

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОГО И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Чикатуева Виктория Юрьевна<sup>1</sup>, Читалин Андрей Федорович<sup>1</sup>, Тихомиров Петр Леонидович<sup>1</sup>, Мишарин Леонид Георгиевич<sup>1</sup>, Сивков Дмитрий Васильевич<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Институт геотехнологий», г. Москва

Важными задачами на этапе геологического таргетирования (выбора наиболее перспективных участков для поисков месторождения) и на поисковом этапе в пределах лицензионной площади являются определение масштаба и интенсивности проявления рудной минерализации, понимание ее геолого-структурной позиции, выявления и прогнозирование участков с богатой минерализацией для первоочередной оценки горно-буровыми работами.

Для решения поставленных задач геологами компании ООО «Институт геотехнологий» выполняется полевое геолого-структурное и минералогическое картирование перспективных участков.

В поисково-ревизионных геологических маршрутах, пересекающих наиболее интересные рудопроявления и аномалии, а также на участках детализации выполняется картирование рудоносных образований на основе количественной оценки параметров минерализации с использованием кодовой документации: картируется зональность, состав, интенсивность метасоматических изменений и гипергенной минерализации зоны окисления, густота и обильность жильно-прожилковой минерализации, определяется магнитность пород в точках наблюдения для интерпретации магнитных аномалий (Рис.1). Проводятся структурные исследования и выделяются разновозрастные структурно-минералогические парагенезы, отбираются образцы для минералого-петрографических исследований.

Полевые работы сопровождаются штучным и скопковым опробованием минерализованных пород, отбираются почвенные пробы. Для предварительной оценки выявленных первичных и вторичных аномалий и выявления участков с богатой рудной минерализацией используется портативный полевой рентгенно-флюоресцентный анализатор.

При картировании используются детальные высокоточные аэрофотоснимки, полученные с использованием БПЛА специалистами ИГИ-Скай Групп, выполняется предполевое и полевое геологическое дешифрирование снимков для выделения потенциальных рудоносных структур для их оперативной полевой заверки. Software, США).

Результаты документации непосредственно в поле оперативно заносятся в электронную базу данных и анализируются в ГИС-проекте. Это позволяет актуализировать геологическую модель объекта, выявить участки детализации, скорректировать запроектированные маршруты.

Геолого-структурное и минералогическое картирование является относительно дешевым, но весьма информативным видом геологического изучения территории. По результатам картирования уточняется предварительная геолого-поисковая модель, участки ранжируются по перспективности, отбраковываются бесперспективные участки, принимается решение о сдаче лицензионной площади или продолжении ведения поисков.

В докладе представлены примеры выполненных поисковых и поисково-ревизионных работ на различных территориях, рассмотрены ключевые этапы их проведения и полученные результаты.

