

Низкочастотная индуктивная аэроэлектроразведочная система ЕМ-4Н в самолетном и вертолетном вариантах

Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Попович В.В., ЗАО «Геотехнологии», г. Москва
Трусов А.А., ЗАО ГНПП «Аэрогеофизика», г. Москва

Введение

В ряду аэрогеофизических методов, активно применяемых на практике, очень важное место занимает электроразведка в различных ее модификациях. История развития аэроэлектроразведочных систем насчитывает уже более полувека [1]. Несмотря на столь солидный возраст, эта отрасль практической геофизики продолжает бурно развиваться. Более того, в последние годы во всем мире аэроэлектроразведка переживает подъем, вполне сравнимый с динамикой развития сравнительно молодой аэрогравиметрии. Чуть ли не каждый год появляются новые системы или предлагаются новые модификации уже хорошо зарекомендовавших себя комплексов [2].

Практически все существующие варианты электроразведочной аэросъемки, так или иначе, были опробованы на территории Российской Федерации. На сегодняшний день можно с уверенностью сказать, что в нашей стране наиболее широко используется электроразведочная система, реализующая метод низкочастотного дипольного индуктивного профилирования (ДИП-А). Наиболее масштабные работы с использованием таких систем проводит ЗАО ГНПП «Аэрогеофизика». Аппаратура, разработанная для этого метода, позволяет производить съемку и получать карты эффективных проводимостей масштаба 1:25000 [3]. При этом средняя производительная скорость съемки составляет около 100 км/час. Речь идет о системе ЕМ-4Н, разработанной компанией ЗАО «Геотехнологии».

Техническое описание ЕМ-4Н

Аппаратура ЕМ-4Н выполняет одновременные измерения на четырех частотах 130, 520, 2080 и 8320 Гц. В качестве источника поля используется закрепленная на фюзеляже летательного аппарата горизонтальная многовитковая рамка (вертикальный магнитный диполь). В реализованных системах носителями были самолеты Ан-2, Ан-3 и вертолет Ми-8. В самолетных вариантах петля передатчика натягивается между бипланными стойками и задним швартовочным узлом. В результате она имеет форму треугольника площадью около 40 м². При установке на вертолет Ми-8 для монтажа передатчика конструируется специальная рама, к которой крепится петля (рис. 1). Площадь витка составляет уже около 60 м². Форма тока представляет собой сумму гармонических сигналов соответствующих частот. Дипольные моменты отличаются для разных типов носителей, их ориентировочные величины для четырех частот в порядке возрастания составляют: 20000, 10000, 6000, 3000 А·м².

Измерение параметров переменного магнитного поля осуществляется приемными рамками, расположенными в гондоле, буксируемой на тросе длиной 70 метров. Приемник имеет каналы измерений по трем ортогональным осям. Его чувствительность на рабочих частотах составляет десятые, и даже сотые доли мкА/м.

При таких геометрических параметрах системы существует известная проблема – компенсация влияния наведенных на борту летательного аппарата токов.



Рис. 1. Система ЕМ-4Н на борту вертолета Ми-8

Для её решения в системе ЕМ-4Н устанавливаются две компенсирующие петли.

В каждую петлю компенсатора закачивается ток своей частоты, отличной от рабочих. Сигнал на этих частотах измеряется приемником наравне с остальными. Закон распространения магнитного поля одинаков для всех частот. Поэтому на высотах более 500 метров, где отклик от земли пренебрежимо мал, можно подобрать линейную комбинацию векторов больших полуосей эллипсов поляризации на компенсирующих частотах, равную проекции мнимого вектора рабочей частоты на их плоскость. Таким образом, при вычитании этой линейной комбинации, получается линейно поляризованный сигнал. Эта операция продлевается с каждой из рабочих частот. Далее фаза детектирования выбирается так, чтобы векторы возбуждения оказались действительными. Так как коэффициенты подбираются автоматически бортовым компьютером, на эти процедуры уходит совсем немного времени: 2-3 минуты.

Стабильность системы обеспечена введением специального эталонного сигнала. В результате, достаточно производить компенсацию дважды за вылет – в начале и в конце.

