

# Глубинные аэроэлектромагнитные технологии — эффективное средство активизации ГРР на Северо-Востоке России

**А.Ю.Приходько, к.г.-м.н., P.Geo (Geotech Ltd.)**

*Прошедшая в июле 2016 года в Магадане Конференция МАЙНЕКС-Дальний Восток дала обширный и разносторонний материал для понимания состояния геологоразведочных работ в регионе и острой необходимости их развития.*

Министр природных ресурсов правительства Магаданской области В.И. Митькин, рассказал, что, несмотря на постоянный рост объемов производства рудного золота, в регионе до сих пор более 60% золота по-прежнему добывается из россыпных источников. Очевидно, что этот факт свидетельствует о больших возможностях для увеличения масштабов поисковых работ на рудное золото. С этим в своем выступлении согласился зам.директора Магаданского филиала АО «Полиметалл» по минерально-сырьевым ресурсам С.Ф. Петров, сообщивший, что, по его мнению, обеспеченность филиала ресурсами всех категорий не превышает десяти лет. К теме недостаточной степени опосредованности территории Магаданской области и Чукотки возвращался еще целый ряд докладчиков, говоривших об острой потребности обновления и пополнения поискового задела на Северо-Востоке России.

Тема перспектив обнаружения новых месторождений была, пожалуй, самой актуальной на Форуме. В докладах и представителях науки (директор СВКНИИ ДВО РАН чл.-корр., д.г.-м.н. Н.А. Горячев, руководитель МНИТЦ СВКНИИ ДВО РАН к.г.-м.н. Ю.В. Прусс, заместитель ген.директора Института Геотехнологий А.Ф. Читалин), и золотодобывающих компаний (ген.директор ЗРК «Павлик» В.П. Макаров, представитель B2Gold А.Е. Антонов и ген.директор Дукатской ГТК Ю.И. Радченко) много внимания было уделено именно этому вопросу. Резюме, которое сделал Ю.В. Прусс на специальной технической сессии, посвященной вопросам геологоразведки в регионе, таково: “Сложившееся сегодня положение с геологией, в целом, и с ГРР, в частности, не удовлетворяет ни государство, ни геологическую общественность”.

О проблемах эффективности поисковой и геологоразведочной деятельности и сложностях её финансирования во всем мире говорил управляющий директор ААР А.Н. Лопатников: “В 2015 году бюджеты на ГРР на цветные и драгоценные металлы в мире сократились на 19%. Отчасти это следствие того, что за время прошедшего цикла высоких цен

«Золото и технологии» **Сентябрь №3(33) 2016 г.**

на драгметаллы большая часть бюджетов на поиски и геологоразведку была потрачена неэффективно.” Чтобы исправить ситуацию, геологоразведочные работы должны проводиться быстрее и эффективнее. В условиях снижения бюджетов ГРП, для этого отрасли нужны инновации и технологические, и в организации геологоразведки.

Как показывают мировые тенденции последних лет, одним из звеньев геологоразведочного процесса на ранних стадиях, или на любом ревизионном этапе исследований, является широкое использование современных, технологичных и экономичных глубинных аэроэлектромагнитных технологий, которые демонстрируют высокую эффективность при поисках многих видов полезных ископаемых, включая золото. В данном случае термин «ранние стадии» довольно условный. Опыт передовых в геологоразведочном процессе стран, Канады и Австралии, показывает высокую эффективность поисковых работ, несущих ревизионный характер, в исторически известных и развитых рудных районах, если эти работы проводятся на новом технологическом и методическом уровне. Например, в известном горнорудном районе в пределах зеленокаменного пояса Flin-Flon в Канаде (провинция Манитоба) добыча полезных ископаемых ведется с 30-х годов прошлого столетия (Gilmore, Wood, 2012). В течение 85 лет работы в районе компания Hudbay Minerals Inc. добыла приблизительно 145 млн тонн руды. В результате проведения аэроэлектромагнитных работ (SPECTREM) в период 1993-2000 было обнаружено по меньшей мере 6 новых крупных месторождений и 20 рудопроявлений. С 2007 по 2012 проведены аэроэлектромагнитные съемки на новом технологическом уровне (VTEM), в результате которых обнаружены ещё 4 месторождения на тех же площадях исследований. Переход на новый технологический уровень наземных ЭМ методов с использованием SQUID магнитометра в качестве регистратора вторичного ЭМ поля, позволил обнаружить месторождение Lalog на глубине многих сотен метров (суммарные ресурсы >16 млн тонн руды, 2.5 г/т Au, 28 г/т Ag, 0.7% Cu, 8.5% Zn, Июнь 23, 2008 NI 43-101). В 2010 году опытными работами доказана эффективность аэроэлектромагнитных технологий ZTEM и VTEMmax для случая Lalog (Gilmore, Wood, 2012; J.Legault и др., 2014). То есть, совершенствование и появление новых технологий позволяют производить новые исследования одних и тех же территорий с постановкой новых целевых поисковых задач.

