

Опыт применения 5-ти компонентных аудиоманнитотеллурических зондирований при поисках различных рудных объектов

Ингеров Игорь Александрович¹, Ермолин Евгений Юрьевич², Беляков Сергей Николаевич³

¹ *Advanced Geophysical Operations and Services Inc. (AGCOS)*

² *Сервисная геолого-геофизическая компания ООО «ДЖИ М Сервис»*

³ *АО «Казгеология»*

Введение

5-ти компонентные АМТЗ получили широкое распространение в Канаде на рубеже тысячелетий. Это было связано с появлением 5-го поколения аппаратуры [Fox, 2008] и необходимостью глубинной доразведки рудоносного бассейна Садбери (провинция Онтарио). Далее с каждым годом удельный вес АМТЗ в поисково-разведочных работах стремительно возрастал. 5-ти компонентные (E_x , E_y , H_x , H_y , H_z) зондирования, основанные на измерениях естественного переменного электромагнитного (ЕМ) поля Земли, объединяют в себя два метода - магнитотеллурические зондирования и магнитовариационное профилирование.

Магнитотеллурические зондирования (МТЗ) основаны на изучении 4-х горизонтальных компонент ЕМ поля, двух ортогональных электрических (E_x , E_y) и двух ортогональных магнитных (H_x , H_y). В зависимости от частотного диапазона и, соответственно, глубины исследований, выделяют аудиоманнитотеллурические зондирования (10 000 – 1 Гц, аббревиатура АМТ), магнитотеллурическое (300 – 0.001 Гц, МТ), низкочастотное (10 - 0.00001 Гц, LMT) и широкодиапазонное (10 000 – 0.00001 Гц, ВМТ).

Магнитовариационное профилирование основано на изучении 3-х ортогональных магнитных компонент (двух горизонтальных H_x , H_y и вертикальной H_z) естественного переменного ЕМ поля Земли. В методе МВП пока официально не введена градация по частотам. Авторы считают целесообразным ввести градацию, аналогичную применяемой в магнитотеллурических методах, то есть: AMVP, MVP, LMVP, VMVP. От частотного диапазона МВП существенно зависят глубина исследований и масштабы изучаемых объектов.

Принципиально важным является тот момент, что магнитотеллурические методы хорошо картируют структуры с субгоризонтальным залеганием слоев, а магнитовариационные методы совершенно не реагируют на горизонтально слоистую среду. В то же время, магнитовариационные методы весьма чувствительны к горизонтальным неоднородностям среды. Таким образом, комбинация магнитотеллурических и магнитовариационных методов реализуемая в 5-компонентных наблюдениях естественного переменного ЕМ поля Земли, позволяет достаточно полно изучать сложно построенные геологические разрезы. Кроме высокой чувствительности данной комбинации методов к особенностям геологического разреза, методы обладают уникальной возможностью изучать геоэлектрический разрез в глубинном интервале от первых метров до 150 – 200 км, а также обнаруживать объекты, находящиеся в стороне от профиля наблюдений.

Полевая установка для 5-ти компонентных АМТЗ

Типичная полевая установка аппаратуры для 5-ти компонентных АМТЗ показана в центральной части на Рис. 1. Отличием полевой расстановки для метода МВП является отсутствие электрических каналов (регистрируется только 3-х ортогональных магнитных компоненты ЕМ поля – H_x , H_y , H_z). Применение 3-х компонентных прецизионных треног для установки магнитных датчиков кардинально расширило географию и сезонность применения методов АМТЗ и МВП. Другими существенными преимуществами применения треног явились повышение точности измерения магнитных компонент поля и улучшение термостабильности индукционных 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 также в транспортном положении, а соединительные кабели наматываются на треногу. Перевод треноги из транспортного положения в рабочее и обратно занимает около одной минуты, установка, ориентировка и нивелирование треноги с магнитными датчиками на местности занимают 2-3 минуты. Ограниченные размеры треноги позволяют 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. 2а).