Измеряемые параметры

Результатом работы системы ЕМ-4Н [5] 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 традиционные для метода ДИП-А отношения полуосей, квадраты больших полуосей и углы в осях приемника больших полуосей эллипсов поляризации. Дополнительно определяется положение гондолы относительно летательного аппарата [6]. Вычисление эффективных проводимостей производится как решение обратной задачи для проводящего однородного полупространства на каждой частоте.

Традиционно при обработке данных подобных систем интерпретация производится с использованием эллиптичности, сопоставимой

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

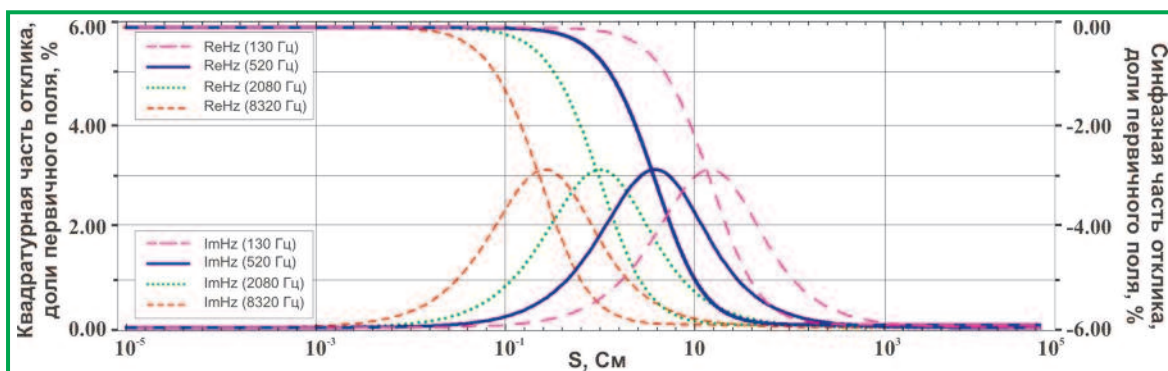


Рис. 2. Графики зависимости синфазной (ReHz) и квадратурной (ImHz) компонент отклика на указанной частоте от продольной проводимости для модели S-плоскости.

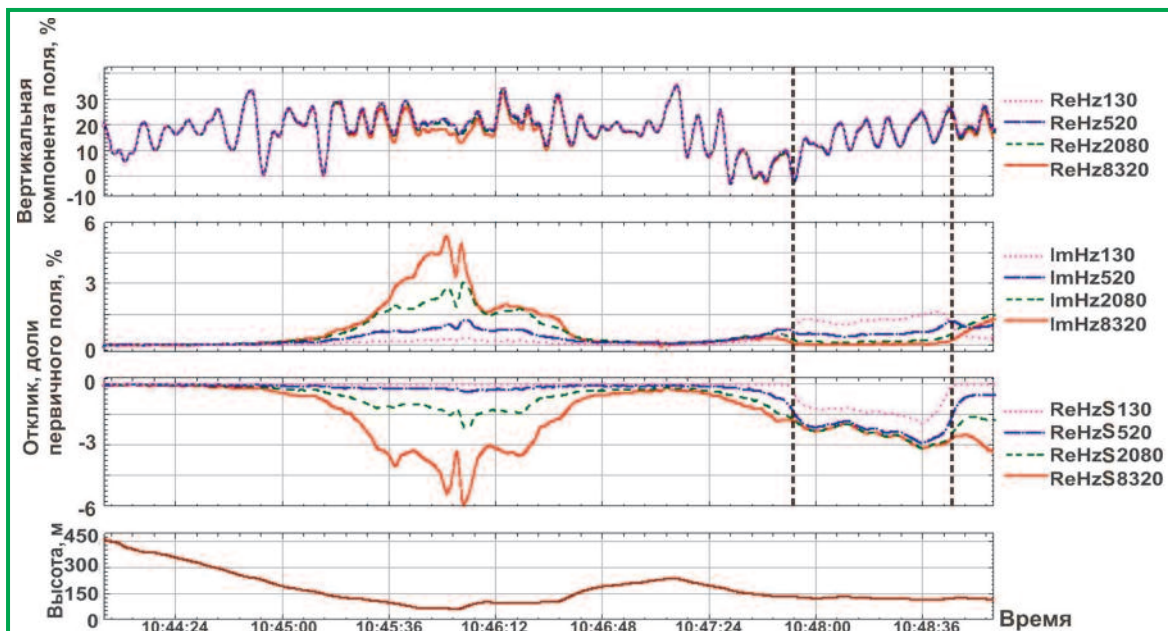


Рис. 3. Графики полной синфазной компоненты поля (ReHz), квадратурной компоненты поля (ImHz), синфазной компоненты отклика (ReHzS) и высоты. Выделенная зона — соленое озеро Тус, Хакасия.

