Возможности аэрогеофизики при поисках месторождений цветных и благородных металлов

Е.В. Каршаков[1], В.М. Керцман[2], Е.В. Мойланен[1], Ю.Г. Подмогов[3]
[1] ИПУ РАН, moilanen@mail.ru
[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, natagm@bk.ru
[3]ООО «Геотехнологии», info@geotechnologies-rus.com

Аннотация

Описаны возможности современной аэрогеофизики при поисках месторождений цветных и благородных металлов. Показано, как параллельное использование каналов электроразведки, магнитометрии и гамма-спектрометрии повышает эффективность аэрогеофизических исследований при поисках рудных месторождений. Приводятся результаты применения аэрогеофизики при поисково-съемочных работах в районе Центрально-Африканского разлома, детальных исследованиях золоторудных и меденосных месторождений Восточной Сибири.
Ключевые слова: аэрогеофизика, электроразведка, магниторазведка, гамма-спектрометрия.

Введение

Проблема повышения эффективности поисков рудных месторождений, как в пределах известных рудных районов, так и на новых перспективных площадях весьма актуальна. Важную роль при этом играют аэрогеофизические методы, отличительной особенностью которых являются высокая мобильность и производительность, возможность опоискования закрытых площадей, равномерность изучения больших территорий (Kaufman et al., 2014). Постараемся показать, как использование современных аэрогеофизических технологий вместе с традиционными наземными исследованиями позволяет резко повысить эффективность поисков рудных месторождений.

Практические результаты работ. Центрально-Африканский разлом

На рисунке 6 показаны возможности аэрогеофизического комплекса по картированию и классификации гранитных интрузий по результатам работ масштаба 1:50 000 (Podmogov et al., 2019). По результатам аэродетализации масштаба 1:10 000 приводятся примеры детального картирования линейных рудо перспективных зон. На рисунке 1 приведен пример картирования линейных зон повышенной намагниченности. Наибольший интерес представляют линейные зоны максимально высоких сопротивлений (вероятно кварцевые жилы) симметрично расположенные на крыльях складки, они сопровождаются зонами низких сопротивлений (рис. 2) и повышенными концентрациями калия (рис. 3) и тория (рис. 4) (Grasty and Minty, 1995, Бабаянц и др., 2015). Положительно намагниченные объекты с пониженными сопротивлениями вероятно связаны с межпластовыми интрузиями основных пород, а понижение сопротивлений связано с зонами сульфидизации, либо с графитизированными отложениями. Результаты интерпретации данных, наложенные на геологическую основу, представлены на рисунке 5.

Урях

Уряхский рудный узел, приуроченный к зоне регионального Сюльбанского разлома. Эта зона включает ряд известных месторождений и рудопроявлений золота. Всего в пределах площади выполненных исследований выделяются три типа перспективных участков (рис. 7):

1. Участки в пределах Усть-Келянской толщи с асинхронным (пестрым) поведением в сочетании концентраций радиоактивных элементов, которые можно связать с активными метасоматическими процессами (показаны фиолетовым контуром и штриховкой на картах).
2. Участки с аномально низкими сопротивлениями могут быть связаны с зонами активной сульфидизации и (или) графитизации.
3. Участки с линейно вытянутыми магнитоактивными зонами могут быть представлены основными породами или березитами с которыми связана зона активных вторичных изменений.

Карты кажущихся сопротивлений, вычисленных для схожих частотных каналов аэроэлектроразведки и наземной системы АМТЗ (рис. 7, нижние рисунки), хорошо согласуются.

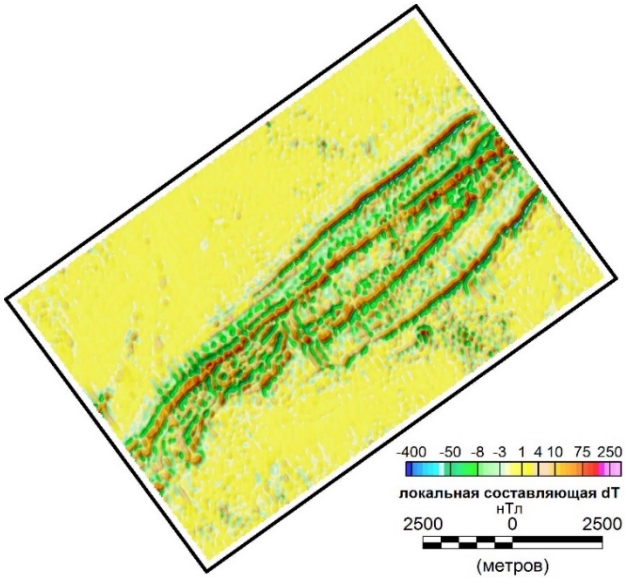


Рисунок 1. Карта локальной составляющей аномального магнитного поля, республика Руанда, 2017 г.

