

48-е заседание Международного научного семинара им. Д.Г.Успенского –  
В.Н.Страхова «Вопросы теории и практики геологической интерпретации  
геофизических полей»



SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES



ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ И  
ВЫЗВАННОЙ  
ПОЛЯРИЗАЦИИ  
В РЕСПУБЛИКЕ  
КАЗАХСТАН

Давыденко Ю.А., к.т.н.  
Шкиря М.С.  
Гуревич Д.М.

Siberian School  
of Geosciences



- Порфирировая система как объект поиска
- ЭМЗ-ВП
  - Технология
  - 1D инверсия
  - 3D инверсия
- БПЛА-магнитометрия
  - Технология съемки
  - Каскадная векторная 3D инверсия
- Результаты полевых работ
  - Шуакская площадь (ЭМЗ-ВП)
    - Монгол-северный
    - Монгол 1, 2
    - Кызыл-Сор
  - Каншоки (ЭМЗ-ВП+магниторазведка)
- Выводы

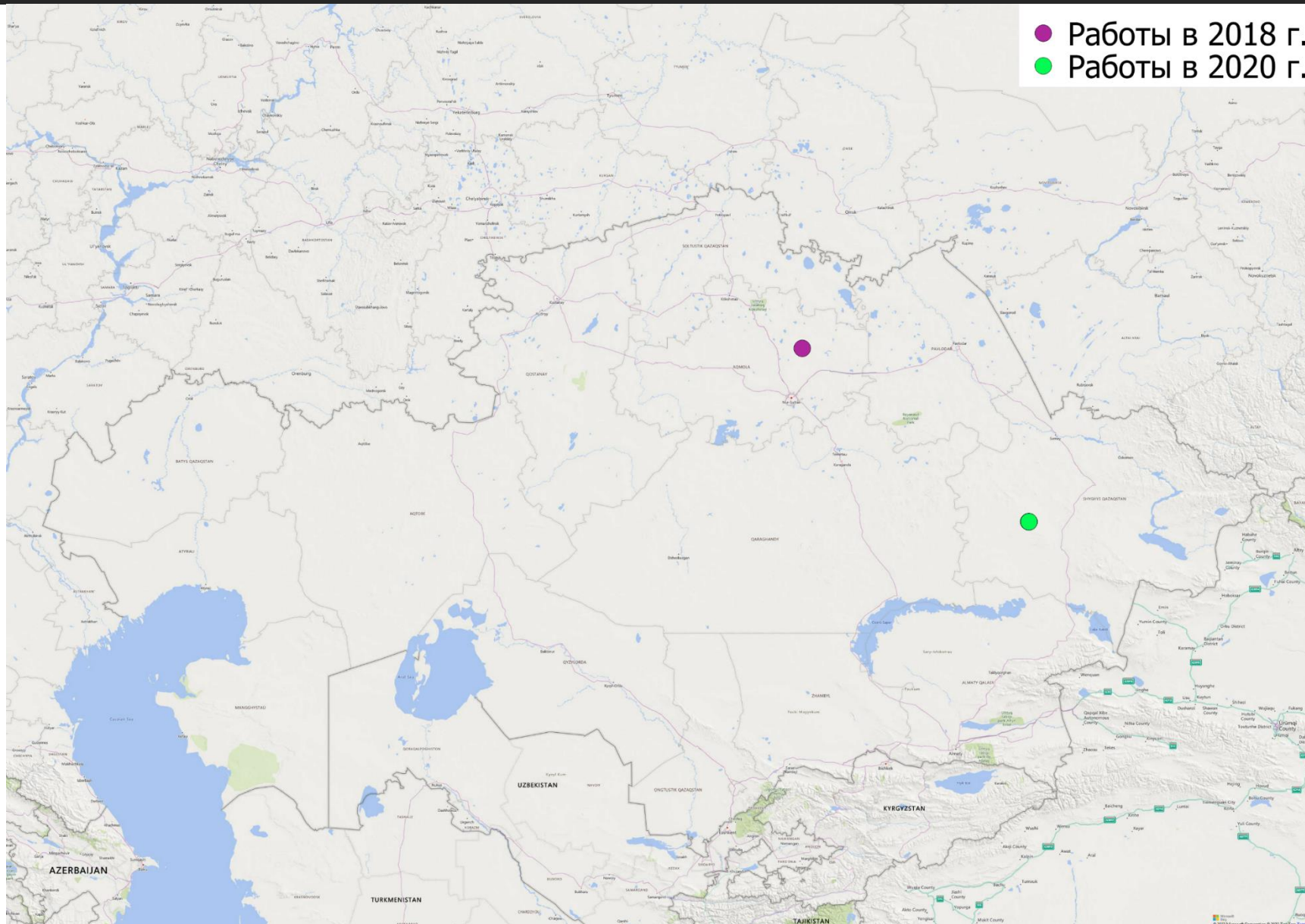


SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES



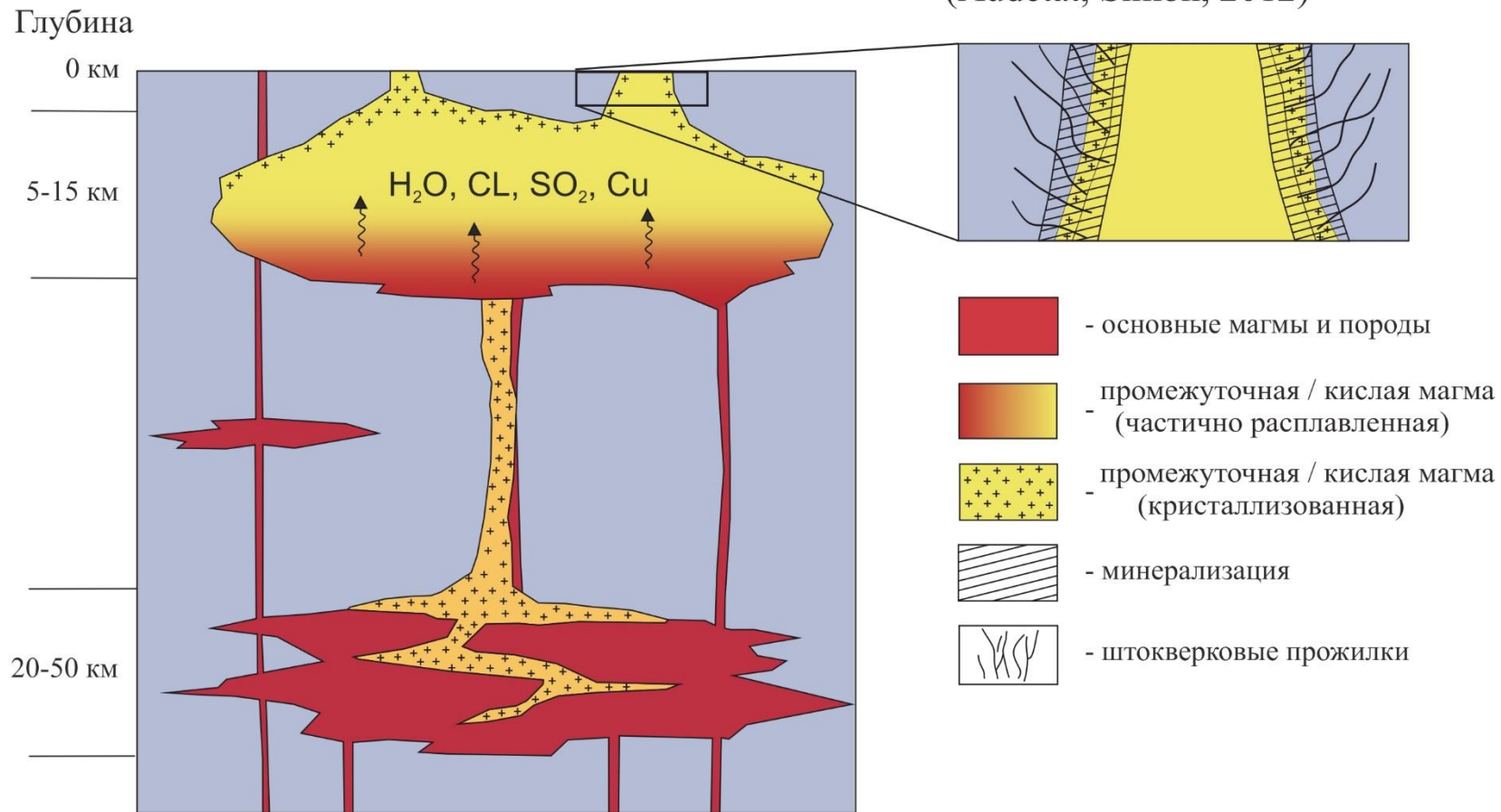
Порфи́ровая система  
как объект поиска

# Работы ЭМЗ-ВП в Казахстане



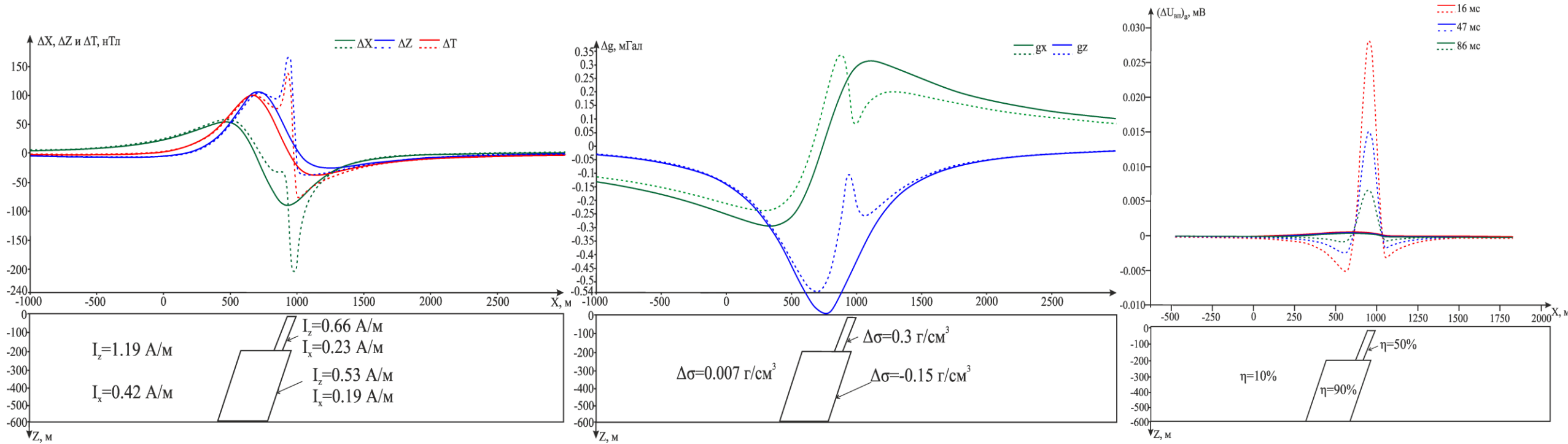
# Порфировая система

Многоочаговые порфировые системы без сопровождающих типов руд (Audetat, Simon, 2012)



Схематическое поперечное сечение развивающейся порфировой системы Cu, включающей область источника, похожую на месиво (глубина от 20 до 50 км), композиционно-слоистую магматическую камеру (5-15 км), питающую вулканическое сооружение, и апофиз с достаточной минерализацией штокверка (2-5 км). Проникновение мафической магмы в основание магматической камеры и ее частичное смешивание с вышележащей, более развитой магмой приводит к переносу летучих веществ и металлов в последнюю магму.

# Оценка контрастности прямым моделированием





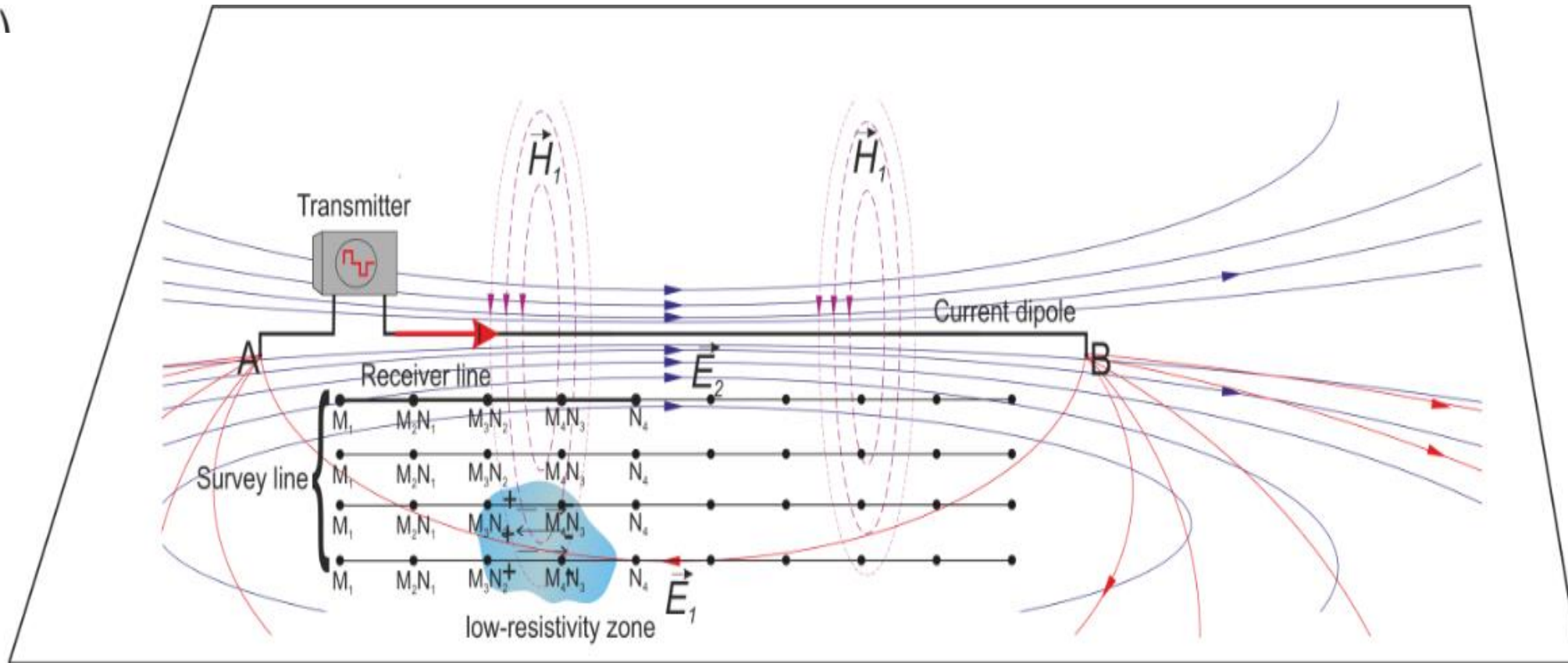
SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES