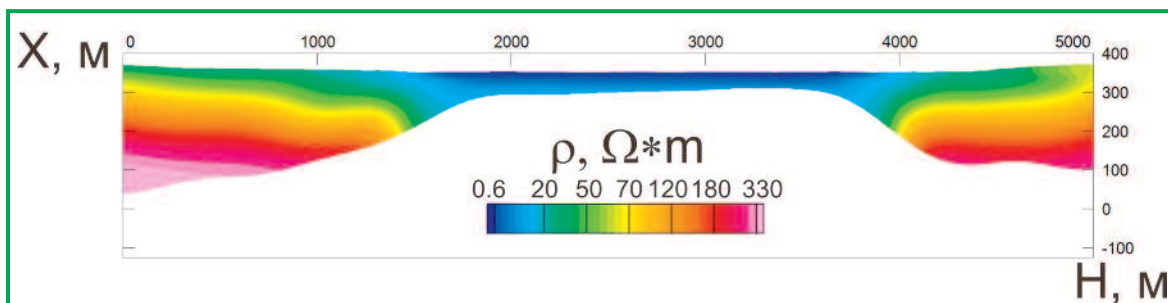


Рис. 4 Псевдоразрез кажущегося сопротивления. Соленое озеро Тус, Хакасия.

по информативности с квадратурной компонентой отклика, и высоты. В области максимума график зависимости квадратурной компоненты отклика от сопротивления (рис. 2) 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 [7].

Однако, все современные методы интерпретации данных частотной аэроэлектроразведки используют для расчета кажущихся сопротивлений и глубин и квадратурную, и синфазную компоненты отклика [8]. Для определения синфазной компоненты отклика в системе EM-4H разработана специальная методика [9].

Методика была проверена на целом ряде проводящих объектов с удельным сопротивле-

нием доли Ом·м, например, соленое озеро, и дала впечатляющий результат. Она позволила выйти на качественно новый уровень в обработке данных, полученных в низкоомных районах. Данные, представленные на рисунках 3 и 4, получены над соленым озером Тус в Хакасии. Удельное сопротивление слагающих пород около 100 Ом·м, сопротивление соленой воды порядка 0.1 Ом·м.

Некоторые результаты работ

Некоторые результаты обработки и интерпретации данных системы EM-4H покажем на примере работ по объекту «Составление геофизической основы в зоне проектируемой железной дороги Ивдель – Лабитнанги в границах минерагенических районов», выполненные ГНПП «Аэрогеофизика». Работы по объекту включали выполнение комплексной аэрогеофизической

