

Возможности современных электроразведочных технологий при поисках и разведке твердых полезных ископаемых.

Куликов Виктор Александрович^{1,2}, Яковлев Андрей Георгиевич^{1,2}

¹ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

² *ООО «Северо-Запад», г. Москва*

Введение

В компании ООО «Северо-Запад» накоплен большой опыт проведения наземных комплексных геофизических работ на этапах поиска и оценки месторождений рудных полезных ископаемых.

За последние 10 лет силами сотрудников ООО «Северо-Запад» на различных рудных объектах было выполнено около 16000 ф.т. синхронных МТ/МВ зондирований, не менее 4000 пог. км площадных измерений методом ВП-СГ, более 500 пог. км глубинной электротомографии.

В процессе решения практических рудных задач осуществлялась разработка и внедрение в производство геофизических работ новой аппаратуры, методик измерений, программ обработки и интерпретации данных. В итоге был сформирован современный геофизический комплекс методов для поиска и разведки твердых полезных ископаемых, обладающий определенной новизной и уникальностью.

Глубинная электротомография при решении рудных задач

Ведущими геофизическими методами поиска и изучения твердых полезных ископаемых являются различные модификации метода сопротивлений.

До 90-х годов прошлого столетия наиболее распространенным методом зондирования на постоянном токе был метод ВЭЗ. Однако, данная методика, хорошо зарекомендовавшая себя при изучении горизонтально-слоистых сред, оказывается малоэффективна на сложнопостроенных, неоднородных средах, которые характерны для большинства рудных районов.

В последние два десятилетия, метод ВЭЗ все чаще заменяют электротомографией (ЭТ) – комплексом, включающим в себя, как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных, для неоднородных сред. Интерпретацию данных электротомографии проводят в рамках двумерных и трехмерных моделей с помощью специальных алгоритмов инверсии.

Для проведения работ методом электротомографии применяются специальные многоэлектродные станции. Многоканальные системы измерений обеспечивает высокую технологичность работ, но имеют ограничения по глубинности исследований.

В компании ООО «Северо-запад» разработана инновационная методика наземной электротомографии, с использованием комбинированных осевых установок типа «Поль-Диполь» плюс «Диполь-Диполь», для решения рудных задач с глубиной изучения разреза 400-500м.

Долгое время основной установкой геометрических зондирований в рудной геофизике была дипольная осевая установка (ДОЗ). Эта установка имеет ряд недостатков, к которым можно отнести ограниченный диапазон разносов и сильное влияние эффекта профилирования. С этими недостатками можно побороться, перейдя к использованию несимметричных установок. Например, использовать установку с большой длиной питающего диполя (200-800

м) и приемные линии различной длины: от 10-20 м на малых разносах, до 200-800 м на максимальном разносе. Шаг по профилю, в этом случае, составляет одну-две длины минимальной приемной линии. Такая установка позволяет исследовать, как малые, так и большие глубины, при одной длине питающего диполя.

На малых разносах, эта установка соответствует трехэлектродной установке Шлюмберже, влияние дальнего питающего электрода незначительно, а на больших разносах получается обычная дипольная осевая установка, на средних разносах - несимметричная четырехэлектродная установка. Шаг по профилю между точками зондирования подбирается таким образом, чтобы при перемещении установки по профилю, многие электроды приемной линии использовались многократно на разных разносах (рис. 1).

