

Эффективный метод рудной электроразведки

Е.Ю.Ермолин*¹ (Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург¹), I.Ингеров² ("Advanced Geophysical Operatations and Services Inc."²), А.А.Савичев¹, Н.П.Сенчина¹

Введение

Метод магнитовариационного профилирования начал применяться на практике в 50-60х годах прошлого столетия благодаря работам: Паркинсона, Визе, Шмукера (Рокитянский 1982). На первых порах применялся низкочастотный вариант метода (10-1000 сек) для обнаружения и описания крупных аномалий электропроводности. В 70-80 годы с появлением 5-ти компонентной цифровой аппаратуры метод МВП стал стандартным дополнением к методу магнитотеллурических зондирований, который стал применяться в 5-ти компонентном варианте. С активным внедрением в нынешнем столетии в практику геофизических работ многофункциональной аппаратуры 5-го поколения (Fox et.all. 2008) резко возрос объем пятикомпонентных АМТ, применяемых для решения рудных задач. Это способствовало возникновению повышенного интереса к разработке методов интерпретации индукционного вектора и типпера. Кроме эффективных 2-Д инверсий были созданы методы экспресс интерпретации (О Ingerov and Ermolin 2010, Ermolin et.all. 2011). Эти методы позволяют установить параметры проводящего объекта (глубину, проводимость, угол наклона) непосредственно в процессе полевых работ. Благодаря этому, а также применению прецизионных треног для установки индукционных магнитных датчиков 3-х компонентный метод МВП стал эффективным самостоятельным поисковым наземным методом в рудной геофизике.

Теоретические основы, оборудование и программное обеспечение для полевых работ

Реальный и мнимый индукционные векторы были предложены как функции отклика среды на электромагнитные воздействия. Была установлена тесная связь предложенных параметров с наличием горизонтальных неоднородностей в распределении электропроводности Земли. Были предложены две конвенции по ориентировки реального индукционного метода (Rokityansky 1982):

- Визе – Шмукера - вектор смотрит от проводника;
- Паркинсона – вектор смотрит на проводник (более удобная).

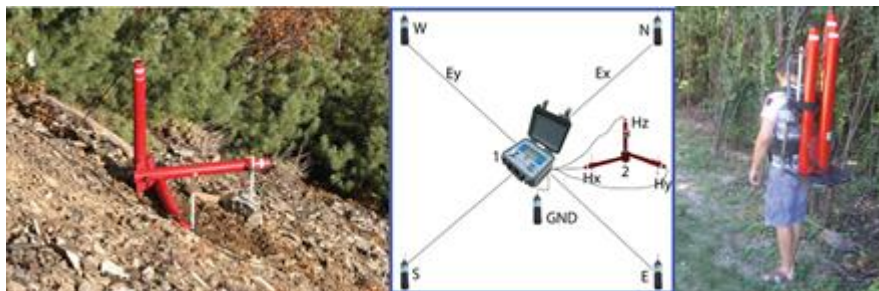


Рисунок 1: Типичная установка точки МВП в полевых условиях (слева – тренога с установленными магнитными датчиками в рабочем режиме; по центру – типичное расположение точки АМТ3/МВП в полевых условиях, справа – тренога с магнитными датчиками в транспортировочном режиме).

Позже, амплитуда и фаза типпера были предложены как еще одни функции отклика среды в методе МВП. Типичная расстановка оборудования для 5-ти компонентных АМТ показана в центральной части на Рис 1. Отличием полевой расстановки для метода МВП является отсутствие электрических каналов (используются только 3 ортогональных магнитных компоненты ЭМ поля – H_x , H_y , H_z). Применение 3-х компонентных прецизионных треног для

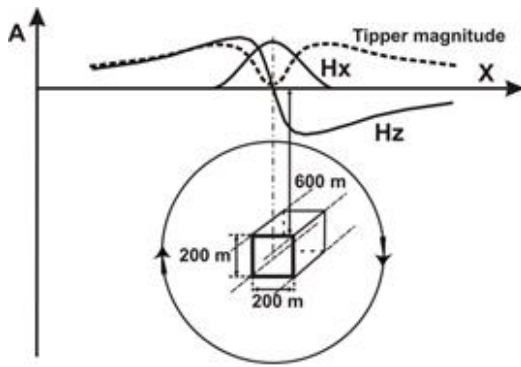


Рисунок 2: Графики H_x , H_z и типпера над изометрическим 2-Д телом. H_x и H_z обозначены прямой линией; типпер обозначен линией с пробелами.