Обсуждая пути повышения эффективности, многие докладчики на конференции «МАЙНЕКС Дальний Восток» отмечали важность структурного контроля оруденения, при этом обращая внимание, что, несмотря на кажущуюся очевидность, на практике реализовать это получается далеко не всегда. Одно дело найти закономерности пространственных взаимоотношений известных месторождений со структурными особенностями строения территорий на региональном уровне, другое – локализовать участок для горно-буровых работ. Региональные прогнозы необходимы, но недостаточны для локализации площади детальных поисков. Мировой опыт последних лет показывает, что аэроэлектромагнитные исследования могут значительно сузить площади поисков и сконцентрировать последующие наземные комплексные исследования, включая тяжелые, горно-буровые работы.

Предпосылки для этого есть и на Северо-Востоке России. В своем докладе Генеральный директор ЗРК «Павлик» В.П. Макаров отметил существование связанных с глубинными структурами электропроводящих зон, контролирующих оруденение на Омчакском рудном узле. Эти локальные рудоконтролирующие электропроводные зоны, как уточнил докладчик, находятся на глубине многих сотен метров.

Опыт использования в Неваде и на Юконе аэроэлектромагнитной системы ZTEM, с глубинной исследования до 1,5-2 км (Багрянский, Приходько и др., 2015), показывает что такой рудоконтролирующий критерий во многом является универсальным и, по сути, отражает проницаемые, структурные зоны разуплотнения. Например, в 2008 году на части территории впадины Селвин площадью 25 тыс.км. (территория Юкон, Канада, рис.1), которая известна наличием множества месторождений типа SEDEX (экспаляционно-осадочные), а также рядом месторождений и рудопроявлений Карлинского и скарнового типов, была проведена региональная съемка ZTEM для Геологической службы территории Юкон.



Рис.1 Участок проведения глубинной аэроэлектромагнитной съемки ZTEM на части территории бассейна Селвин (Юкон).

Анализ данных выявил сильную корреляцию между электропроводными глубинными структурами и распределением месторождений и рудопроявлений (Carne, 2013), Рис2. Генетическое сходство между золотыми месторождениями карлинскогого типа на Юконе и в Неваде, где региональные геологические структуры хорошо известны, подчеркивает

потенциальную значимость выявленных глубинных электропроводных структур в бассейне Селвин и в других местах.

Как правило, эти глубинные структуры не находят отражения в магнитном поле (Рис.3).

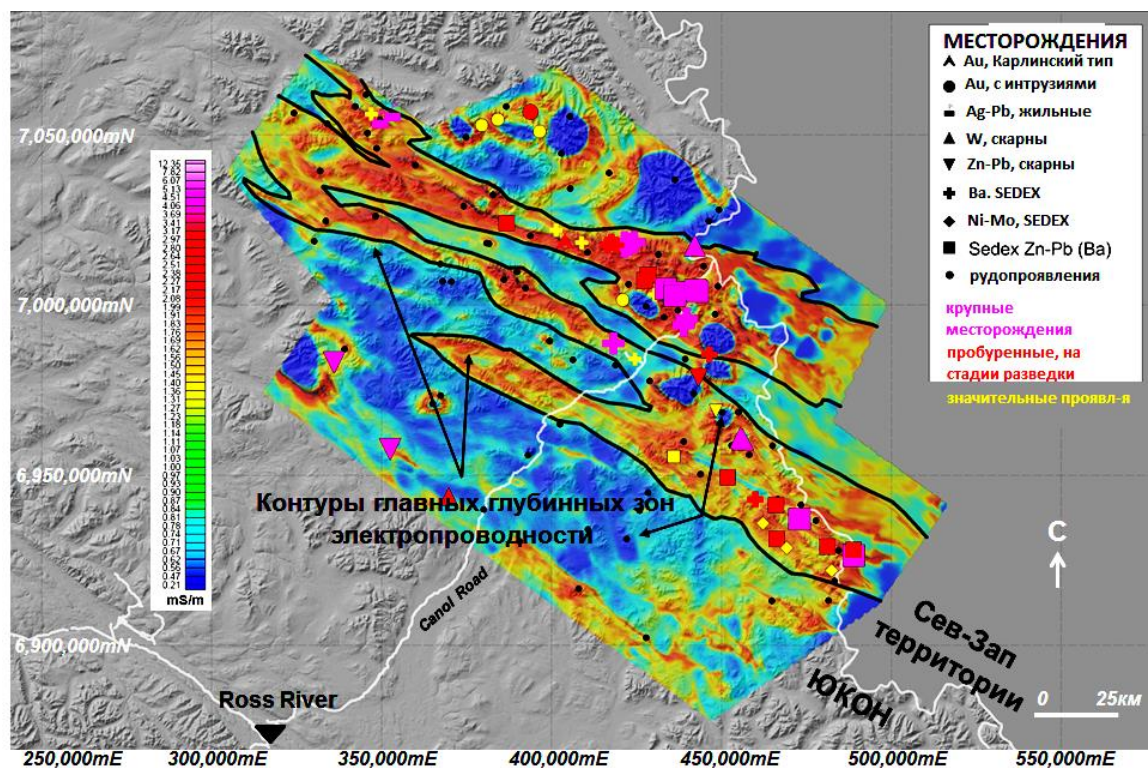


Рис.2 Глубинные зоны электропроводности по данным съемки ZTEM и положение МПИ.