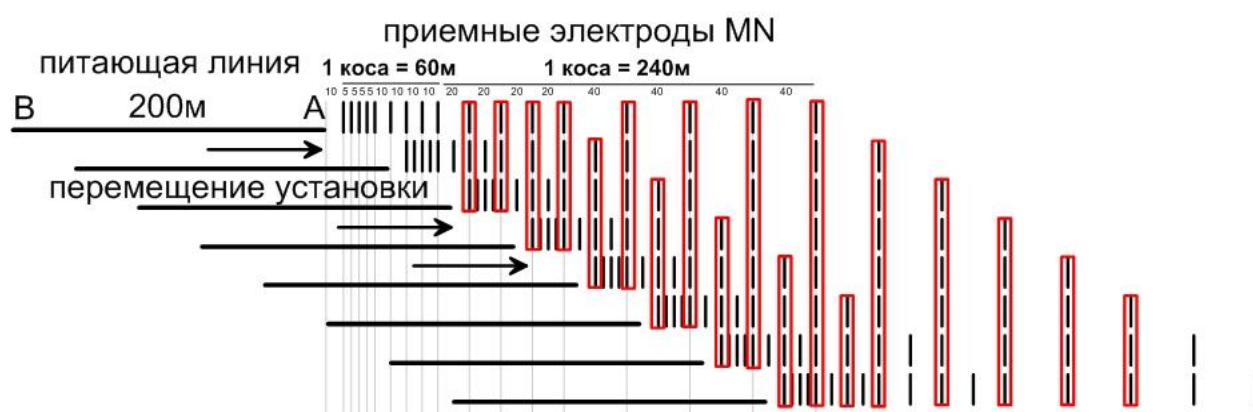


Рис. 1. Дипольная осевая односторонняя установка для электротомографии.

Разработанная в ООО «Северо-Запад» методика глубинной электротомографии, в сочетании с многочастотными фазовыми измерениями вызванной поляризации, позволяет решать следующие новые геологические задачи на этапе поиска рудных месторождений:

1. Построение геоэлектрической и поляризационной моделей и, на их основе, геолого-геофизической модели вмещающего разреза до глубин 500м.
2. Изучение границ рудных тел, в плане и в разрезе, по аномалиям вызванной поляризации, а, в случае богатого оруденения, и по аномалиям низких значений УЭС.
3. Восстановление, в плане и в разрезе, морфологии интрузивных образований, в т.ч. рудовмещающих.
4. Для областей с повышенной минерализацией подземных вод – определение границ водоносных горизонтов по аномалиям низких УЭС.
5. Для районов вечной мерзлоты: определение мощности криолитозоны, при ее значительной мощности (> 100м), определение границ таликовых зон в вертикальной плоскости.
6. Картирование и изучение проводящих тектонических нарушений, в т.ч. рудоконтролирующих.
7. Получая дополнительный параметр, в виде разности ДФП по методики фазовых измерений вызванной поляризации, мы можем при определенных благоприятных условиях разделять аномалии вызванной поляризации от углефицированных и магнетитсодержащих пород, различных ассоциаций сульфидных руд, аномалий, связанных с капиллярной каймой грунтовых вод, мерзлых пород и т.д..

Методика глубинной электротомографии была успешно опробована на многочисленных рудных месторождениях.

Результаты работ методом глубинной электротомографии на Рудном Алтае

Большой объем глубинной электротомографии последние годы проводится на Рудном Алтае. На рис. 2 приведена поляризационная модель, полученная по результатам двумерной многочастотной инверсии данных электротомографии в 2016 году на одной из поисковых площадей Лениногорского рудного района.

На разрезе выделяются две зоны повышенной поляризуемости. Западная зона связана с толщей вулканогенно-осадочных отложений, включающих в себя многочисленные прослои углеродистых алевролитов с равномерной сульфидной вкрапленностью и имеет смешанную углеродисто-сульфидную природу ВП.

Восточная аномалия заверена тремя скважинами (проекция скважин на разрез показана линиями черного цвета). Во всех скважинах вскрыты горизонты прожилково-вкрапленных и массивных полиметаллических руд (рудные интервалы показаны сплошными белыми линиями) с содержаниями сульфидов порядка 10% (по объему). Мощность зон по стволу скважины составляет 30-50 м. В первых двух скважинах на глубинах 100-130 м вскрыты также области пиритизации (интервалы показаны белыми пунктирными линиями). Отметим, что скважиной № 3 рудный горизонт вскрыт на глубине более 500 м!