магнитными датчиками на местности занимают 2-3 мин. Ограниченные размеры треноги позволяет решать очень тонкие задачи такие как картирование тонких жил и даек. Для детализационных измерений (заполняющей сети) целесообразно использовать однокомпонентные измерения вертикальной компоненты поля (H_z). Это обусловлено тем фактом что над центром проводящего тела эта компонента резко меняет свой знак (Рис 2). Любая 3-х – 5-ти канальная многофункциональная аппаратура 5-го поколения (Fox et.all. 2008, Ingegov et.all. 2011), имеющая АМТ, диапазон может быть эффективно использована для полевых работ методом МВП, но наиболее эффективным является применение многофункциональной аппаратуры, в которой метод МВП заложен как одна из опций (Gerard-4, Gerard-8). Данная аппаратура имеет расширенный частотный диапазон (до 50 кГц) и гибкую конфигурацию регистрирующих каналов. Для обработки полевых материалов (переход от временных рядов в частотную область и вычисление МВП функций отклика среды) может быть использована любая программа обработки 5-ти канальных магнитотеллурических измерений. Существенным преимуществом обладают программы, использующие схему обработки с удалённой базовой точкой. Наиболее часто функции отклика среды изображаются в виде: частотных характеристик амплитуды и фазы типпера их вертикальных разрезов, вертикальных и мнимых разрезов, реальных и мнимых индукционных векторов, карт этих параметров на отдельных периодах, планов графиков. По картам векторов локализуется положение аномальных объектов в плане, а по вертикальным разрезам типпера с помощью методов экспресс-интерпретации определяется глубина тела, его форма, угол наклона и суммарная продольная проводимость сечения тела. Все это позволяет оперативно корректировать направление бурения на изучаемой площади.

Принципы экспресс интерпретации амплитудных частотных характеристик типпера и примеры применения метода

На Рис 2 изображены графики поперечной горизонтальной магнитной (H_x) и вертикальной магнитной компонент над проводящим 2-Д телом с изометрическим сечением. Тело простирается вдоль оси Y, перпендикулярно плоскости рисунка. Естественное переменное электромагнитное (ЕПЭМ) поле индуцирует избыточный ток в проводящем теле. Этот ток, в свою очередь, вызывает переменное круговое магнитное поле, компоненты которого (H_x , H_z) могут быть зафиксированы на поверхности Земли. Типпер как корень квадратный от квадрата частного H_z/H_x имеет график функции, изображённый на Рис 2, т.е. над изометрическим телом типпер имеет двугорбую положительную аномалию, которая очень медленно затухает с удалением от тела. Отсюда вытекает дальное действие индукционного вектора (типпера), когда проводящая аномалия может быть обнаружена на расстоянии, в несколько раз превышающих ее глубину залегания. На Рис 3 показаны вертикальные разрезы типпера для двумерных тел с различной формой сечения тела. Во всех случаях аномалии имеют вид двух максимумов с

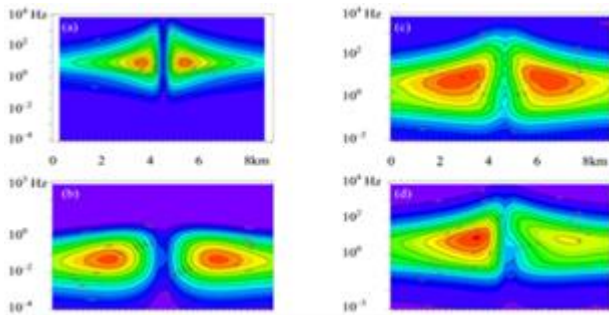


Рисунок 3: Псевдо-разрезы типпера для 2-Д проводящих тел различных форм сечения: (a) изометрической; (b) горизонтальное; (c) вертикальное; (d) наклоненное влево.

