

МЕТОД МНОГОЧАСТОТНОГО МАГНИТОВАРИАЦИОННОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ (ММВП)

Ингеров И.

Компания «AGCOS» Торонто, Канада (ingerov@agcos.ca)

Резюме

Описываемый метод является высокочастотной модификацией метода магнитовариационного профилирования (МВП). Традиционный метод МВП увязывается с исследованиями глубинной электропроводности. Метод был обоснован в 60-х годах предыдущего столетия, и его активное применение в 60-е – 80-е годы привело к открытию и описанию параметров крупных коровых аномалий электропроводности. Метод характеризовался относительно узким частотным диапазоном 100 - 600 с, что несколько ограничивало интерпретационные возможности. С активным внедрением в практику магнитотеллурики цифровых регистраторов и компактных широкодиапазонных датчиков магнитных компонент электромагнитного (ЕМ) поля Земли, измерение вертикальной компоненты естественного ЕМ поля Земли стало традиционным при выполнении магнитотеллурических исследований. Толчком к развитию поисковой технологии МВП стал опыт применения высокочастотных (аудио) МТ для поисков сульфидных руд на Канадском щите в начале нынешнего столетия. Внедрению в практику ММВП способствовало появление портативной аппаратуры (Феникс Джеофизикс, АГКОС и др.), прецизионных треног (АГКОС), эффективных программ 2-Д и 3-Д моделирования и инверсии, разработкой способов оперативного определения параметров аномальных объектов по вертикальным разрезам типпера (СтПГИ, АГКОС, Феникс Джеофизикс). Применение ММВП позволяет существенно повысить производительность, оперативность поисково разведочных работ в рудной геофизике и геокартировании, обеспечить их круглогодичное эффективное использование, снизить затраты на полевые работы, «чувствовать» аномальные объекты в стороне от профилей наблюдений. Компанией «Геотеч» (Канада) внедрен авиационный вариант рудного ММВП, имеется возможность повышения разрешающей способности сухопутных и морских нефтегазопроисковых ММВП.

Ключевые слова: типпер, индукционный вектор, прецизионные треноги, магнитовариационное профилирование (МВП), аномальные проводящие объекты.

Введение

Метод магнитовариационного профилирования, основанный на измерениях магнитных компонент естественного электромагнитного (ЕМ) поля земли, был предложен в середине прошлого столетия, теоретические разработки метода даны в работах Паркинсона, Визе, Шмукера [Berdichevsky, 2009, Rokityansky, 1982], подробное изложение теоретических основ, методики полевых работ и интерпретации данных, результатов применения в различных регионах мира дано в монографии И.И. Рокитянского [Rokityansky, 1982]. Существенный вклад в развитие метода внесли М.Н. Бердичевский и В.И. Дмитриев [Berdichevsky, 2009], Алан Джонс [Lam, 1982] и другие исследователи. Появление на рубеже столетий переносной многофункциональной электроразведочной аппаратуры пятого поколения [Fox, 2008], обладающей портативностью, высокой производительностью и малым энергопотреблением, а также портативных прецизионных треног для установки индукционных датчиков ЕМ поля позволили существенно поднять производительность и точность полевых работ. Удачное применение магнитовариационных функций отклика при проведении аудио-магнитотеллурических поисковых работ на территории России и Канады позволило говорить о появлении новой модификации традиционного метода МВП – его поисково-разведочного высокочастотного (10,000 – 10 Гц) варианта ММВП [Ingerov, 2008]. В последние годы были предложены экспресс – способы определения параметров аномально

проводящих тел по частотным характеристикам магнитовариационных функций отклика [Ingerov, 2010]. В настоящей работе дано краткое описание аппаратуры, оборудования, методики полевых работ, обработки и экспресс интерпретации данных, а также некоторые результаты работ по способу ММВП.

Аппаратура и оборудование для метода ММВП.