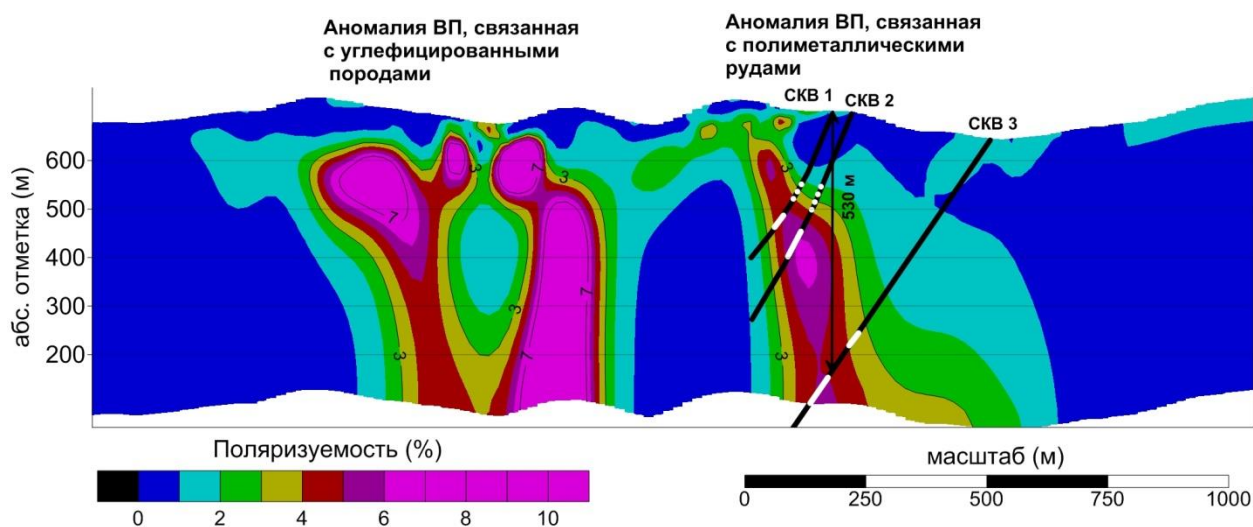


Рис. 3. Поляризационная модель, полученная по результатам глубинной электротомографии на одном из участков Лениногорского рудного района и результаты бурения.

Совместная инверсия данных электротомографии и АМТЗ

Пример применения глубинной электротомографии совместно с методом АМТЗ на Рудном Алтае показан на рис. 3. Колчеданно-полиметаллическое месторождение Сигнальное расположено в Лениногорском рудном районе.

Рудная зона приурочена к разлому СЗ простирания, сопровождающегося зоной повышенного расланцевания и гидротермально-метасоматического изменения пород, в пределах которой повсеместно развита интенсивная пиритизация и гнездово-прожилково-вкрапленная минерализация халькопирита, сфалерита и галенита. Ширина зоны интенсивно измененных пород достигает 200 – 250 м., протяженность – свыше 1 км. Комплексные

электроразведочные работы методами глубинной электротомографии и АМТЗ были выполнены по профилю длиной 2500 м пересекающем вкрест рудную зону.

Глубинность электротомографии для данного геоэлектрического разреза составила около 500 м. На модели УЭС, полученной в результате инверсии данных ЭТ (рис. 3.1) месторождение ярко выделяется в центральной части профиля как субвертикальная область низких сопротивлений ($< 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Еще одна зона пониженных УЭС фиксируется в 300 м к северо-востоку от известных рудных тел и совпадает с зоной метасоматитов по данным бурения.

По результатам бимодальной инверсии данных АМТЗ с учетом типпера разрез УЭС в целом получается более проводящий (рис. 3.2). Главное рудное тело однозначно выделяется на геоэлектрической модели, но его мощность получается несколько завышенной.

Наиболее сбалансированная модель, полученная по результатам совместной инверсии данных АМТЗ и ЭТ (рис. 3.3) включает в себя как высокоомные области, связанные с телами кварцитов и дайками габбро-диоритового состава а также проводящие зоны, связанные с рудными телами месторождения и областями сульфидной минерализации. Судя по результатам совместной инверсии, обе зоны гидротермально измененных пород сливаются на глубинах около 600 м.

Заключение

По результатам работ на Рудном Алтае показана эффективность и информативность глубинного варианта электротомографии при поисках полиметаллических руд и для определения природы аномалий вызванной поляризации, а также преимущество совместной инверсии данных глубинной электротомографии и аудиоманнитотеллурических зондирований по выделению проводящих рудных тел на глубинах до 400–500 м.

Список литературы

Куликов В. А., Каминский А. Е., Яковлев А. Г. Совместная инверсия данных электротомографии и магнитотеллурических зондирований при решении рудных задач // Геофизические исследования. — 2017. — Т. 18, № 3. — С. 27–44.

Куликов В. А., Каминский А. Е., Яковлев А. Г. Совместная двумерная инверсия данных электротомографии и аудиоманнитотеллурических зондирований при решении рудных задач // Записки Горного института. — 2017. — Т. 223. — С. 9–19.

