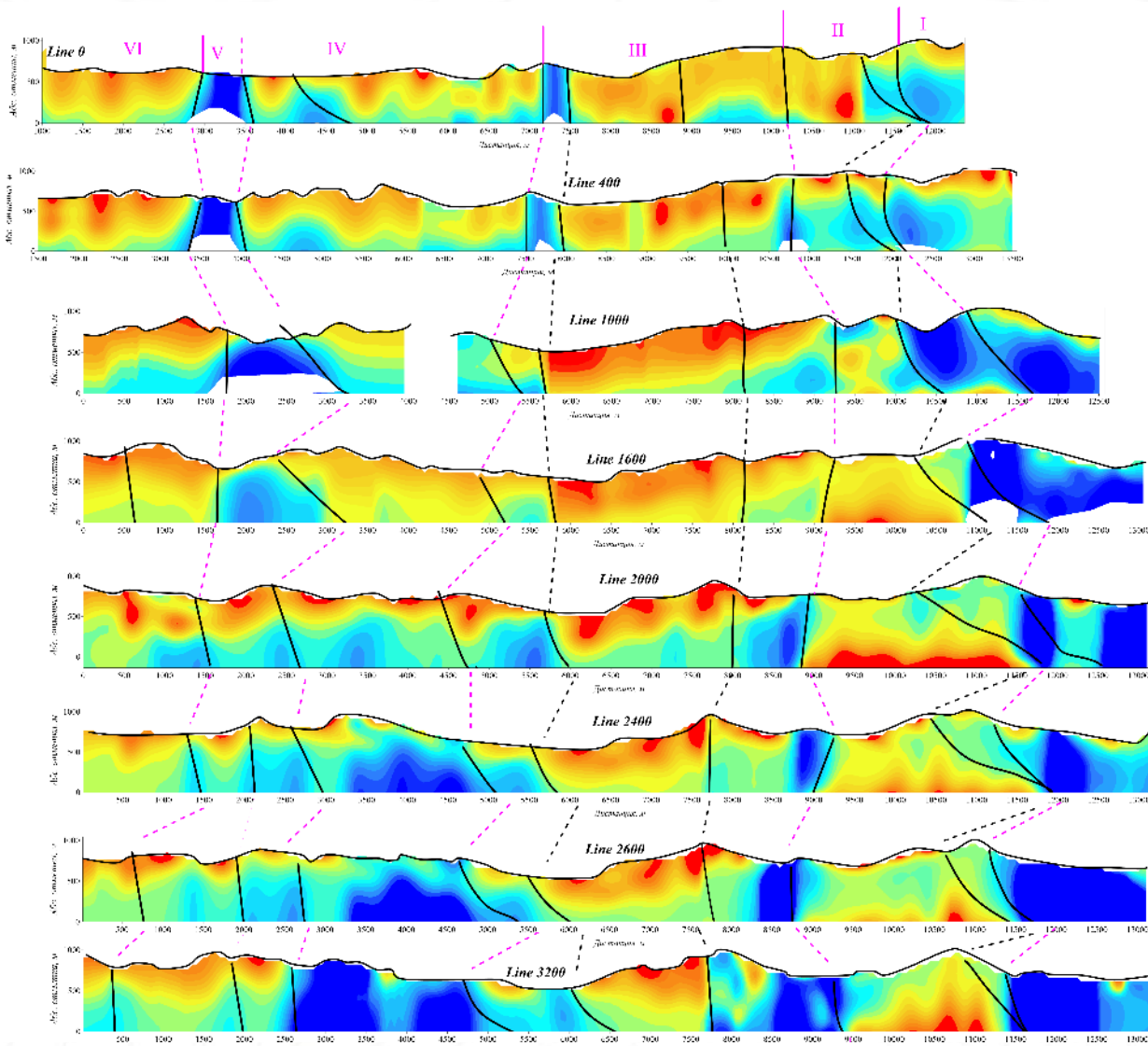
- Площадь 100 кв.км;
- Масштаб 1:20 000;
- Продолжительность работ
- двухметодной съемкой - 30 дней;

ЗАДАЧИ:

- уточнение строения зон надвигов и изучение поднадвиговых толщ;
- картирование скрытых интрузивных и субвулканических образований;
- выделение зон приконтактных изменений терригенных пород;
- выделение перспективных рудовмещающих зон по результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных.