Наиболее приспособленную для применения метода ММВП аппаратуру выпускают компании Феникс Джеофизикс (Торонто, Канада) и АГКОС (Торонто, Канада), хотя, в принципе, подходит аппаратура других компаний (Метроникс, Шлюмберже (ЕМ), КМС, Львовского Филиала Института космических исследований Украины и др.), приспособленная для измерения трех компонент естественного электромагнитного поля Земли в высокочастотном диапазоне (10000 - 10 Гц, лучше, если первая граница будет выше). На Рис.1 приведена аппаратура, наиболее приспособленная для измерения магнитовариационных функций отклика. Аппаратуру отличает малый вес (менее 5 кг без



источников питания), малое энергопотребление (менее 10 Вт), питание от портативных источников питания напряжением 12 В.

Рис 1. Типичная аппаратура для метода ММВП. а)-прибор MTU-5A (3H) компании Phoenix Geophysics, б) – прибор Gepar-4 (8H или 8E) компании (AGCOS).

Для измерения трех (или одной вертикальной) магнитных компонент естественного EM поля Земли используются индукционные датчики, представляющие длинные катушки с магнитным сердечником внутри, оборудованные предусилителем. Чем индукционные датчики длиннее, тем более низкие частоты они способны фиксировать. На Рис.2 представлен набор индукционных датчиков, выпускаемых для различных частотных диапазонов. Самый короткий из них предназначен для АМТ диапазона (10000 – 0.3 Гц). Замечательные индукционные датчики выпускает компания Метроникс, высококачественные датчики выпускают компания ЕМИ (США) и Львовский Филиал Института космических исследований Украины.

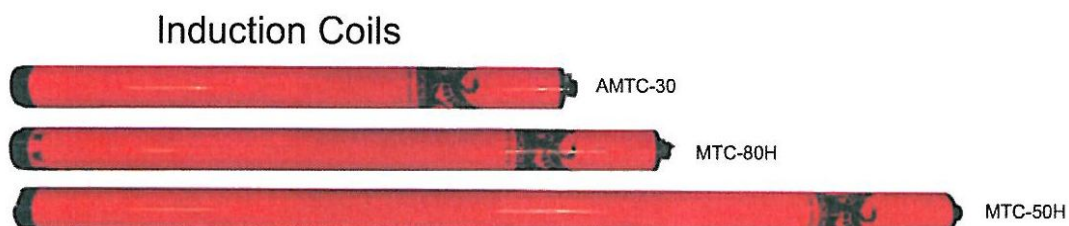


Рис. 2 Индукционные датчики, выпускаемые компанией Феникс Джеофизикс для диапазонов АМТ (10000-0.3 Гц, АМТС-30), АМТ+МТ (1000 – 0.1 Гц) и МТ (400 -0.00001 Гц).

Прецизионные треноги

Стандартная технология предусматривает установку на пункте полевых наблюдений датчиков горизонтальных компонент (H_x и H_y) ЕМ поля Земли в траншеях, а вертикального (H_z) в скважине, для бурения которой используется ручная бур или специальные лопаты (Рис 3). Кроме того, что данная технология существенно снижает производительность труда, возникают серьезные проблемы с точностью установки магнитных датчиков, особенно вертикального. Еще более существенные трудности возникают при выполнении работ в зимний период, а в другие периоды при выполнении работ в экологически чувствительных регионах, залесенной местности, на твердых и болотистых почвах, в горной местности. Собственно для решения этих проблем, существенного повышения производительности полевых работ и их точности за счет точной установки магнитных датчиков, их термоизоляции и снижения сейсмичности разработано несколько классов треног, представители которых приведены на Рис.4. Треноги любого класса могут быть адаптированы под все известные виды индукционных магнитных датчиков.