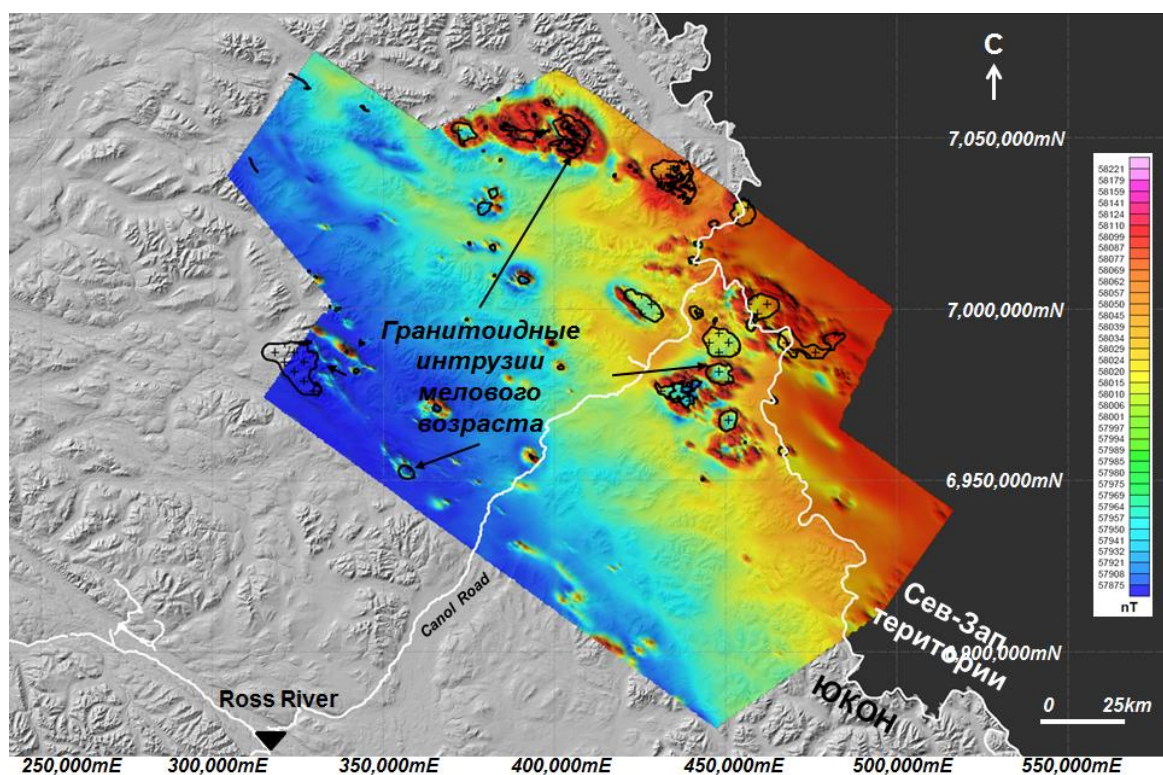


Рис.3 Карта магнитного поля участка съемки ZTEM на части Селвин бассейна.

О контролирующей золотое оруденение роли «структурных» электропроводящих зон отмечалось также применительно к одному из районов севера Хабаровского края (Prihodko, 2005).

Аэроэлектромагнитные технологии VTEM (Prihodko, 2010) и ZTEM (Багрянский, Приходько и др., 2015) эффективны при поисках различных типов золоторудных месторождений и на локальном уровне. Система ZTEM успешно использовалась на месторождениях золота малосульфидного эпитеермального типа (Gold Springs в Неваде, Ana Paula в Мексике, Ньютон в Британской Колумбии, Канада) и на крупнообъемных золото-медно-порфировых месторождениях (включая Пэббл на Аляске и Балбоа в Панаме). VTEM – на высокосульфидном эпитеермальном типе (Ла Паве в Мексике) и мезотермальном типе золоторудных месторождений (Tusker и Golden Ridge в Танзании, KAN Gold в Канаде, пров.Лабрадор). Все эти типы месторождений есть и на Востоке России.

Ниже приведены примеры использования глубинных аэроэлектромагнитных систем ZTEM и VTEM последних нескольких лет, только применительно к эпитеермальному типу золотого оруденения, на локальном уровне поисковых работ.

#### Эпитеермальный малосульфидный тип

Обобщенная геолого-петрофизическая (относительные сопротивления) модель такого типа месторождений приведена на Рис.4. Здесь, оруденение представляет собой погребённую

субвертикальную зону окварцевания высокого удельного сопротивления с отсутствием магнитных минералов.