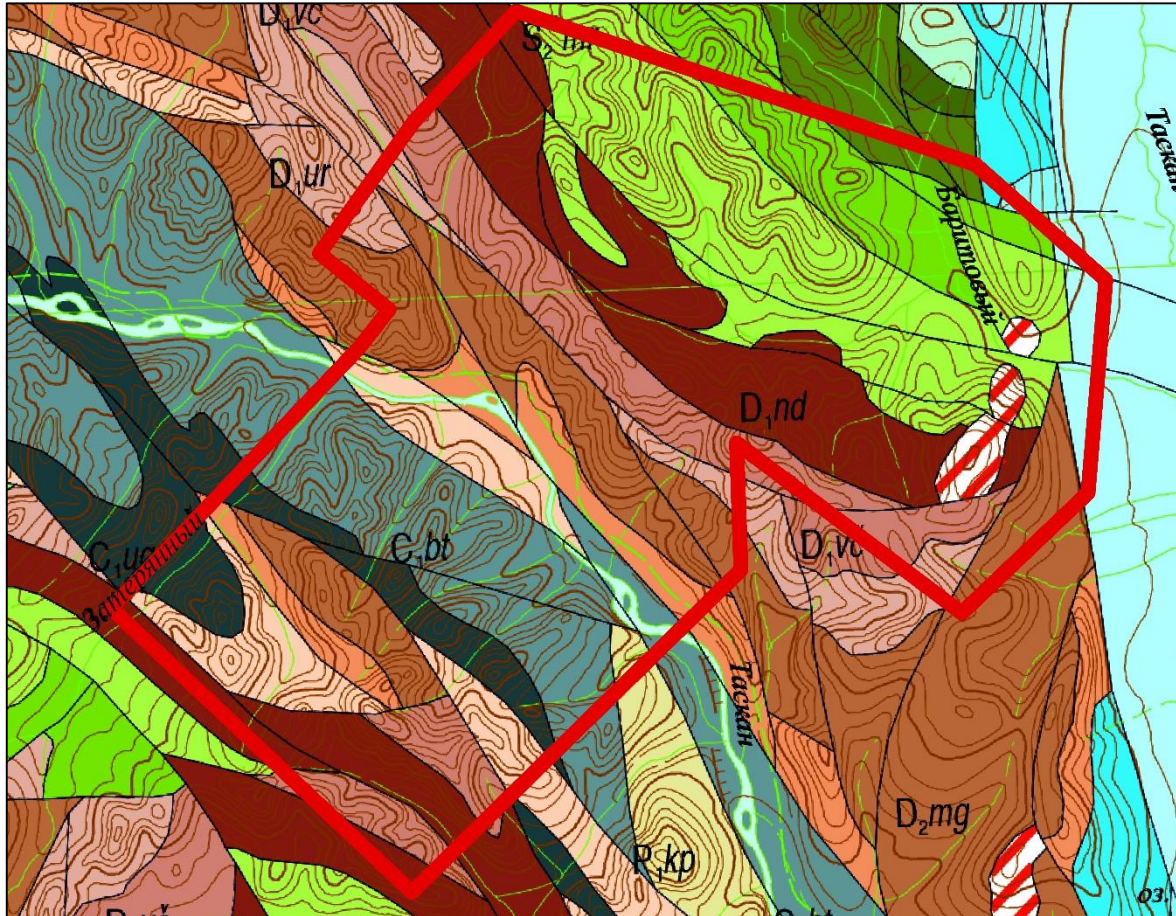


КАРТИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР



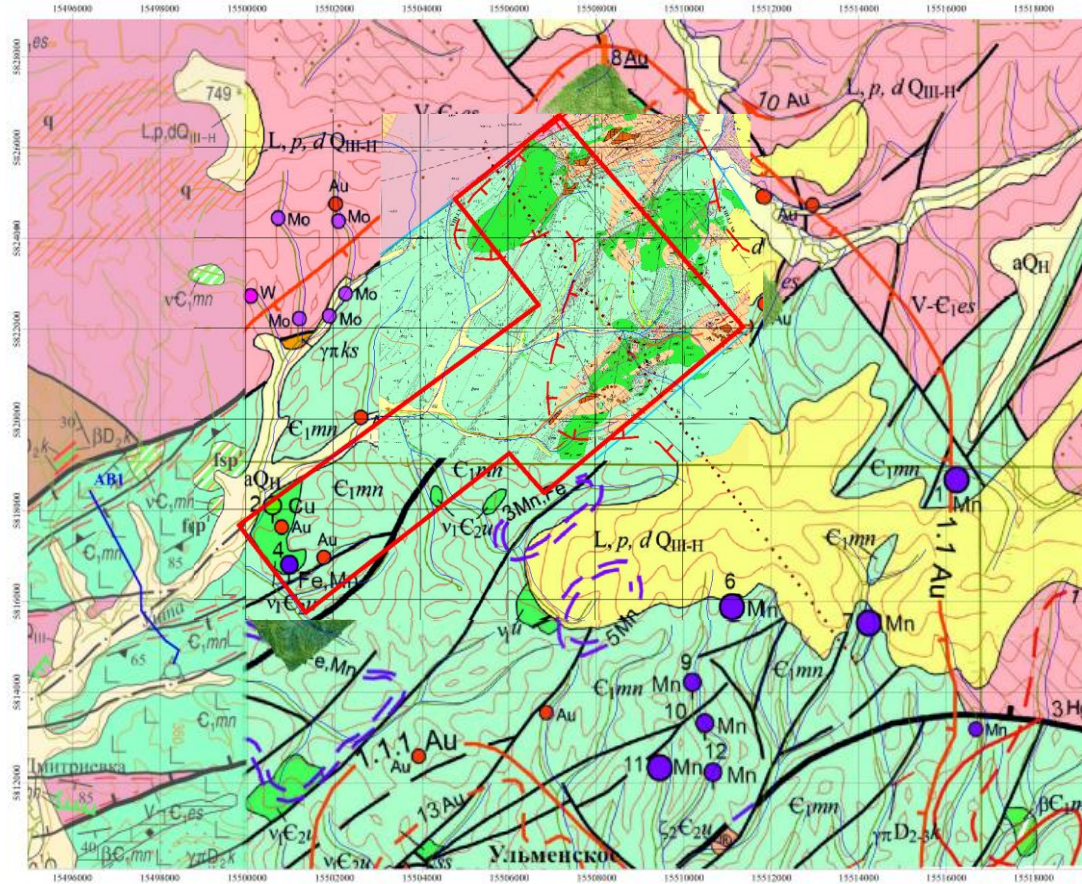
- Условные обозначения:
- Предполагаемые разрывные нарушения
 - Субвулканические образования

- За пределами геоэлектрических разрезов:
- Оси корреляции разрывных нарушений
 - Оси корреляции разрывных нарушений, являющихся границами выделенных по данным электроразведки зон



- Корреляция геоэлектрических разрезов. Позволила выделить 6 блоков, в пределах которых наблюдается схожее геоэлектрическое строение.
- Установлено два типа разрывных нарушений – субвертикальные и с углами падения менее 50° .
- По разрывным нарушениям наблюдаются вертикальные смещения границ геоэлектрических слоев.
- Полученные материалы позволили уточнить границы при создании ГГК-200/2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РУДНЫХ ЗОН (АЛТАЙ)



Комплекс геофизических методов:

- АМТЗ по опорному профилю
- БПЛ магниторазведка и электроразведка;



Анализ данных, выделение аномальных зон.



