

# MobileMT: Следующее поколение аэроэлектромагнитной технологии семейства AFMAG



**Пётр Кузьмин**  
Magenta Geophysics Ltd.

**Андрей Багрянский**  
Expert Geophysics Limited

## АННОТАЦИЯ

Expert Geophysics Limited представила новую разработку в области «пассивной» аэроэлектроразведки: **Mobile MagneTotellurics (MobileMT)**. Спроектированная известным разработчиком аэроэлектромагнитных систем Петром Кузьминым, ММТ технология представляет собой новейшее поколение в семействе AFMAG метода. ММТ это продукт многолетнего опыта в разработке аэрогеофизического оборудования и алгоритмов обработки сигналов и измерений естественного электромагнитного поля. В этой статье вкратце описана история эволюции AFMAG технологии которая привела к революционной ММТ.

## ВВЕДЕНИЕ

Требования и условия поисков месторождений полезных ископаемых постоянно расширяются и усложняются. Технология MobileMT значительно расширяет пределы существующих технических решений в аэроэлектромагнитной геофизике, а именно, по таким параметрам как чувствительность, разрешаемая способность и диапазон исследуемых глубин. Существующие электромагнитные «активные» системы, в частности метода МПП или “time-domain”, имеют известные пределы в чувствительности и разрешении в диапазонах высоких сопротивлений и высоких (“супер”) проводимостей. Более того, глубинность исследования “активных” систем очень часто не удовлетворяет требованиям поисковых проектов. Существующие аэрогеофизические “пассивные” электромагнитные системы, работающие в аудиочастотном диапазоне, имеют ограничения связанные с высоким уровнем шума,

лимитированным частотным диапазоном, и только одной измеряемой компонентой подвижным сенсором. Новая разработка в области аэроэлектромагнитных, “пассивных”, естественных полей методов преодолевает эти ограничения.

Питающим полем в «пассивной» аэроэлектроразведке является естественное электромагнитное поле Земли в аудиочастотном диапазоне, которое обязано своим существованием грозовой деятельности происходящей непрерывно в планетарном масштабе. Это поле вертикально проникает в Землю в виде «плоской» электромагнитной волны, т.е. электромагнитной волной с постоянной амплитудой колебаний в любой точке наблюдений. Эта волна имеет вертикально направленную электрическую составляющую  $E$  и, перпендикулярную направлению проникновения, магнитную  $H$ . Присутствие латеральных неоднородностей проводимости в геологической среде обуславливают дополнительные, вторичные магнитные поля связанные с искажениями подповерхностных электрических токов. «Пассивная» электромагнитная технология измеряет результирующие электромагнитные поля, которые точно отражают подповерхностные вариации проводимости.

## РАЗВИТИЕ AFMAG ТЕХНОЛОГИИ

После первого представления AFMAG технологии (Ward, 1959), Geotech Ltd. (Aurora, Canada) начал разработку нового поколения AFMAG систем в 2000 году: легкий подвесной цифровой измеритель (Рис 1). Тесты этой системы были многообещающими, но показали, что измерительные катушки были недостаточно чувствительными, из-за их ограниченного размера (Lo and Kuzmin, 2008).



Рис 1: Подвесная AFMAG прототип система, 2001, (Kuzmin et al., 2005)

Следующим шагом была разработка яйцеобразного ресивера с большими и более чувствительными катушками (Рис 2).



Рис 2: Geotech аэро AFMAG система в Садбери, Ontario с главным разработчиком, Dr. Петром Кузьминым. (Lo and Kuzmin, 2004).

Разработки AFMAG технологии частично финансировались по программе Ontario Minerals Exploration Technologies (OMET) и двумя горнодобывающими компаниями. Новые катушки, подвеска, базовые станции, сенсоры ориентировки, цифровая симуляция, полевые испытания, методы обработки данных, и разработка выходных материалов были завершены. Geotech также запатентовал систему (Morrison, Kuzmin, 2005, U.S. Pat. No. 6,876,202). Разработанная система была функциональной, но требовала некоторых усовершенствований (Lo and Kuzmin, 2008)

В 2006 году, Geotech Ltd. испытал разработанную систему ZTEM (Багрянский и др., 2015), в которой измеряется только вертикальная компонента (Hz) подвесным движущимся ресивером, в то время как горизонтальные компоненты магнитного поля (Hx, Hy) измеряются наземной базовой станцией (Рис. 3).



Рис 3: ZTEM z-осевой ресивер и катушки базовой станции на полевых испытаниях в Сев. Онтарио, Canada в 2006 году (Lo and Kuzmin, 2008).

