

СОВРЕМЕННЫЕ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Авторы: А. Ю. Приходько, А. А. Багрянский (Geotech Ltd.)

Современные аэрогеофизические технологии позволяют быстро и эффективно исследовать большие территории с целью поисков новых месторождений полезных ископаемых (МПИ).

Прогресс в техническом развитии аэрогеофизики и развитии средств интерпретации ее данных за последние полтора-два десятка лет привел к революционным изменениям в эффективности и расширении возможностей аэрогеофизических методов в геолого-поисковых приложениях. Толчком для этого прогресса послужило развитие электроники, компьютеризированных систем и систем позиционирования. Во многом аэрогеофизические методы стали замещать, а по большому числу параметров и превышать дорогостоящие и непроизводительные наземные методы.

Основные достижения технического развития аэрогеофизических технологий заключаются в следующем:

- в электромагнитных методах с контролируемой источниками произошел переход от ограниченных по большинству параметров частотных методов (frequency-domain) к значительно более информативным технологиям становления поля (time-domain) [4]. При достаточно сбалансированной и совершенной технической реализации (например, VTEM) метод в состоянии обеспечивать 3-мерное картирование электрического сопротивления (рис. 1, рис. 8А) с высоким разрешением даже в слабо дифференцируемых геологических средах [7], в широком диапазоне сопротивлений (от нескольких тысяч до 0,001 Ом-м), от поверхности до глубин многих сотен метров с высоким пространственным разрешением и точным позиционированием, достаточным для проектирования горно-буровых работ на поисковой стадии. В последние несколько лет получило интенсивное развитие направление извлечения из данных VTEM сигнала

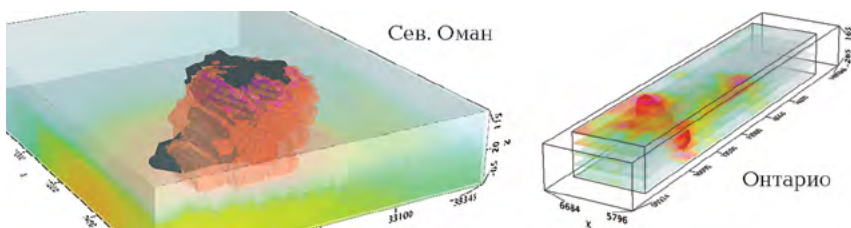


Рис. 1. Из материалов Geotech Ltd. — VTEM 3-мерное картирование электрического сопротивления при поисках рудных тел. Слева черная область — рудное тело по данным разведочного бурения

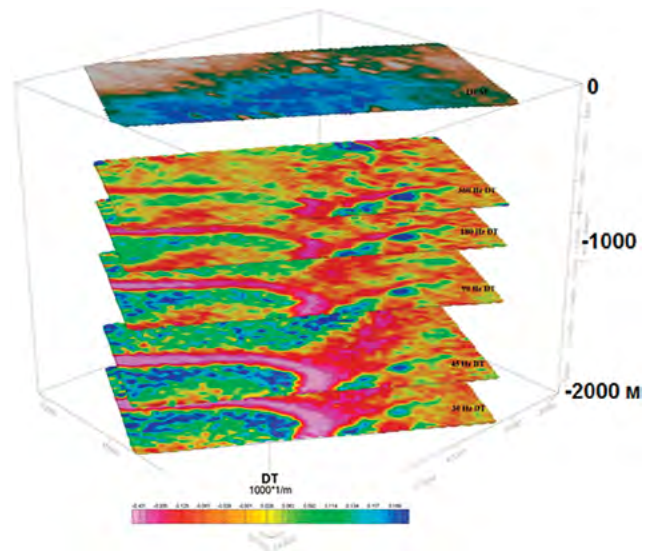


Рис. 2. ZTEM 3-мерное картирование электрического сопротивления, бассейн Атабаска (из материалов Geotech Ltd.)

вызванной поляризации в качестве дополнительного параметра [8]. Задачи близкоповерхностных, включая гидрогеологические, исследований также стали решаться этим методом, при этом не теряя информации о глубоких частях разреза [11], [12].

