

# Новая вертолетная электроразведочная система «Экватор» для метода АМПП

Волковицкий А.К., Каршаков Е.В., Мойланен Е.В., ЗАО «Геотехнологии», г. Москва



Геофизические методы, особенно электромагнитные методы, очень успешно используются для обнаружения промышленного содержания цветного металла и драгоценного металла в рудных телах [1]. Разновидностью индуктивных методов электроразведки является аэроэлектроразведка. Существует несколько вариантов аэроэлектроразведки [2]. Все они основаны на измерении магнитной компоненты поля. Новым словом в отечественном приборостроении является вертолетная аэроэлектроразведочная система «Экватор» (рис. 1).

При сегодняшнем многообразии методов электроразведки, используемых для обнаружения и оконтуривания рудного месторождения (например ВП-СГ, МТЗ, АМТЗ, ЗСБ), окончательное решение о проведении съемки именно этим, а не другим методом решается, исходя из соотношения цена-качество. До настоящего времени применение аэроэлектроразведки на участках в несколько квадратных километров было делом чрезвычайно дорогим и невыгодным. Поэтому перед новой системой ставились следующие задачи, которые, в конечном счете, и были решены:

- Эффективность системы на широком спектре разрезов (традиционный АМПП хорошо работает только на изолирующих разрезах).
- Мобильность системы. Вся установка должна быть легкой, компактной и удобной для перевозки на одном легковом автомобиле (рис. 2).
- Универсальность. Система должна крепиться на внешней подвеске вертолета, не внося изменений в конструкцию летательного аппарата.
- Возможность производить съемку с высокой (до 170 км/ч) скоростью.

Тестовый полет нового источника электромагнитного поля был произведен в мае 2009 года. В течение 2009 года разрабатывался каркас системы. Тестовый полет готовой системы был произведен в январе 2010 года (рис. 1).

## Техническое описание

АМПП отличается применением импульсных полей. Для возбуждения поля переходных процессов необходимо создать импульсное переключение тока в питающей (генераторной) петле [3].

В системе «Экватор» для возбуждения применяется сигнал в форме обрезанного полусинуса (рис. 3) длительностью около 1,3 мс. Благодаря такой форме сигнала удается повысить амплитуду высокочастотных гармоник поля и получить кондиционные данные и на изолирующих, и на проводящих разрезах. Базовая частота возбуждения — 77 Гц.

В качестве источника поля используется четырехвитковая рамка, установленная на легкий каркас (рис. 4). Площадь рамки составляет около 40 м<sup>2</sup>. Приемник системы «Экватор» производит непрерывную регистрацию сигнала тремя приемными рамками, расположенными по ортогональным осям в



Рис. 1 Вертолетная электроразведочная система «Экватор»



Рис. 2 Система «Экватор» транспортируется на легковом автомобиле

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ГАЛЕРЕЯ НОВИНОК



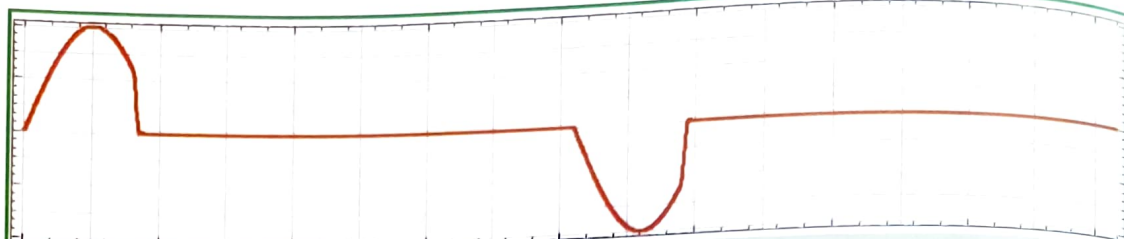


Рис. 3 Форма сигнала возбуждения



Рис. 4 Генераторный каркас системы «Экватор»

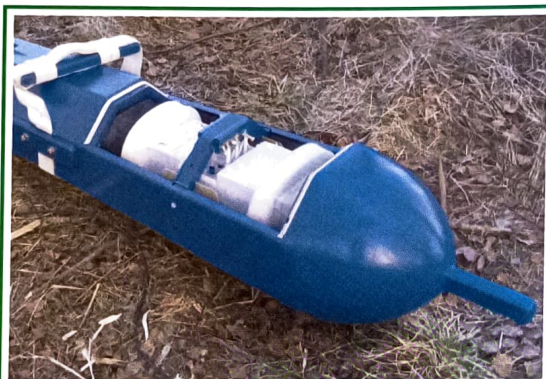


Рис. 5 Приемник, установленный в гондолу

гондole, буксирuемой на тросе (рис. 5). Расстояние между генераторной рамкой и приемником около 35 метров. В той же гондole устанавливается квантовый магнитометр.