Рис.4 Схематичная модель малосульфидного эпитеермального месторождения с представлением зависимости электрического сопротивления от эрозионного уровня.

На примере золоторудного месторождения Gold Springs такого типа в юго-восточной Неваде (США), показано, что распределение сопротивлений, полученных по данным съемки ZTEM, хорошо соответствует этой модели -

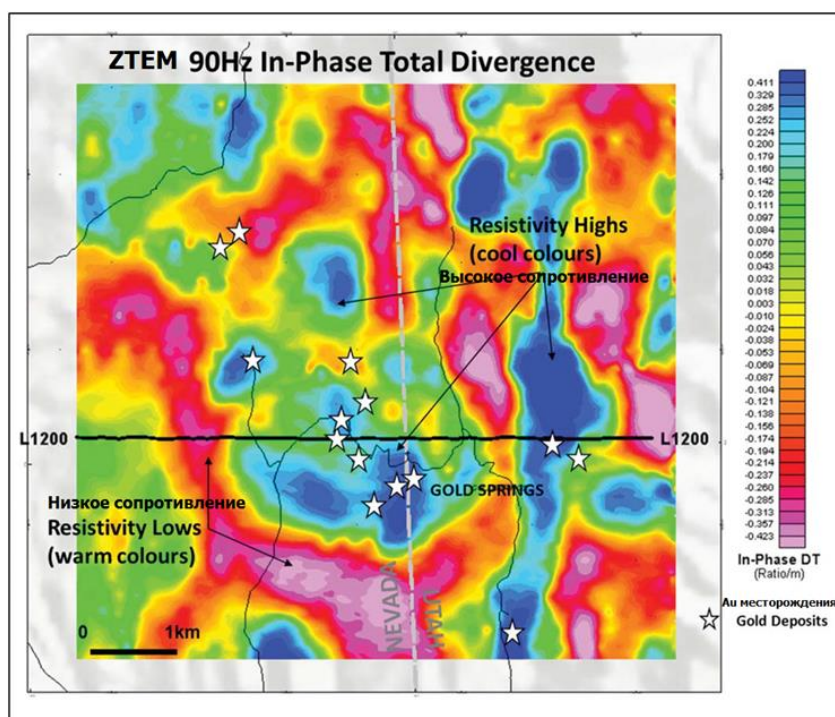


Рис.5. Карта распределения ЭМ поля полученного по ZTEM данным с положением известных золоторудных месторождений района Gold Spring.

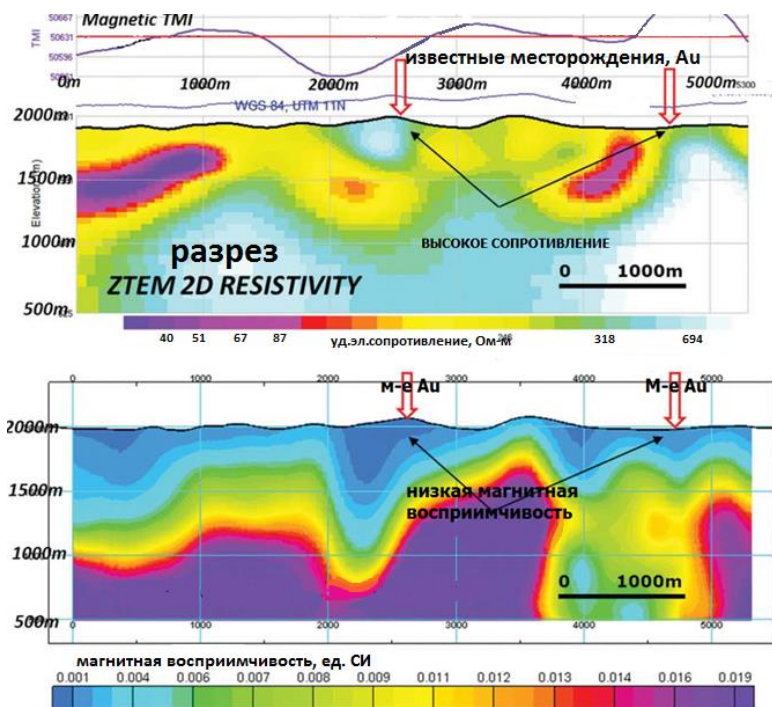


Рис.6. Разрезы сопротивлений и магнитной восприимчивости по данным ZTEM с положением известных золоторудных месторождений Gold Spring



результаты инверсии ZTEM данных и магнитного поля показывают, что большинство известных проявлений и месторождений локализуются в зонах высоких сопротивлений и низкой магнитной восприимчивости (Legault, Kwan, Prikhodko, 2015, Рис.5, 6).

Другой пример – месторождение Ньютон (пров.Британская Колумбия, Канада. Hübert, 2016), представлен на рис.7 и 8.