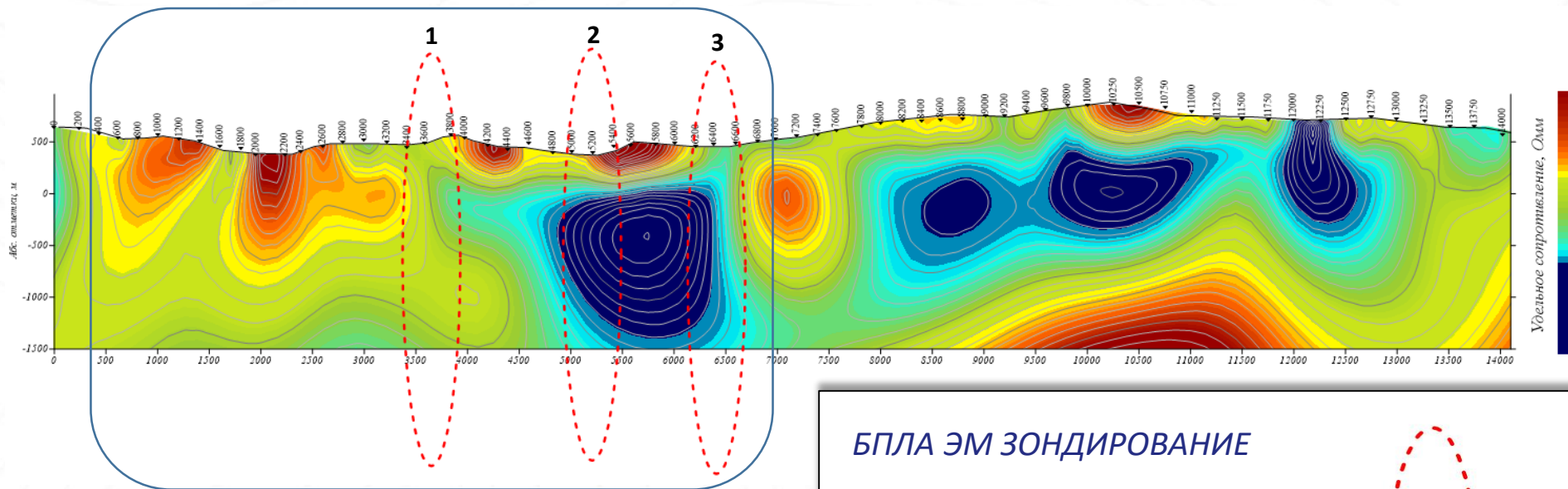
Заверка методом электротомографии ВП

Задачи

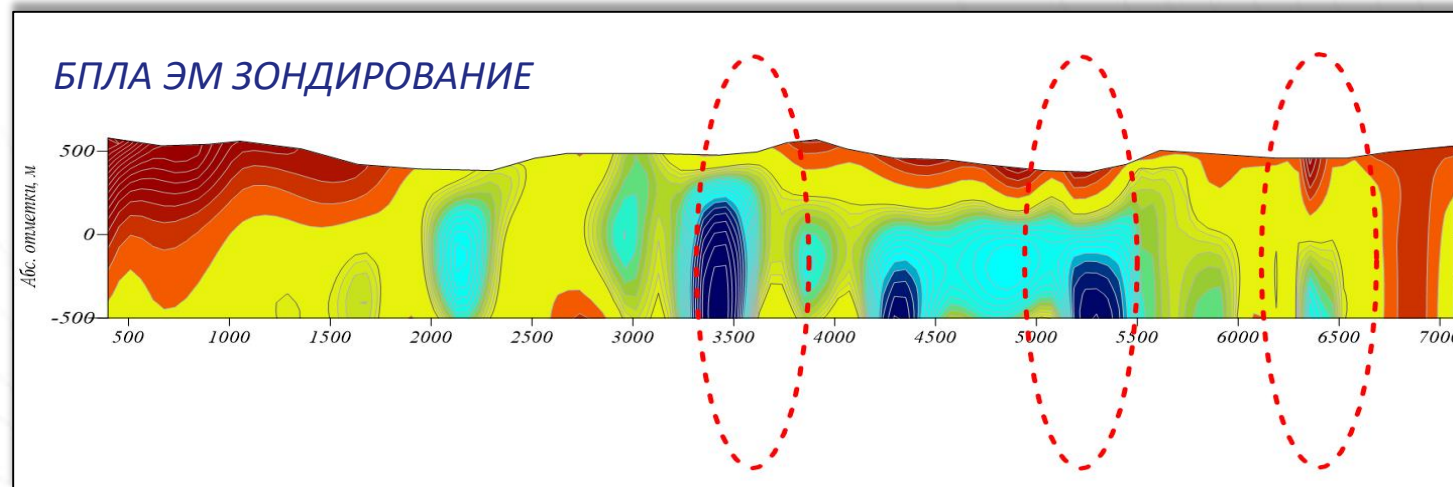
- Выделение зон сульфидной минерализации;
- Картирование областей распространения кор выветривания;
- Рекомендации по местам заложения поисково-картировочных скважин;

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РУДНЫХ ЗОН (АЛТАЙ)

