УДК 550.837.6

А.К.ВОЛКОВИЦКИЙ, *ведущий инженер, akv@gtcomp.ru*
Е.В.КАРШАКОВ, *канд. физ.-мат. наук, ведущий инженер, karsh@gtcomp.ru*
Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Москва
Е.В.МОЙЛАНЕН, *магистрант, moilanen@mail.ru*
Московский государственный университет им. М В.Ломоносова

A.K.VOLKOVITSKIY, *leading engineer, akv@gtcomp.ru*
E.V.KARSHAKOV, *PhD in phys.& math. sc., leading engineer, karsh@gtcomp.ru*
RAS, Institute of Control Sciences, Moscow
E.V.MOILANEN, *undergraduate student, moilanen@mail.ru*
M V.Lomonosov Moscow State University

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНФАЗНОЙ КОМПОНЕНТЫ ОТКЛИКА ДЛЯ НИЗКОЧАСТОТНОЙ АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ СИСТЕМЫ ЕМ-4Н

В России производится большой объем аэроэлектроразведочных работ, исчисляемый сотнями тысяч километров в год. В ряду аппаратуры, задействованной в этих съемках, наибольшую долю занимает система ЕМ-4Н производства ЗАО «Геотехнологии». При перемещении приемника относительно источника поля параметры возбуждения в осях приемника меняются на величину, существенно превышающую амплитуду полезного сигнала. Это обстоятельство до недавнего времени делало невозможным использование синфазной компоненты отклика при интерпретации данных. Благодаря работам, выполненным Институтом проблем управления совместно с ЗАО «Геотехнологии», были разработаны средства и алгоритмы определения взаимного расположения осей приемника и вектора момента возбуждения. Это позволило без потери точности перейти от инвариантов эллипса поляризации к компонентам вектора поля отклика. Его использование дало качественно новый уровень интерпретации.

Ключевые слова: аэроэлектроразведка, ДИП-А, вектор отклика, эллипс поляризации.

APPLICATION OF INPHASE RESPONSE COMPONENT BY LOW-FREQUENCY AIRBORNE ELECTROPROSPECTING EM-4H SYSTEM

Each year there is a great volume of airborne electromagnetics in Russia, estimated hundred thousand linear kilometers. Among the equipment involved in this survey, the greatest share is occupied by system, developed by «Geotechnologies» JS. Changing position between receiver and transmitter leads to changing of induced field parameters in receiver axes by value much higher than amplitude of the useful signal. Until recently, due to this circumstance, it was impossible to use inphase component of the response in data interpretation. Institute of Control Sciences together with «Geotechnologies» JS has developed algorithms that allow to detemine relative positioning of the receiver axes with respect to inducing moment vector. It has allowed passing without accuracy loss from polarization ellipse invariants to components of the reflected field. Their usage led to a new quality level of interpretation.

Key words: airborne electromagnetics, DIP-A, vector of the response, polarization ellipse.

Результатом работы системы ЕМ-4Н [1] являются синфазные и квадратурные компоненты или амплитуды и фазы компонент вектора переменного магнитного поля на каждой из рабочих частот 130, 520, 2080 и 8320 Гц. Кроме того, вычисляются традици-

онные для метода ДИП-А отношения полуосей, квадраты больших полуосей и углы в осях приемника больших полуосей эллипсов поляризации. Вычисление эффективных проводимостей производится как решение обратной задачи для проводящего однородного полупространства на каждой частоте. За основу берутся палетки, рассчитанные как решение прямой задачи о магнитном поле гармонического вертикального магнитного диполя [2]. Альтернативный подход к анализу проводимости – расчет поля над бесконечно тонкой проводящей плоскостью (*S*-плоскость). Модель *S*-плоскости (рис.1) получается предельным переходом из модели двухслойной среды, где нижний слой – изолятор [2].