очень резкой границей между ними и медленно затухающих к периферии. Однако форма аномалий для тел разного сечения существенно отличаются между собой, то есть по форме аномалии типпера можно определить форму сечения тела и направление его падения. По соотношению амплитуд максимумов по обеим сторонам тела можно судить о величине угла падения тела. Были выделены три основные характерные точки на вертикальных разрезах типпера (O Ingerov et.all. 2009, Ermolin et.all 2011). Параметрами этих характерных точек являются: А – амплитуда максимума типпера, Т – период

максимума типпера, d – расстояние между двумя максимумов в метрах. На Рис 4 приведены графики зависимости отмеченных параметров от характеристик проводящего тела. Рис 4а и 4б соответственно демонстрирует графические зависимости глубины залегания тела от параметров d и А. Графики на Рис 4с, 4д, 4е соответственно характеризуют зависимость величины суммарной продольной проводимости тела от периодов максимумов. Таким образом разработаны приемы определения по вертикальным разрезам типпера основных параметров проводящих 2-Д тел (глубины, проводимости, формы сечения тела). Также доказана возможность определения угла падения тела и его вытянутости по вертикали, а также картирование маломощных даек (Ermolin et. al. 2011, Ingerov et. al. 2013).

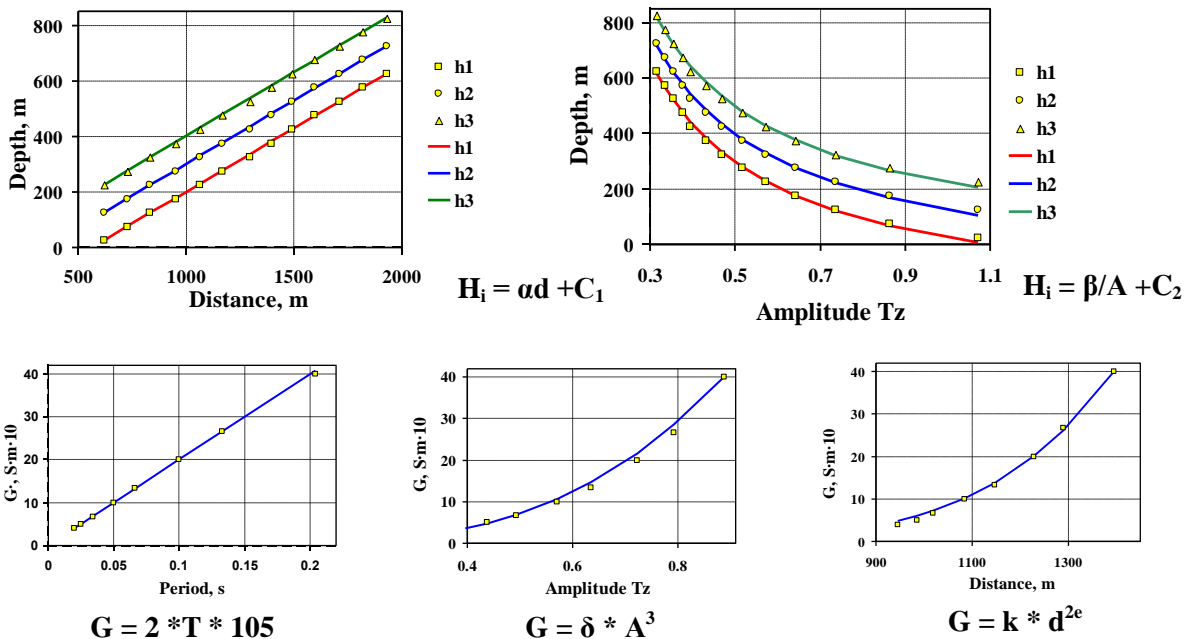


Рисунок 4: Зависимости основных параметров проводящего тела от координат экстремумов на вертикальных разрезах амплитуды типпера.