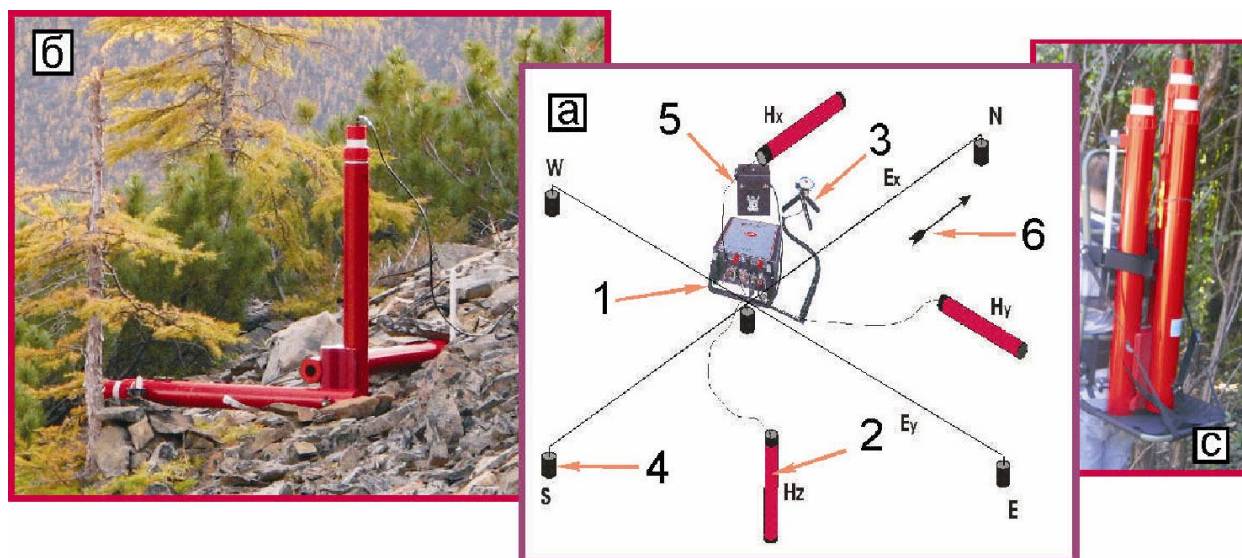


Рис. 3. Схема расстановки магнитотеллурической станции МТЗ-АМТ в 5-ти канальном варианте. а - схема установки для полевых наблюдений методами МТЗ-АМТ и МВП, б – общий вид магнитных датчиков для АМТЗ, установленных на прецизионной треноге, с – один из способов транспортировки треноги и магнитных датчиков - заплечная станина (открытый рюкзак). Цифрами обозначено: 1 – станция МТУ-5А; 2 – магнитные датчики; 3 – GPS антенна; 4 – неполяризуемые электроды; 5 – аккумуляторная батарея; 6 – азимут установки.



Рис

4. Треноги для установки индукционных магнитных датчиков. а) складывающаяся тренога для установки трех ортогональных магнитных датчиков; б) для вертикального датчика; в) для горизонтального датчика.

Можно выделить три основных класса прецизионных треног: складывающиеся треноги для установки ортогонально трех магнитных датчиков (Рис. 4 а), треноги для вертикального датчика (Рис 4.б) и треноги для горизонтального датчика (Рис 4 в). С каждым

видом треног могут использоваться протракторы разного класса, с точностью измерения углов от 1.00 градуса до 0.01 градуса.

Методика полевых работ.

При относительно мелком масштабе полевой съемки (шаг между точками наблюдений более 0.5 км) используются специализированные 3-х каналные регистраторы, преимущественно в 3-х канальном варианте (реже в 1-канальном – Н) или стандартные 5-ти каналные приборы, которые задействуются в трехканальном варианте. На Рис.4 и Рис.5 показаны треноги в показаны примеры установки треног в разных ландшафтных и климатических условиях. Складывающиеся 3-х компонентные треноги легко переводятся из рабочего положения в транспортное. В транспортном положении индукционные датчики остаются внутри треног, что не только сокращает время на подготовительно-заключительные операции, но и уменьшает нагрузку на разъемы. Комплект оборудования (регистратор, батарея, датчики, кабели, тренога) в состоянии транспортировать один работник (Рис.5,г), однако учитывая требования техники безопасности, состав бригады, как правило, составляет 2 человека. Бригада перемещается от точки к точке с помощью сномобиля, АТВ, вьючных животных или пешком.