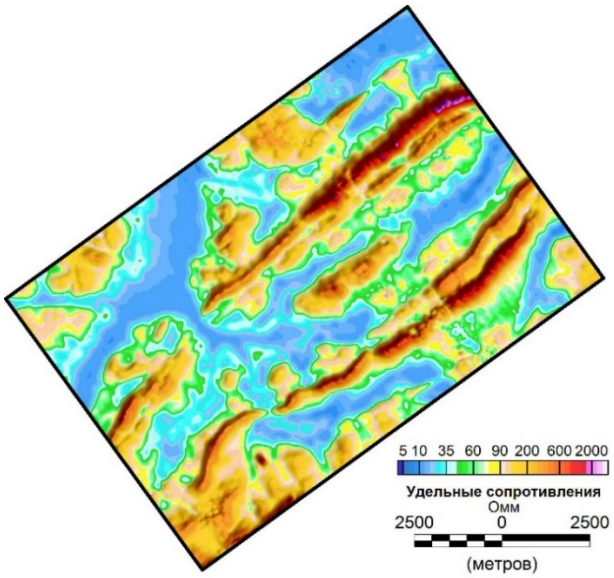


Рисунок 2. Карта кажущихся сопротивлений для интервала 0-200 м, республика Руанда, 2017 г.

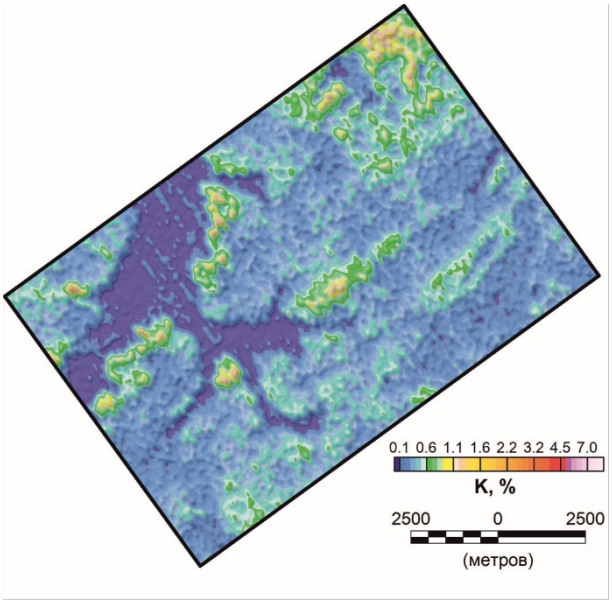


Рисунок 3. Карта концентраций калия, республика Руанда, 2017 г.

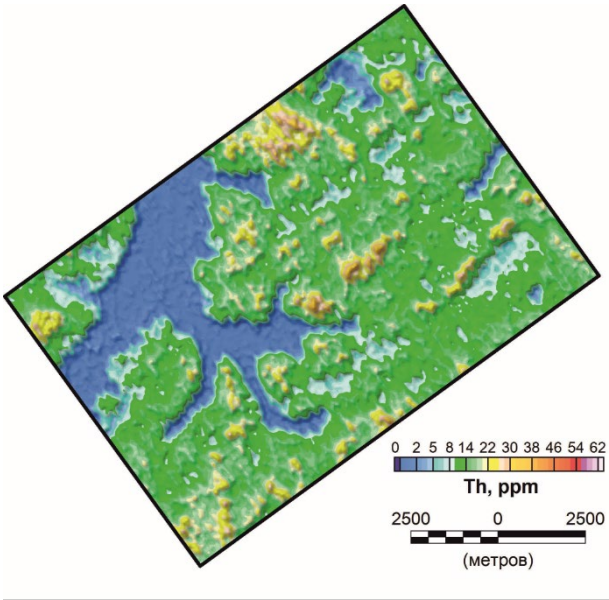


Рисунок 4. Карта концентраций тория, республика Руанда, 2017 г.