Используемая в России система ЕМ-4Н до недавнего времени не обеспечивала измерение синфазной компоненты, поэтому вся интерпретация производилась с использованием эллиптичности, по информативности сопоставимой с квадратурной компонентой отклика и высоты. В области максимума график зависимости квадратурной компоненты отклика от сопротивления (рис.1) требует дополнительных методик обработки, чтобы отличить левую ветвь от правой [3]. В частности, используется методика построения карт по отношению сигналов квадратурных компонент на двух соседних частотах [4].

Однако все современные методы интерпретации данных частотной аэроэлектроразведки используют и квадратурную, и синфазную компоненты отклика для расчета кажущихся сопротивлений и глубин [5]. Действительно, график зависимости синфазной компоненты отклика от сопротивления монотонен (рис.1). Кроме того, в зоне плохой обусловленности решения по квадратурной компоненте синфазная компонента обусловлена наилучшим образом.

Для определения синфазной компоненты отклика используются следующие свойства системы ЕМ-4Н. В результате компенсации на высоте 500 м и более синфазные компоненты измеренных векторов поля, отнесенные к току в петле генератора на частотах 130, 520, 2080 и 8320 Гц, совпадают с точностью 0,01 %, а квадратурные компоненты равны нулю с той же точностью (рис.2). С уменьшением высоты появляется расхождение синфазных векторов поля на разных частотах, которое может быть обусловлено только наличием соответствующих компонент в поле отклика.

Для относительно высокоомных разрезов амплитуда синфазной компоненты отклика на частоте 130 Гц не превышает порога чувствительности, поэтому синфазный вектор на этой частоте совпадает с вектором первичного поля с достаточной точностью. Вычитая его из измерений на других частотах, можно получить соответствующие синфазные компоненты отклика.

С другой стороны, для низкоомных разрезов синфазная компонента поля отклика на частоте 8320 Гц достигает асимптотического значения, которое может быть вычислено с использованием известных геометрических параметров системы и информации о высоте над рельефом. Вычитая вычисленный вектор поля отклика из синфазного вектора на частоте 8320 Гц, можно также получить вектор первичного поля, и пользуясь им, рассчитать поле отклика на остальных частотах.

Описанный метод был проверен на целом ряде проводящих объектов с удельным сопротивлением в доли ом-метров и дал впечатляющий результат. Он позволил выйти на качественно новый уровень в обработке данных, полученных в низкоомных районах. Удельное сопротивление слагающих пород соленого озера Тус около 100 Ом·м, сопротивление соленой воды около 0,1 Ом·м.

Благодаря найденному решению удалось выделить синфазную компоненту поля отклика и в изолирующей области, и над проводником (рис.2 *в*). Налицо преимущества использования в интерпретации синфазной компоненты отклика. Например, квадратурная компонента на частоте 520 Гц имеет одинаковые по величине значения и над берегом, и над озером (рис.2, *б*), тогда как синфазная компонента отклика отличается на порядок. Новый подход позволяет без труда построить псевдоразрез кажущегося сопротивления [5] (рис.3).