Технология ЭМЗ-ВП

# Измерительная система ЭМЗ-ВП

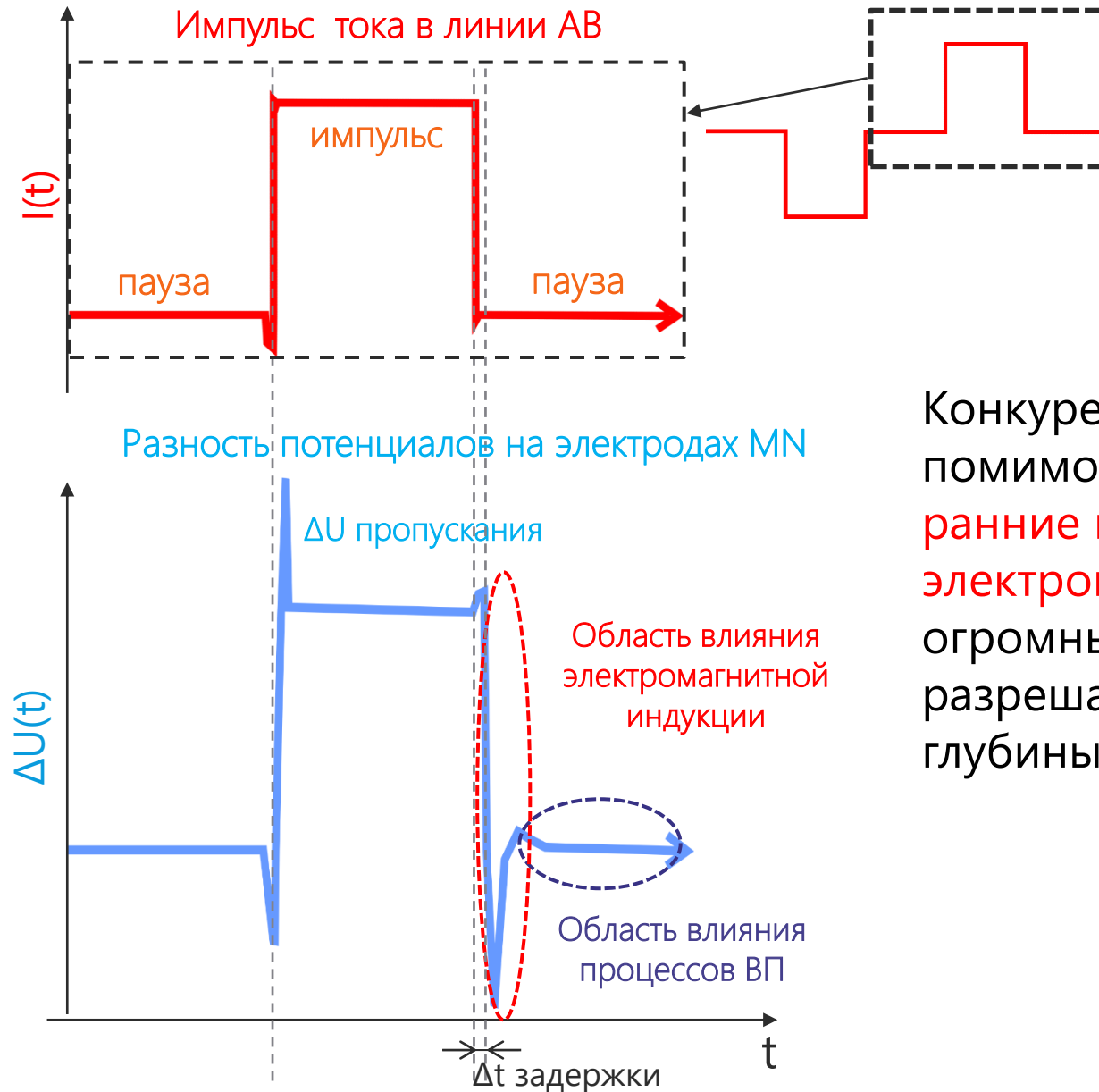
ЭМЗ-ВП – метод импульсной электроразведки с заземленными генераторным и приемным диполями, в котором осуществляются зондирования становлением поля



Заземленный диполь представляет из себя источник сложного типа: среда одновременно возбуждается током пропускания через точки заземления A и B, а так же нестационарным электромагнитным полем от длинного кабеля.



# Особенности технологии ЭМЗ-ВП



Возбуждаются разнополярные импульсы тока с заданными временами импульса и паузы

Конкурентное преимущество: помимо регистрации процесса **ВП** измеряем **ранние времена спада (процессы электромагнитной индукции)**, что дает огромный прирост информации о разрезе и разрешающую способность на глубины до **1 км**

# Аппаратура Mars



## Особенности технологии ЭМЗ-ВП

- Широкополосная измерительная система (0-50 кГц)
- GPS/GLONASS-синхронизация генератора и приемной аппаратуры
- Многоканальные приемные модули с высокоомным входом (более 20 МОм)
- Разделение индукционных и поляризационных эффектов для комплексной интерпретации данных

## Высокая производительность технологии ЭМЗ-ВП обеспечивается применением АПЭК «Марс»

- Частота дискретизации 100кГц
- Использование установки срединного градиента
- Сохранение массива первичных данных
- Первичная обработка с применением методов робастной статистики
- Регистрация переходных процессов на уровне первых микровольт

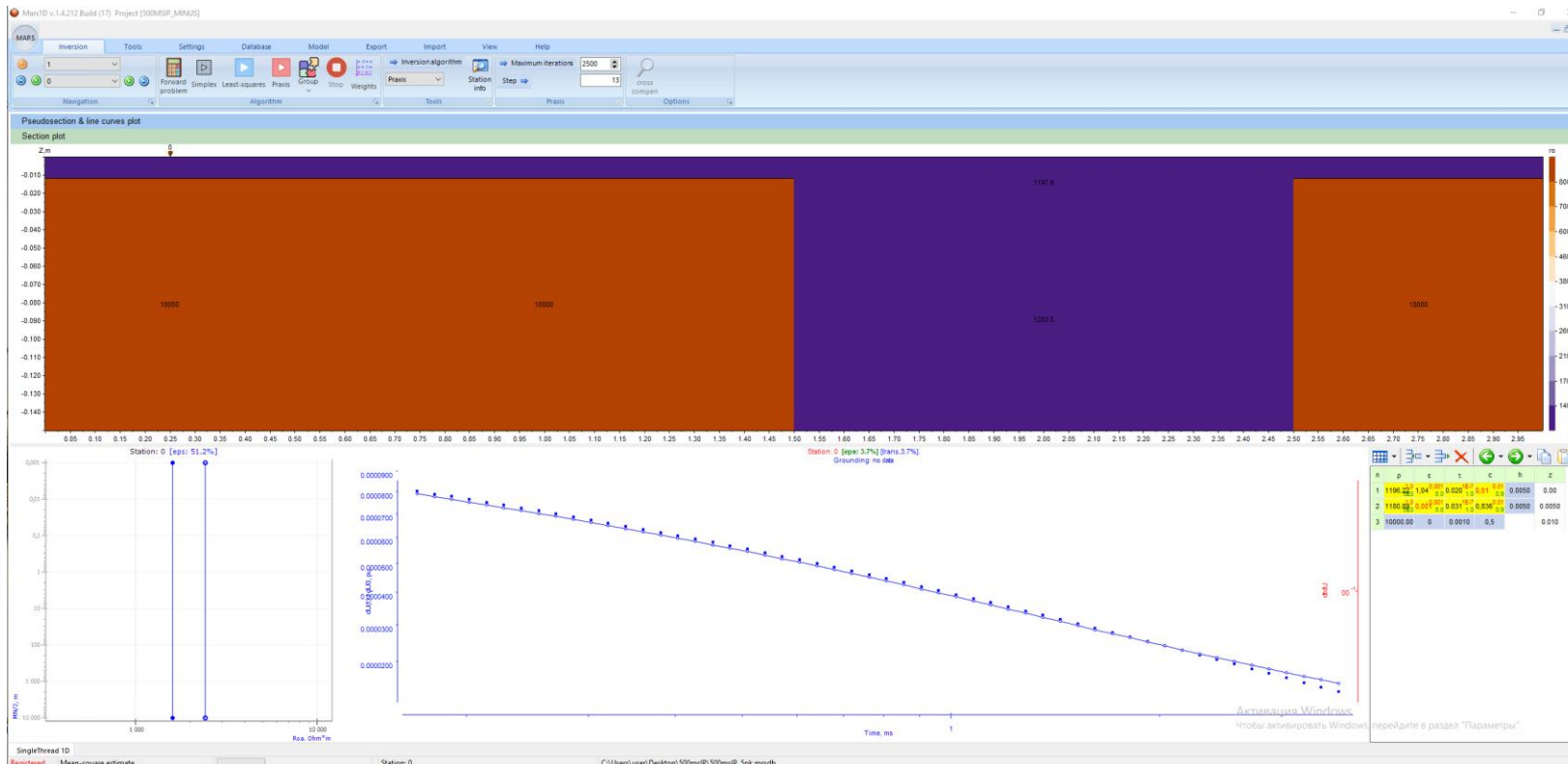
## Технология ЭМЗ-ВП имеет

- Высокую чувствительность к индукционной составляющей электромагнитного поля
- Значительно более высокую чувствительность к поляризационным эффектам



# Программа одномерной инверсии электромагнитных зондирований Mars1D

MARS1D - программа для автоматической/полуавтоматической одномерной интерпретации профильных данных электромагнитных зондирований в рамках одномерной модели поляризующейся модели.



Методы:

- ЗСБ/МПП
- ЭМЗ-ВП
- БПЛА-МПП
- CSEM

Оригинальный набор алгоритмов минимизации:

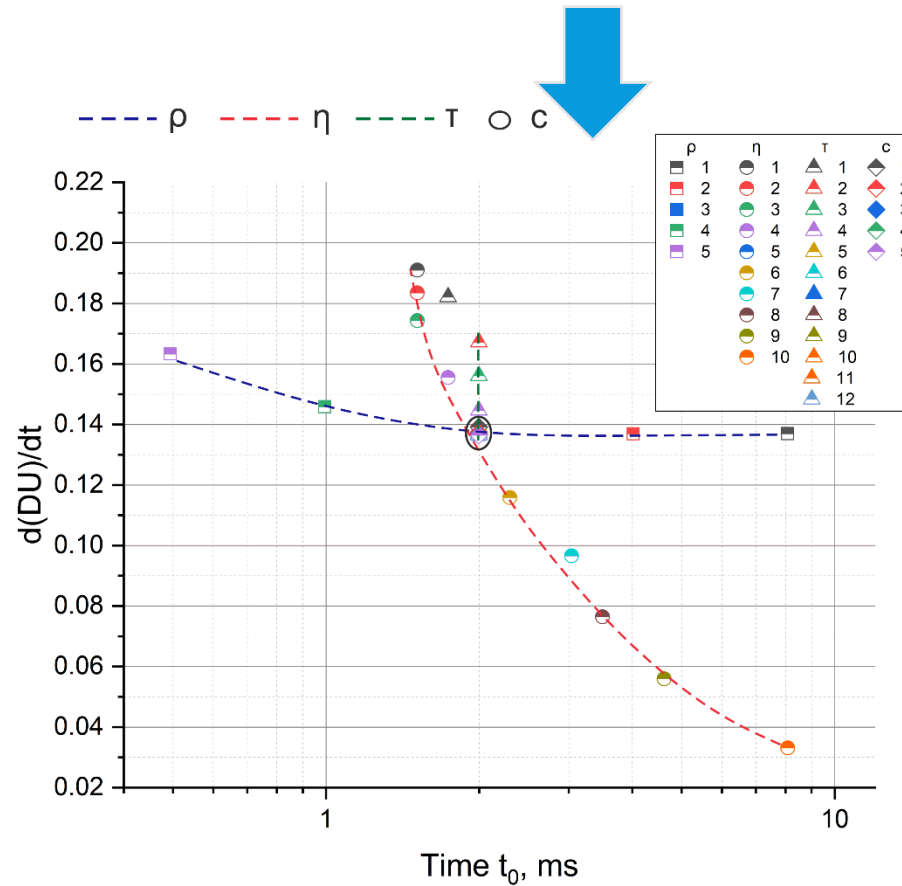
- Метод главных осей
- Нелдера-Мида
- Метод наименьших квадратов

Пространственная стабилизация результатов инверсии площадных данных

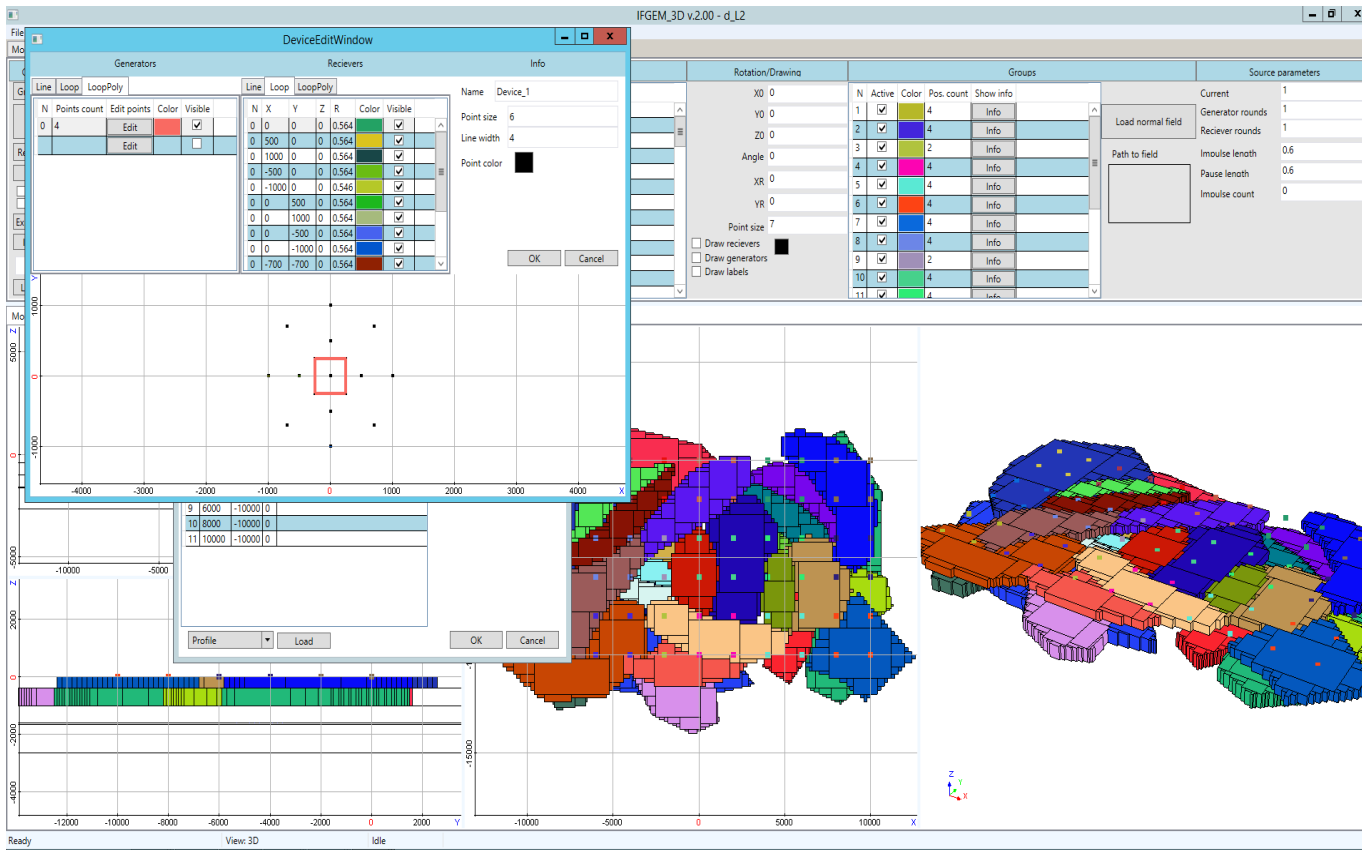
# Оценка чувствительности измерительной системы ЭМЗ-ВП к поляризационным параметрам 1D модели

Модель Cole-Cole

$$R(\omega) = R_0 \left\{ 1 - \eta \left[ 1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^c} \right] \right\}$$



# Программное обеспечение 3D-моделирования и 3D-инверсии IFGEM 3D



Программный комплекс предоставляет возможность 3D-моделирования технологий электроразведки для различных источников возбуждения электромагнитного поля и для геоэлектрических моделей произвольной сложности. При расчетах учитываются: рельеф дневной поверхности, изогнутые границы между слоями геоэлектрической модели, наклонные объекты, объекты сложной формы в плане.