В 2007 году, Geotech модернизировал наземную базовую станцию сделав ее более компактной (Рис 4). Успешная ZTEM концепция начала коммерчески использоваться в 2007 году. Последующее развитие ZTEM системы выразилось в разработке самолетной (FW) ZTEM системы (Legault and Fisk, 2012) и портативных ферритовых измерителях базовой станции (Рис 5) (Legault, 2012).



Рис 4: ZTEM измерительная базовая станция в 2007 году при съемочных работах в Аризоне, США (Lo and Kuzmin, 2008).

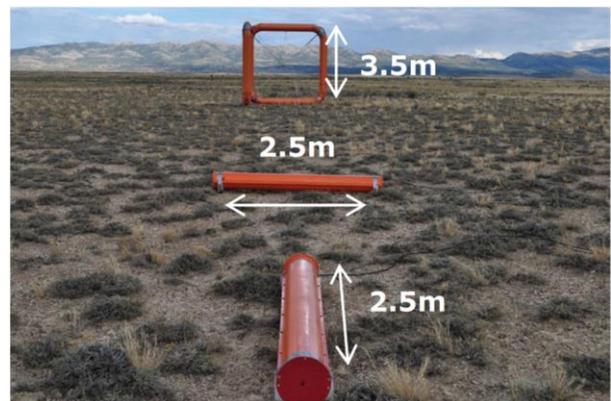


Рис 5: Новая (на переднем плане) и старая (на заднем плане) ZTEM базовые станции, в течение полевых испытаний в Неваде, США в 2011 (Legault, 2012)

ZTEM система базируется на допущении, что в отсутствие локальных проводников, естественное

AFMAG магнитное поле поляризовано в горизонтальной плоскости. Однако, на самом деле, присутствие локальных проводников и индуцированные в них токи, изменяют магнитное поле так что оно становится не горизонтальным. Если происходят изменения проводимости в подповерхностном слое, то проводящий слой ионосферы не является ни однородным, ни стабильным во времени, что приводит к изменениям вертикальной составляющей аудиомангнитного поля и, следовательно, к погрешностям измерения с помощью системы ZTEM. Так как погрешности могут быть обусловлены нестабильностью катушки в течение съемки, ZTEM должна иметь сенсоры для учета этой ошибки (Morrison, Kuzmin, 2005, U.S. Pat. No. 6,876,202). В то же время, на качество учета ошибок влияют неизвестные различия между величинами звуко-магнитного поля в базовой и полетной точках (Kuzmin et al., 2010, U.S. Pat. No. 6,876,202).

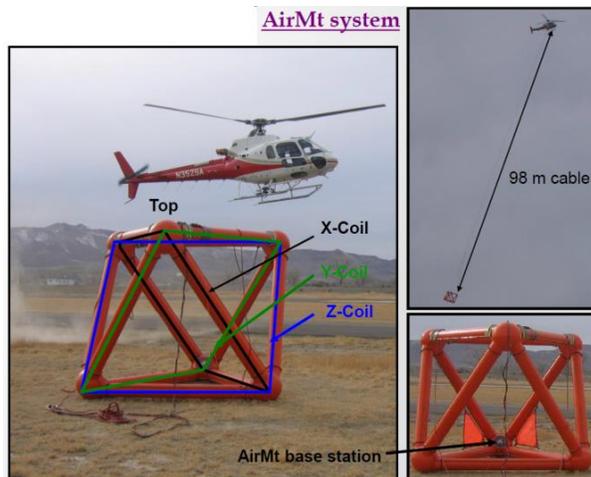


Рис. 6: Вертолетная AirMt система в Аризоне на полевых испытаниях в 2009 году (Kaminski, Kuzmin, Legault, 2010)

В 2009 году, была представлена система AirMt (Рис. 6), (Kaminski, Kuzmin, Legault, 2010). В AirMt, измеряются все три ортогональные составляющие первичного и вторичного магнитного полей ( $H_x$ ,  $H_y$  и  $H_z$ ) в отличие от одной вертикальной компоненты в системе ZTEM. Эти три измеряемые компоненты конвертируются в тензор attitude-invariant амплитудный параметр "AP", что эффективно отменяет необходимость компенсации за наклон катушек и тем самым значительно улучшается отношение шум-сигнал по сравнению с измерениями типперов с ZTEM системой. AirMt

разрабатывалась как следующей шаг в Geotech AFMAG технологии для картирования с высоким разрешением как глубоких горизонтов, так и верхней части разреза (Legault, 2012).

В начале 2018 года, Expert Geophysics Limited представила последнюю и наиболее продвинутую систему в области аэроэлектромагнитной «пассивной» AFMAG EM технологии: MobileMT. Разработанная Dr. Петром Кузьминым, MobileMT система сочетает в себе последние достижения в электронике, аэродинамики, новых материалах и в методиках обработки сигнала. MobileMT это технология с поданной заявкой на патент, использующая естественные электромагнитные поля в частотном диапазоне 25 Hz – 30,000 Hz.