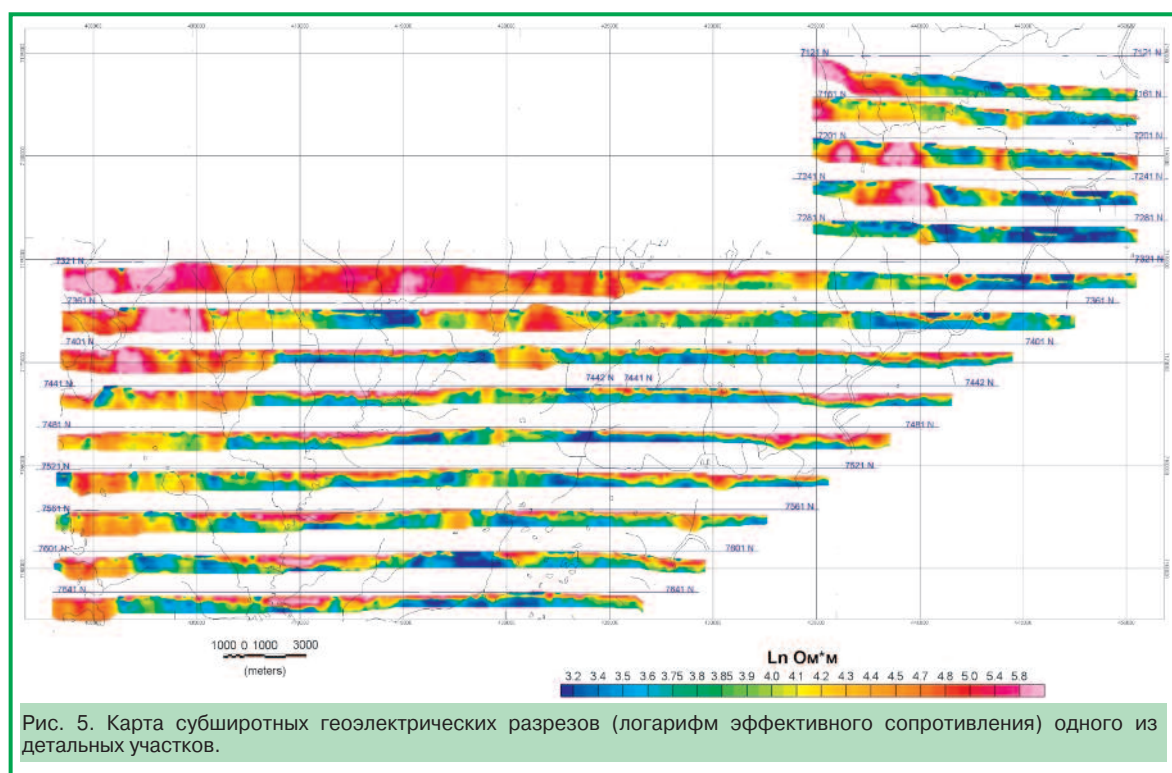


Рис. 5. Карта субширотных геоэлектрических разрезов (логарифм эффективного сопротивления) одного из детальных участков.

съемки в составе аэромагнитометрия, аэрогамма-спектрометрия, аэроэлектроразведка ЕМ-4Н масштаба 1:50 000 на площади 60 000 кв. км и детализационные работы масштаба 1:10 000.

Используя методику построения вертикальных разрезов, в основе которой лежит зависимость глубины проникновения электромагнитного поля от частоты (скин-эффект) [8], по одному из детальных участков работ была построена серия вертикальных разрезов, показанных на рис. 5. Площадь участка в значительной степени перекрыта осадочными породами, что нашло отражение в распределениях всех изучаемых параметров. Выбор этого участка определен возможностью обнаружения скарново-магнетитовых, титаномagnetитовых и хромитовых руд под чехлом мезокайнозойских отложений на доступной глубине. Полученные геоэлектрические разрезы весьма дифференцированы, их анализ и интерпретация позволили существенно дополнить представления о геологическом строении участка. Однако скудность априорных данных не позволяет уверенно разбраковать выделенные аномалии на рудные и безрудные. Тем не менее, определенного поискового интереса заслуживают аномалии проводимости в пределах выделенного ультраосновного массива.

Использование аэроэлектроразведки на другом участке оказалось эффективным при картировании угленосных отложений на малых глубинах. На рис. 6 приводится карта проводимости на частоте 520 Гц, на которой показаны результаты картирования угленосной толщи вблизи борта осадочного бассейна. Оконтурирование подтверждается имеющимися на этой территории скважинами угольной разведки.