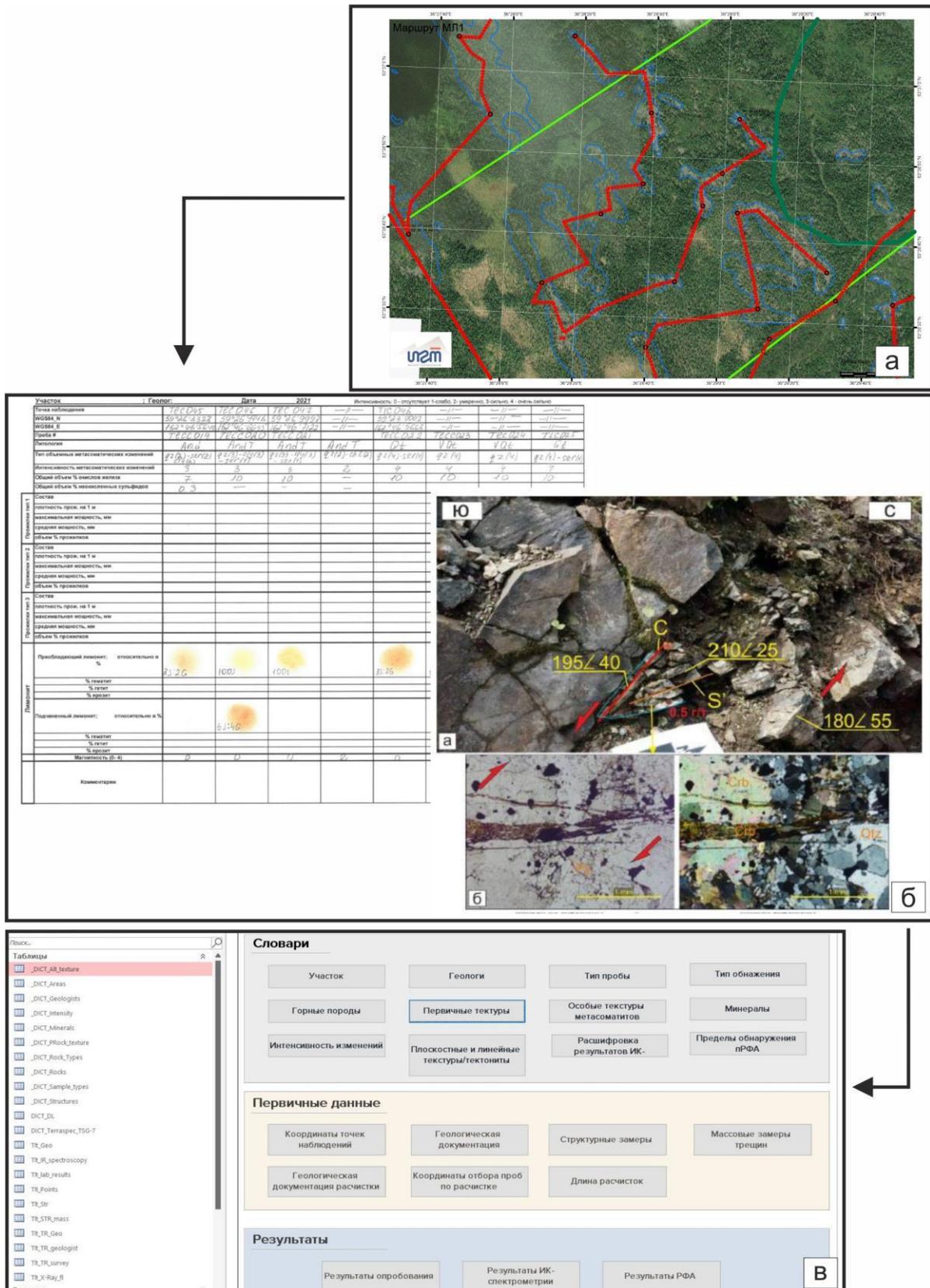


Рисунок 1. Последовательность выполнения геолого-структурного и минералогического картирования: а – составление программы работ с использованием высококачественных ортофотопланов и данных ранее проведенных полевых работ (при наличии); б – проведение геологических маршрутов с выполнением геолого-структурного и минералогического котирования используя кодовую документацию и геологическую документацию в полевом дневнике; в – составление итоговой базы данных по результатам полевых работ.

## ТЕХНОЛОГИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Антащук Ксения Михайловна<sup>1</sup>, Атаков Алексей Игоревич<sup>1</sup>,  
Кочеров Антон Борисович<sup>1</sup>, Голубев Сергей Анатольевич<sup>1</sup>, Теремков Андрей  
Валерьевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУ «ВСЕГЕИ», <sup>2</sup> ООО «АЛПОМ»

### Введение

Данные электроразведки играют важную роль при оценке перспективности территории на обнаружение месторождений рудных полезных ископаемых и оконтуривании зон их локализации. Как правило, рудоконтролирующими факторами являются зоны разрывных нарушений, приконтактные области интрузивных массивов, участки развития метасоматических процессов, участки смены литологического состава горных пород. Все эти факторы находят свое отражение в геоэлектрических параметрах. Несмотря на высокое качество и надежность результатов, получаемых наземными электроразведочными методами, их применение на больших площадях (десятки – сотни квадратных километров) ограничено экономической эффективностью. Это послужило мотивацией для разработки технологии беспилотных ЭМ зондирований, направленной на получение геоэлектрических разрезов до глубин сотни метров с достаточным латеральным разрешением (первые десятки метров) и возможностью изучения больших площадей.

### Методика и аппаратура

Разработанная технология основана на методе ЭМ зондирований в частотной области. Данная технология активно развивается группой Вестфальского университета (Мюнстер, Германия), в том числе, в рамках проекта DESMEX [1, 2]. Источником поля служит горизонтальный электрический диполь, расположенный на земле. Используется прямоугольный сигнал с паузой, что позволяет регистрировать несущую частоту и ее гармоники. Проводится регистрация трех магнитных компонент ЭМ поля в диапазоне частот от 10 Гц до 100 кГц. В качестве источника поля, как правило, используется 3-х фазный генератор мощностью 37 кВт. Длина питающего диполя может составлять от 1 до 6 км в зависимости от конфигурации и площади участка съемки. Базовая частота зависит от необходимой глубинности, а также от уровня и источников ЭМ шумов на участке работ и подбирается на рекогносцировочных маршрутах.

В отличие от подхода зарубежных коллег, нашей задачей является использование технологии



Рисунок 1. Комплекс беспилотных электромагнитных зондирований МЭМИ: буксируемый модуль (слева), размещение на носителе в ходе проведения съемки (справа).