Программный комплекс предоставляет возможность геометрической 3D-инверсии данных электроразведки. Позволяет осуществлять инверсию данных для различных технологий и строить единую геоэлектрическую модель.

Имеется возможность проведения расчетов в неоднородной распределенной вычислительной системе.

Разработано под руководством  
д.т.н М.Г. Персова, НГТУ

Поверхности между слоями, включая рельеф Земли, описываются наборами точек  $(x_p, y_p, z_p)$ , по которым для проведения расчетов строятся сглаживающие бикубические сплайны. Эти наборы могут быть загружены из вне (для учета сейсмических данных) и фиксированы, а могут корректироваться в ходе инверсии путем поиска смещений опорных точек.



SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES



БПЛА-Магниторазведка

# Технология БПЛА-магниторазведки

**БПЛА «Geoscan 401»**



**Аппаратура ООО «Геоскан»**

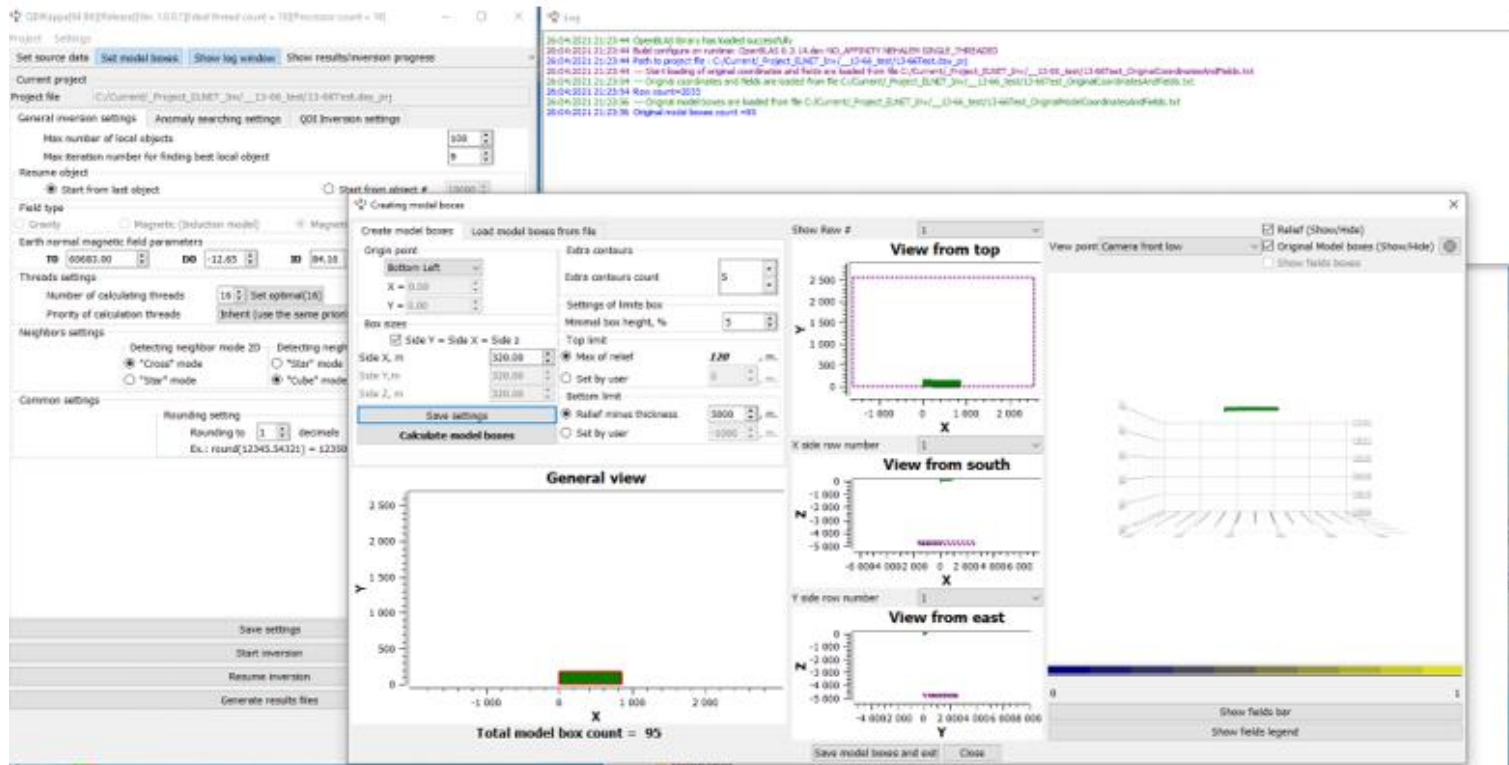
Двигатель	Электрический, бесколлекторный – 4 шт
Средняя продолжительность полёта	30 мин
Крейсерская скорость полёта	около 20 км/ч
Высота полета	60 м
Высота датчика	40 м

**Квантовый магнитометр с рубидиевым магниточувствительным датчиком**



Чувствительность	$1 \text{ пТл}/\sqrt{\text{Гц}}$
Диапазон измерений	20000 нТл – 100000 нТл
Общая девиационная ошибка	$< 0,5 \text{ нТл}$
Частота измерений	500 Гц

# QDIКарра



Фрагмент интерфейса программы QDIКарра

[Давыденко А., 2020]

Реализованы метод векторного сканирования с определением геометрии выбранных локальных объектов.

Метод эластичной сети используется в регуляризирующем функционале алгоритма линейной инверсии.

Определяются следующие параметры объектов:

- магнитная восприимчивость
- индуктивная намагниченность
- остаточная намагниченность

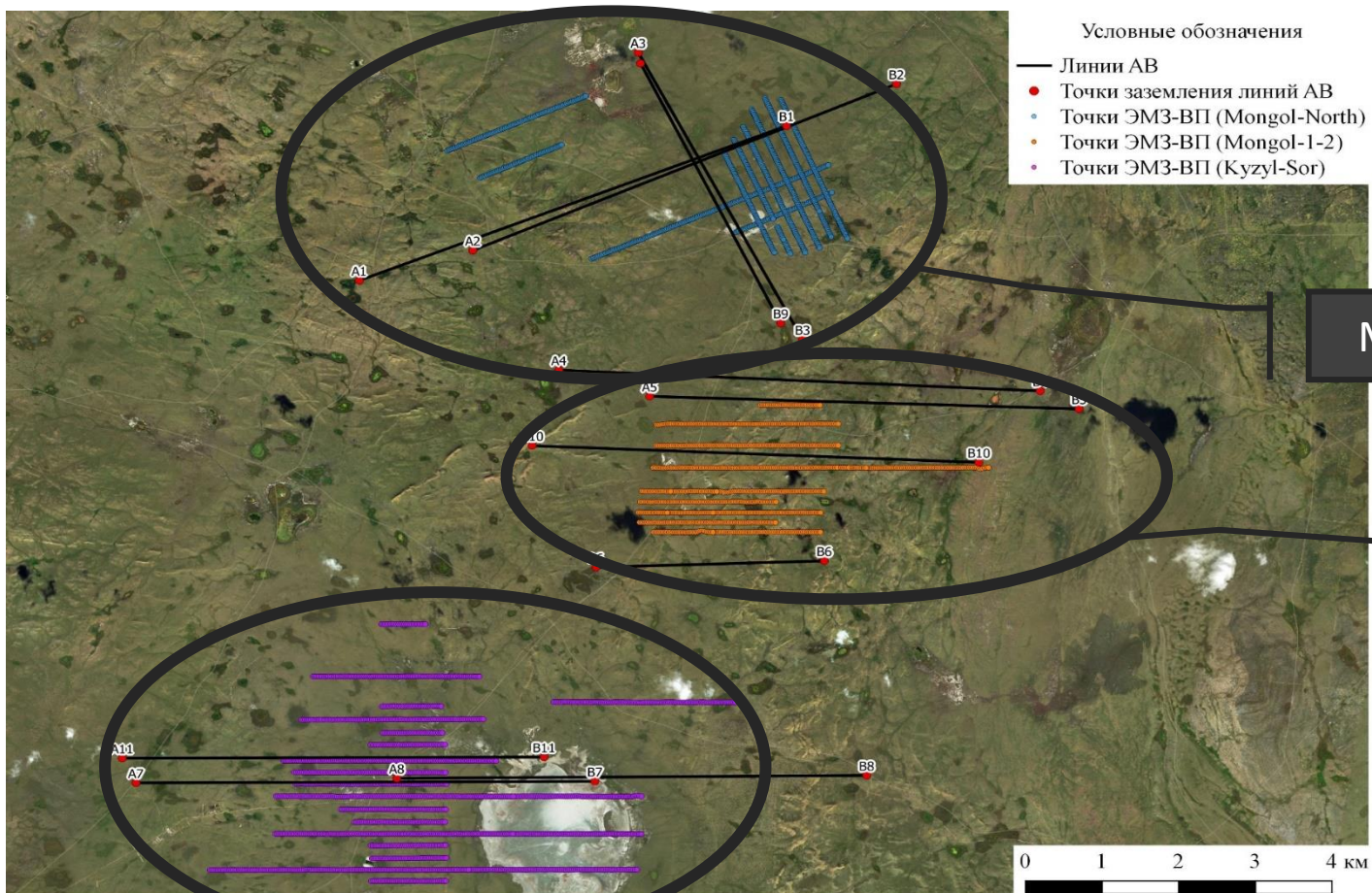




SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES

Шуакская площадь

# Схема измерений ЭМЗ-ВП на Шуакской площади



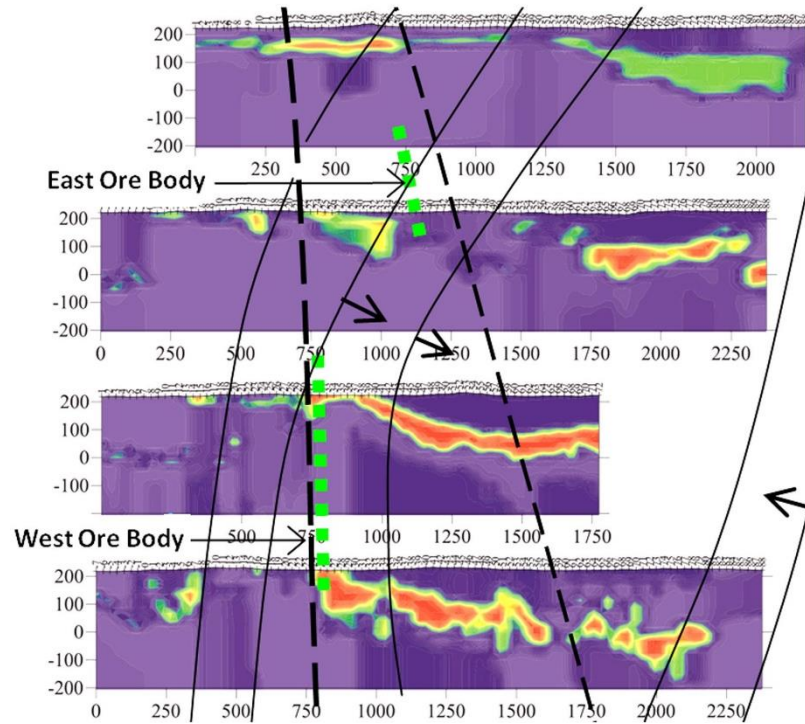
Монгол-Северный

Монгол 1-2

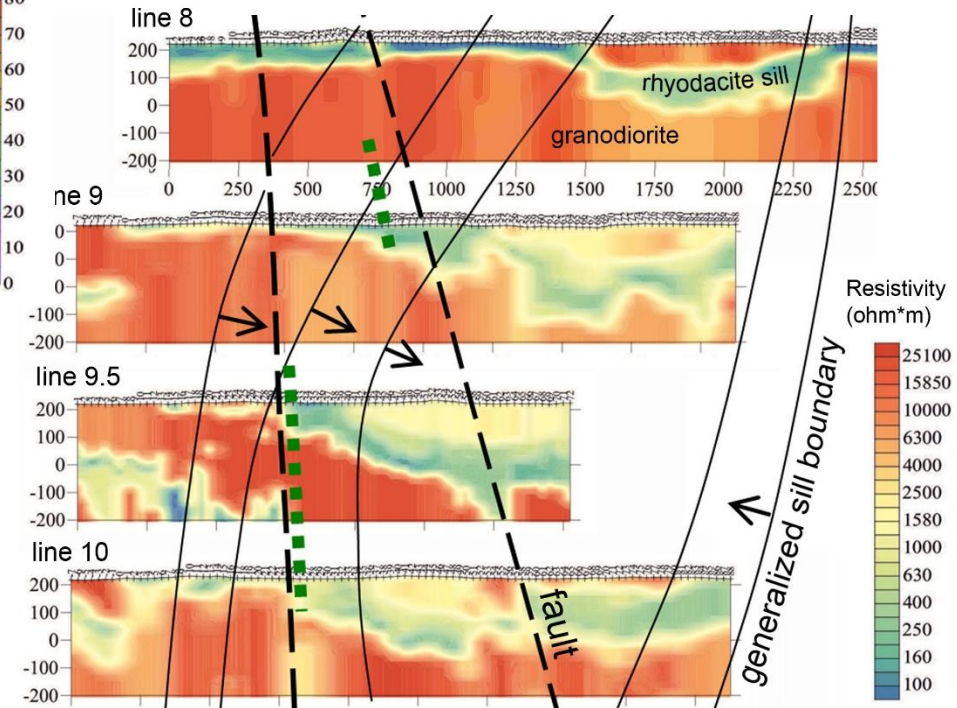
Кызыл-Сор

Схема профилей, выполненных по технологии ЭМЗ-ВП в августе 2018 года полевым отрядом компании ООО «Гелиос»