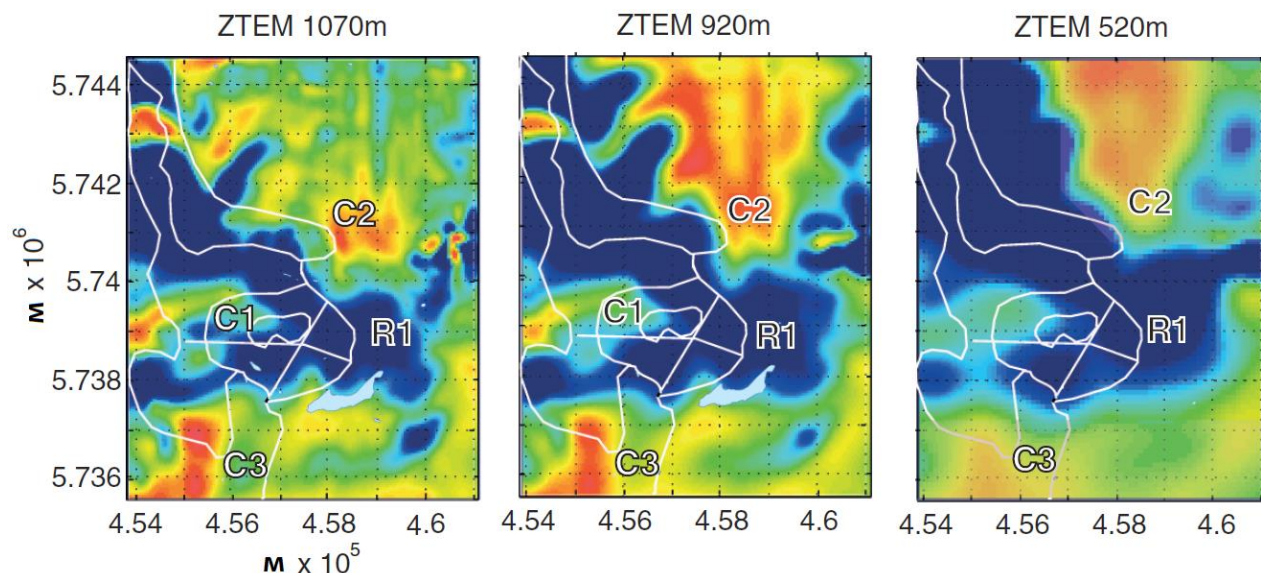


Рис.7 Глубинные срезы распределения удельного электрического сопротивления полученные по данным ZTEM. Месторождение Ньютон (Британская Колумбия, Канада)

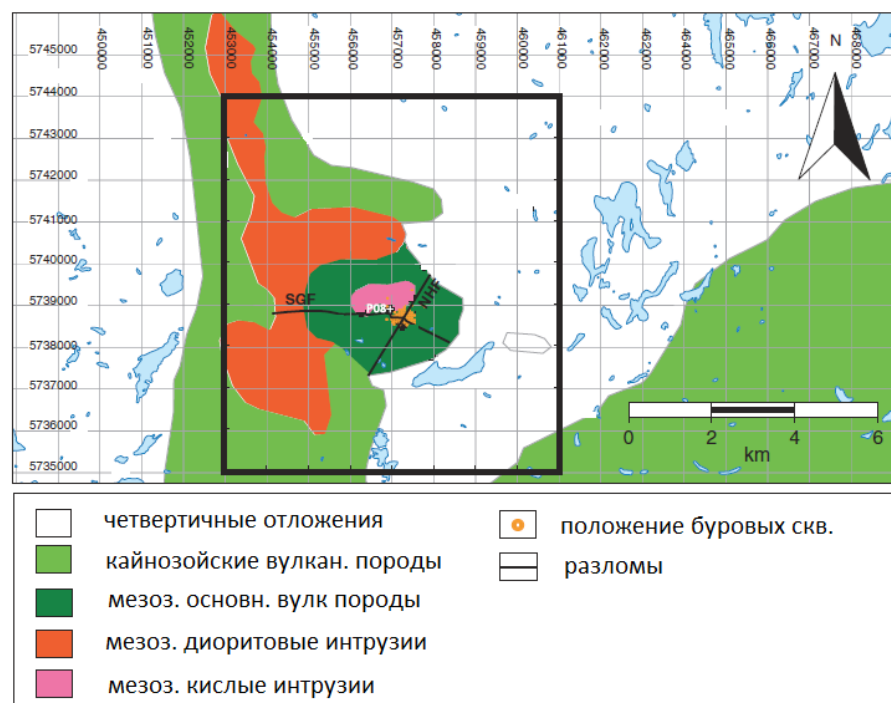
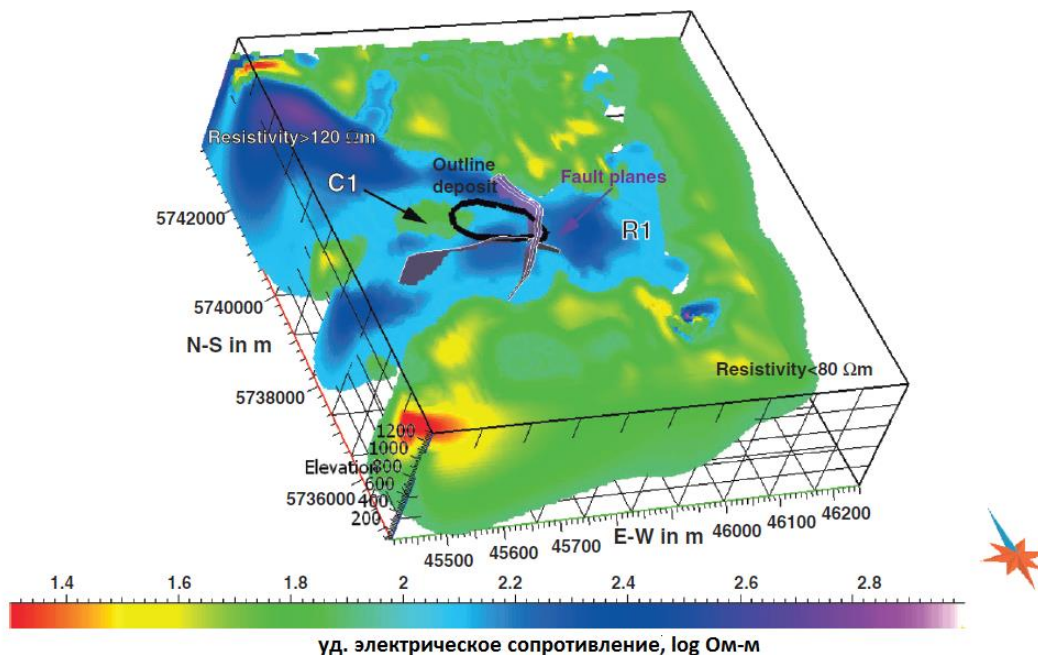