— в области «пассивных» электромагнитных методов в аэрогеофизику пришел аудиоманнитотеллурический метод (ZTEM) [3], [1], который обеспечивает уникальной площадной информацией с высоким пространственным разрешением до глубин 1–2 км, включая информацию о тектонически ослабленных зонах, которые не отражаются в магнитном поле [6]. Важность структурного

глубинного картирования трудно переоценить при прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых [2]. Кроме этого, метод успешно применяется для прямых поисков крупнообъемных месторождений, включая порфировый тип [9].

На рис. 2 представлен пример глубинного ZTEM картирования структур несогласия в осадочном бассейне Атабаска (Канада).

— в результате увеличения чувствительности используемых маг-



Рис. 3. ЭМ-система VTEM с магнитным градиентометром, контролируемым GPS и гироскопическим инклинометром

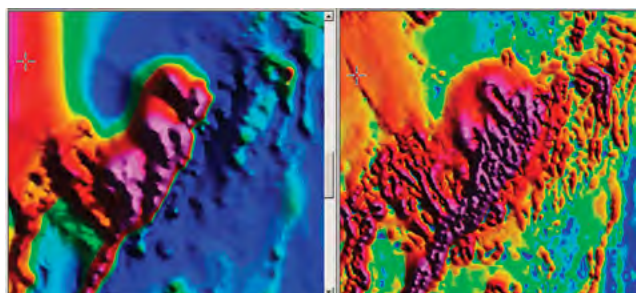


Рис. 4. Из материалов Geotech Ltd.: 1) карта полного вектора магнитной индукции (данные одного магнитного датчика системы VTEM), 2) карта измеренного полного горизонтального градиента магнитного поля (данные магнитного градиентометра системы VTEM)

нитометрических датчиков и развития средств позиционирования, как спутниковых, так и компактных гироскопических инклинометров, получило развитие высокоточное измерение градиентов магнитного поля, что значительно расширяет возможности и информативность магнитометрии в геологических и поисковых приложениях (рис. 4). Одним из примеров является прецизионный магнитный горизонтальный градиентометр, включенный в систему VTEM в качестве неотъемлемого компонента (рис. 3).

— установка гравиметра на борт воздушного судна произошла сравнительно недавно, во многом благодаря развитию средств позиционирования и навигации. В настоящее время аэрогравиметрические съемки выполняются как с самолетов, так и с вертолетов (рис. 5), по точности, соответствующей масштабу съемок от 1:50 000 и мельче. Стал развиваться метод аэрогравиметрической градиентометрии (full tensor gravity). По сравнению с традиционной гравиметрией (измерения поля силы тяжести) градиентометрия дает информацию о высокочастотной со-



Рис. 5. Аэрогравиметр в вертолете Lama (Geotech Ltd.)

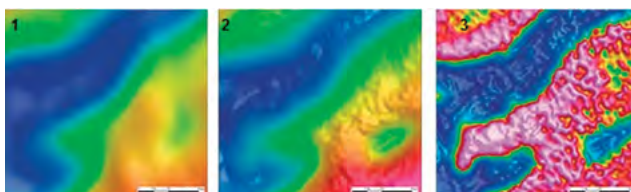


Рис. 6. Из материалов ARKeX, район Баренцева моря: 1) гравиметрическое поле, измеренное со спутника, 2) гравитационная съемка (Gz) и 3) гравиметрическая градиентометрия (Gzz)

ставляющей гравитационного поля, что значительно повышает разрешаемую способность при локализации источников аномалий (рис. 6). В наземном варианте метод не применим.

— аэрогеофизические методы относительно легко комплексуются, что значительно снижает стоимость совокупных съемок, повышает их информативность и дает возможность комплексной интерпретации данных. Например, электромагнитная съемка системой VTEM (Geotech Ltd.) включает высокоточную магнитную градиентометрию (рис. 3) и может включать спектрометрию одновременно; высокоточная самолетная магнитная градиентометрия с тремя разнесенными магнитными датчиками комплексирована со спектрометрией (рис. 7); совсем недавно проведена комплексная вертолетная съемка ZТЕМ-гравиметрия-магнитометрия в Южной Африке.