Система обработки сигнала требует калибровки и определения взаимного расположения передатчика и приемника. Для этих целей на передатчик устанавливаются две дополнительные петли (рис. 4), в каждую из которых подается ток определенной частоты, не входящей в спектр возбуждающего сигнала. Амплитуда дополнительных сигналов настолько мала, что откликами на этих частотах можно пренебречь. На высотах более 500 метров, где отклик от земли мал, подбираются поправочные коэффициенты. Так как коэффициенты подбираются бортовым компьютером автоматически, на эти процедуры уходит 2-3 минуты.

Измерение же поля трех диполей, составляющих линейно независимую комбинацию векторов, позволяет определить компоненты радиус-вектора передатчик приемник с точностью не хуже 10 см [4].

Стабильность системы обеспечена введением специального эталонного сигнала, осуществляющего амплитудно-фазовое сопровождение, в результате чего достаточно производить калибровку один раз за вылет.

Помимо сигналов приемника в системе «Экватор» измеряются также токи передатчика. Все каналы работают непрерывно с частотой 200 кГц. Благодаря высокоточной стабилизации сигналов системы стала возможной регистрация отклика на очень ранних временах, начиная с 5 мкс. В итоге, выходными параметрами системы «Экватор» являются измерения поля (поле В) в 14 временных окнах после выключения тока. Кроме того, стало возможным осуществлять частотное детектирование на 14-ти гармониках спектра возбуждения.

Это почти все нечетные гармоники основной частоты от 77 Гц до 1,7 кГц, а также частоты 3, 6 и 12 кГц. Выделение синфазной компоненты отклика проводилось в соответствии с разработанной для частотных систем методикой [5].

На рисунке 6 приведены измерения вдоль профиля, полученные при тестировании системы. Следует отметить, что полеты проводились над слабо проводящим разрезом, около 50 Ом\*м. Как видно из графиков, отклики в последних шести каналах практически отсутствуют. Также обстоят дела и с синфазными компонентами отклика на низких частотах. Однако же квадратурная компонента отклика вполне выражена даже на самой низкой частоте, 77 Гц.

Таблица 1 дает сводные технические характеристики системы «Экватор». Отдельно стоит отметить феноменально высокую скорость буксировки системы — до 170 км/ч.

Таблица 1. Технические характеристики системы «Экватор»

|                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| Пиковый дипольный момент     | 50 000 А*м <sup>2</sup> |
| Частота возбуждения          | 77 Гц                   |
| Форма импульса               | полусинус               |
| Длина буксировочного кабеля  | 70 м                    |
| Диаметр петли передатчика    | 7,5 м                   |
| Общий вес системы            | 250 кг                  |
| Диапазон временных измерений | от 5 мкс до 4 мс        |
| Диапазон частот приемника    | от 77 до 12 000 Гц      |
| Чувствительность             | 30 ppm                  |
| Энергопотребление            | 150 А (27 В)            |
| Скорость буксировки          | 0-170 км/ч              |

#### Моделирование отклика над слабопроводящими разрезами.

Широкий диапазон детектируемых частот и регистрация отклика на ранних временах открывают новые возможности и существенно расширяют сферу применения системы «Экватор». Для иллюстрации данного факта