Наиболее активно последнее 10-тие МВП метод самостоятельно или в комплексе с АМТ – МТЗ методами применяется геологической службой Канады (региональные работы, картирование урановых месторождений бассейна Атабаска), Московским государственным университетом и компанией Норд-Вест (региональные работы, поиски рудных месторождений, поиски алмазных трубок), Национальным минерально-сырьевым университетом (Санкт-Петербург) (изучение глубинного строения уникальных геологических объектов, поиски и разведка рудных объектов), компанией Алроса (алмазы), компанией Норд-Никель (сульфидные руды) и многими другими. На Рис 5а, приведены результаты интерпретации

данных 5-ти компонентных АМТ при разведке стратегического месторождения Песчанка (Чукотка, Россия). Выделенные по данным АМТ/МВП проводящие объекты последующим бурением были подтверждены как рудные. На Рис 5б показан вертикальный разрез реальных индукционных векторов (конвенция Паркинсона) по профилю через Патомский кратер (Восточная Сибирь, Россия) В этих сложных геологических условиях только применение метода МВП позволило установить, что кратер является высокоомным объектом.

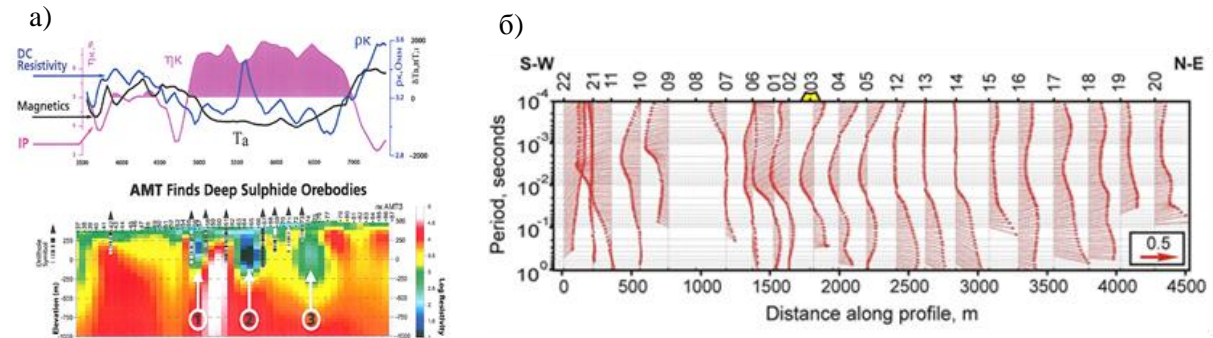


Рисунок 5: Примеры полевых работ, а) – Стратегическое месторождение, Чукотка, Россия; б) – Индукционные векторы вдоль профиля через Патомский кратер.

Выводы

На сегодняшний день метод МВП имеет все признаки успешного геофизического метода: теоретическую базу, аппаратную базу, технологию полевых работ, технологию обработки и анализа данных, методику интерпретации, многочисленные примеры успешного применения. Весомым вкладом в экономически эффективное применение МВП является внедрение в практику полевых работ прецизионных треног для установки магнитных датчиков.

References

- Ermolin et. al. [2011] Mapping of vertical conductive bodies by MVP. EMS-2011, St. Petersburg, Russia, Abstracts, Vol.2, P. 245-249
- Ingerov, O. and Ermolin, E. [2011] The results of AMT survey at Patomsky crater. 73rd European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2011 - Incorporating SPE EUROPEC 2011. 6. P. 4325-4329.
- Fox L [2008] Fifth generation of multifunctional equipment – ten years in the market. The 19th International Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, Beijing, China, Abstracts, Vol.1, p. 432-436
- Ingerov et all. [2013] Mapping of thin conductive dikes and veins overlaid by sediments using methods of Audiomagnetotellurics (AMT) and Magnetovariational Profiling (MVP), SEG Technical Program Expanded Abstracts 2013: pp. 1601-1605, SEG Houston 2013 Annual Meeting
- Ingerov I [2011] Method of multifrequency magnetovariational profiling (MVP). EMS-2011, St. Petersburg, Russia, Abstracts, Vol.2, p. 449-454
- Rokityansky II (1982) Geoelectromagnetic investigation of the earth's crust and mantle: Springer-Verlag