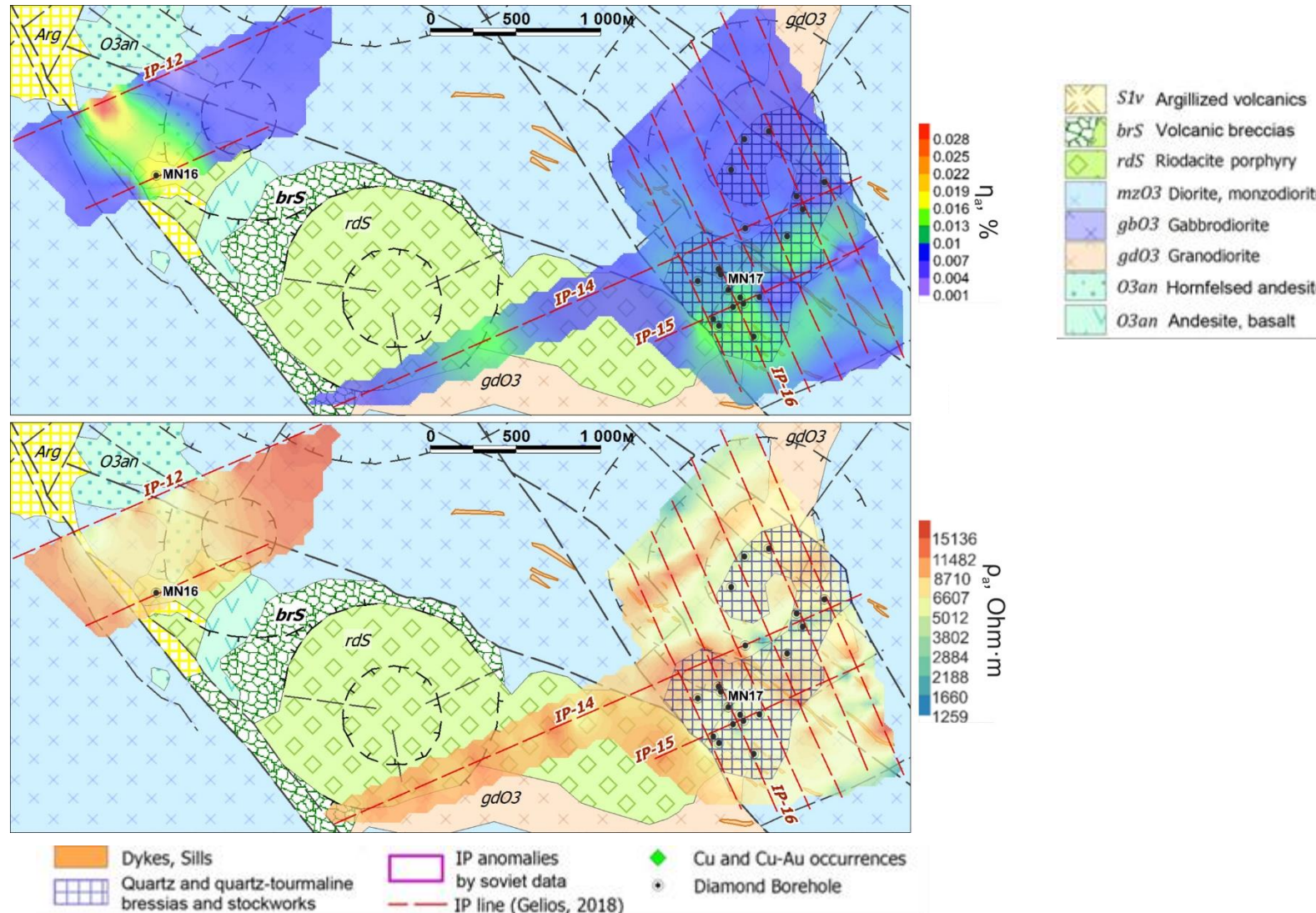
# Традиционные электроразведочные параметры участка Монгол Северный: кажущаяся поляризуемость и кажущиеся УЭС



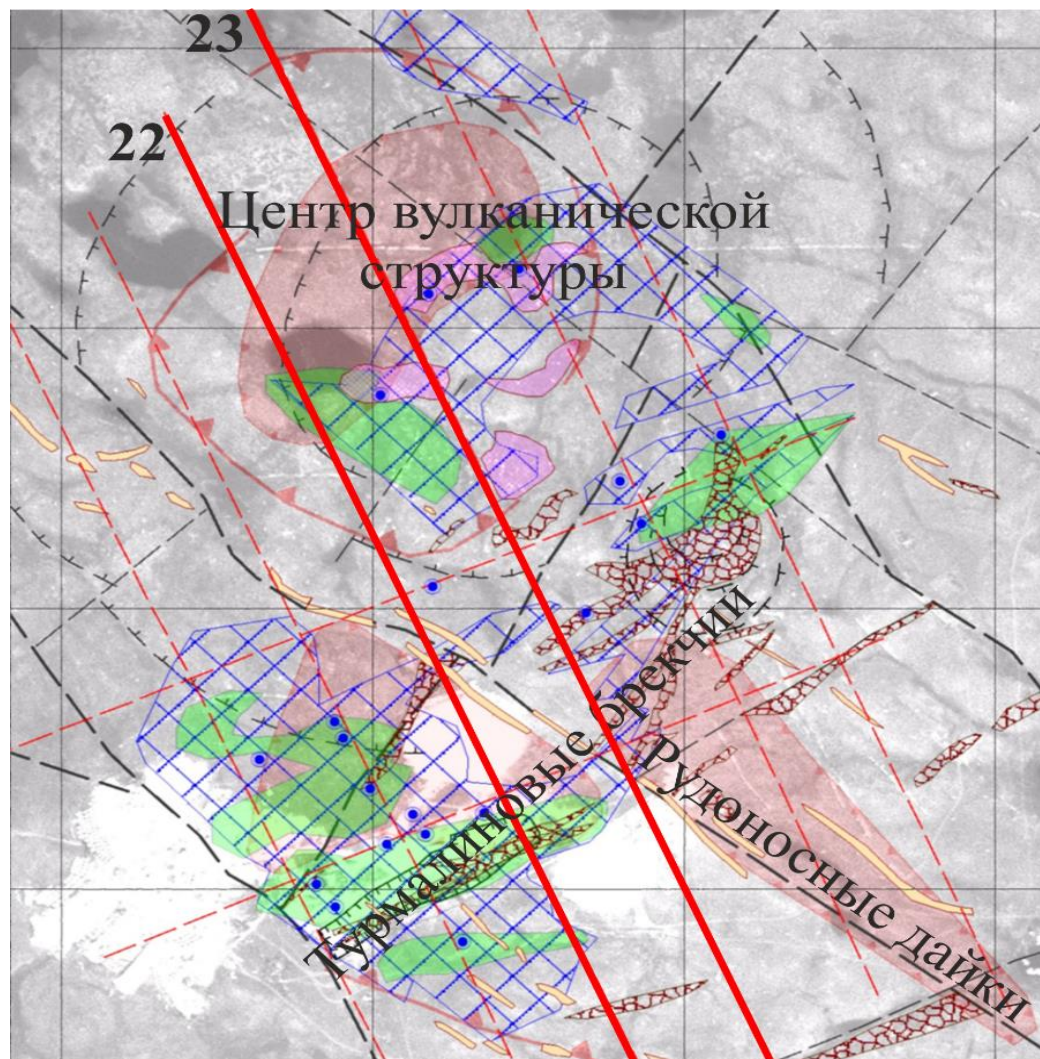
Polarization (%)



# Традиционные электроразведочные параметры участка Монгол северный: кажущаяся поляризуемость и кажущиеся УЭС



# Участок Монгол северный. Интерпретация результатов 3D моделирования в программе ITEM-IP в плане

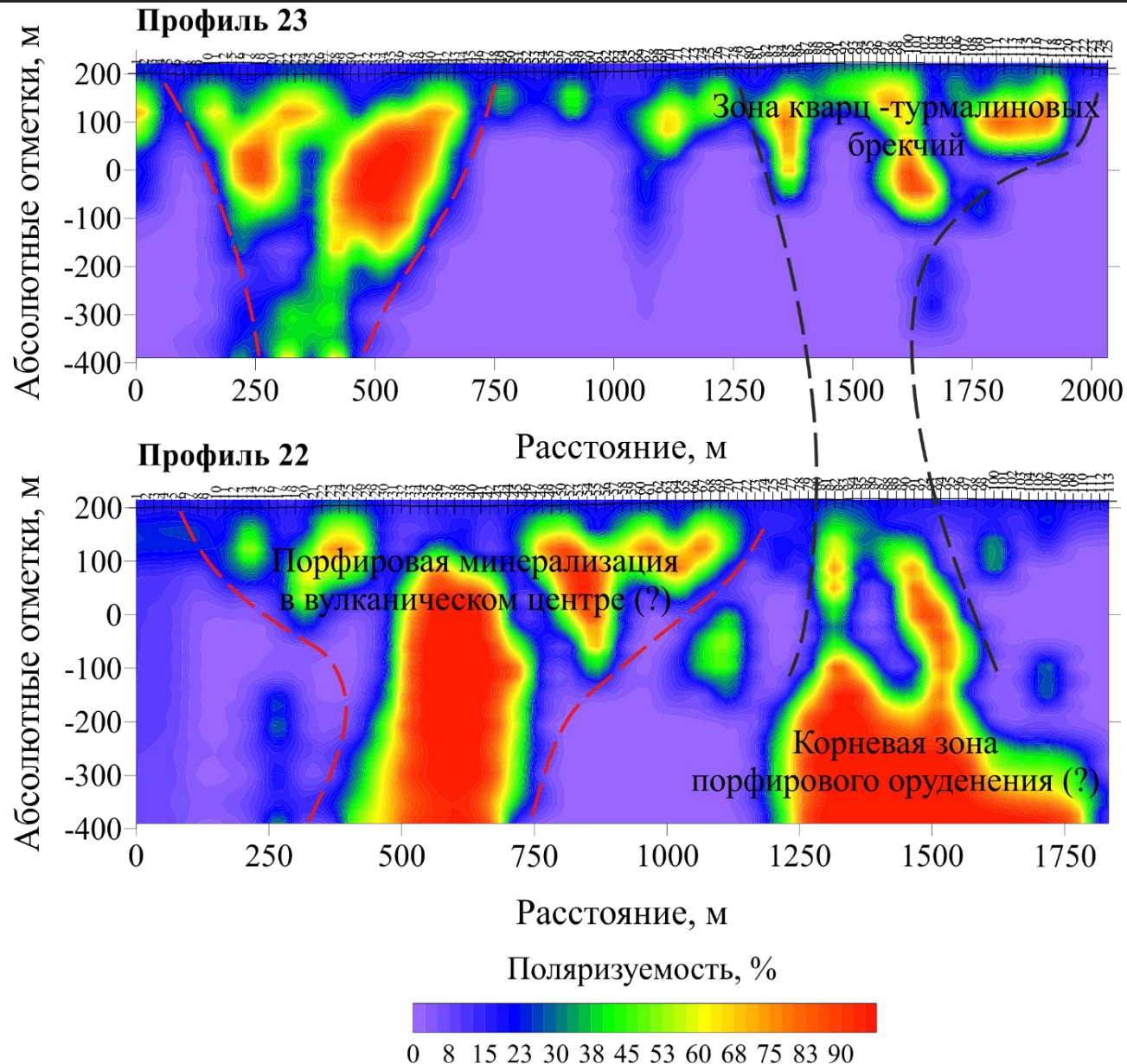


В результате детального изучения месторождения на было установлено, что турмалиновые жили и брекчии северо-западного простирания являются ловушками, локализирующими медно-молибденовое оруденение, связанное с *разломами и дайками порфиров северо-западного направления*



Это было подтверждено результатами трехмерной инверсии данных ЭМЗ-ВП, выявившими на глубине 300 – 500 м зону аномалий вызванной поляризации северо-западного простирания

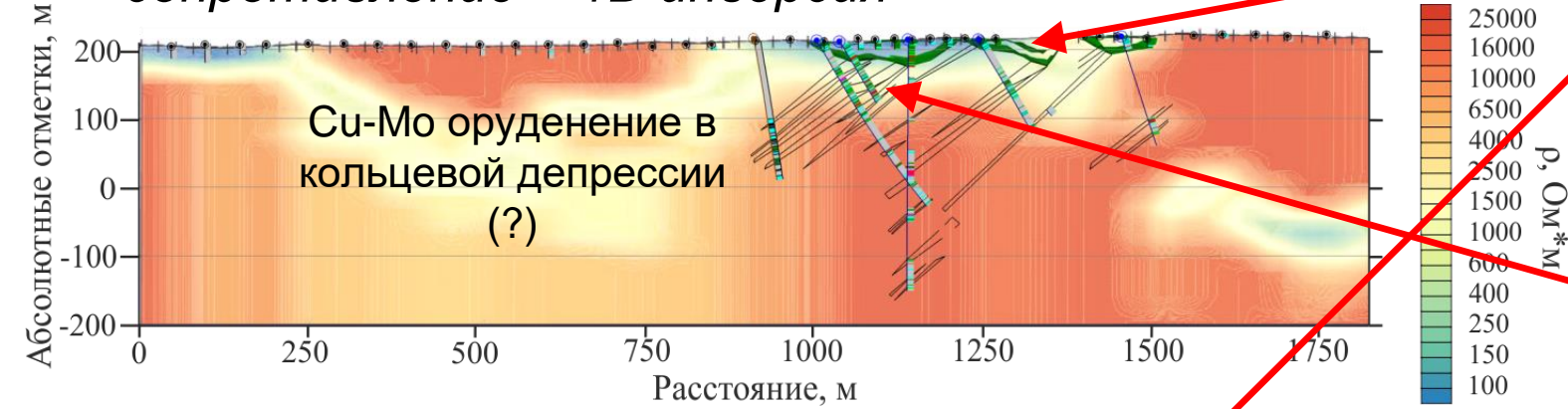
# Северный участок. Интерпретация результатов 3D моделирования в программе ITEM-IP в разрезе