Figure 7: Подвесная часть MobileMT системы

Подвесная часть системы, буксируемая вертолетом, измеряет вариации магнитного поля тремя ортогонально расположенными индукционными катушками. Наземная, стационарная, часть системы, измеряет вариации электрического поля в двух горизонтальных направлениях. Отношения величин магнитного и электрического полей, их реальных и мнимых компонент обеспечивают аналитическими параметрами в выбранных диапазонах частот. Сложные и самые современные методы обработки сигнала, в процессе и после его измерения, обеспечивают высокое качество данных даже в условиях сезонных низких уровней естественного электромагнитного поля. Цезиевый магнитометр используется для записи постоянного магнитного поля. Относительно легкая и аэродинамичная подвесная система может быть использована при съемках с небольшими вертолетами, и в условиях сложного, пересеченного рельефа.

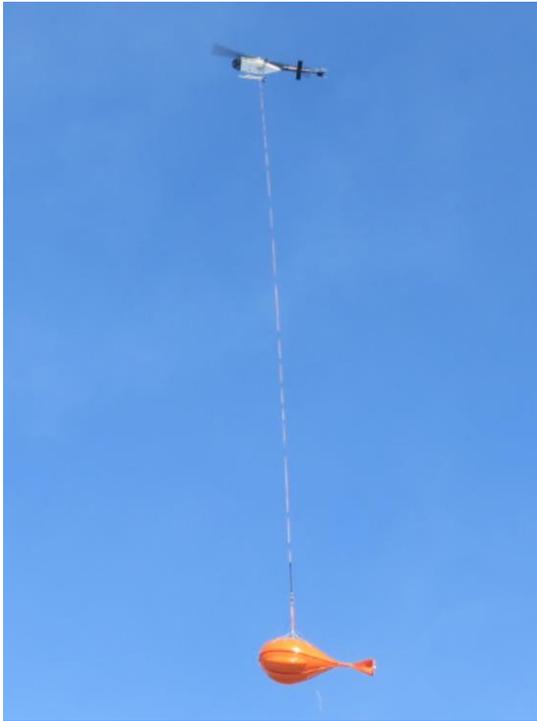


Figure 8: MobileMT система в воздухе

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Mobile MagneTotellurics (MobileMT) это последняя разработка в развитии аэроэлектроразведки, основанной на естественных электромагнитных полях. Любая поисковая программа, регионального или детального масштабов, приобретет преимущества от широкого частотного диапазона, низкого уровня шума, присущих технологии MobileMT, и от возможности комбинированных измерений магнитного и электрического сигнала.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Kaminski, V. F., P. Kuzmin, and J. M. Legault (2010), The AirMt passive airborne EM system, presented at 3rd CMOS-CGU Congress.

Kuzmin, P., B. Lo, and E. Morrison (2005), Final report on modeling, interpretation methods and field trials of an existing prototype AFMAG system, for Ontario Mineral Exploration Technology Program (OMET), Project No. P0102-007b, Ontario Ministry of Natural Resources publication MRD-167, 75 pp.

Kuzmin, P. V., G. Borel, E. B. Morrison, E. B. and D. J. Dodds (2010), Geophysical prospecting using rotationally invariant parameters of natural electromagnetic fields: U.S. Pat. No. 8,289,023.

Legault J.M.(2012), Ten Years Of Passive Airborne AFMAG EM Development For Mineral Exploration, presented at SEG 2012.

Legault, J. M., and K. Fisk, 2012, Statement of Capability - Geotech Airborne Ltd., In R.J.L. Lane (editor), Natural Fields EM Forum 2012: Abstracts from the ASEG Natural Fields EM Forum 2012: Published by Geoscience Australia, Geoscience Australia Record 2012/04, 10-21.

Lo, B., and P. Kuzmin (2004), AFMAG: Geotech's new Airborne Audio Frequency Electromagnetic system: Houston Geological Society, 47, No. 3, 59-61.

Lo, B., and P. Kuzmin (2008), Z-TEM (airborne AFMAG) as applied to hydrocarbon prospecting: presented at the AEM 2008, 5th International Conference on Airborne Electromagnetics.

Morrison E.B., Kuzmin, P. V. (2005), System, method and computer product geological surveying utilizing natural electromagnetic fields, U.S. Pat. No. 6,876,202.

Ward, S. H. (1959). AFMAG - Airborne and Ground: Geophysics, 24, 761-787.

Багрянский А.А., Приходько А.Ю., Боурнас Н., Лего Ж. (2015) Аэроэлектромагнитная технология ZTEM для глубинного изучения недр. Охрана и разведка недр, N5, 2015. с.36-41