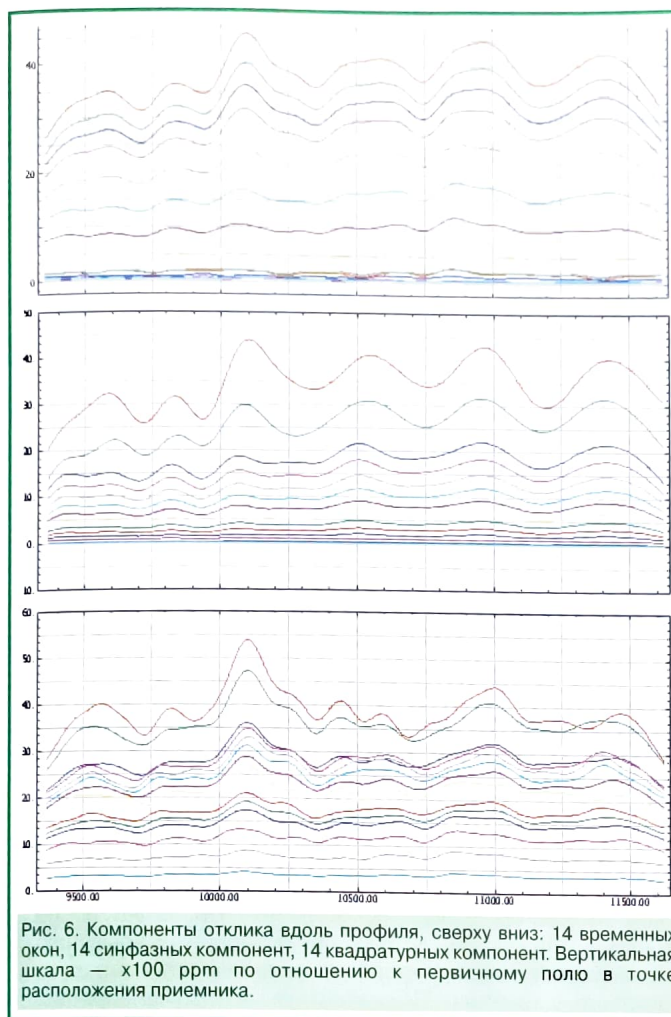


Рис. 6. Компоненты отклика вдоль профиля, сверху вниз: 14 временных окон, 14 синфазных компонент, 14 квадратурных компонент. Вертикальная шкала —  $\times 100$  ppm по отношению к первичному полю в точке расположения приемника.

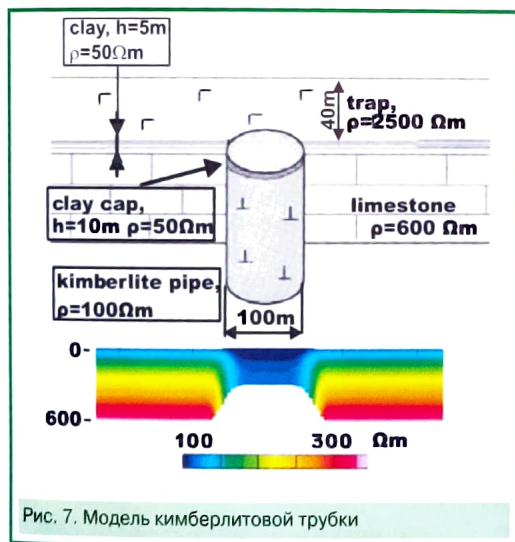


Рис. 7. Модель кимберлитовой трубки

приведем результаты моделирования отклика над характерной для Якутии кимберлитовой трубкой. Модель трубки представляет собой цилиндр с удельным сопротивлением 100 Ом, помещенный в среду 600 Ом. Все это покрыто тонким проводящим слоем глины.

Кроме того, над трубкой имеется глиняная шапка мощностью 10 метров и удельным сопротивлением 50 Ом. Сверху — мощный, 40 метров, слой трапов. Отклики представлены в виде псевдоразрезов кажущегося сопротивления (рис. 7).

На рисунке 8 показаны результаты моделирования на той же модели, что и на рисунке 7, только при отсутствии самой трубки. Как можно видеть, система «Экватор» обладает достаточной чувствительностью, чтобы отличить факт наличия трубки от простого увеличения мощности проводящего слоя глины.

#### Заключение.

Полученные результаты тестирования позволяют с уверенностью говорить о том, что «Экватор» займет достойное место в ряду аэроэлектроразведочных систем. Особенности конфигурации передатчика позволяют выполнять съемку со скоростью до 170 км/ч, не достижимой ни для одного из аналогов этой системы в России и за рубежом. Кроме того, ее малый вес делает возможным использование небольших вертолетов, таких, как Ка-26.

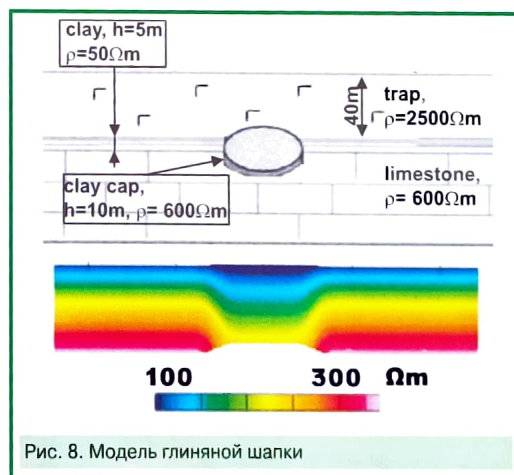


Рис. 8. Модель глиняной шапки

#### Список литературы.

1. Tripp A.C. Acheron's rainbow: Free associations on 75 years of exploration geo-electromagnetics // Geophysics -2005. -70, no. 6, ND25-ND31.
2. Fountain D. Airborne electromagnetic systems - 50 years of development // Exploration Geophysics. - 1998. - № 29. - P. 1-11.
3. Хмелевской В.К. Геофизические методы исследования // М., Недра, 1988. - С. 116-119
4. 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.
5. 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.