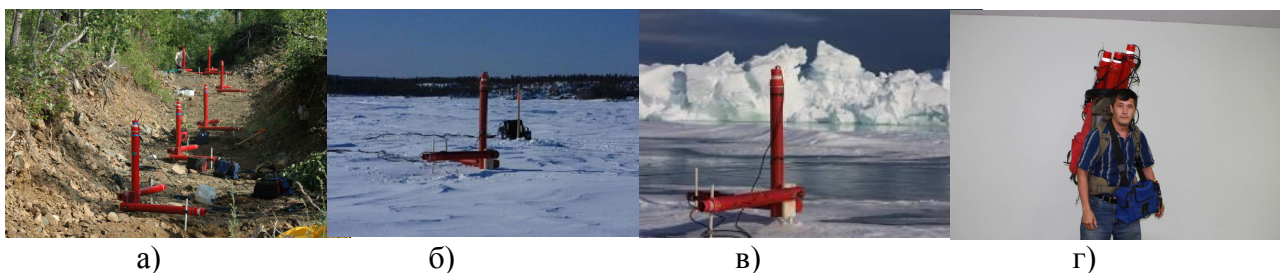


Рис. 5. Применение треног для установки индукционных магнитных датчиков в полевых условиях: а) разведка золоторудных жил в Забайкалье, б) и в) поиски сульфидных руд на севере Канады, г) комплект аппаратуры для метода ММВП в походном положении.

Время регистрации вариаций естественного ЕМ поля Земли на каждой точке в дневное время составляет 15-40 минут, а в ночное (опорные точки) 10-12 часов. При крупномасштабных съемках (шаг менее 200 м), бригада из двух человек обслуживает 2-4 комплекта аппаратуры, переставляя освободившиеся приборы пока остальные ведут запись.

Обработка и интерпретация данных

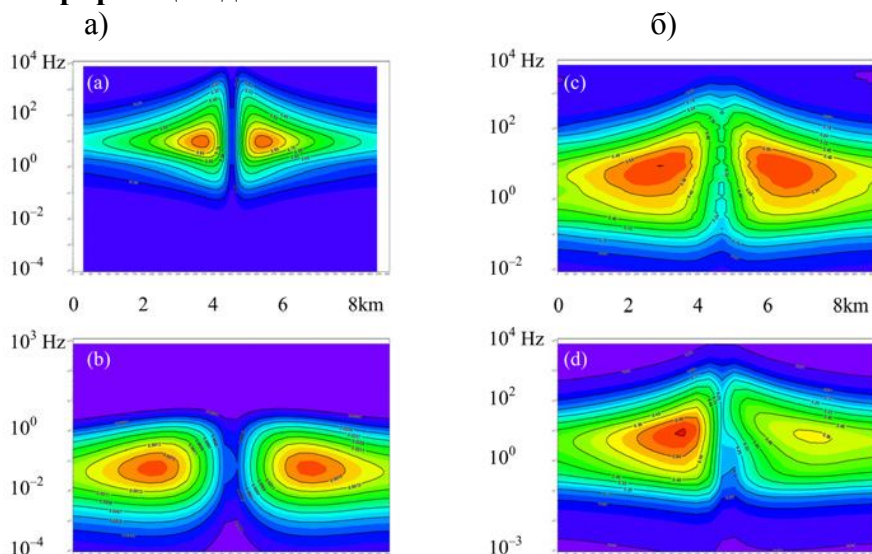


Рис. 6. Вертикальные разрезы амплитуды типпера для проводящих тел различной формы. а) изометрическая форма аномального тела, б) вертикальное тело, в) горизонтальное тело, г) наклонное тело.