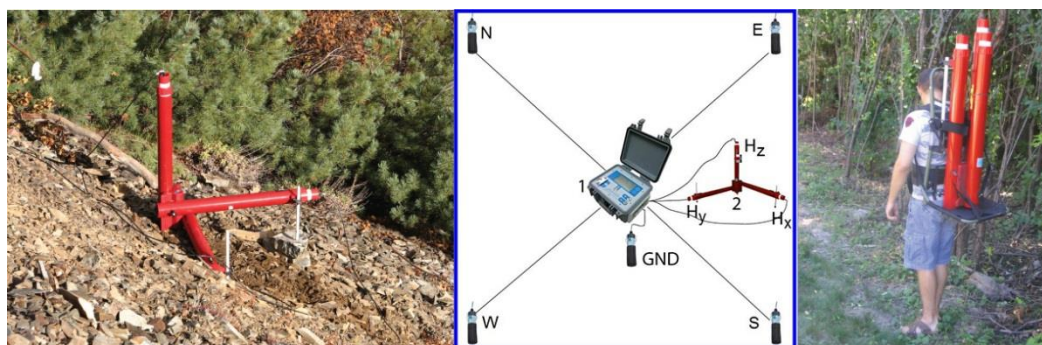


Рис. 1. Типичная установка точки МВП в полевых условиях. Слева – тренога с установленными магнитными датчиками в рабочем режиме; по центру – типичное расположение точки АМТЗ/МВП в полевых условиях; справа – тренога с магнитными датчиками в транспортновочном режиме.

Метод МВП

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).

Принципы экспресс интерпретации амплитудных частотных характеристик типпера и примеры применения метода

На Рис. 2а 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 вычисляется как корень квадратный от квадрата частного H_z/H_x , имеет однополярный положительный график функции, изображённый на Рис. 2а. 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. 2б 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 [Ermolin et al., 2011]. Параметрами этих характерных точек являются: А – амплитуда максимума типпера, Т – период максимума типпера, д – расстояние между двумя максимумами в метрах.

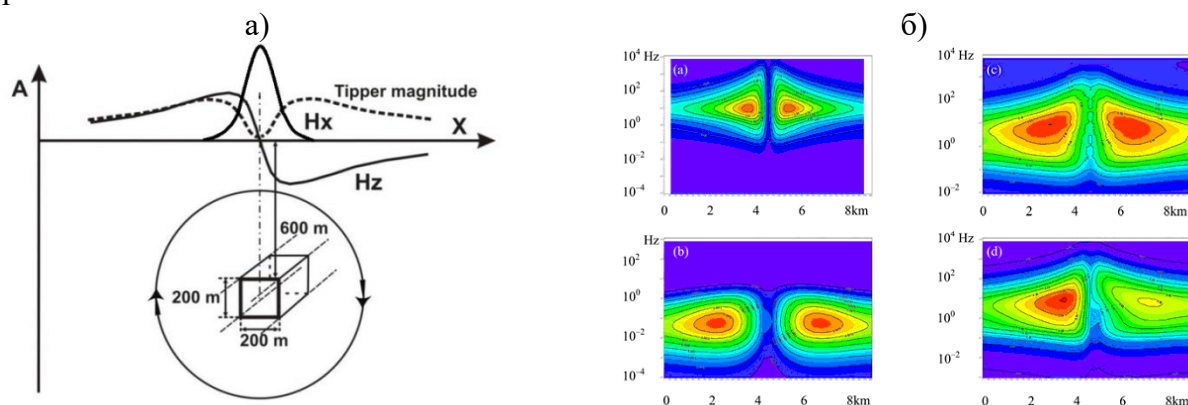


Рис. 2. (а) Графики H_x , H_z и типпера над изометрическим 2-Д телом; H_x и H_z обозначены прямой линией; типпер обозначен линией с пробелами; (б) Псевдо-разрезы типпера для 2-Д проводящих тел различных форм сечения: (а) - изометрическое; (б) - горизонтальное; (с) - вертикальное; (д) - наклоненное влево.

На Рис. 3 приведены графики зависимости отмеченных параметров от характеристик проводящего тела. Рис. 3а и 3б соответственно демонстрирует графические зависимости глубины залегания тела от параметров d и A . Графики на Рис. 3в, 3г, 3д 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 возможность картирования маломощных даек [Ingerov et al., 2013, Ingerov, 2011].

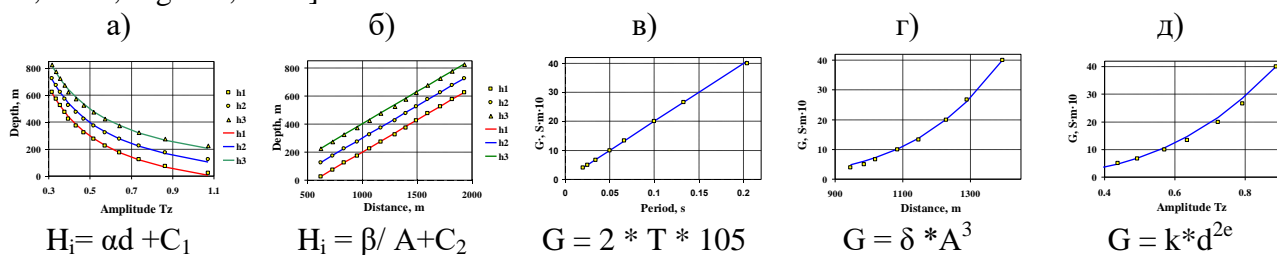


Рис. 3. Зависимости основных параметров проводящего тела от координат экстремумов на вертикальных разрезах амплитуды типпера.