Рис. 7. Geotech самолет с тремя разнесенными магнитными датчиками и тремя спектрометрами на борту

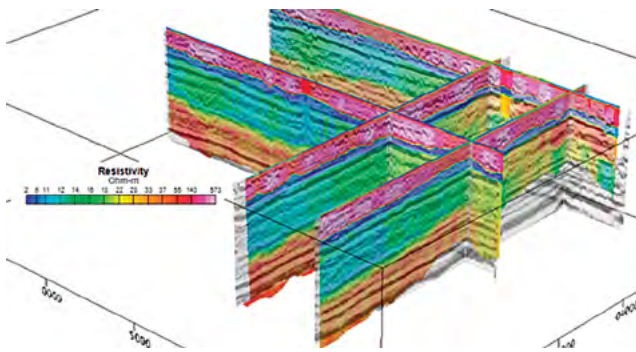


Рис. 8А. Инверсия VTEM-данных с целью получения детальных разрезов осадочного чехла (сопоставление с сейсмическими разрезами)

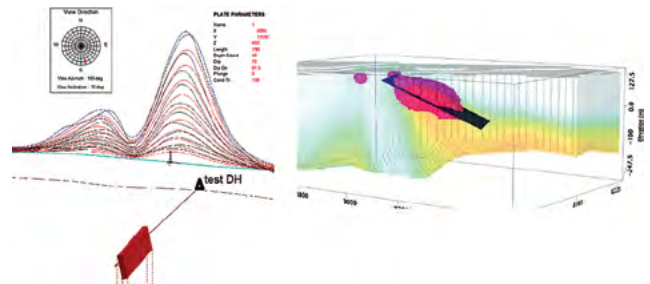


Рис. 8Б. Моделирование аномалиеобразующих объектов (VTEM)

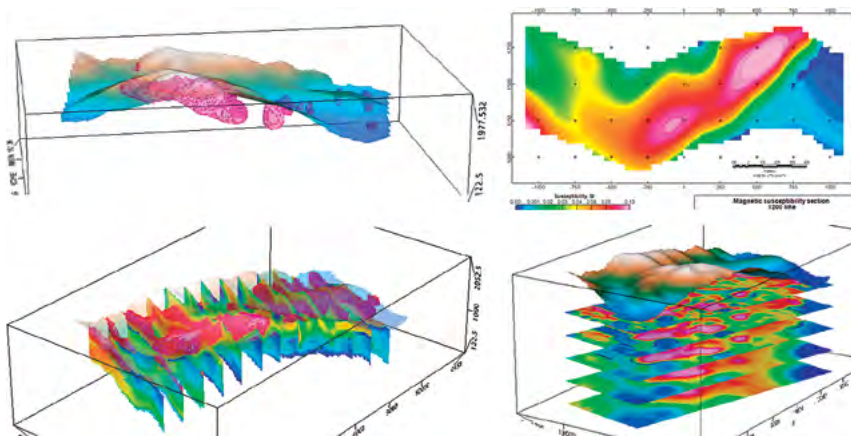


Рис. 8В. 3-мерная инверсия магнитного поля (по материалам Geotech Ltd.)

— методы интерпретации аэрогеофизических данных как в теории, так и в практической реализации в виде специализированного программного обеспечения значительно развились и стали неотъемлемой частью представления результатов аэрогеофизических съемок (рис. 8).

Новые и существенно более широкие возможности современных аэрогеофизических технологий приобретают важное значение как при исследованиях но-

вых, особенно труднодоступных территорий, так и при развитии минерально-сырьевой базы в известных рудных районах и их окрестностях с развитой инфраструктурой, где наличие новых месторождений наиболее экономически целесообразно и выгодно.