Обработка данных ведется в полевом лагере с помощью стандартных или специализированных программ. Вычисляются магнитовариационные функции отклика: индукционный вектор и типпер, а для работ с удаленной опорной точкой и нормированные напряженности магнитных компонент ЕМ поля. В полевом лагере строятся карты индукционных векторов на разных периодах и вертикальные разрезы амплитуды типпера (Рис.6). Как видно из последних, проявление на них аномальных тел различной формы имеет сугубо индивидуальные черты, по которым можно определить форму тела, а также вычислить по координатам характерных точек основные параметры тел. Положение аномальных объектов в плане определяется по картам индукционных векторов. Завершающий этап интерпретации проводится с использованием 2-Д и 3-Д инверсий. Некоторые результаты работ по данной технологии приведены на Рис.7.

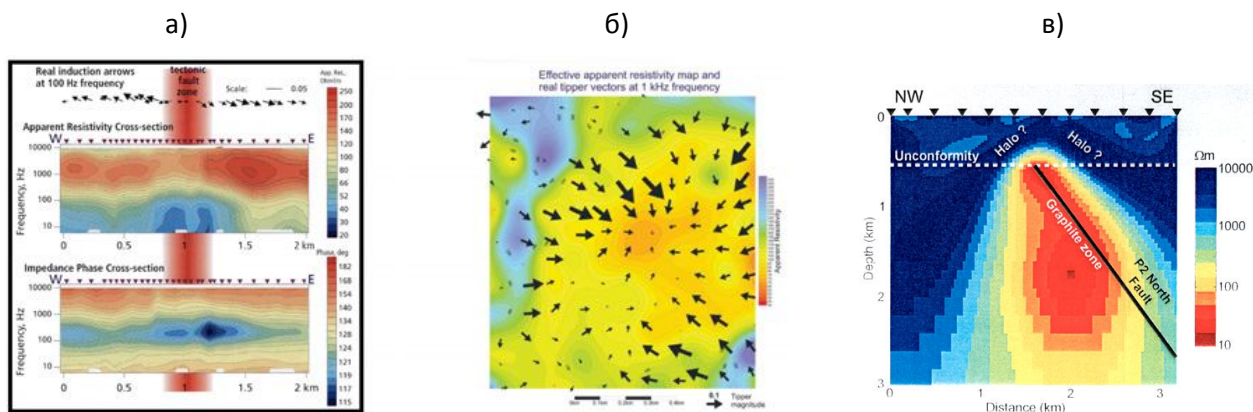


Рис. 7. Практические результаты использования магнитовариационных функций отклика при поисках месторождений полезных ископаемых: а) индукционные векторы (конвенция Визе-Шмукера) и вертикальные разрезы амплитуды и фазы продольного сопротивления над рудоконтролирующим разломом в Якутии (материалы компании Алроса, Россия); б) индукционные векторы над кимберлитовой трубкой в Архангельской области (конвенция Паркинсона, материалы компании Нордвест, Москва, Россия); в) Результаты 2-Д инверсии типпера и сопротивления по профилю, пересекающему урановое месторождение в Бассейне Атабаска, Канада (материалы Федеральной Геологической службы Канады).

В левой части рисунка показано определение оси рудовмещающего разлома в Якутии. Индукционные векторы приведены в конвенции Визе-Шмукера (смотрят от проводника). В центре приведены результаты разведочных работ над кимберлитовой трубкой в Архангельской области. Индукционные векторы приведены здесь в конвенции Паркинсона (смотрят на проводник). Как видно из рисунка, индукционные векторы достаточно надежно фиксируют такой мало контрастный объект, как кимберлитовая трубка.

