

Секция №5, стендовый

УДК

EFFECTIVE METHOD FOR MINING EXPLORATION

Ingerov I.¹, Rudak T.¹, Ermolin E.²

¹ – Advanced Geophysical Operations and Services Inc. (AGCOS), Toronto, Canada,

² – National Mineral Resource University (NMRU), Saint-Petersburg, Russia.

Magnetovariational profiling method (MVP) was introduced into the field practice in the 1950-60s of the last century subsequent to the works of Parkinson, Wiese and Schmucker [6]. At that time, low frequency variant (10-1000sec frequency range) was widely used for the detection and parameter estimation of large electrical conductivity anomalies in the Earth's crust and upper mantle. The appearance of the 5th generation of electroprospecting equipment in the 1970-80s allowed MVP method to become regular add-on to magnetotelluric soundings (MT) in the 5-component variant. At the turn of the century, active implementation into field survey practice of the 5th generation digital multifunction EM instruments [3] resulted in significant increase to the number of carried out AMT measurements, which were widely used for mining exploration. In turn, emphasized was the demand for the induction vector and tipper interpretation techniques. Besides the development of effective 2-D inversions, proposed were express interpretation methods [1, 2, 4] which allowed to estimate the parameters (depth, conductivity, angle of inclination, etc.) of the conductive body during the course of the field survey. Consequently, as well as due to the application of precision field tripods for quick and accurate installation of the magnetic sensors, the 3-component MVP method became an effective independent ground electroprospecting technique for solving wide range of mining exploration tasks.

Key words: Magnetovariational profiling method, electroprospecting, mineral exploration, real induction vector, tipper.

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД РУДНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Ингеров И.А.¹, Рудак Т.В.¹, Ермолин Е.Ю.²

¹ – Advanced Geophysical Operations and Services Inc., Торонто, Канада,

² – Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург.

Метод магнитовариационного профилирования начал применяться на практике в 50-60х годах прошлого столетия благодаря работам: Паркинсона, Визе, Шмукера [6]. На первых порах применялся низкочастотный вариант метода (10-1000 сек) для обнаружения и описания крупных аномалий электропроводности. С появлением в 70-80е годы 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 [3] 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 [1, 2, 4]. 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.

Ключевые слова: магнитовариационный метод, электроразведка, рудные полезные ископаемые, реальный индукционный вектор, типпер.

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 [6]:

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

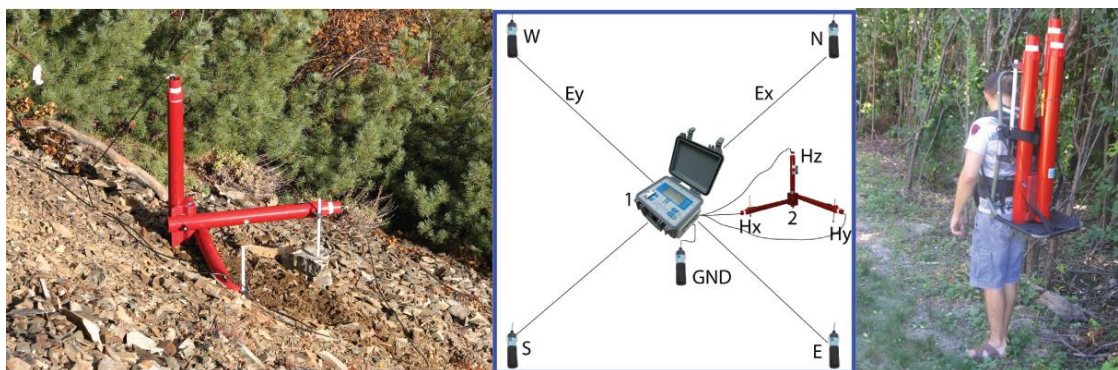


Рис. 1. Типичная установка точки МВП в полевых условиях (слева – тренога с установленными магнитными датчиками в рабочем режиме; по центру – типичное расположение точки АМТЗ/МВП в полевых условиях, справа – тренога с магнитными датчиками в транспортировочном режиме.