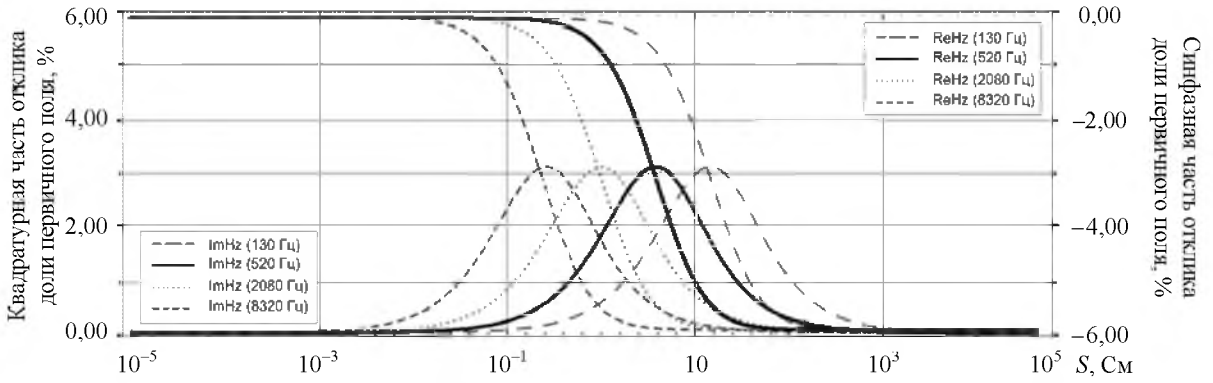


Рис.1. Графики зависимости синфазной (ReHz) и квадратурной (ImHz) компонент отклика на указанной частоте от продольной проводимости для модели *S*-плоскости

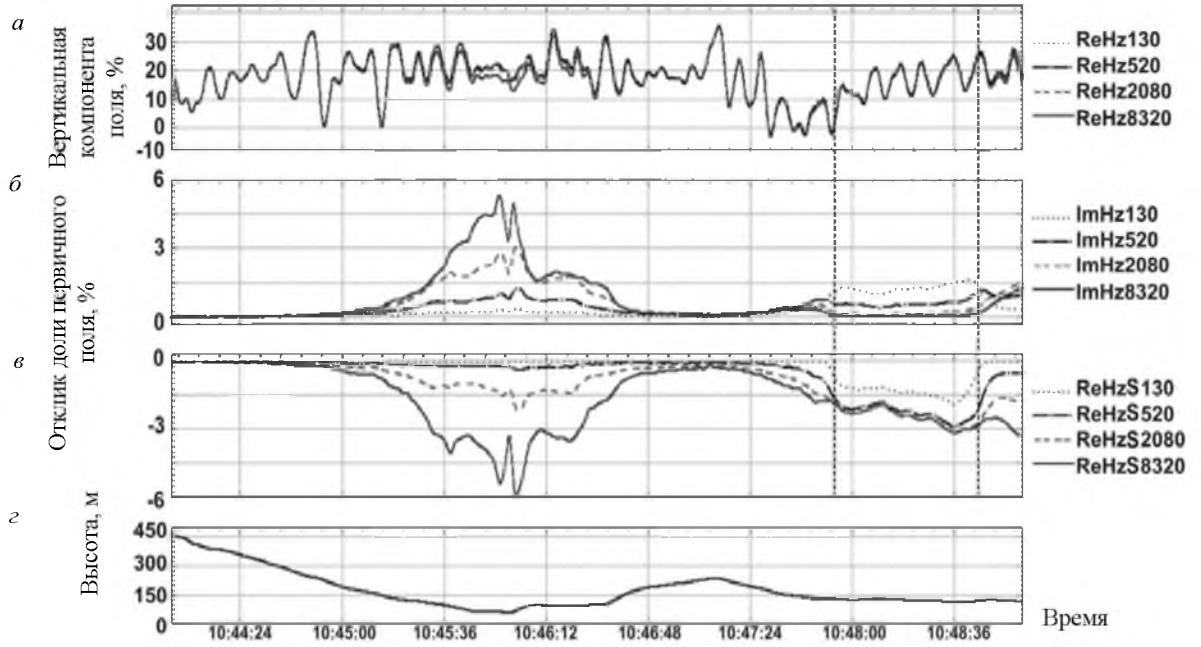


Рис.2. Графики полной синфазной компоненты поля (*а*), квадратурной компоненты поля (*б*), синфазной компоненты отклика (*в*) и высоты (*г*). Выделенная зона – соленое озеро Тус, Хакасия