Рис.8 Геологическое строение района м-я Ньютон. Геологическое картирование по данным бурения.



Эпитермальное золото-серебрянное месторождение Ньютон, расположенное в центральной части провинции с ресурсами 111 млн.тон руды при средних содержаниях золота 0,44 г/т, серебра 2.1 г/т. Месторождение генетически и пространственно ассоциируется с поздне кайнозойскими вулканитами и интрузиями кислого состава (Рис.8). Рудная минерализация связана с кварц-серецитовыми изменениями пород, сопровождающимися минерализацией рассеянного пирита и марказита, в которых содержатся золото и серебро.

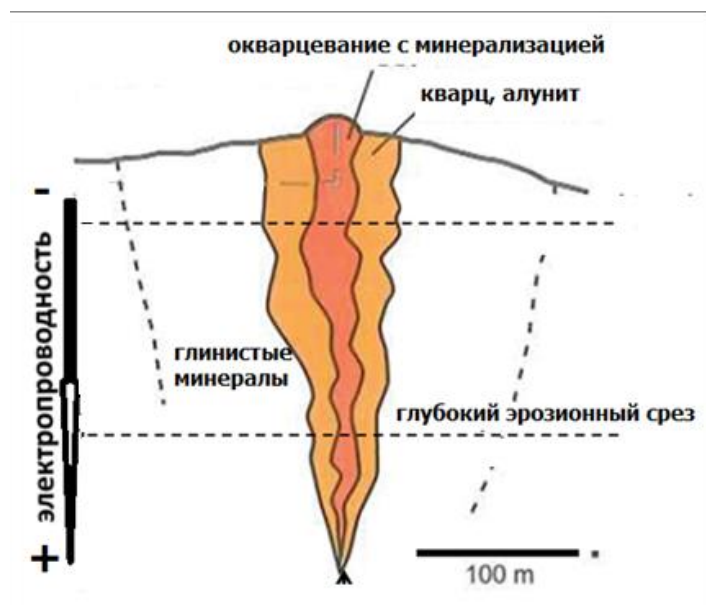


**Рис.9 3D модель распределения сопротивлений по данным съемки ZTEM района эпитермального малосульфидного месторождения Ньютон**

Авторы приходят к выводу, что результаты ZTEM съемки очень близки к результатам наземных МТ зондирований; ZTEM данные могут использоваться для 3D картирования сопротивлений с высоким разрешением и до глубин, недостижимых для технологий основанных на постоянном токе; ZTEM модель сопротивлений отражает главные петрологические разности, а также локальные и относительно проводящие зоны ассоциирующиеся с гидротермальными изменениями. В целом, рудномагматическая система обладает относительно высоким сопротивлением, что согласуется с её глубоким эрозионным уровнем среза и общей модели этого типа оруденения (рис.4), но локальные зоны повышенной электропроводности внутри этой системы отражают проявления метасоматических гидротермальных процессов, с которыми ассоциирована рудная минерализация.