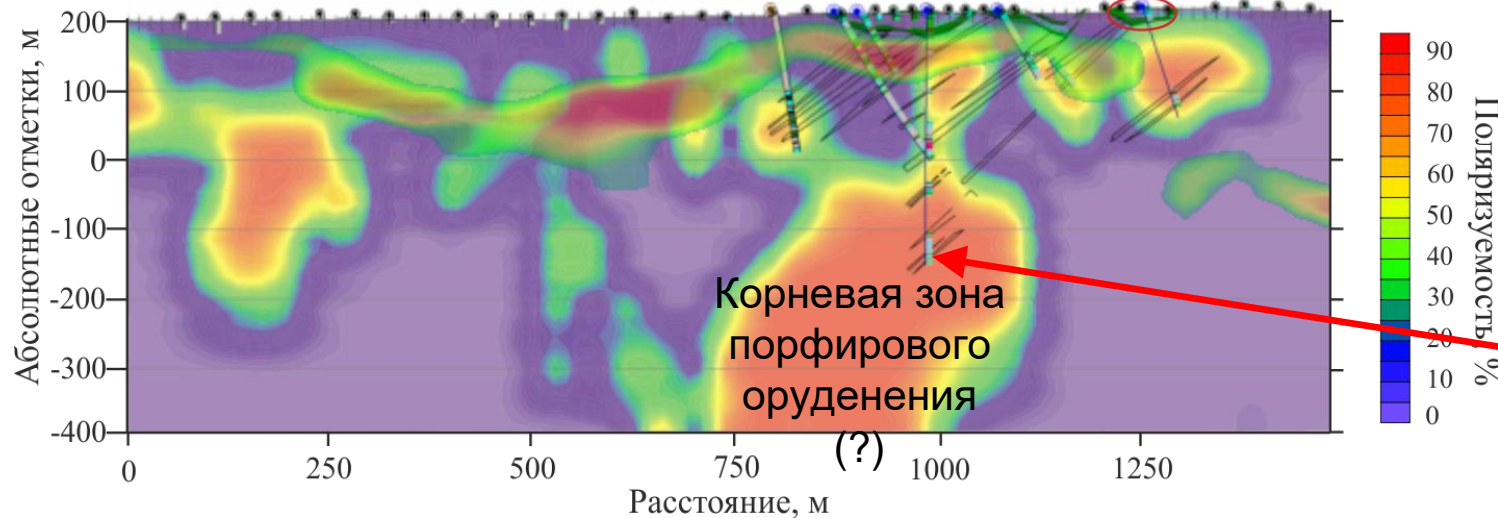
К северу от  
месторождения  
располагается группа  
аномалий ВП,  
предположительно  
связанная с медно-  
порфировой  
минерализацией в  
вулканическом центре

# Северный участок. Геологическая интерпретация геофизической модели. Разрез по 16 профилю

## Удельное электрическое сопротивление – 1D инверсия



## Поляризуемость – 1D+3D инверсия



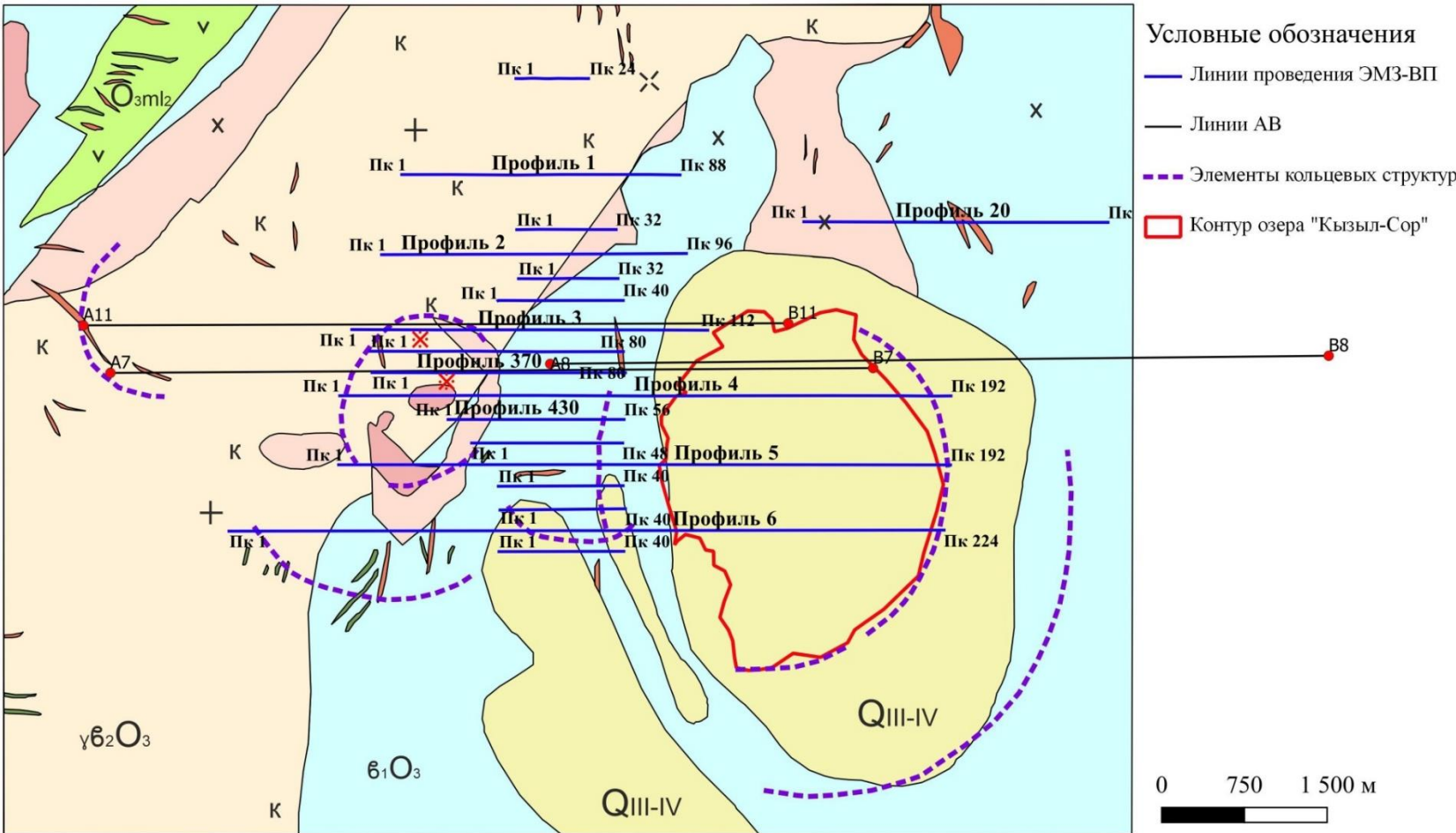
Окисленные медные руды



Халькопирит Борнит Пирит и Халькопирит



# Участок Кызыл-Сор. Схема расположения профилей на геологической карте.

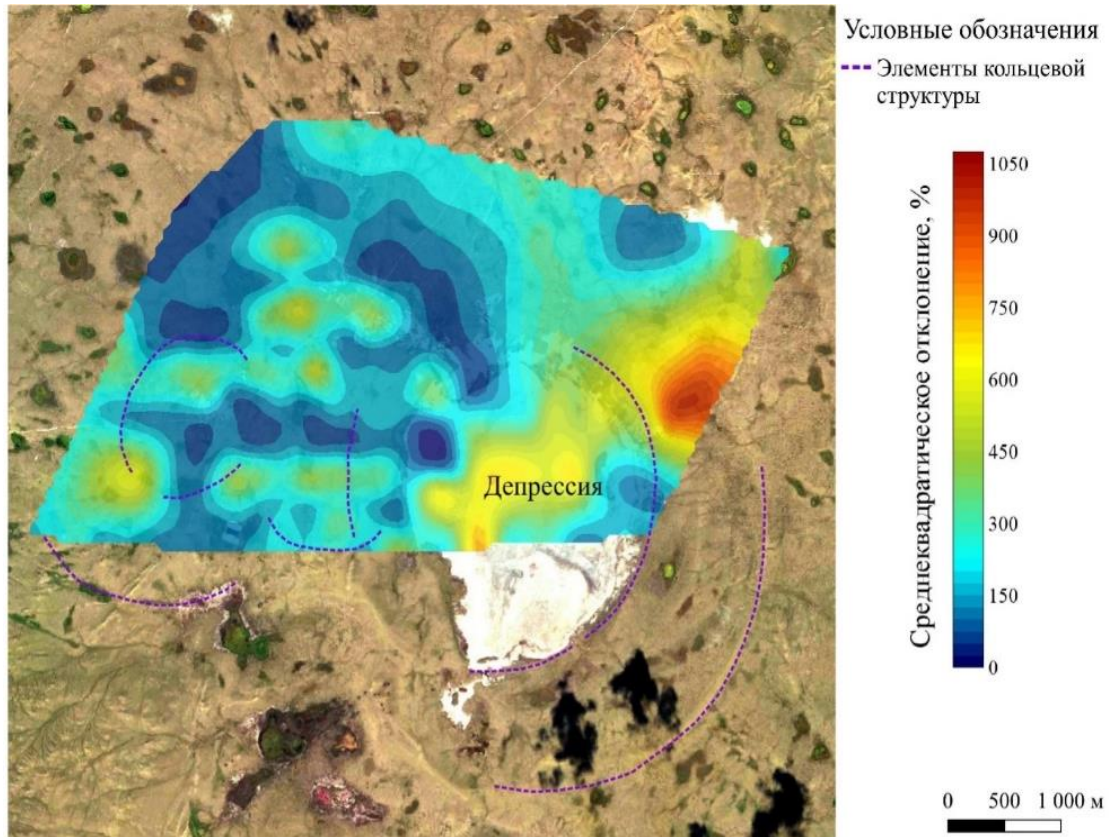


Четвертичная система	
<b>Q<sup>III-IV</sup></b>	Верхний - современный отделы. Аллювиальные и озерно-болотные отложения: пески, глины, супеси
Майлисорская свита	
<b>O<sub>3ml2</sub></b>	Подсвита дацитовых порфиров: альбитофиры, ортофиры, липаритовые порфиры, туфы, туфоагломераты, туфоконгломераты
<b>γ<sup>S-D1</sup></b>	Боровской интрузивный комплекс. Аляскитовые граниты
Крыккудукский комплекс	
<b>γδ<sub>3</sub>O<sub>3</sub></b>	Породы фазы дополнительных интрузий ко второй интрузивной фазе. Порфировидные гранодиориты, гранодиорит-порфиры
<b>γδ<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	II главная фаза. Среднезернистые гранодиориты
<b>δ<sub>1</sub>O<sub>3</sub></b>	Диориты
	Дайки фельзит-порфиров
	Дайки основного состава
<b>+</b>	Граниты
<b>✕</b>	Порфировидные гранодиориты
<b>x</b>	Диориты, кварцевые диориты
<b>v</b>	Андезитовые и дацитовые порфириды
<b>✱</b>	Кварц-турмалиновые метасоматиты