беспилотных ЭМ зондирований для изучения больших площадей в рамках геолого-съёмочных работ, что обеспечивается длительной автономностью беспилотного носителя, в том числе за счет снижения массы оборудования, проведением математического моделирования на этапе планирования работ для определения зоны уверенной регистрации сигнала и возможных мест установки питающего диполя. Контроль качества получаемых данных проводится непосредственно во время проведения полевых работ.

Измерения выполняются с использованием электроразведочного комплекса «МЭМИ», включающего трехканальный регистратор, три магнитных датчика, инклинометр и GPS, собранных в единый буксируемый модуль (рис. 1). Комплекс измеряет три магнитные компоненты переменного ЭМ поля в диапазоне частот от 10 до 100 000 Гц с частотой дискретизации 312 кГц. Конструкция системы минимизирует взаимное влияние и шумы, создаваемые каждым элементом.

Обработка данных проводится в программном обеспечении VLF\_CS\_Proc и включает следующие основные процедуры: учет и коррекцию шумов, связанных с вращением и вибрацией системы, приведение системы координат к азимуту маршрутов съёмки, фильтрацию ЭМ шумов, расчет компонент ЭМ поля и их нормировка на ток источника с учетом его положения и геометрии, расчет функций отклика среды и их инвариантов. На следующем этапе осуществляется инверсия данных в том классе моделей (1D или 3D), который необходим для получения распределения геоэлектрических параметров наиболее адекватное геологической ситуации на участке съёмки.

### **Результаты применения технологии при поисках золото-кварц-сульфидного оруденения**

На перспективном участке, расположенном в Республике Алтай, беспилотные ЭМ зондирования выполнялись в комплексе с магниторазведкой. Рассматриваемая территория сложена кембрийскими вулканогенными породами, прорванными интрузивными образованиями основного состава. Рудоконтролирующими структурами являются разрывные нарушения и приконтактные зоны интрузивных массивов. Рельеф местности изрезанный, превышения составляют около 300 м при углах наклона 10-15°.

Площадь участка работ составляла около 40 км<sup>2</sup>. Съёмка выполнялась с расстоянием между маршрутами 100 – 200 м. Высота полета носителя составляла 45 м, скорость около 30 км/ч. Обработка данных проводилась во временном окне шириной 2 сек, что при выбранной скорости полета позволило обеспечить горизонтальное разрешение 10 м. Работы на участке выполнены при 2-х расположениях питающих линий.

При проведении полевых исследований анализировалось распределение инвариантного параметра, качественно отражающего распределение удельного сопротивления пород (рис 2а). По результатам предобработки беспилотных ЭМ съёмок (рис. 2а и 2б) было задано положение наземных заверочных работ методом электротомографии-ВП, которые пересекли наиболее перспективные проводящие зоны, разделяющие высокоомные интрузивные массивы.

По результатам интерпретации ЭМ исследований было уточнено положение интрузивных массивов и выделены скрытые тела, характеризующиеся высокими удельными сопротивлениями и высокой интенсивностью магнитного поля. Показано, что массивы имеют неоднородное строение и в их пределах выделяются слабомагнитные области, связанные, с корами выветривания основных пород. Линейные проводящие зоны отвечают

осям разрывных нарушений.

Результаты заверочных работ выделенных перспективных зон методом электротомографии-ВП показали наличие аномалий поляризуемости, приуроченных к краевым частям зон повышенной проводимости, которые являются наиболее перспективными с точки зрения обнаружения рудной минерализации.

Одномерная инверсия данных ЭМ съемок позволила создать геоэлектрическую модель до глубин 500-800 м и изучить особенности геологического строения участка работ. На рис. 3а показаны геоэлектрические разрезы по серии профилей. В восточной части участка для большей части профилей установлено трехслойное строение среды. Полученные геоэлектрические разрезы коррелируют с результатами АМТ зондирований (рис. 3б, в), выполненных по опорному профилю (шаг между точками 250 м). Мощность верхнего плохопроводящего слоя, отвечающего интрузивным массивам, не превышает 500 м, ниже наблюдается проводящий слой, мощность которого составляет более 400 м. На отдельных участках выделяются фрагменты кровли нижнего высокоомного основания, вероятно, представленного породами докембрийского фундамента. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии корневых частей интрузивных массивов. Другой важной особенностью является связь приповерхностных линейных проводящих аномалий северо-восточного простирания, интерпретируемых нами как участки измененных пород в зонах разрывных нарушений, с глубинными проводящими аномалиями.

