

Секция №7, устный

УДК 550.837.6

## **АЭРОЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ СИСТЕМА ЭКВАТОР: РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ, УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ**

**Каршаков Е.В.<sup>1</sup>, Мойланен Е.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – Институт проблем управления РАН, Москва,

<sup>2</sup> – Московский Государственный Университет им. М.В.Ломоносова, Москва.

Вертолетная электроразведочная система Экватор была разработана в 2010 году. За прошедшее время она доказала свою эффективность при поиске слабоконтрастных локальных объектов, таких как вкрапленные руды, кимберлиты. Основными достоинствами системы являются высокая съемочная скорость (до 170 км/ч) и широкий частотный диапазон приемника, первое из которых стало возможным, благодаря конструкционным особенностям. Изменение скорости летательного аппарата не влияют на результаты съемки из-за высокоточного позиционирования системы источник-приемник. Вторая особенность используется для расширения возможностей системы. Благодаря непрерывным измерениям вторичного поля (full time) в Экваторе предусмотрена обработка данных в частотной области. Для получения дополнительной информации о верхней части разреза возбуждаются сигналы на определенных частотах (3, 6 и 12 кГц). Данные сигналы не влияют на отклик во временной области, так как отсутствуют в спектре первичного импульсного сигнала и могут быть удалены в процессе обработки.

Геометрические параметры системы дают возможность вести съемки с межмаршрутным расстоянием 50 м, результаты которых подтверждаются наземными наблюдениями и скважинными данными.

*Ключевые слова:* частотная область, временная область, Экватор

В настоящее время в аэроэлектроразведке существует тенденция к увеличению возбуждающего момента передатчика [1], что ведет к увеличению его геометрических характеристик. В вертолетной аэроэлектроразведочной системе «Экватор», благодаря новому подходу к обработке сигналов, удалось добиться необходимой чувствительности, сохраняя сравнительно небольшой момент 100000 А\*м<sup>2</sup>. Первый вылет был произведен в 2010 году [2]. Перед системой ставились задачи, которые в конечном счете были решены:

- Эффективность системы для широкого диапазона удельных сопротивлений.
- Поиск слабоконтрастных мелкоразмерных объектов.
- Высокие эксплуатационные характеристики.

Демонстрации этих возможностей посвящена данная работа.

### **ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.**

Система Экватор является временной вертолетной электроразведочной системой с нежесткой базой. Возможно главными особенностями системы являются широкие диапазоны скорости буксировки и частот приемника. Первую особенность удалось реализовать благодаря конструкционным нововведениям – передатчик прикреплен к тросс-кабелю за центр масс и летит горизонтально из-за стабилизаторов. Специально разработанные алгоритмы позиционирования позволяют менять скорость полета без вреда для качества съемки [4].

Частотный диапазон приемника используется для расширения возможностей системы. Благодаря непрерывной регистрации данных, система предоставляет не только временные данные отклика, но также и частотные. Чтобы увеличить частотный диапазон, дополнительно возбуждаются сигналы гармоник на 3, 6 и 12 кГц. Важно отметить, что дополнительные сигналы не влияют на временные каналы, так как отсутствуют в спектре возбуждающего импульса, поэтому могут быть удалены в процессе обработки.

Система является комплексом. В приемной гондоле вместе с электромагнитным приемником устанавливается высокочастотный (1000 Гц) квантовый магнитометр.

**РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ.**

Экватор – поисковая система с нижним расположением передатчика. Относительно небольшие размеры передатчика дают возможность производить высокоточную съемку. Для определения минимального межмаршрутного расстояния рассчитаем размер зоны возбуждения на горизонтальной поверхности Земли (зона охвата) (рис.1).