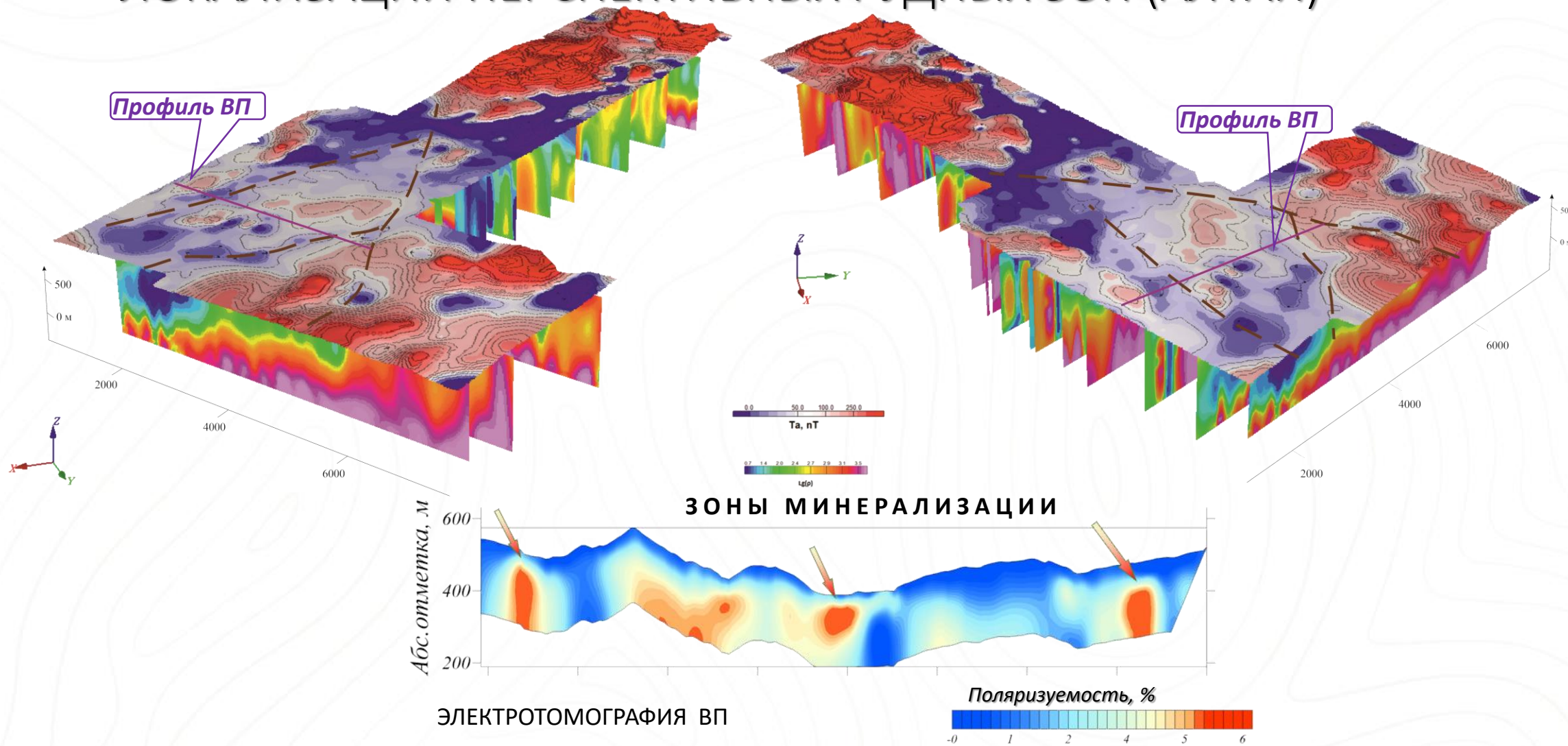
АМТ ЗОНДИРОВАНИЕ



Участок БПЛ съемок



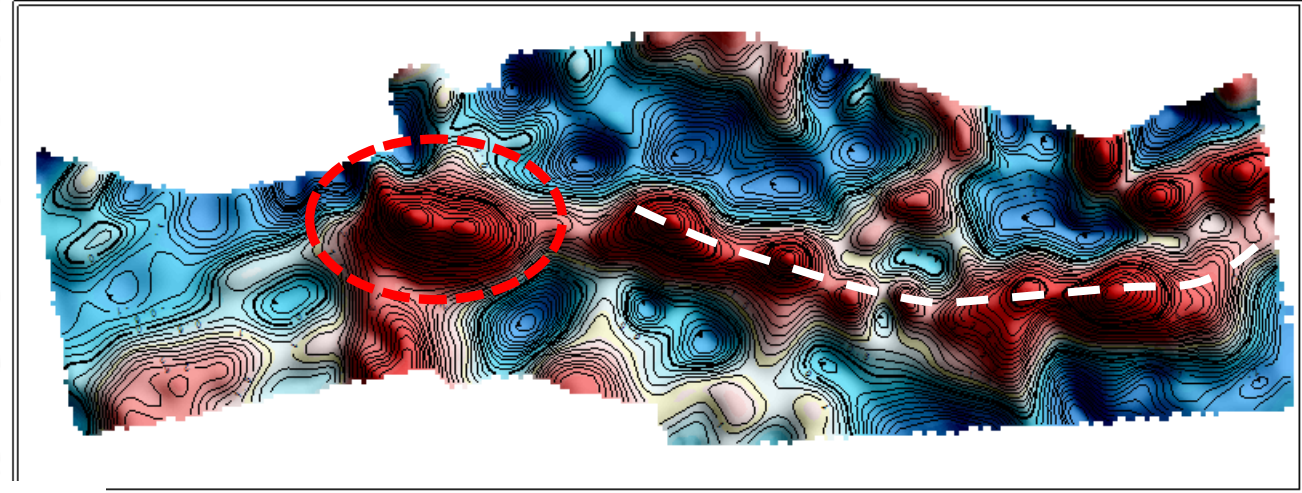
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РУДНЫХ ЗОН (АЛТАЙ)