Куликов В. А., Бобачев А. А., Яковлев А. Г. Применение электротомографии при решении рудных задач до глубин 300-400 м // Геофизика. — 2014. — № 2. — С. 39–46.

И. М. Варенцов, В. А. Куликов, А. Г. Яковлев, Д. В. Яковлев Возможности методов магнитотеллурики в задачах рудной геофизики // Физика Земли. — 2013. — Т. 1, № 3. — С. 9–29.

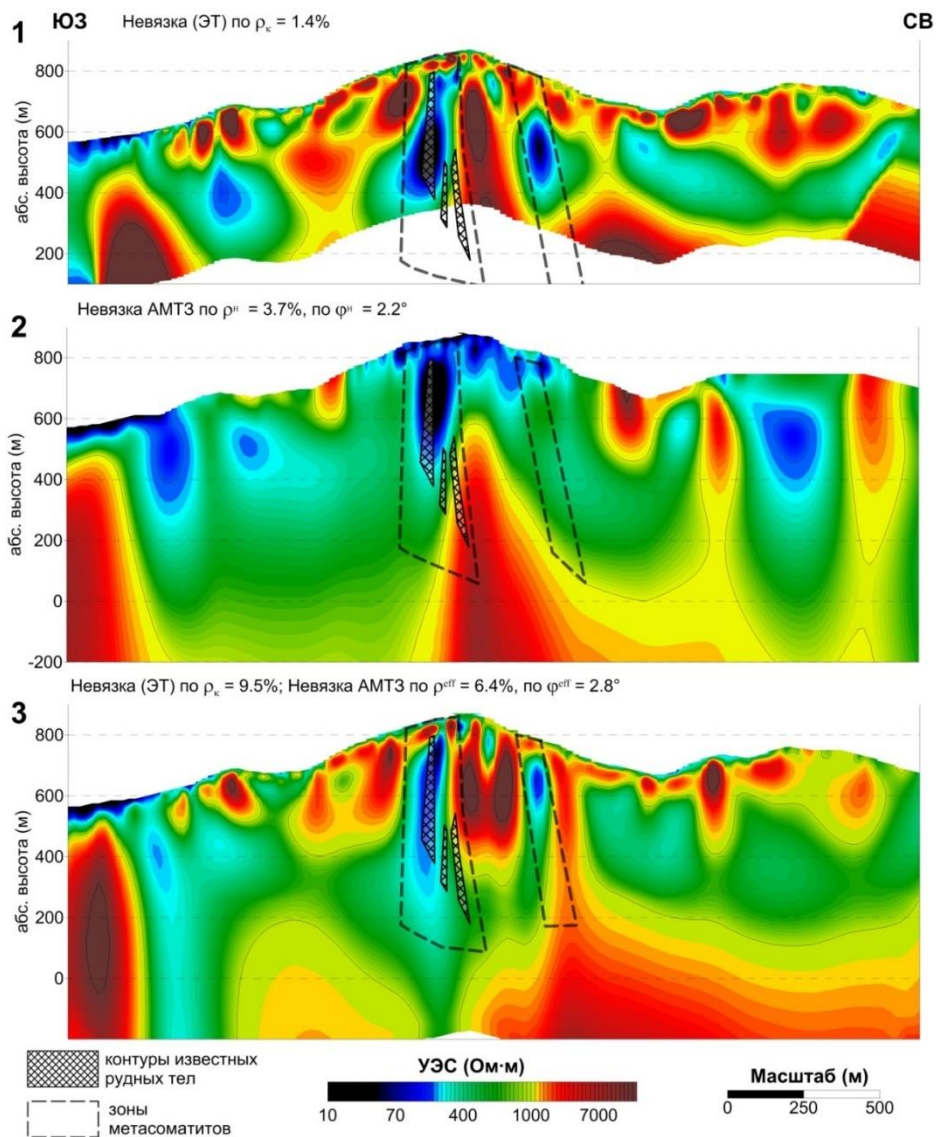


Рис. 3. Месторождение Сигнальное. 1) результат инверсии данных ЭТ; 2) результат инверсии данных АМТЗ (бимодальная инверсия); 4) результат совместной инверсии данных ЭТ и АМТЗ.