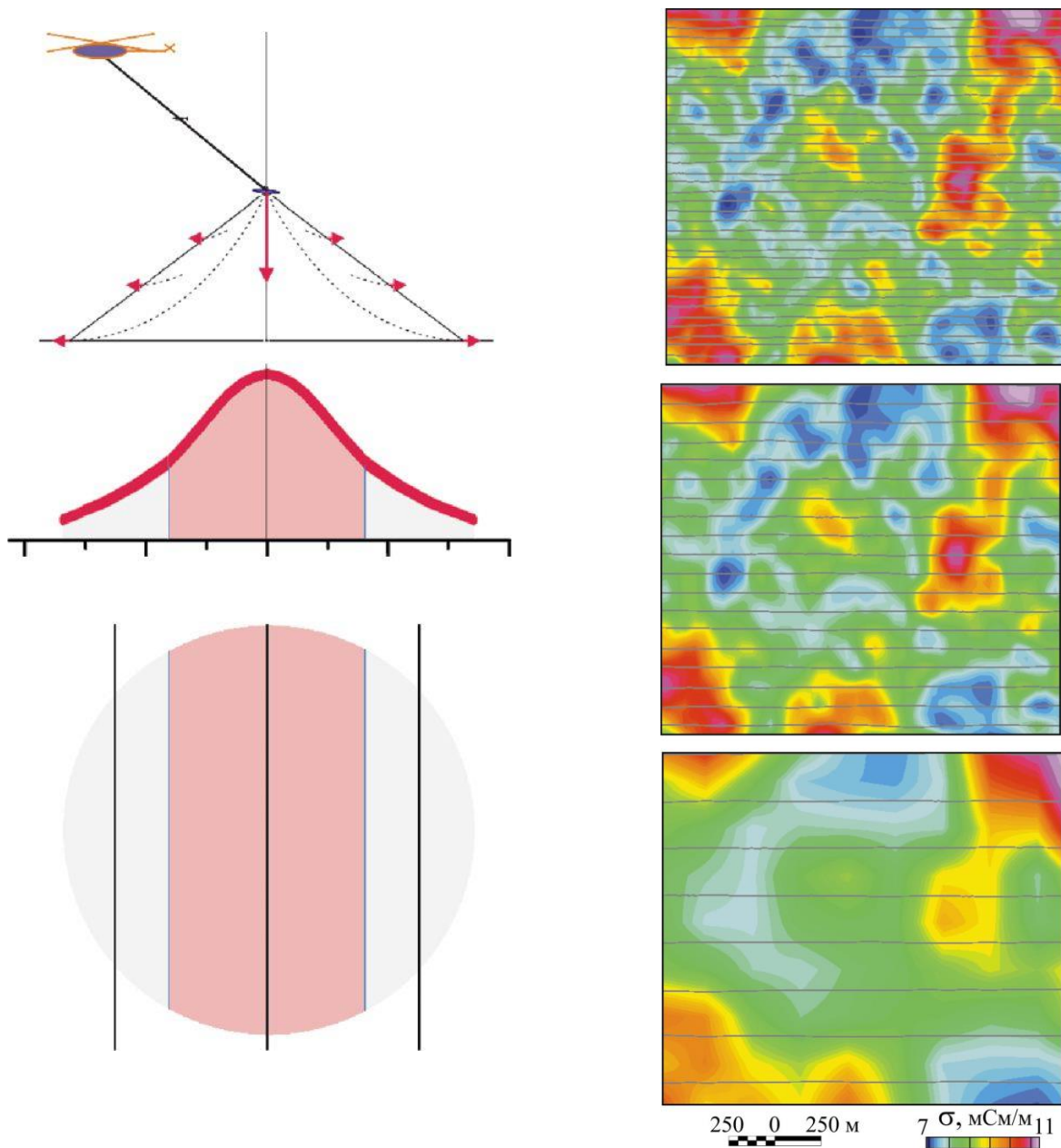


Рис. 1. (слева) Схема геометрии системы «Экватор» (верхний график). Зависимость амплитуды сигнала возбуждения от расстояния от оси передатчика (средний график). Зона охвата системы «Экватор» (серым) и площадь сосредоточения 80% энергии сигнала (розовым) (нижний график). Расстояние между линиями полета (черным) 50 м. (справа) Карты кажущейся электропроводности с различными межмаршрутными расстояниями: вверху – 50 м, в центре – 100 м, внизу – 250 м.

Средняя высота передатчика была выбрана равной 50 м. На поверхности Земли амплитуда напряженности магнитного поля падает с удалением оси вертикального магнитного диполя, как показано на рисунке 1 (средний график). Для данной геометрии размер зоны охвата не превышает круга с радиусом 70 м (показана серым на рис. 1). Внутри зоны охвата мы выделили область

(розовым), в которой сосредоточено 80% энергии поля. Сплошными черными линиями показаны маршруты на расстоянии 50 м друг от друга. Очевидно, что, увеличив межмаршрутное расстояние, мы потеряем в детальности съемки.

Если данное расстояние слишком велико, некоторые небольшие объекты могут быть пропущены. На рисунке 1 справа показаны карты кажущейся электропроводности одной и той же области, но построенные с разными межмаршрутными расстояниями 50, 100 и 250 м. Как и предполагалось множество аномалий электропроводности оказались пропущенными на мелких картах.

#### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ.