### Эпитермальный высокосульфидный тип

Обобщенная геолого-петрофизическая (относительные сопротивления) модель такого типа месторождений приведена на Рис.10.



**Рис.10** Схематичная модель высокосульфидного эпитермального месторождения с представлением зависимости электрического сопротивления от эрозионного уровня (Kwan, Prikhodko, 2016).

В отличие от предыдущего рассмотренного типа эпитермального оруденения, здесь электропроводность пород с понижением эрозионного уровня увеличивается.

Одним из примеров такого типа золотого оруденения является относительно небольшое высокосульфидное месторождение золота Ла Пава, расположенное на панамском полуострове Азуеро (Kwan, Prikhodko, 2016). Золотое оруденение здесь ассоциируется с проявлениями гидротермальных процессов сопровождаемых образованием глинистых (монтмориллонит, иллит, каолинит) и сульфидных минералов (пирит). Руды богаты пиритовой минерализацией (от вкрапленной до массивной) в окварцованных породах. Резервы месторождения (вместе с двумя другими, расположенных в непосредственной близости) составляют 20 млн тонн руды при среднем содержании золота 0.77 г/т.

Эффективность аэроэлектромагнитной съемки системой VTEM продемонстрирована в разрезе удельного электрического сопротивления, который представлен на рис.11. Контур рудного тела по данным бурения представлен на рис.12.

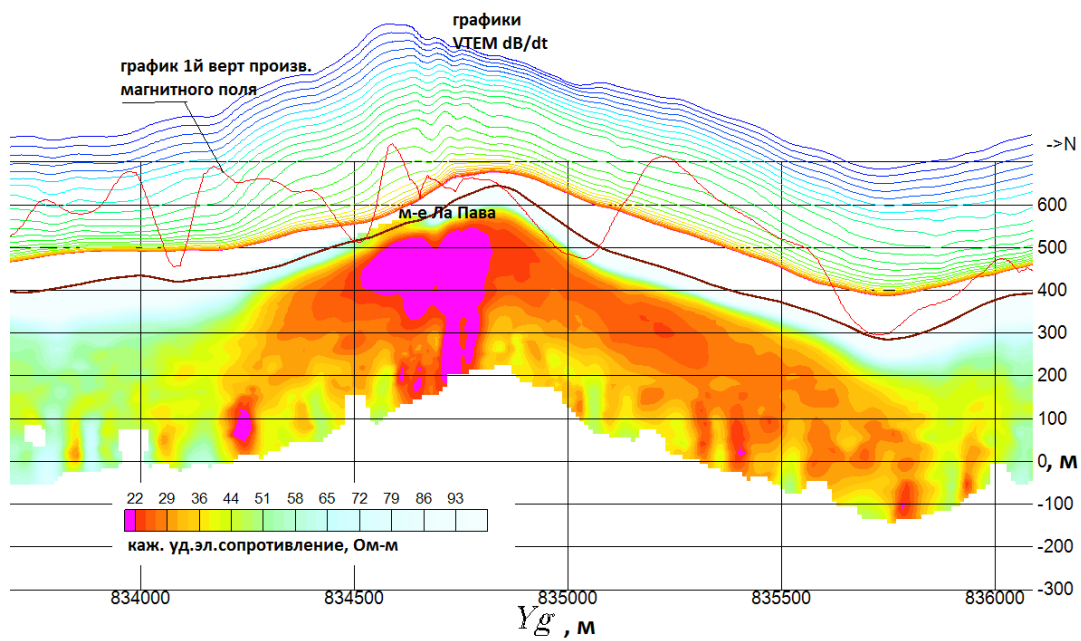


Рис.11. Разрез кажущегося удельного электрического сопротивления по данным VTEM

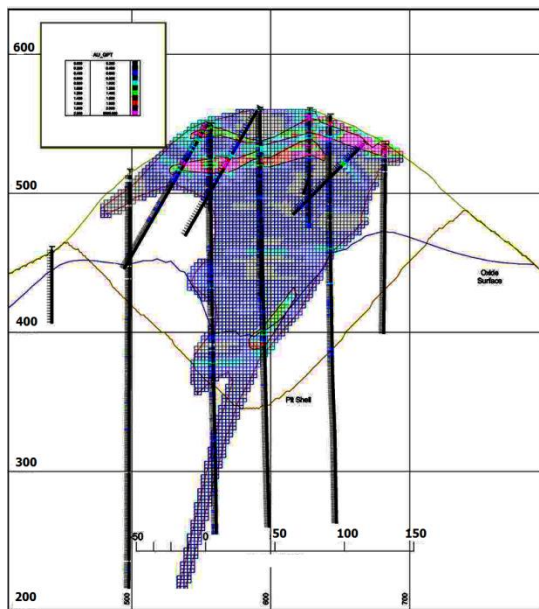


Рис.12. Контур рудного тела Ла Паве по данным бурения



Эффективность аэроэлектромагнитных технологий VTEM и ZTEM, позволяющих проводить поиски до больших глубин, доказана съемками миллионов погонных километров на всех континентах. Здесь приведены только несколько примеров. Во многих случаях эти технологии позволяют найти месторождение, локализовать его быстро, эффективно и экономично. Принцип «летай и бури», относящийся в большей степени к вертолетным TDEM, во многих случаях дает возможность отказаться от дорогостоящих наземных исследований и, следовательно, сэкономить деньги и время. А их, в свою очередь, можно потратить на дополнительные объемы ГРП и исследования новых территорий. А большой объем геологоразведочных работ – это новые месторождения, активизация отрасли и экономики в целом.