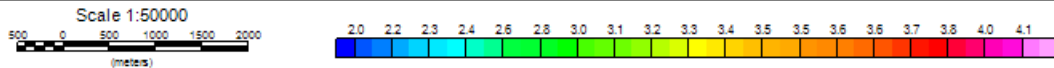
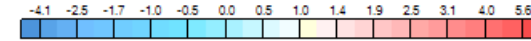
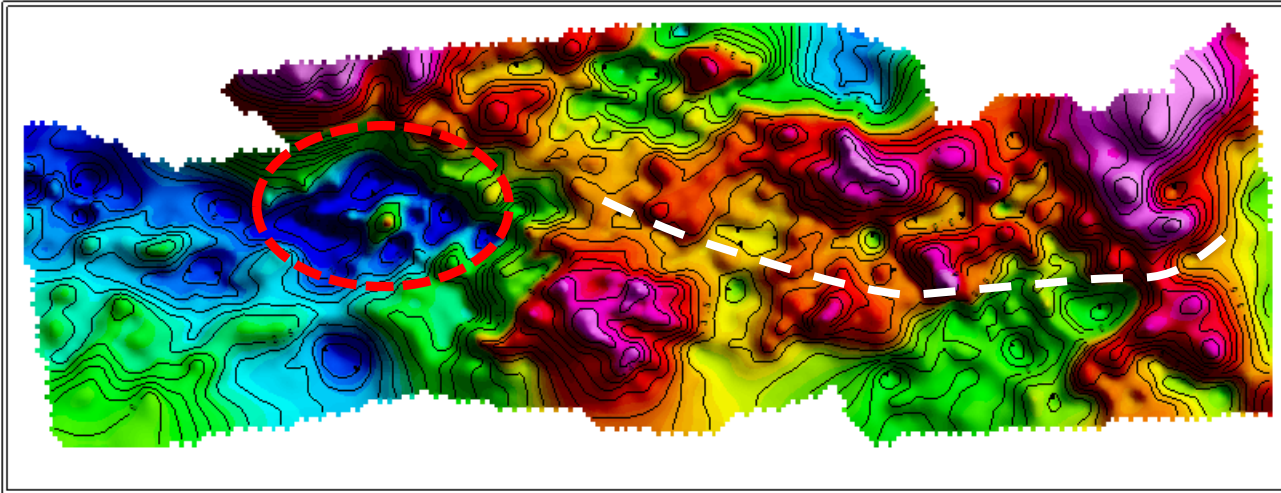
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ РУДНЫХ ЗОН

- Площадь 150 кв.км;
- Масштаб 1:20 000;
- Использовано 8 источников ЭМ поля

АНОМАЛЬНОЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НА АБСОЛЮТНОЙ ОТМЕТКЕ 500 М



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БЕСПИЛОТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Преимущества:

- ❑ Позволяет получать распределение электропроводности на участке работ до глубин 600 м, картировать интрузивные массивы, зоны разрывных нарушений, выделять локальные аномалии электропроводности;
- ❑ Методика адаптируется под необходимый диапазон глубин;
- ❑ Обеспечивает высокую разрешающую способность по латерали;
- ❑ Обладает высокой производительностью.

Практическое внедрение беспилотных ЭМ зондирований позволит:

- ❑ экономически эффективно выполнять аэрогеофизические съемки в сложных условиях на небольших площадях,
- ❑ максимально гибко планировать и проводить полевые геофизические работы: выполнять одновременно (в один полевой сезон) и детализационные аэрогеофизические и наземные заверочные геофизические исследования,
- ❑ снизить общие удельные затраты на геофизические исследования с увеличением эффективности геолого-геофизических работ,
- ❑ получать представительный массив геолого-геофизической информации за счет оперативного проведения измерений, особенно на труднодоступных участках при сокращении сопутствующих видов работ на авиационное обеспечение и др.