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 установки магнитных датчиков кардинально расширило географию и сезонность применения метода МВП. Другими существенными преимуществами применения треног явились повышение точности измерения магнитных компонент поля и термостабильность датчиков, а также существенное (в разы) повышение производительности работ. На левой части Рис. 1 показана тренога с тремя магнитными датчиками, установленная в рабочем положении на крутом склоне. На правой части Рис. 1 показана тренога в транспортном положении. Датчики хранятся в треноге и в транспортном положении, а соединительные кабели наматываются на треногу. Перевод треноги из транспортного положения в рабочее и обратно занимает 1 мин, установка, ориентировка и нивелирование треноги с магнитными датчиками на местности занимают 2-3 мин. Ограниченные размеры треноги позволяет решать очень сложные 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 [3, 5], 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 (Гепард-4, Гепард-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 и 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.

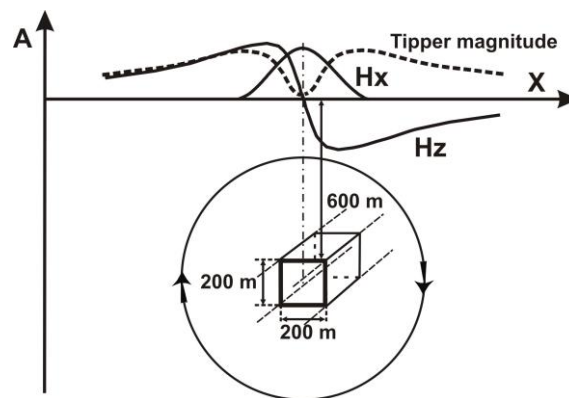


Рис. 2. Графики H_x, H_z и типпера над изометрическим 2-Д телом; H_x и H_z обозначены прямой линией; типпер обозначен линией с пробелами.

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 дальноедействие 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 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 [1, 4]. Параметрами этих характерных точек являются: А – амплитуда максимума типпера, Т – период максимума типпера, d – расстояние между двумя максимумами в метрах.

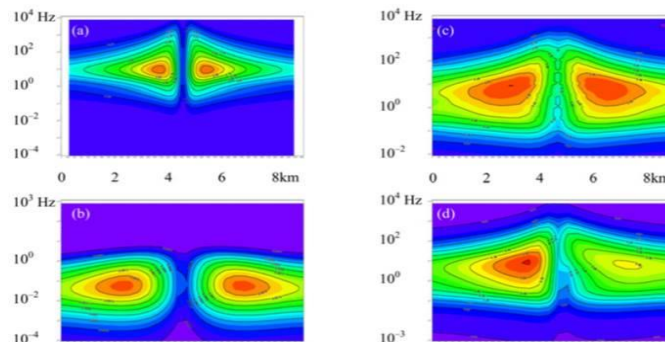


Рис. 3. Псевдо-разрезы типпера для 2-Д проводящих тел различных форм сечения: (а) изометрическое; (б) горизонтальное; (с) вертикальное; (д) наклоненное влево.

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. 4в, 4г, 4д 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 [1, 4].