На территории России, по современным меркам, пока проводится очень небольшой объем поисковых работ на ТПИ. Это касается не только Северо-Востока, но и Урала, и других регионов России, запасы которых быстро отрабатываются в последние годы. Можно успокаивать себя «масштабами прироста» - но это в основном прирост на небольшом числе уже известных и отрабатываемых кем-то объектах, который не влияет на обеспеченность сырьевой базой, как большинства остальных действующих предприятий, так и на появление новых современных производств. Можно, конечно, рассуждать о ГРП в терминах так называемых, «картограмм изученности». Но что значит «изученный»? Насколько можно этой изученности доверять? Какими методами была достигнута эта изученность, каковы их погрешности и возможности? Если бы подобными «картограммами» ограничилось изучение канадских рудных районов Абитиби, Тимминс, Атабаски, Флин Флон, Кордильер, то никаких новых открытий, в том числе крупных месторождений, и даже новых рудных районов, как Ring of Fire на севере Онтарио, за последние годы там не было бы.

Поэтому внедрение в практику поисков современных методов и инструментов способно придать требуемый импульс геологоразведочным работам, как на ранних стадиях исследований новых территорий, так и при ревизионных работах инфраструктурно развитых районов, быстро и сравнительно доступными средствами, приведя в конечном счёте к выявлению новых объектов и значительно более быстрому вводу их в хозяйственный оборот.

Выражаю благодарность всем участникам форума за неформальное участие в нем, высокую заинтересованность, общение и дискуссии, организаторам за отличную организацию его проведения и создание деловой и открытой обстановки, и лично М.И.Лескову, А.Н.Лопатникову за неоценимую помощь и участие в подготовке текста этой статьи.

## Использованная литература

- Багрянский А.А., Приходько А.Ю., Боурнас Н., Лего Ж. Аэроэлектромагнитная технология ZTEM для глубинного изучения недр. Разведка и охрана недр. №5, 2015. с.36-41.
- A.Prikhodko, E.Morrison, A.Bagrianski, P.Kuzmin, P.Tishin, J.Legault. Evolution of VTEM – technical solutions for effective exploration. ASEG 2010, Sydney, Australia.
- A.Prikhodko, Results of an airborne geophysical survey in the northern part of the Far East of Russia. Symposium 2005 “Window to the World” V.2, Reno, Nevada, USA, 2005.
- K.Gilmore, P.Wood, The future of base metal exploration and mining in Canada. Toronto geologic discussion group, Nov. 8, 2012.
- J.Legault, G.Plastow, S.Zhao, N.Bournas, A.Prikhodko, ZTEM and VTEM airborne EM and magnetic results over Lalor copper-gold VMS deposit region, near Snow Lake, Manitoba. Exploration for Deep VMS Ore Bodies: The HudBay Lalor Case Study. B.C. Geophysical Society, 2014 Fall Symposium.
- J.Legault, K.Kwan, A.Prikhodko, Airborne EM in exploring for epithermal gold deposits: three examples from the Great Basin and Western Cordillera. New concepts and discoveries. Vol.1, 2015. p.p. 795-819.
- Carne, R., Phillips, R., and Lane, J., 2013, An explorer’s take on the Selwyn Basin ZTEM survey: Presented at Yukon airborne geophysics workshop, Yukon Geoscience Forum 2013, Yukon Chamber of Mines and Yukon Geological Survey, Whitehorse, Canada.
- Hoschke, T., 2011, Geophysical signatures of copper-gold porphyry and epithermal gold deposits, and implications for exploration: CODES-ARC Center of Excellence in Ore Deposits, University of Tasmania, 47 p.
- J.Hübert, B.M.Lee, L.Liu, M.J.Unsworth, J.P.Richards, B.Abbassi, L.Z.Cheng, D.W. Oldenburg, Three-dimensional imaging of a Ag-Au-rich epithermal system in British Columbia, Canada, using airborne z-axis tipper electromagnetic and ground-based magnetotelluric data. GEOPHYSICS, VOL. 81, NO. 1, JANUARY-FEBRUARY 2016. p.p. B1-B12.
- K.Kwan, A.Prikhodko, J.M.Legault, G.C.Plastow, J.Kapetas, M.Druecker. VTEM airborne EM, aeromagnetic and gamma-ray spectrometric data over the Cerro Quema high sulphidation epithermal gold deposits, Panama. Exploration Geophysics, 2016, 47, 179–190.