Например, специализированные аэрогеофизические съемки сыграли главную роль в недавнем открытии и опосковании нового рудного района на севере Онтарио (Канада) Ring of Fire, заключающего крупные месторождения хромитов, никеля, меди и металлов платиновой группы [10]. А в пределах таких старейших горнорудных

районов, как Sudbury, Red Lake, Abitibi, Flin-Flon, бассейнов Athabasca, с целью поисков новых месторождений на регулярной основе проводятся специализированные аэрогеофизические съемки, каждый раз с более совершенными технологиями.

Район зеленокаменного пояса Flin-Flon имеет более чем столетнюю горно-геологическую историю [5]. Из графика (рис. 9) следует, что в этом горно-рудном районе роль геофизических, включая аэрогеофизиче-

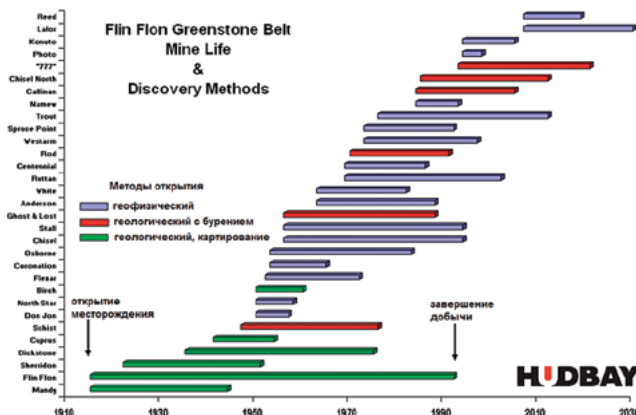


Рис. 9. Время функционирования месторождений и методы их открытия на зеленокаменном поясе Флин-Флон (Kelly Gilmore, Peter Wood, 2012)

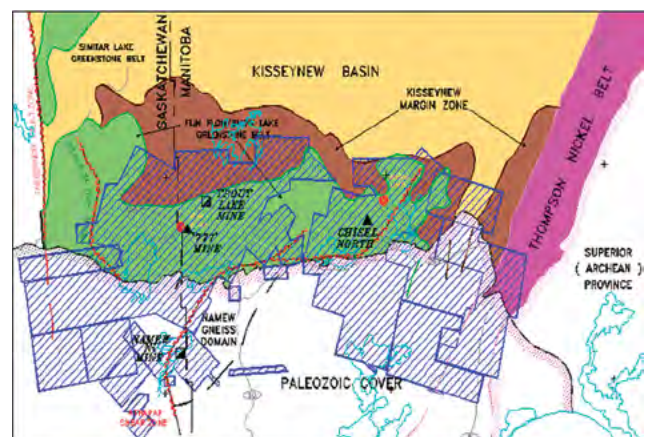


Рис. 10. Картограмма покрытия региона аэрогеофизическими съемками SPECTREM

ские, методов в открытии новых месторождений за последние полвека наиболее значительна.

На рис. 10 представлена картограмма покрытия региона аэрогеофизическими съемками в период 1993–2000 годов (самолетная электромагнитная система СПЕКТРЕМ), в результате которой открыто 6 значительных месторождений и более 20 рудопроявлений (золото, полиметаллы).

В период 2007–2012 годов на ограниченной части этой площади проведена вертолетная съемка VTEM (Geotech Ltd.), после которой появилось обоснование глубокого бурения (рис. 11) и последовали открытия ряда рудопроявлений и двух крупных месторождений.



Рис. 11. Глубина бурения на зеленокаменном поясе Флин-Флон за период 1950–2010 годы [Kelly Gilmore, Peter Wood, 2012]

На территории Восточного Казахстана на небольшой площади, окружающей известное месторождение полиметаллических руд, в районе с развитой инфраструктурой проведена VTEM-съемка (2015), в результате которой обнаружены еще пять перспективных объектов на разной глубине (рис. 12).