Проиллюстрируем эффективность системы на различных геологических разрезах. Первый пример - поиск относительно высокоомных вкрапленных руд в изоляторе.

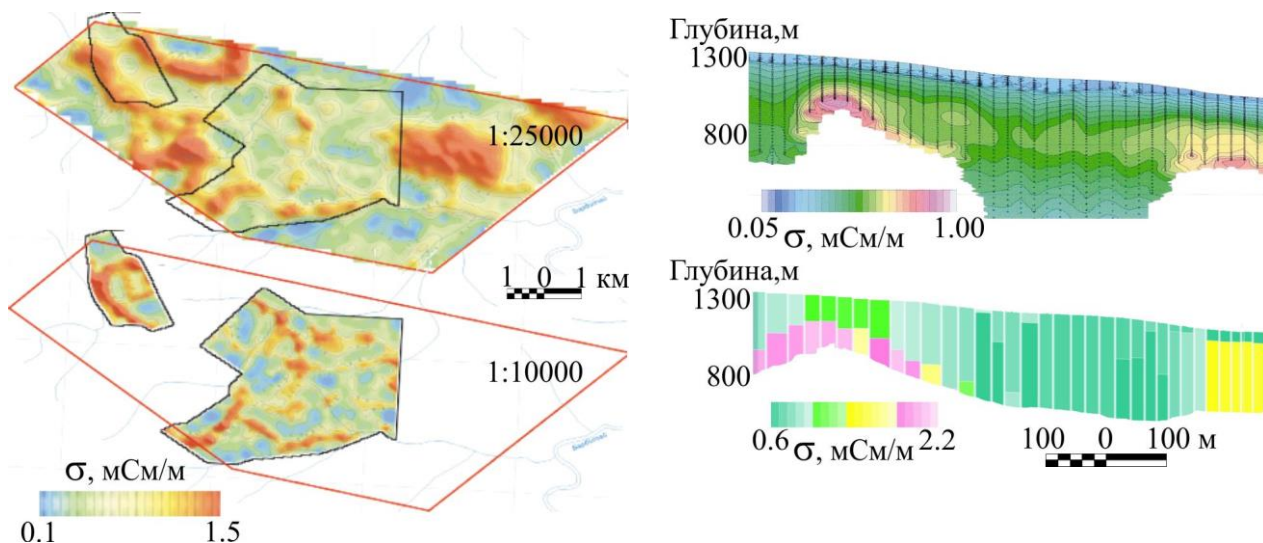


Рис. 2.(слева) Карты кажущейся электропроводности, полученные по данным системы «Экватор» (верхний рисунок) и наземного метода (нижний рисунок).

(справа) Псевдоразрез кажущейся проводимости (верхний рисунок) построенный по наземным данным и результат 1D инверсии (нижний рисунок) для данных Экватора.

Средние значения удельных сопротивлений слагающих геологический разрез пород составляют 1500 Ом\*м. Данные, полученные по результатам 1:25000 съемки Экватором соответствуют результатам наземных 1:10000 работ, которые в разное время проводились на некоторых участках (Рис. 2 слева).

С другой стороны подтверждается предыдущий вывод – 1:25000 съемка приводит к пропуску некоторых аномалий.

На рисунке 2 справа представлены псевдоразрез кажущейся проводимости (верхний рисунок), полученный по наземным данным, и результат 1D инверсии по данным Экватора для профиля, проходящего через известные рудные тела месторождения Ергожу. Глубинные проводящие области хорошо соотносятся с местоположением рудных тел. Для временных аэроэлектроразведочных систем поиск проводящих объектов в изолирующем основании является легкой задачей [4]. Однако для данного случая стоит отметить наизусть электропроводность объектов поиска – 1.5 – 2 мСм/м.

Теперь перейдем к рассмотрению работы системы в условиях сложного геологического разреза. Основание разреза сложено терригенными осадками с удельными сопротивлениями 20 Ом\*м. Кровля основания залегает на глубине 250 м. Выше по разрезу залегают относительно изолирующие известняки 100 – 300 Ом\*м. Поисковые объекты в основном небольшого диаметра в плане (100 – 200 м с удельными сопротивлениями 20 Ом\*м) прорывают известняки, но перекрыты глинистыми песчаниками (до 150 м мощностью) имеющими удельные сопротивления 50 Ом\*м. Таким образом необходимо обнаружить слабоконтрастный объект между обкладками «конденсатора». Проблема заключается в том, что отклики во всех позднеременных каналах после 1 мс уже относятся к проводящему терригенному основанию. Однако в частотной области ситуация значительно лучше. Проводящее основание оказывает влияние на отклики только на частоте 77 Гц

(рис. 3). Отклики на высоких частотах относятся к перекрывающимся глинистым песчаникам. Для анализа изменений электромагнитных свойств в толще известняков у нас остаются отклики на частотах от 231 до 1774 Гц.