Рисунок 5. Результат комплексной интерпретации аэрогеофизических данных.

Сухой Лог

Следующий пример — месторождение Сухой Лог в Иркутской области. Наиболее информативными, с точки зрения картирования перспективно рудоносных черносланцевых отложений оказались геоэлектрические разрезы, полученные в результате массовой 1-D инверсии аэроэлектроразведочных данных. Распределение удельных сопротивлений среды как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях хорошо согласуются с имеющейся геологической информацией, данными бурения и каротажа скважин (рис. 8).

Черносланцевые углефицированные отложения достаточно контрастны по сопротивлениям (2–80 Ом·м) на фоне 800–3 000 Ом·м характерным для вмещающих пород. Обращает на себя внимание, что большинство выделенных отложений-проводников не имеет выхода на дневную поверхность.

Распределение сопротивлений внутри черносланцевой толщи с достаточной вероятностью может связываться со степенью их сульфидной минерализации и, как следствие, с содержаниями рудных минералов. Об этом свидетельствует хорошее совпадение минерализованной зоны, выделенной по геологическим данным, с областью минимальных значений сопротивлений на геоэлектрических разрезах, построенных по данным бурения (рис. 8, показано черными кривыми на центральном рисунке). Сопоставление геоэлектрических разрезов, построенных по данным аэроэлектроразведки, с данными электрокаротажа по результатам бурения. говорит о достоверности определения границ проводников и их сопротивлений.

Следует отметить, что низкие сопротивления типичны для зон вторичных приконтактных изменений, связанных с сульфидизацией и графитизацией (Becker et al., 1987, Приходько, 2006).

Следующий пример – медное месторождение в Забайкальском крае. Структурное положение похоже на Удоканское месторождение (Куликов, 2015), расположенное неподалеку. Плановое положение проводников на участке часто не совпадает с гидросетью (рис. 9). Проводники находятся на склонах и водоразделах, что необычно для низкоомных пород.

Максимально низкоомным зонам на карте сопротивлений и на геоэлектрических разрезах соответствуют проводники, не выходящие на поверхность. Предполагаемая глубина объектов 20-50 м. Радиоактивность-фоновая. Проводящая зона северо-западного простирания прерывает основное направление распространение (СВ-ЮЗ) магнитоактивных тел. Оценка глубины верхней кромки магнитоактивных тел участка составляет 160-200 м.

Выводы

Аэрогеофизические исследования по сравнению с наземной геофизикой обеспечивают более высокую производительность, стабильно-равномерные условия измерений, более детальный шаг исследований вдоль линии профиля. Современная навигация позволяет выполнять аэросъемку с межмаршрутным расстоянием 50 м (масштаб 1:5 000). Аэроэлектроразведочные зондирования позволяют изучить геоэлектрическое строение вплоть до глубины 400 м. При измерениях магнитного поля высотой полета надежно

фильтруются источники приповерхностных помех, что существенным образом повышает соотношение сигнал/помеха. Затухание поля с высотой компенсируется чувствительностью датчика и высокой точностью измерений магнитометра.

Благодарности

Авторы выражают глубочайшую признательность компаниям Нгали Холдингс, Нордголд, Полюс за возможность публикации материалов, В.А. Куликову за ценные советы и рекомендации.

Литература

Бабаянц, П.С., Керцман, В.М., Лёвин, Ф.Д., Трусов, А.А., 2015. Особенности современной аэрогамма-спектрометрии: Разведка и охрана недр, 12, 10-16.

Кузьмицкая, Л.Ю., 2018, Применение метода аудиомагнитотеллурического зондирования при поисках коренных месторождений золота в черносланцевых толщах (Сухоложское, Уряхское и Олбот-Верхне Хатыннахское рудные поля): выпускная работа, СПбГУ, 97 с.

Куликов, В.А., 2015, Электроразведочные технологии на этапах поиска и оценки рудных месторождений: докторская диссертация, М., 237 с.