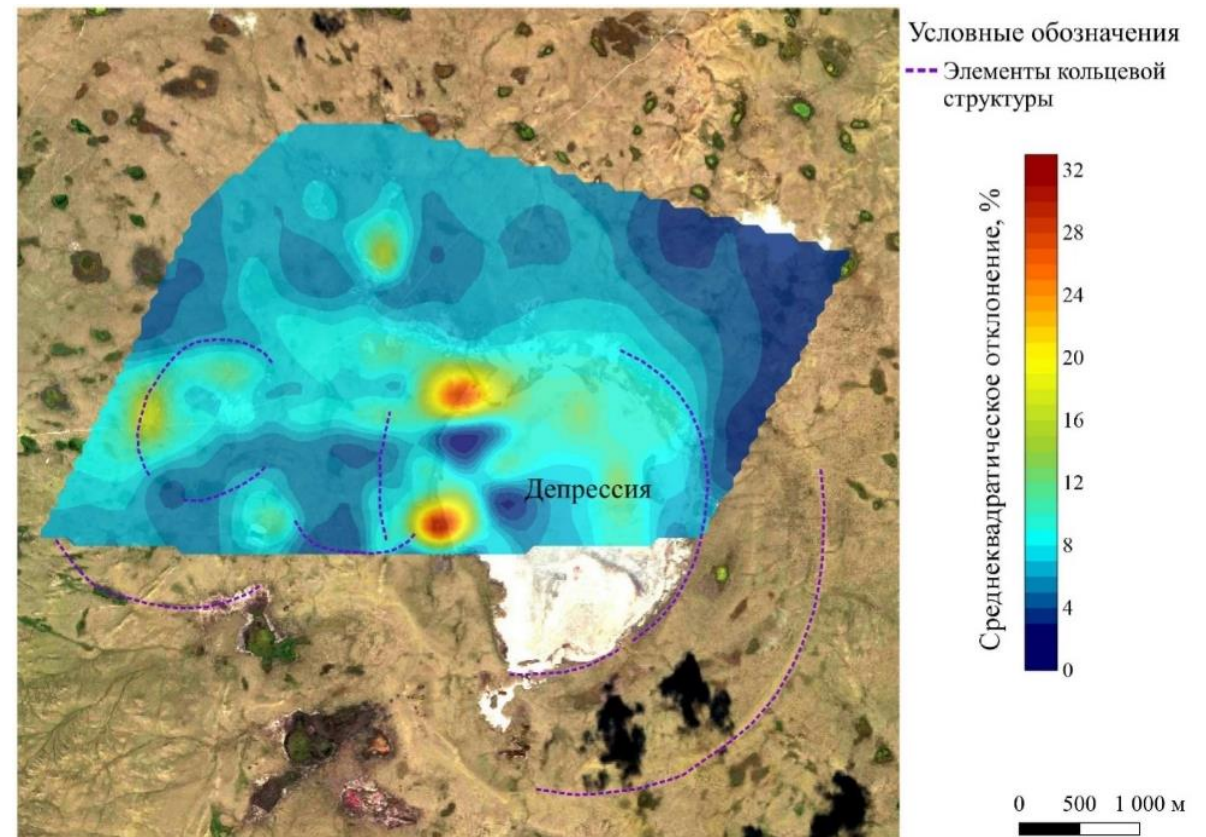


# Карты значений среднеквадратического отклонения 1D и 3D моделирования

## 1D моделирование



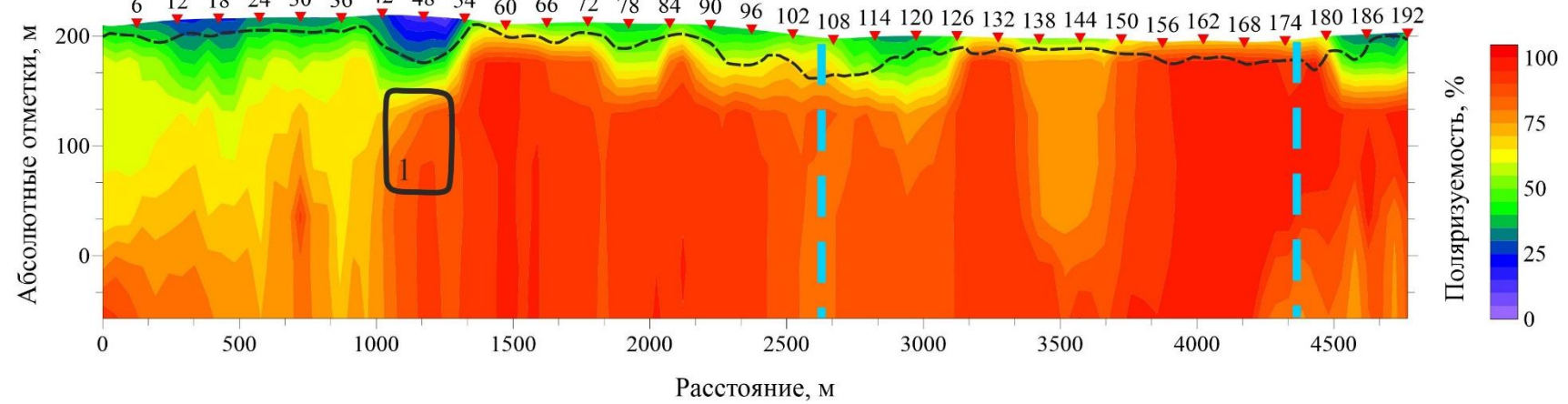
## 3D моделирование



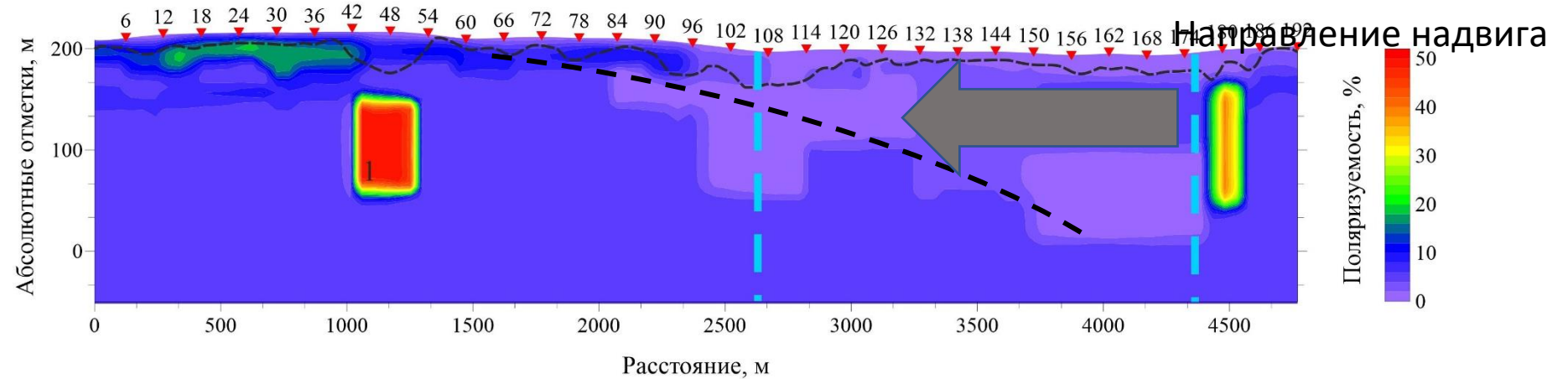


# Разрез поляризуемости по профилю 4 по 1D и 3D инверсии.

1D

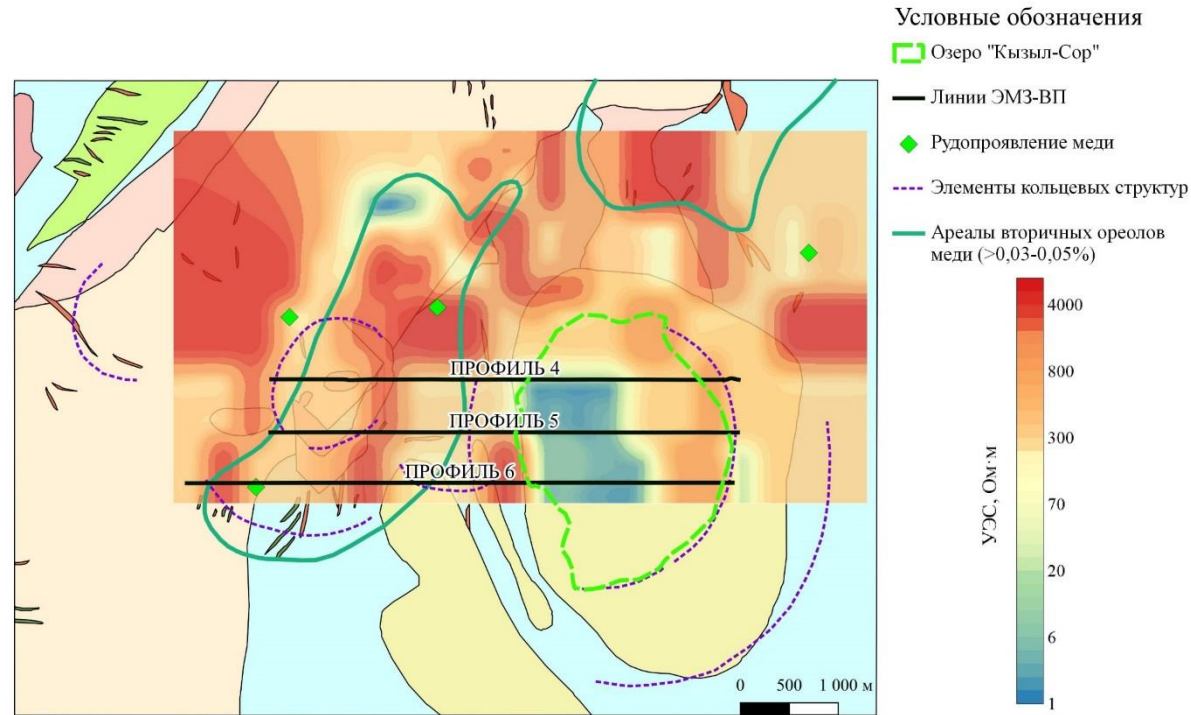


3D



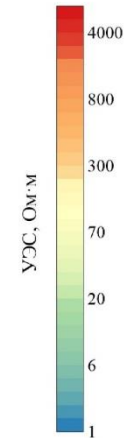
--- - Кора выветривания    - - - - - Зона депрессии    - - - - - Поляризующийся объект

# Карты усредненных УЭС по результатам 3D на интервале абсолютных отметок 180-130 м



Условные обозначения

- Озеро "Кызыл-Сор"
- Линии ЭМЗ-ВП
- ◆ Рудопроявление меди
- Элементы кольцевых структур
- Ареалы вторичных ореолов меди (>0,03-0,05%)



Четвертичная система

**QIII-IV** Верхний - современный отделы. Аллювиальные и озерно-болотные отложения: пески, глины, супеси

**γβТТ<sub>3</sub>О<sub>3</sub>** Породы фазы дополнительных интрузий ко второй интрузивной фазе. Порфиридные гранодиориты, гранодиорит-порфиры

**/** Дайки фельзит-порфиров

**/** Дайки основного состава

**x x** Диориты, кварцевые диориты

**x x** Порфиридные гранодиориты

Майлисорская свита

**О<sub>3</sub>ml<sub>2</sub>** Подсвита дацитовых порфиров: альбитофиры, ортофиры, липаритовые порфиры, туфы, туфоагломераты, туфоконгломераты

Крыккудукский комплекс

**γβ<sub>2</sub>О<sub>3</sub>** II главная фаза. Среднезернистые гранодиориты

**+ +** Граниты

**x x** Кварц-турмалиновые метасоматиты

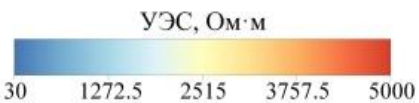
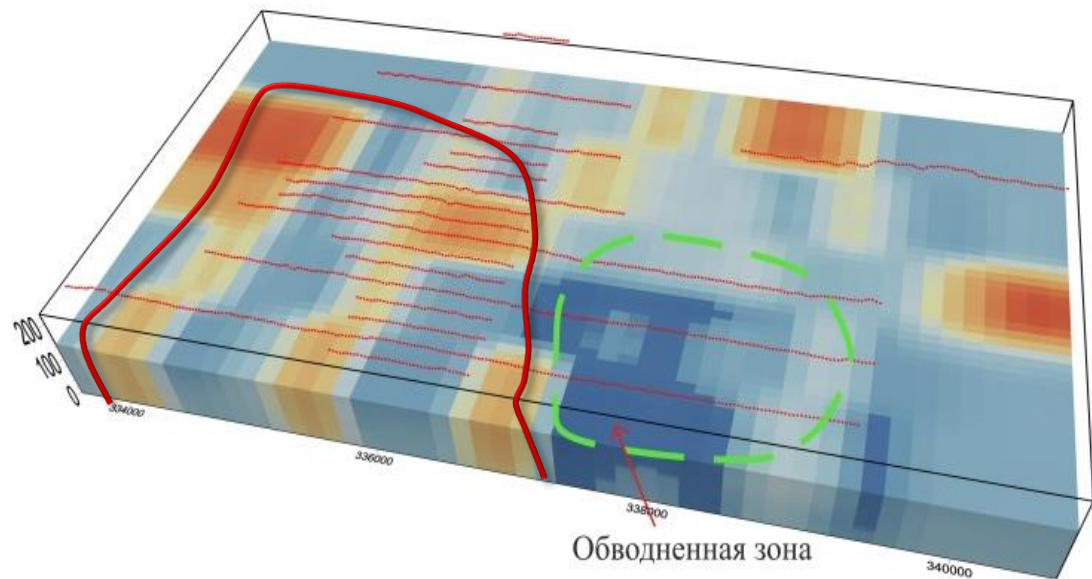
**v v** Андезитовые и дацитовые порфиры

**γS-D<sub>1</sub>** Боровской интрузивный комплекс. Аляскитовые граниты

**β<sub>1</sub>О<sub>3</sub>** Диориты

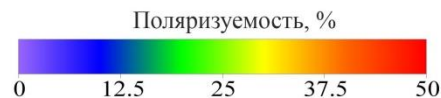
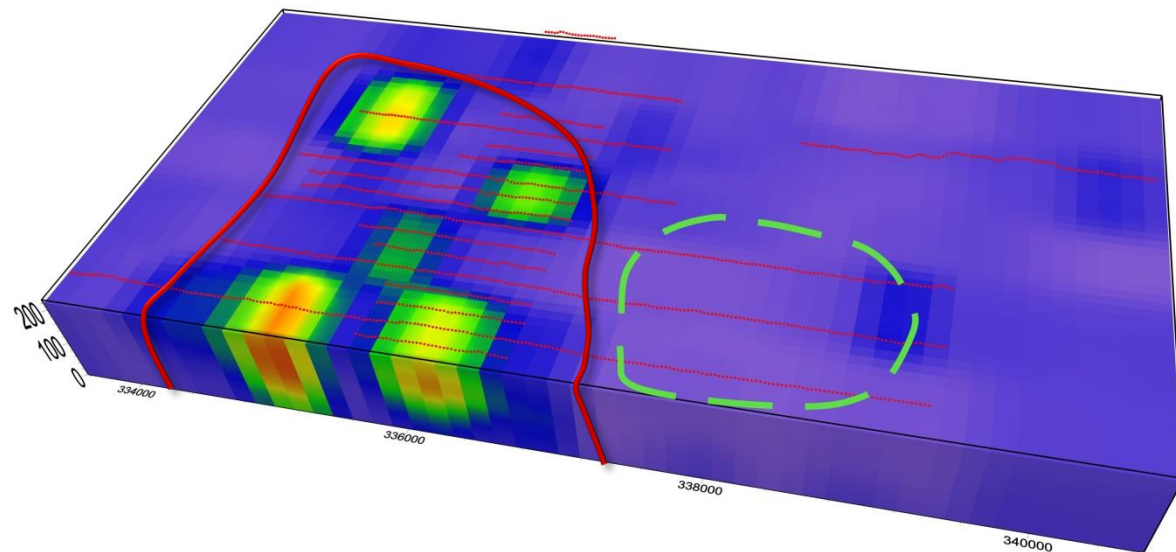
# Результаты 3D моделирования

## УЭС



— - - - - Депрессия «Кызыл-Сор»