Некоторые примеры применения

В последнее десятилетие самостоятельное или комплексное применение метода МВП с АМТЗ–МТЗ наиболее активно осуществлялось геологической службой Канады (региональные работы, картирование урановых месторождений бассейна Атабаска), Московским государственным университетом и компанией Норд-Вест (региональные работы, поиски рудных месторождений и алмазных трубок), Национальным минерально сырьевым университетом, г. Санкт-Петербург (изучения глубинного строения уникальных геологических объектов, поиска и разведки рудных объектов), компанией Алроса (поиск алмазов), компанией Норильск-Никель (поиск сульфидных руд) и многими другими. На Рис. 4а, 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. 4б показан вертикальный разрез реальных индукционных векторов (конвенция Паркинсона) по профилю через Патомский кратер (Восточная Сибирь, Россия) [Ingerov et al., 2011]. В этих сложных геологических условиях, только применение метода МВП позволило установить, что кратер является высокоомным объектом.

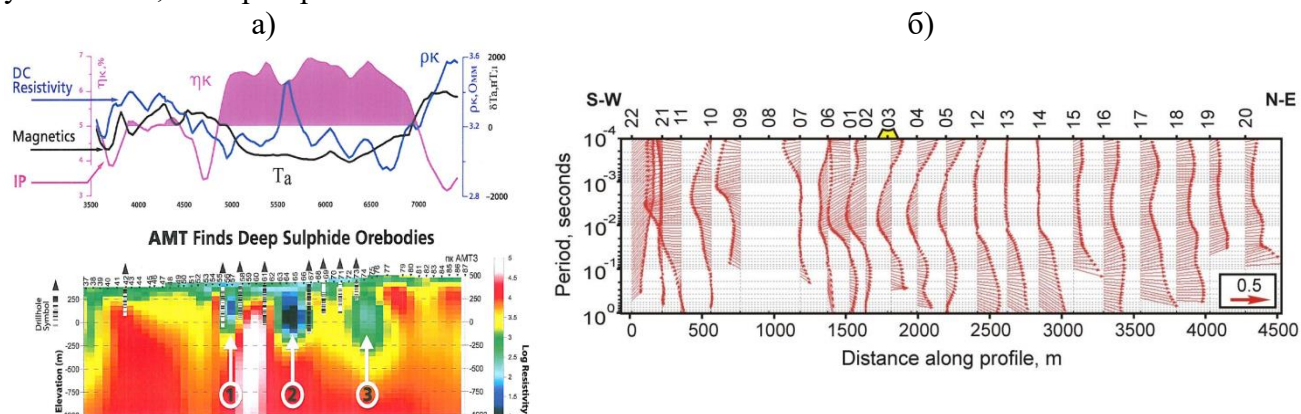


Рис. 4. Примеры полевых работ: (а) Стратегическое месторождение, Чукотка, Россия; (б) Индукционные векторы вдоль профиля через Патомский кратер.

Заключение

Широкое и успешное применение 5-ти компонентных АМТ для рудных поисков обусловлено:

- одновременной реализацией двух электроразведочных методов аудиоманнитотеллурических зондирований и аудиоманнитовариационного профилирования. Первый метод обладает высокой чувствительностью к поведению субгоризонтальных границ в геоэлектрическом разрезе, а второй обладает супер высокой чувствительностью к наличию горизонтальных неоднородностей. Комбинация этих двух методов позволяет полноценно описать геоэлектрический разрез и надежно выделить перспективные аномалии;
- значительной глубиной исследований (2-3 км);
- мобильностью, малым весом оборудования;
- высокой производительностью;
- малыми трудозатратами (бригада из 2-3 работников на 2-3 комплекта аппаратуры).

Список литературы

- Ermolin et. al.* Mapping of vertical conductive bodies by MVP //EMS-2011, St. Petersburg, Russia, Abstracts. 2011. Vol.2, p. 245-249.
- 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.
- 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.
- Ingerov et al.* 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.
- Ingerov I.* Method of multifrequency magnetovariational profiling (MVP) //EMS-2011. St. Petersburg, Russia, Abstracts. 2011. Vol.2, p. 449-454.
- Rokityansky I.I.* Geoelectromagnetic investigation of the earth's crust and mantle //Springer-Verlag. 1982.