На Рис.7,в приведены результаты поисковых работ в Урановом бассейне Атабаска. Рудоконтролирующей структурой является региональный разлом, а адсорбентом урановых минералов выступает графит, отличающийся крайне низкими значениями удельного электрического сопротивления. Благодаря уникальным свойствам графита, методом ММВП удастся картировать довольно глубокие рудные объекты на глубинах, достигающих 1000 м.

Следует отметить, что в последние годы также активно разрабатываются сухопутный и морской варианты ММВП для решения задач поиска углеводородов [Ingerov, 2005, Fox, 2006, Fox, 2007].

Выводы

В первой декаде 21-го века появилась и активно развивается поисково-разведочная рудная модификация хорошо известного метода МВП. Модификация может быть названа Многочастотным Магнитовариационным Профилированием (ММВП). Наиболее часто используемый частотный диапазон: 10,000- 8 Гц, хотя более высокочастотные наблюдения (до 30,000 – 50,000 Гц) желательны для лучшего разрешения жильных объектов.

Появлению и активному использованию метода ММВП способствовали:

- развитие электронных и компьютерных технологий;
- появление 5-го поколения многофункциональной аппаратуры;
- внедрение в практику полевых работ прецизионных треног, существенно повышающих производительность полевых работ и улучшающих качество данных;
- существенный прогресс в развитии программ моделирования и инверсии EM данных для 2-Д и 3-Д ситуаций;
- развитием способов экспресс-интерпретации с использованием координат экстремумов частотных характеристик;
- накопленным положительным опытом решения поисково-разведочных и картировочных задач.

Применение ММВП позволяет существенно повысить производительность, и оперативность поисково-разведочных работ в рудной геофизике и геокартировании, обеспечить их круглогодичное эффективное использование, снизить затраты на полевые работы, «чувствовать» аномальные объекты в стороне от профилей наблюдений.

Компанией «Геотеч» (Канада) внедрен авиационный вариант рудного ММВП.

Активно разрабатываются сухопутные и морские нефтегазопоисковые варианты ММВП с расширенным в сторону низких частот частотным диапазоном.

Список литературы

1. Berdichevsky M. N., Dmitriev V. I.. Models and Methods of Magnetotellurics. – Moscow: Scientific World, 2009.
2. Ingerov, O., 2005. Application of electroprospecting methods for hydrocarbon exploration. Reports of the St. Petersburg Mining Institute (in Russian), 162, 15–25.
3. Fox L. Ingerov O., 2008. Fifth Generation of Multifunctional Equipment – Ten Years in the Market. Extended Abstract 19-th EM Induction Workshop, Beijing, China, October 23-29, 2008.
4. Lam, H. et al., 1982. The response of perturbation and induction arrows to a three-dimensional buried anomaly. GEOPHYSICS 47, 1, 51–59.
5. Rokityansky, I.I., 1982. Geoelectromagnetic Investigation of the Earth's Crust and mantle. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 378 pp.
6. Fox L, et al., 2008. High-sensitivity EM prospecting technique based on measurement of three magnetic components of the natural EM field. Extended Abstract 19-th EM Induction Workshop, Beijing, China, October 23-29, 2008.
7. Ingerov O., et al., 2009. Non-grounded Surface Electroprospecting Technique., 70th EAGE Annual Conference. Amsterdam #6149.
8. Ingerov O., Ermolin E., 2010. The Parameters estimation of 2D Conductive Isometric Bodies by singular Points at the Tipper Frequency Characteristic. Extended Abstract 20-th EM Induction Workshop, Giza, Egypt, September 18-24, 2010.
9. Fox L., Ingerov O., 2006. Detection of resistivity of offshore seismic structure mainly using vertical magnetic component of earth's naturally varying electromagnetic field. International Patent Application PCT/CA2006/000042
10. Fox L., Ingerov O., 2007. Natural source EM for offshore hydrocarbon detection offers potential cost saving. First Break, Volume 25, November 2007, p. 87-94.