## Поляризуемость



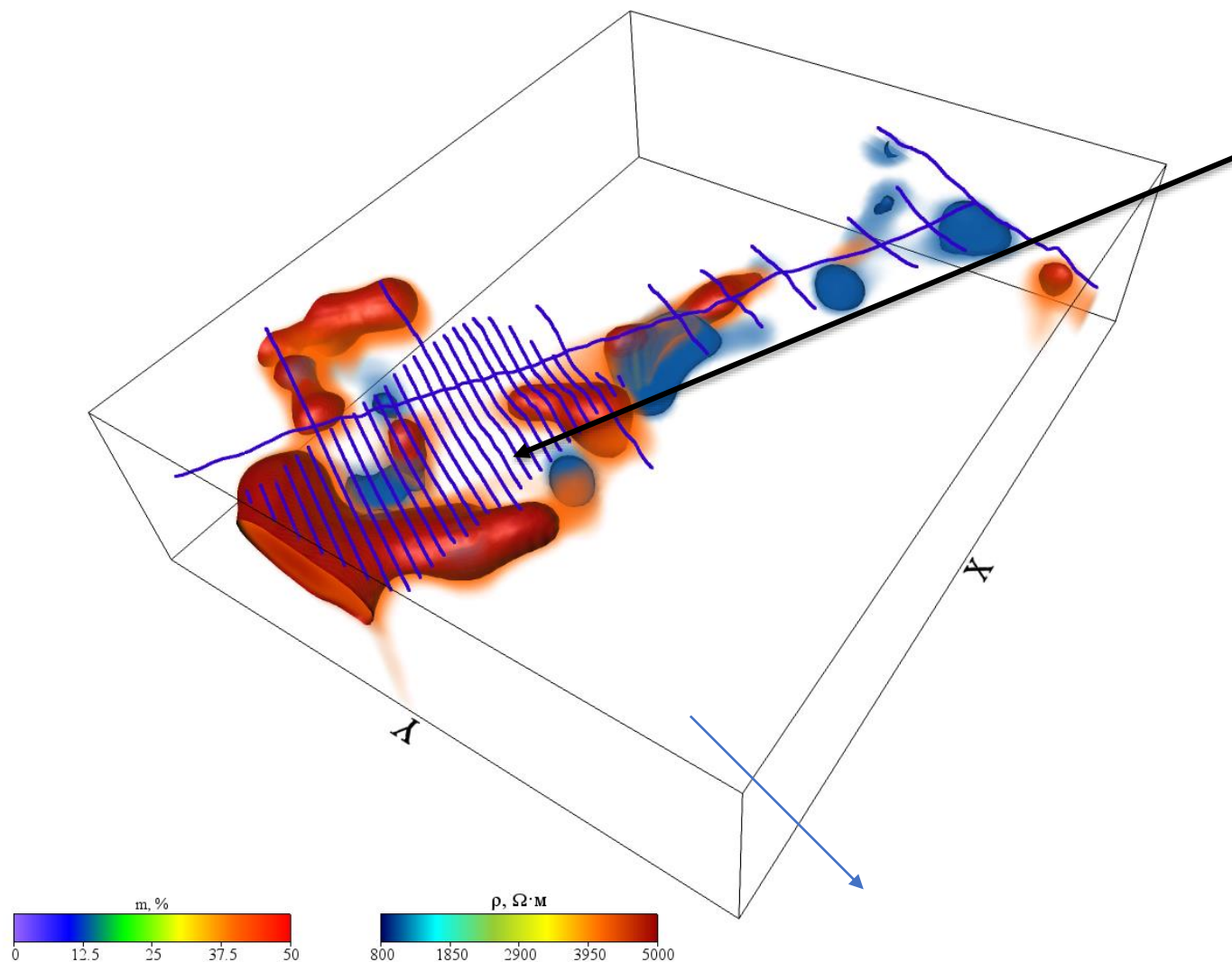
— - - - - Депрессия «Кызыл-Сор»



SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES

Каншоқы

## 3D-модель распределения поляризуемости и УЭС участка Каншоки



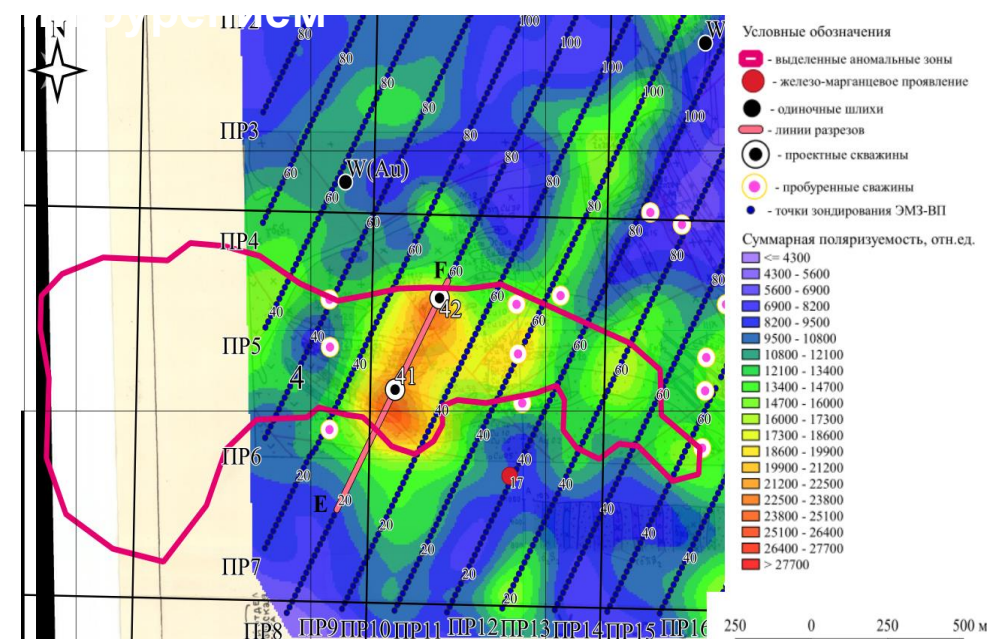
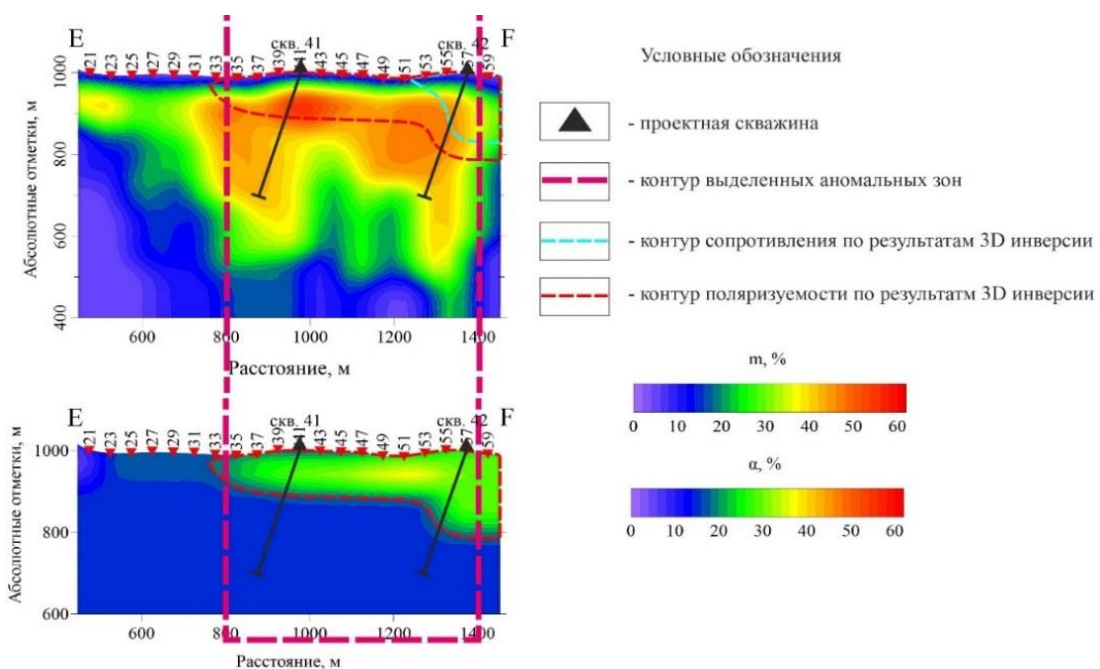
В 2020 г. окисленное оруденение было вскрыто канавами и проведено ЭМЗ-ВП;

В 2021 г. проведены буровые работы, в том числе на центральном участке;

На центральном участке опираясь на результаты ЭМЗ-ВП выделили окисленные руды с ресурсами порядка 30-40 тыс. тонн по меди.

# Заверка аномалий поляризуемости бурением

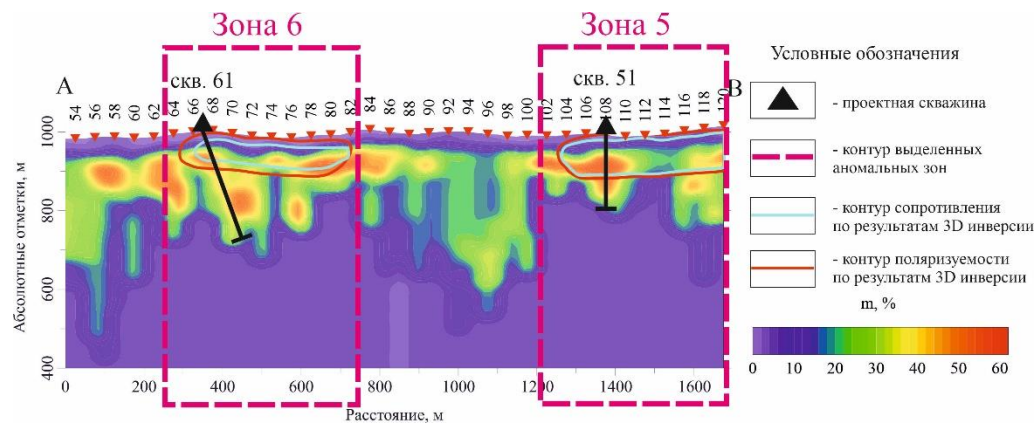
Скважина	Интервал минерализации Cu, Mo, Fe, Ag	Рекомендации
C-41	5-290	По данным ЭМЗ-ВП
C-42	3-290	По данным ЭМЗ-ВП
C-51	3-265	По данным ЭМЗ-ВП
C-52Б	2-80 и 100-280	По данным ЭМЗ-ВП
C-61	0-163	По данным ЭМЗ-ВП
C-91	нет минерализации	По данным ЭМЗ-ВП
ZN2-20Б	3-163	По результатам предшественников
Z1-7	3-300	По результатам предшественников