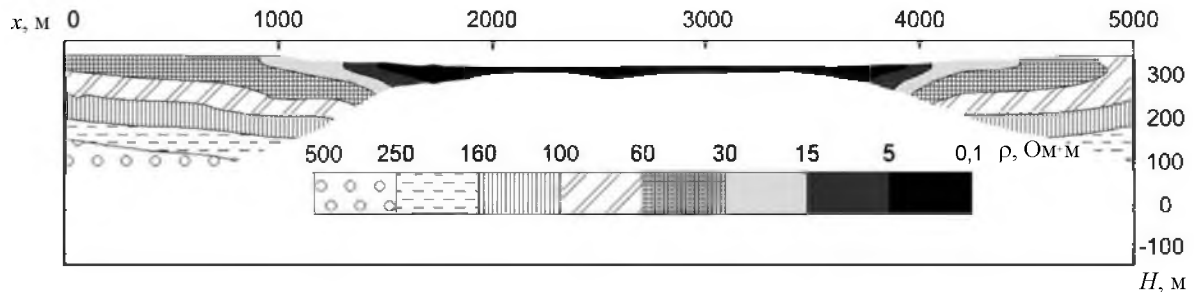


Рис.3. Псевдоразрез кажущегося сопротивления ρ. Соленое озеро Тус, Хакасия

Выводы

Применение синфазной компоненты отклика при интерпретации данных аэроэлектроразведки позволяет полновесно использовать всю информацию, которая содержится в отраженном сигнале. Использование нового подхода поставило систему ЕМ-4Н в один ряд с другими частотными аэроэлектроразведочными системами, в которых синфазная и квадратурная компоненты отклика измеряются благодаря жесткой базе передатчик – приемник. Поскольку приемник удален от источника поля на существенное расстояние (около 70 м), система ЕМ-4Н обладает более высокой чувствительностью к отклику в сравнении с любой частотной аэроэлектроразведкой на жесткой базе.

Использование синфазной компоненты отклика позволяет для каждой частоты строить карты кажущихся сопротивлений, в которых отсутствует зависимость от высоты. Эти карты, как правило, не требуют дополнительной обработки, благодаря чему качественный материал для дальнейшей интерпретации получается сразу после короткой первичной обработки данных.

Работа выполнена при поддержке ЗАО «Геотехнологии».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волковицкий А.К.* Низкочастотная индуктивная аэроэлектроразведочная система ЕМ-4Н / А.К.Волковицкий, Е.В.Каршаков, В.В.Попович // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Мат. 35-й сессии междунар. семинара им. Д.Г.Успенского. Ухта, 2008. С.51-54.

2. *Жданов М.С.* Электроразведка: Учебник для вузов. М., 1986. 316 с.

3. *Петров С.И.* Аэроэлектроразведка методом ДИП-А / С.И.Петров, В.Д.Нова, О.А.Тихомиров // Разведка и охрана недр. 2006. № 5. С. 38-42.

4. *Haoping Huang, Douglas C. Fraser.* The use of quad-quad resistivity in helicopter electromagnetic mapping // Geophysics. 2002. Vol.67. N 2. P.459-467.

5. *Klaus-Peter Sengpiel, Bernhard Siemon.* Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration // Geophysics. 2000. Vol.65. N 6. P.1983-1992.

REFERENCES

1. *Volkovitskiy A.K., Karshakov E.V., Popovich V.V.* Airborne electromagnetic system EM-4H // Theory and practics of the geological interpretation of gravimetric, magnetic and electromagnetic data: Materials of the 35 session of D.G.Uspenskiy international seminar. Uhta, 2008. P.51-54.

2. *Zhdanov M.S.* Electroprospecting: High school textbook / Moscow, 1986. 316 p.

3. *Petrov S.I., Novak V.D., Tihomirov O.A.* DIP-A: Airborne Electromagnetics // Prospect&Protection of Mineral Resources. 2006. N 5. P.38-42.

4. *Haoping Huang, Douglas C. Fraser.* The use of quad-quad resistivity in helicopter electromagnetic mapping // Geophysics. 2002. Vol.67. N 2. P.459-467.

5. *Klaus-Peter Sengpiel, Bernhard Siemon.* Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration // Geophysics. 2000. Vol.65. N 6. P.1983-1992.