Как показывает мировой опыт последних лет, современные аэрогеофизические технологии являются

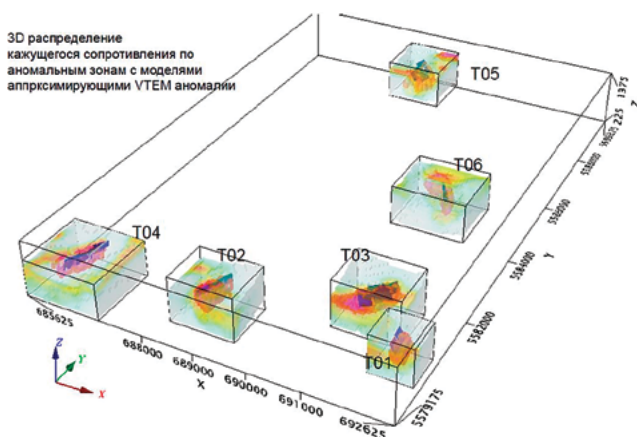


Рис. 12. Расположение аномалиеобразующих объектов (VTEM), включая известное месторождение. Восточный Казахстан

залогом самой быстрой активизации геологоразведочных работ, развития минерально-сырьевой базы районов, улучшения инвестиционного климата регионов и даже целых стран.

Последние разработки аэрогеофизических методов, включая электромагнитные методы VTEM и ZTEM, являются наиболее эффективными для поисков многих видов полезных ископаемых и в большинстве случаев не требуют последующих дополнительных наземных исследований для проектирования поискового бурения. 🌐

Список использованной литературы

1. Варенцов И. М., Куликов В. А., Яковлев А. Г., Яковлев Д. В. Возможности методов магнитотеллурики в задачах рудной геофизики. Физика Земли, 2013, № 3, с. 9–29.
2. Мишин Н. И., Степина З. А., Панфилов А. Л. Структурная организация рудных полей. СПб.: Полиграфическая фирма «Автор», Акционер и К, 2007. — 232 с.
3. 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.
4. Приходько А. Ю. Аэроэлектроразведка: возможности, состояние и перспективы. Разведка и охрана недр, № 12, 2005, с. 73–79.
5. Kelly Gilmore, Peter Wood (HUBBAY Minerals). The Future of Base Metal Exploration and Mining in Canada. Toronto Geological Discussion Group, November 8, 2012.
6. Juliane Hübert, Benjamin M. Lee, Lijuan Liu, Martyn J. Unsworth, Jeremy P. Richards, Bahman Abbassi, Li Zhen Cheng, Douglas W. Oldenburg, Jean M. Legault, Mark Rebagliati. 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. B1–B12.
7. A. Prikhodko, J. M. Legault, K. Kwan, T. Eadie, G. A. Oldenborger, V. Sapia, A. Viezzoli, E. Gloaguen, B. D. Smith, M. E. Best. Recent AEM case study examples using a Full Waveform time-domain system for near-surface applications. Short paper. 13th SAGA Biennial Conference and Exhibition, 2013.
8. K. Kwan, A. Prikhodko, J. Legault, G. Plastow, J. Xie, K. Fisk. Airborne Inductive Induced Polarization Chargeability Mapping of VTEM Data. ASEG-PESA 2015. 24th International Geophysical Conference and Exhibition, Perth, W. Australia.
9. K. Witherly, D. Sattel. The application of ZTEM to porphyry copper-gold exploration. 22nd International Geophysical Conference and Exhibition, 26–29 February 2012 — Brisbane, Australia.
10. Stephen J. Balch, James E. Mungall, and Jeremy Niemi. Present and Future Geophysical Methods for Ni-Cu-PGE Exploration: Lessons from McFaulds Lake, Northern Ontario. 2010 Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 15, Chapter 29, pp. 559–572.
11. Smith B., Cannia J., Abraham Jared D., ROSENBERRY, Donald O., PRIKHODKO A., BEDROSIAN, Paul A., HYDROLOGIC IMPLICATIONS FROM AIRBORNE RESISTIVITY MAPPING OF THE SAND HILLS OF WESTERN NEBRASKA. 2012 GSA annual meeting & exploration, 4–7 November, North Carolina, USA.
12. T. Eadie, A. Prikhodko, C. Izzarra Filling in the Gaps: Near-surface resistivity mapping using HTEM. Geo Convention, 2016, Calgary.