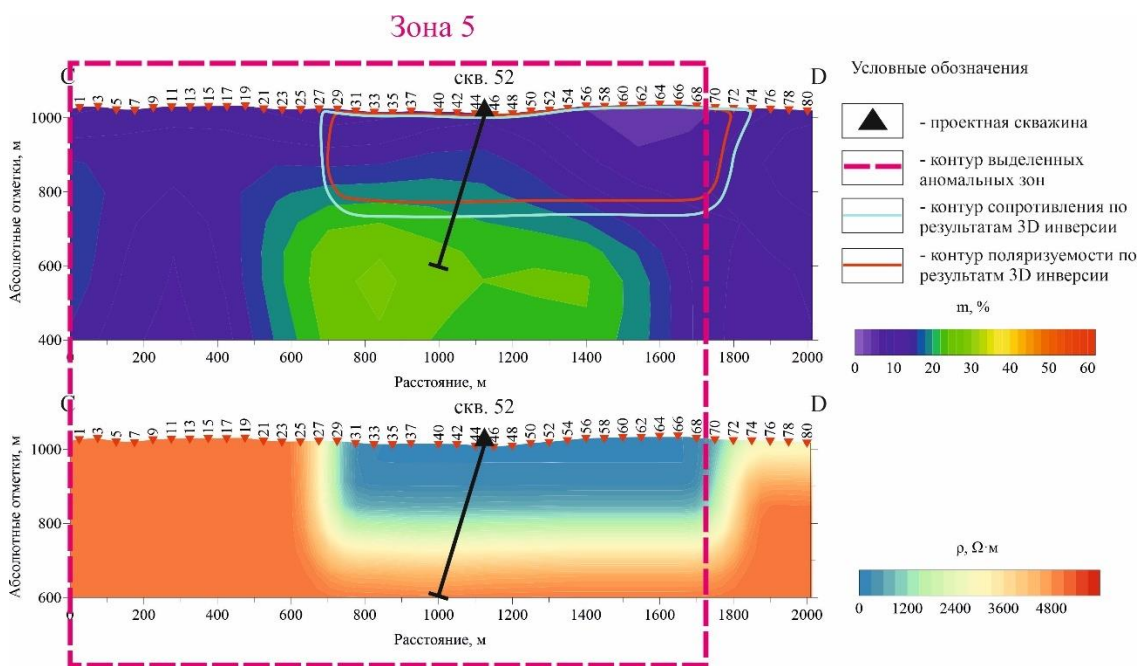


# Результаты заверки аномалий бурением

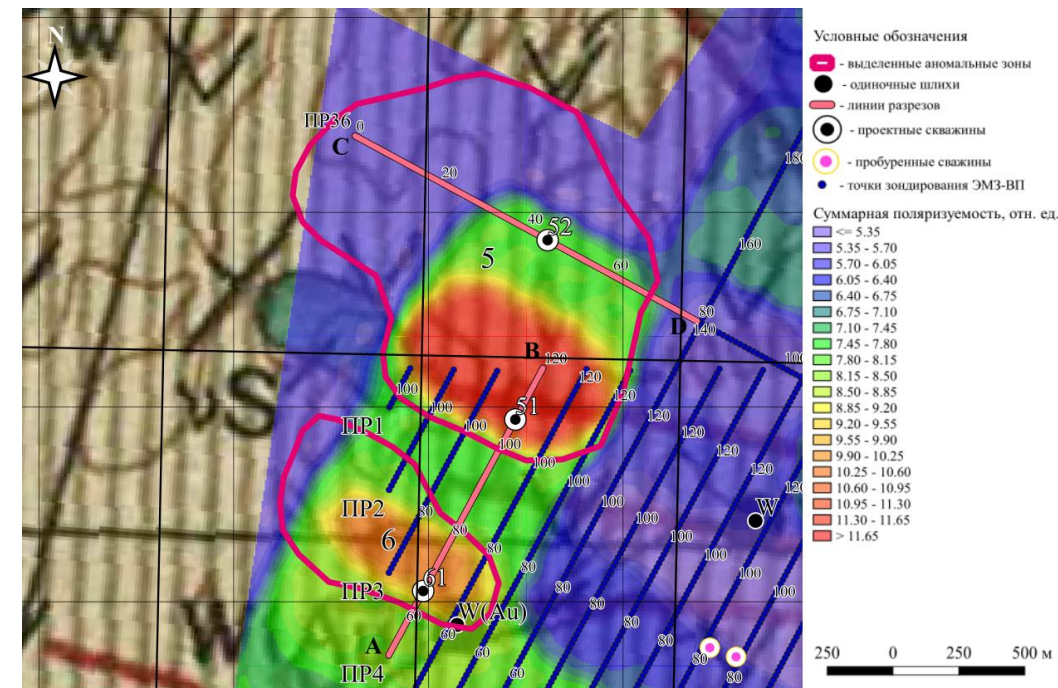
1D



3D



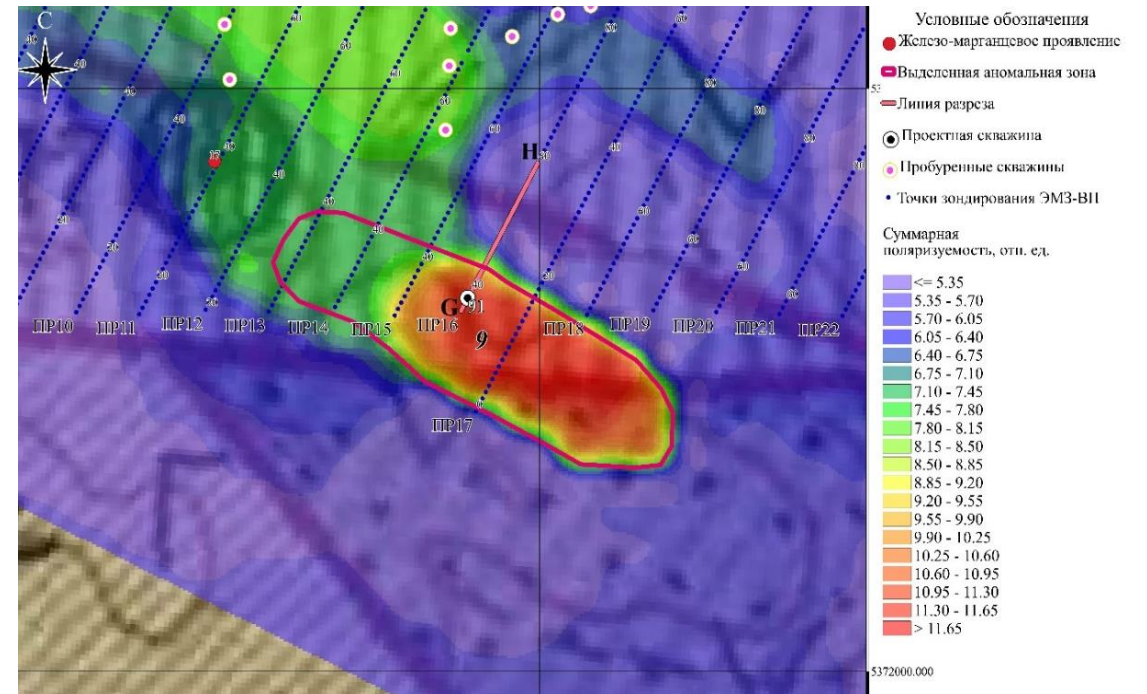
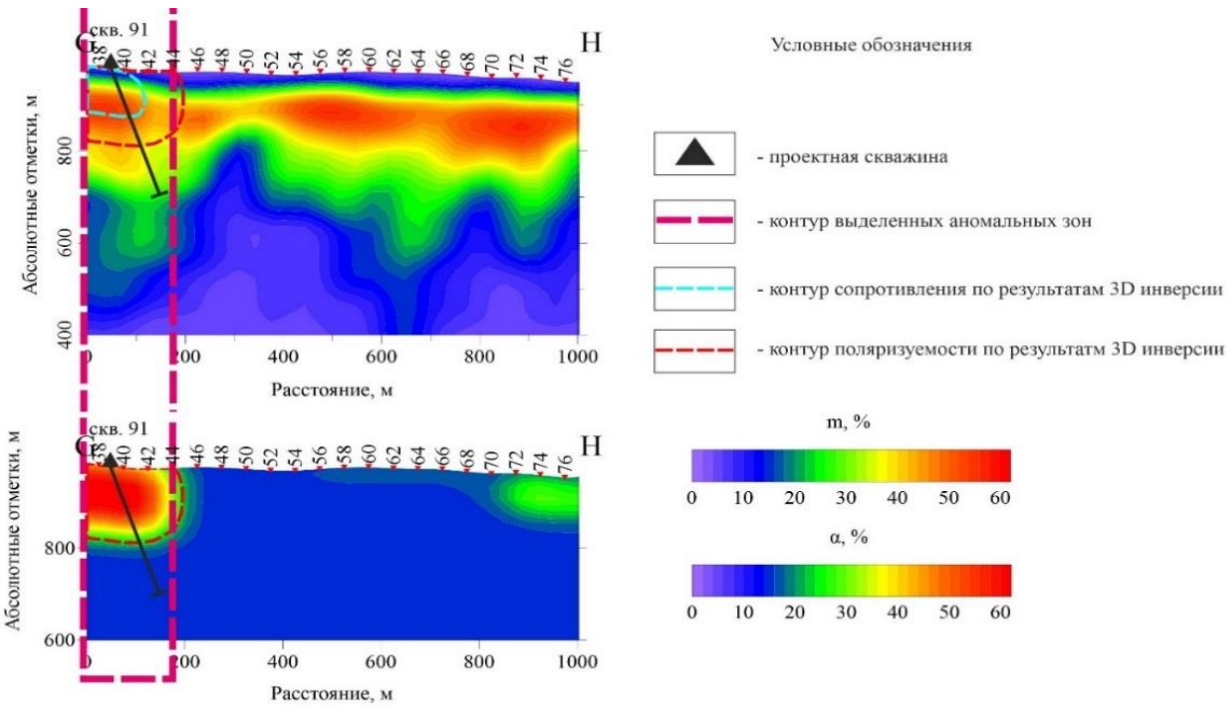
Скважина	Интервал минерализации Cu, Mo, Fe, Ag	Рекомендации
C-41	5-290	По данным ЭМЗ-ВП
C-42	3-290	По данным ЭМЗ-ВП
C-51	3-265	По данным ЭМЗ-ВП
C-52Б	2-80 и 100-280	По данным ЭМЗ-ВП
C-61	0-163	По данным ЭМЗ-ВП
C-91	нет минерализации	По данным ЭМЗ-ВП
ZN2-20Б	3-163	По результатам предшественников
Z1-7	3-300	По результатам предшественников



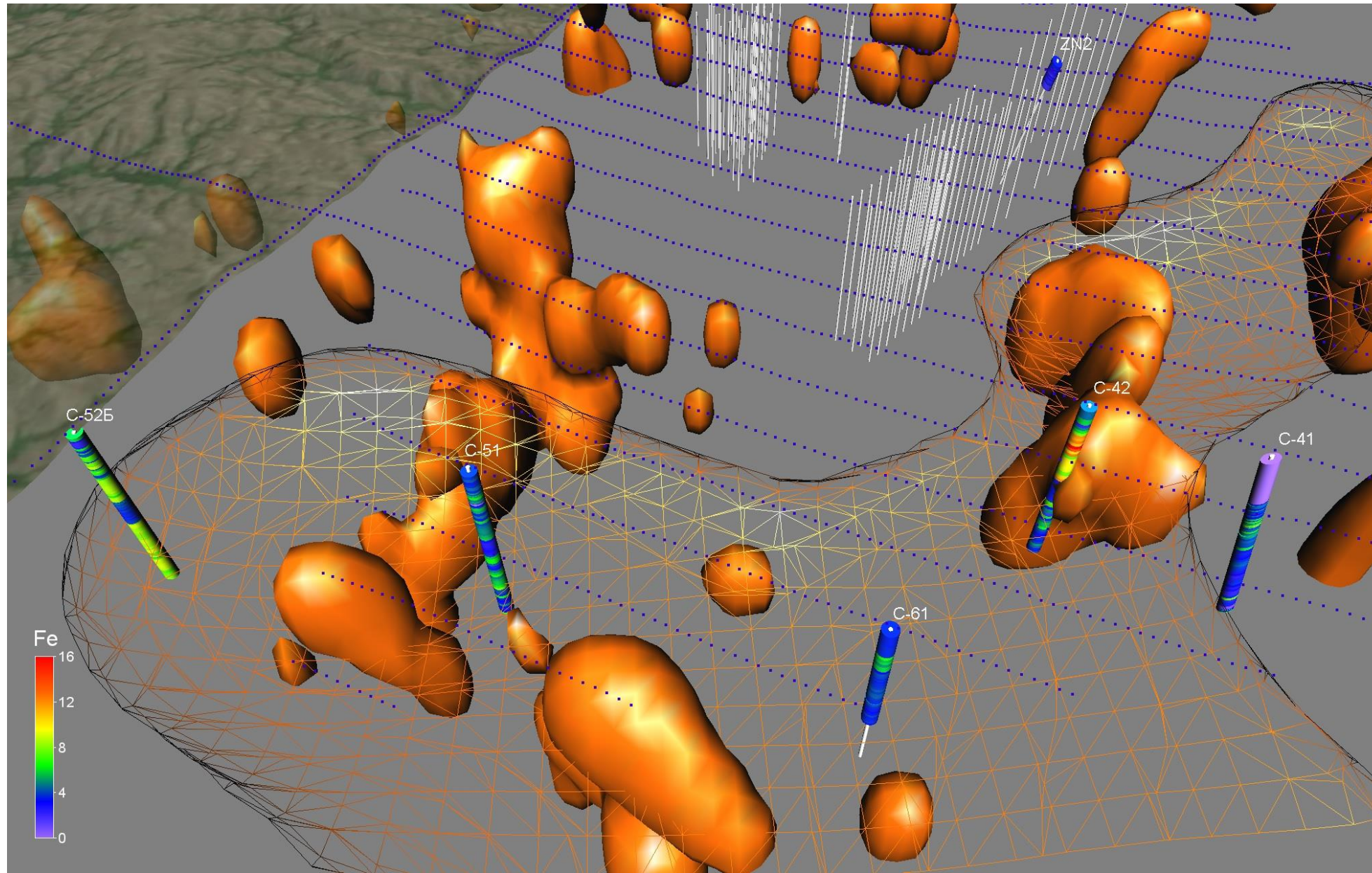
# Результаты заверки аномалий бурением

Краевая аномалия не подтвердилась – вероятно, мы имеем дело с влиянием поляризующегося тела за границами площади съемки.

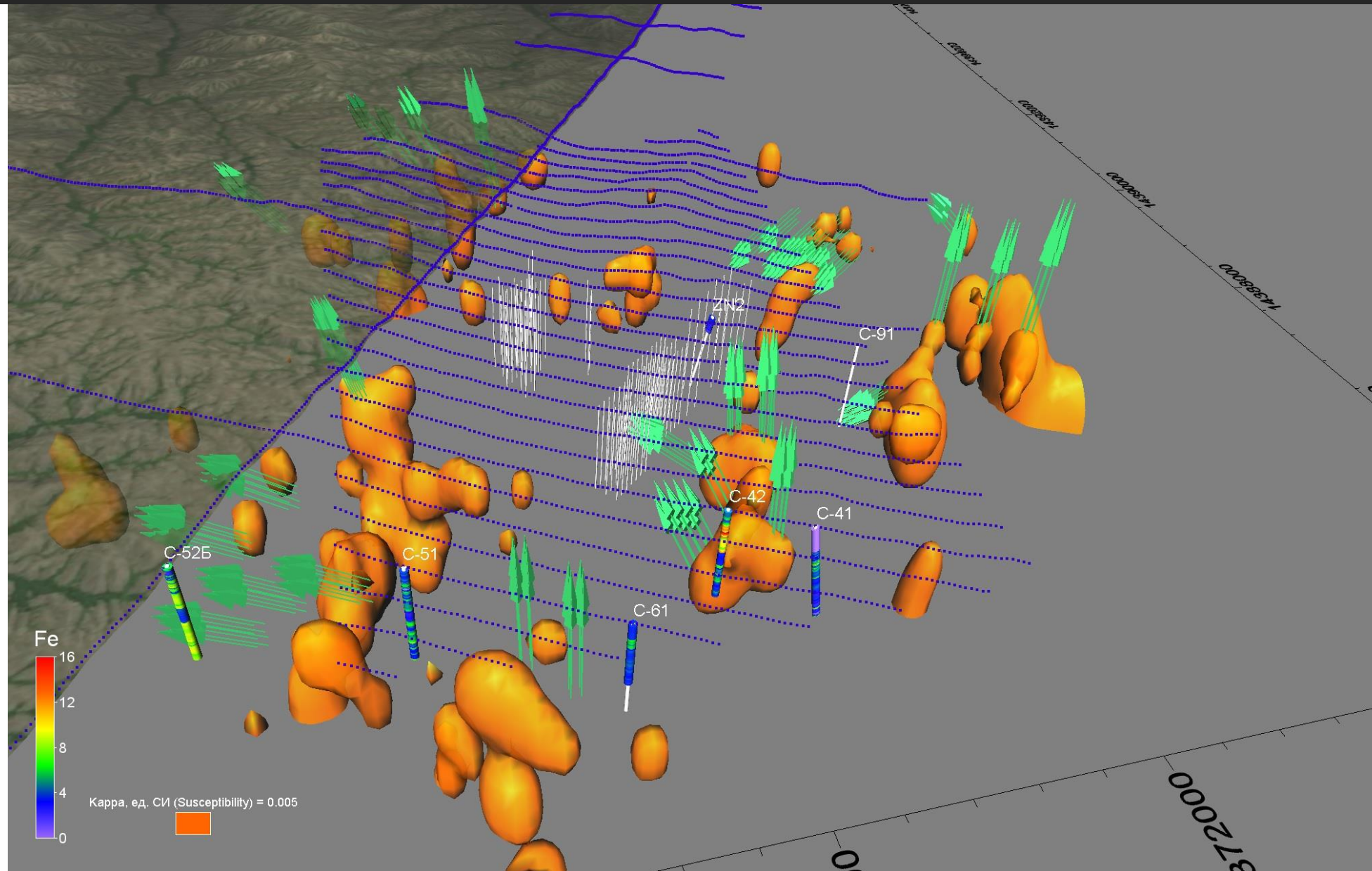
Скважина	Интервал минерализации Cu, Mo, Fe, Ag	Рекомендации
C-41	5-290	По данным ЭМЗ-ВП
C-42	3-290	По данным ЭМЗ-ВП
C-51	3-265	По данным ЭМЗ-ВП
C-52Б	2-80 и 100-280	По данным ЭМЗ-ВП
C-61	0-163	По данным ЭМЗ-ВП
C-91	нет минерализации	По данным ЭМЗ-ВП
ZN2-20Б	3-163	По результатам предшественников
Z1-7	3-300	По результатам предшественников



# 3D-модель распределения поляризуемости и остаточной намагниченности с концентрациями железа по скважинам



# 3D-модель распределения магнитной восприимчивости и векторов остаточной намагниченности с концентрациями железа по скважинам



Вектор  
остаточной  
намагниченности



## Выводы

- В результате проведенных работ на участке Каншоки выявлена порфировая система.
- Комплекс ЭМЗ-ВП и БПЛА-магниторазведки доказал свою эффективность при выделении порфировых структур и приуроченных к ним рудных объектов.
- Инверсия электромагнитных зондирований в рамках 1D и 3D моделей и каскадная векторная инверсия магнитного поля позволяют локализовать потенциально рудные структуры
- Следующий шаг – совместная инверсия электромагнитных полей и данных магниторазведки.
- Для изучения и определения участков с сульфидной минерализацией необходимы значительные инвестиции.



SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES

# Опытно-методические работы по тестированию систем электромагнитного зондирования

## На льду Байкала

### Март 2022



SIBERIAN  
SCHOOL OF  
GEOSCIENCES

**VIII всероссийский научно-  
практический семинар с  
международным участием  
имени Г.С. Вахромеева**

**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ  
В РУДНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ  
ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ»**

**23-29 мая 2022**

**База практик ИРНТУ «Черноруд»  
оз. Байкал**

**<https://www.vahromeev.net/>**