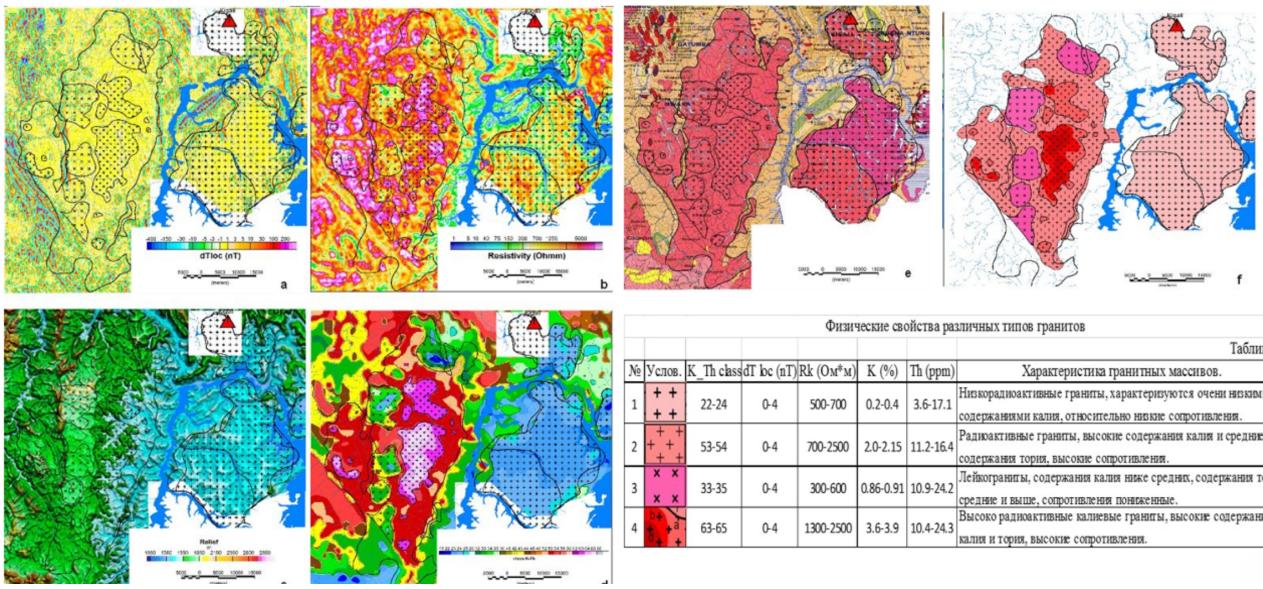
Приходько, А.Ю., 2006. Условия формирования золоторудных месторождений по геофизическим данным: Геофизические исследования на твердые полезные ископаемые, тезисы докладов Международной геофизической конференции. – СПб., 2–6 октября 2006. – СПб.: ООО «Издательство Welcome», 284–285.

Becker A., Barringer A.R., Annan A.P., 1987. Airborne electromagnetics 1978---1988, in Developments and Application of Modern Airborne Electromagnetic Surveys, D.V. Fitterman (ed.). United States Geological Survey Bulletin, 1925, 9-20.

Grasty, R.L., Minty B.R.S., 1995, A guide to the technical specifications for airborne gamma-ray surveys: Australian Geological Survey Organisation, Canberra, 90 p.

Kaufman A.A., Alekseev D.A., Oristaglio M., 2014. Principles of Electromagnetic Methods in Surface Geophysics. Methods in Geochemistry and Geophysics, Elsevier, 45, 469 p.

Podmogov, Yu.G., Moilanen, J., Kertsman, V.M., 2019. Results of the Complex Airborne Geophysical Survey in the Central African Ridge Area / Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Cham, Switzerland: Springer, p. 387-394.



Физические свойства различных типов гранитов

Таблица 1

№	Услов.	K_Th class	dT loc (nT)	Rk (Ом*м)	K (%)	Th (ppm)	Характеристика гранитных массивов.
1	+ + + +	22-24	0-4	500-700	0.2-0.4	3.6-17.1	Низкорадиоактивные граниты, характеризуются очени низкими содержаниями калия, относительно низкие сопротивления.
2	+ + + + + +	53-54	0-4	700-2500	2.0-2.15	11.2-16.4	Радиоактивные граниты, высокие содержания калия и средние содержания тория, высокие сопротивления.
3	× × × ×	33-35	0-4	300-600	0.86-0.91	10.9-24.2	Лейкограниты, содержания калия ниже средних, содержания тория средние и выше, сопротивления пониженные.
4	+ + + + + +	63-65	0-4	1300-2500	3.6-3.9	10.4-24.3	Высоко радиоактивные калиевые граниты, высокие содержания калия и тория, высокие сопротивления.