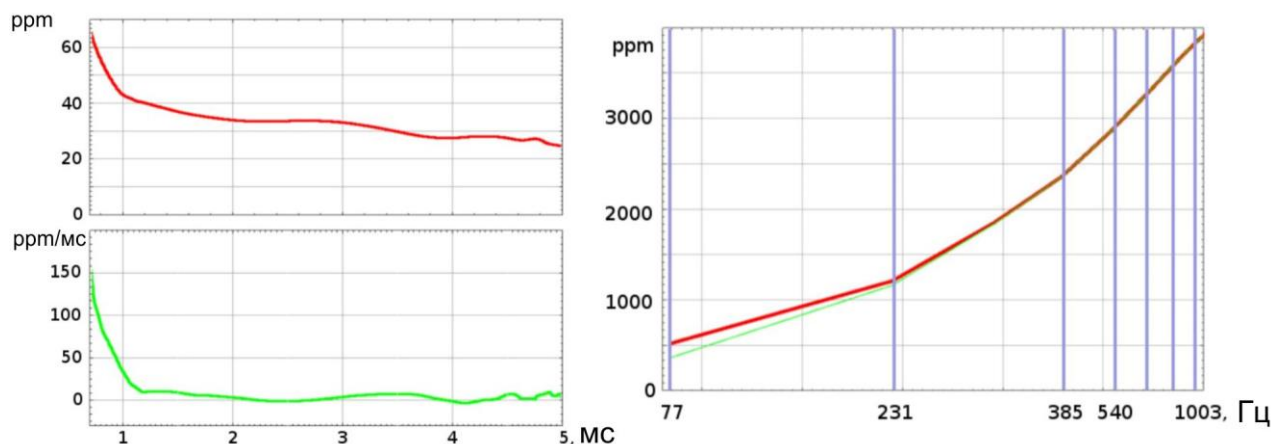


Рис. 3. (слева) В (красным) и dB/dt (зеленым) сигналы для поздневременных каналов. (справа) Измеренный отклик мнимой компоненты (красным) для 77 Гц на 150 ppm больше смоделированного отклика от разреза без глубинного проводника (зеленым).

В результате обработки данных в частотной области даже на разрезе кажущейся электропроводности объект поиска можно видеть как глубинный проводник (рис. 4).

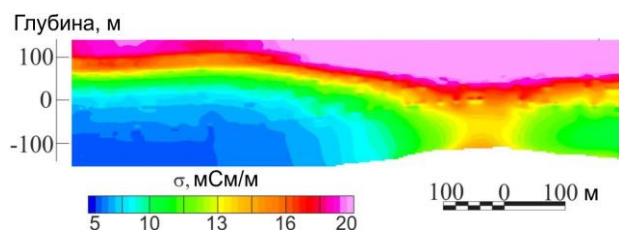


Рис. 4. Псевдоразрез кажущейся электропроводности, построенный по частотным данным системы: объект поиска локализован в правой части разреза.

Временная вертолетная электроразведочная система «Экватор» наиболее эффективно применяется для решения следующих задач:

- съемка в условиях резкого перепада высот рельефа;
- поиск мелкоразмерных слабоконтрастных объектов таких, как вкрапленные руды, кимберлиты.
- поиск объектов в разрезе с сильно проводящими перекрывающимися и подстилающими породами.

Система «Экватор» заняла свое особое место в ряду аэроэлектроразведочных систем.

1. Fountain D. Airborne electromagnetic systems – 50 years of development // Exploration Geophysics. – 1998. – № 29. – P. 1-11.
2. Volkovitsky A.K., Karshakov E.V., Moilanen E.V. New helicopter borne time domain electromagnetic system “Equator” // №8 Equipment and systems of prospecting geophysics, EAGO, Saratov, 2010, p.23.
3. Pavlov B.V., Volkovitsky A.K., Karshakov E.V. Low frequency electromagnetic system of relative navigation and orientation. // Gyroscope and navigation. 2010. #1(68). pp.3-14.
4. Cunion E. Comparison of ground TEM and VTEM responses over kimberlites in the Kalahari of Botswana // Exploration Geophysics, 2009, 40, 308-319.