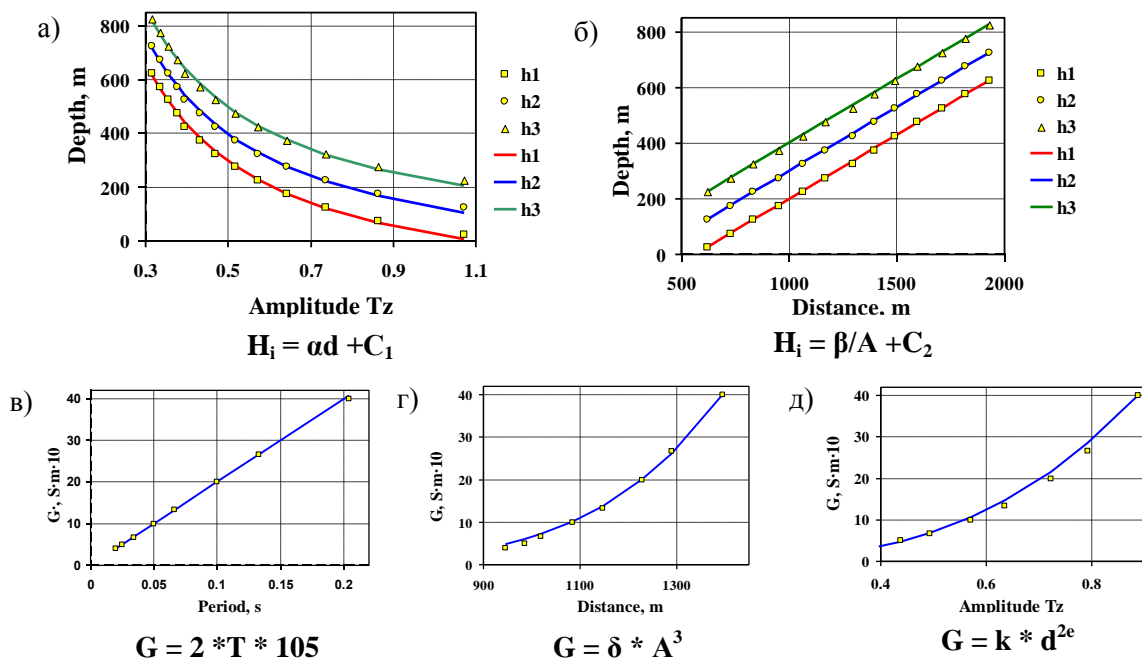


Рис.4. Зависимости основных параметров проводящего тела от координат экстремумов на вертикальных разрезах амплитуды типпера.

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.

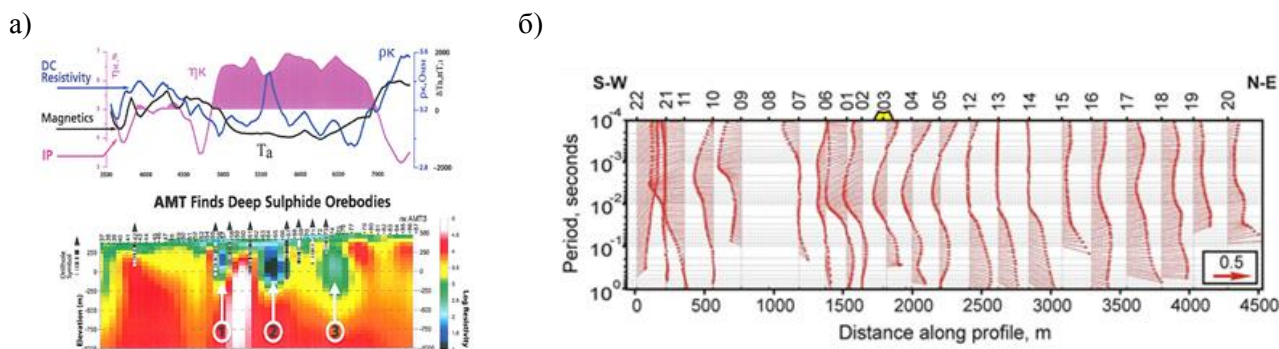


Рис. 5. Примеры полевых работ, а) стратегическое месторождение, Чукотка, Россия; б) индукционные векторы вдоль профиля через Патомский кратер.

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.

1. Ermolin et. al. Mapping of vertical conductive bodies by MVP // EMS-2011, St. Petersburg, Russia, Abstracts. 2011. Vol.2, p. 245-249
2. Ingerov, O. and Ermolin, E. 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.
3. Fox L. Fifth generation of multifunctional equipment – ten years in the market // The 19th International Workshop on Electromagnetic Induction in the Earth, Beijing, China, Abstracts. 2008. Vol.1, p. 432-436
4. Ingerov et all. Mapping of thin conductive dikes and veins overlaid by sediments using methods of Audiomagnetotellurics (AMT) and Magnetovariational Profiling (MVP) // SEG Houston 2013 Annual Meeting, SEG Technical Program Expanded Abstracts. 2013. p. 1601-1605
5. Ingerov I. Method of multifrequency magnetovariational profiling (MVP) // EMS-2011. St. Petersburg, Russia, Abstracts. 2011. Vol.2, p. 449-454
6. Rokityansky I.I. Geoelectromagnetic investigation of the earth's crust and mantle // Springer-Verlag. 1982