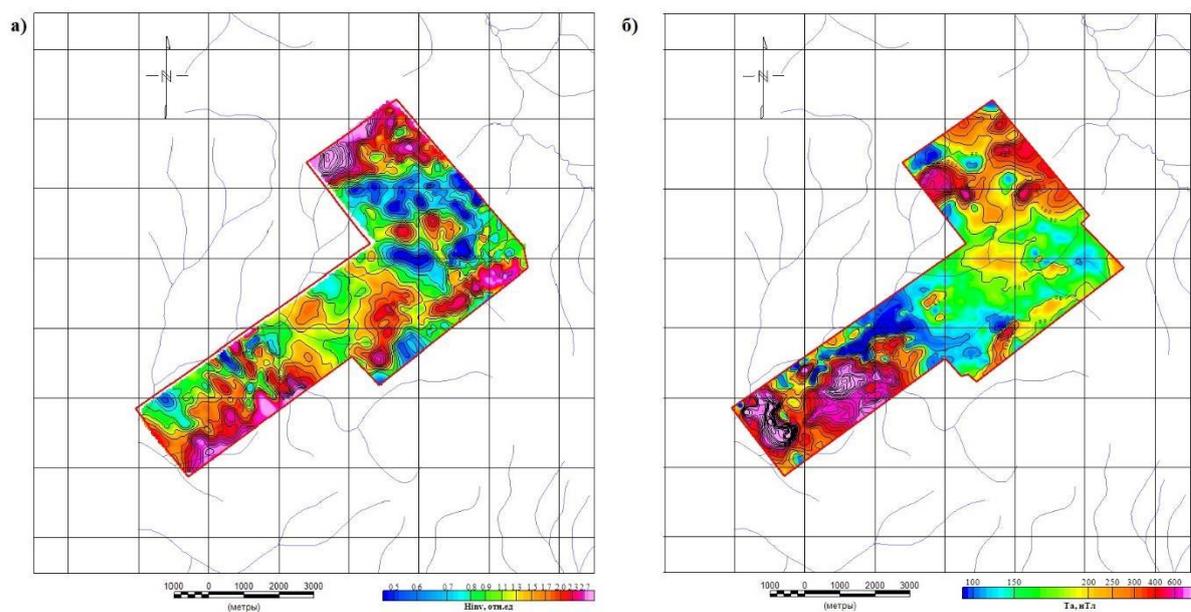


Рисунок 2. Карты инвариантного параметра на частоте 900 Гц (а) и аномального магнитного поля (б) по результатам обработки данных беспилотных съемок.

В западной части участка геоэлектрическое строение характеризуется наличием интрузивных массивов, как закартированных ранее, так и скрытых. По полученным данным выделенные массивы прослеживаются на всю глубину исследований. Вмещающие породы отличаются пониженными значениями удельных сопротивлений и соответствуют вулканогенным породам кембрийского возраста.

### Направления развития технологии

В настоящее время технология беспилотных ЭМ зондирований успешно применяется при решении рудных задач для изучения площадей до сотен км<sup>2</sup>. Кроме этого, беспилотные ЭМ исследования могут быть перспективны при решении экологических задач – картирования зон загрязнения, определения мощности мерзлых пород, а также при изучении ВЧР. Одним из перспективным направлением является использование результатов беспилотных ЭМ исследований для коррекции статических искажений в данных МТ-АМТ зондирований.

Ближайшее время планируется дальнейшее развитие технологии, связанное с решением ряда задач, в том числе оценки возможности использования свип-сигнала, увеличение соотношения сигнал/шум, 3D инверсия данных.

### Выводы

Разработанная технология ЭМ исследований включает полный комплекс аппаратурно-программных средств и методик, позволяющих успешно применять ее для изучения геоэлектрического строения до глубин 600 – 800 м на территориях площадью до нескольких сотен км<sup>2</sup>. Технология используется при решении рудных задач для картирования рудовмещающих структур и определения положения заверочных наземных геофизических работ. Дальнейшее развитие технологии направлено на расширение решаемых задач и технические модификации, которые позволят увеличить производительность и повысить качество и информативность получаемых данных.

### References

1. M. Becken, C. G. Nittinger, M. Smirnova, A. Steuer, T. Martin, H. Petersen, U. Meyer, W. Mörbe, P. Yogeshwar, B. Tezkan, U. Matzander, B. Friedrichs, R. Rochlitz, T. Günther, M. Schiffler, R. Stolz, and the DESMEX Working Group, [2020]. DESMEX: A novel system development for semi-airborne electromagnetic exploration. *Geophysics*, **85**(6), 1ND-Z30.
2. P. O. Kotowski, M. Becken, V. Schmidt, J. Schmalzl, A. Thiede, H. Marzouk, [2021]. Suitability study of the semi-airborne electromagnetic method based on multicopter system. SEGNSG Summit on drome geophysics Technical Program Expanded Abstract P35 – P36