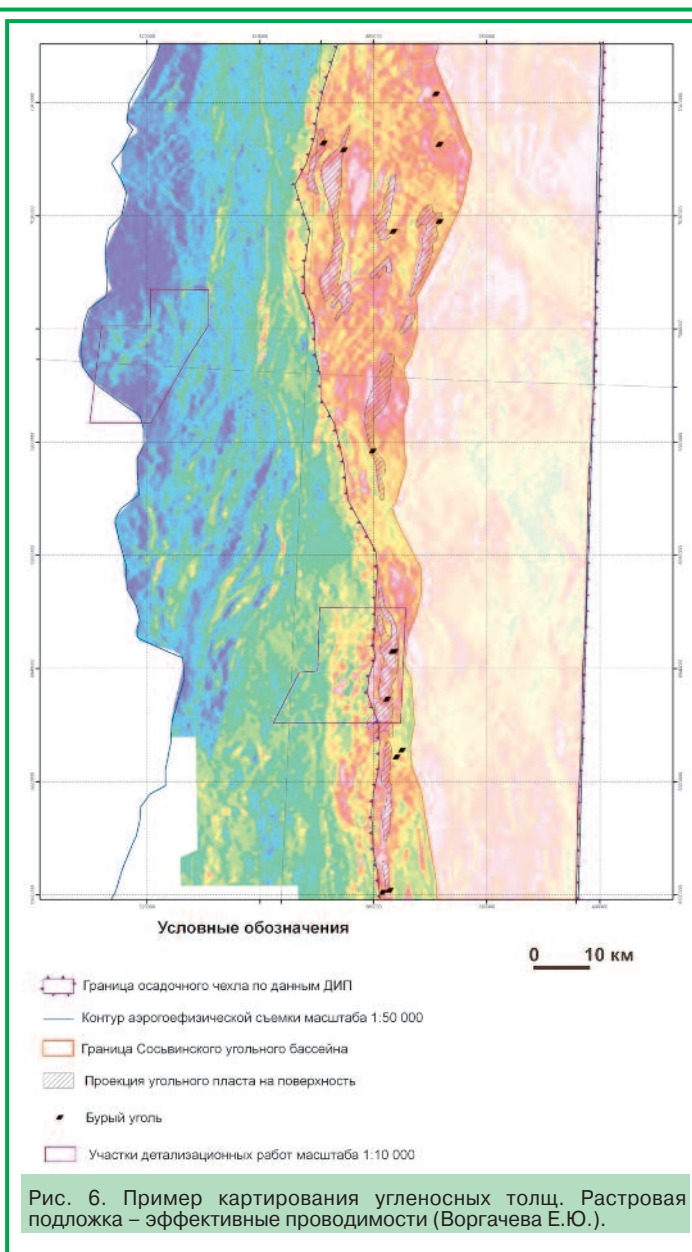


Рис. 6. Пример картирования угленосных толщ. Растровая подложка – эффективные проводимости (Воргачева Е.Ю.).

Заключение

Низкочастотная индуктивная аэроэлектро-разведочная система ЕМ-4Н является удобным, эффективным средством исследования свойства проводимости пород. Из года в год объемы съемки с ее применением растут. ЗАО ГНПП «Аэрогеофизика» каждый сезон запускает в работу две-три системы. Аппаратура хорошо проявила себя в работах на Урале, в Норильском регионе, на Таймыре, в Якутии, на Кольском п-ве, под Архангельском, в центральных районах России, в Забайкалье, Казахстане и др.

ЗАО «Геотехнологии» осуществляет полномасштабную поддержку ЕМ-4Н, а также продолжает поиск и внедрение новых технических решений в аэроэлектроразведке и в других областях съемочной геофизики.

Литература

1. Fountain D. Airborne electromagnetic systems – 50 years of development // Exploration Geophysics. – 1998. – № 29. – P. 1-11.
2. Exploration Trends & Developments // ed.: Wer-niuk G. 2007, 2008, 2009.
3. Петров С.И., Новак В.Д., Тихомиров О.А. Аэро-электроразведка методом ДИП-А // Разведка и охрана недр. – 2006. – № 5. – С. 38-42.
4. Жданов М.С. Электроразведка: Учебник для вузов. // М.: Недра. 1986
5. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Попович В.В. Низкочастотная индуктивная аэроэлек-

троразведочная система ЕМ-4Н // Материалы XXXV сессии международного семинара им. Д.Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». – Ухта, 2008. – С.51-54.

6. Павлов Б.В., Волковицкий А.К., Каршаков Е.В. Низкочастотная электромагнитная система относительной навигации и ориентации // Материалы XVI Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам, – Санкт-Петербург, 2008 – С.236-243.
7. Haoping Huang and Douglas C. Fraser The use of quad-quad resistivity in helicopter electromagnetic mapping // Geophysics.- 2002.- Vol.67, No.2.- Pp.459-467
8. Klaus-Peter Sengpiel and Bernhard Siemon Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration // Geophysics.- 2000.- Vol.65, No.6.- Pp.1983-1992.
9. Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Мойланен Е.В. Определение полного вектора отклика в частотных аэроэлектроразведочных системах с нежесткой базой // Материалы IV Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли, – Москва, 2009, – С.210.