Рисунок 6. Картирование гранитных интрузий и их классификация по физическим характеристикам.

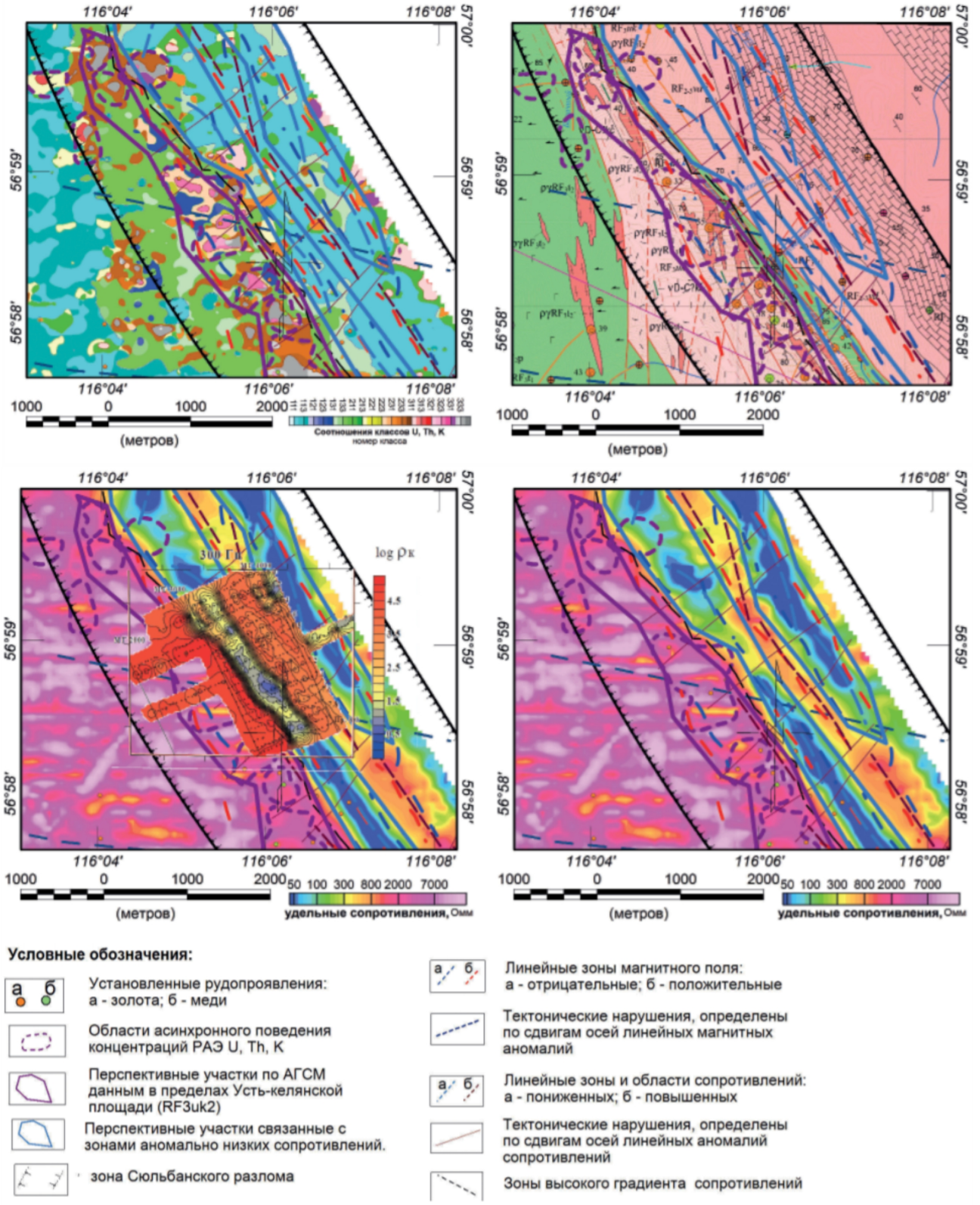


Рисунок 7. Участок Урях. Карты соотношений классов урана, тория, калия (сверху слева), геологическая схема (сверху справа), сопоставление карт кажущихся сопротивлений канала 300 Гц наземных работ АМТЗ (Кузьмицкая, 2018) (слева снизу) и для частотного канала 230 Гц аэроэлектроразведочной системы (снизу справа).

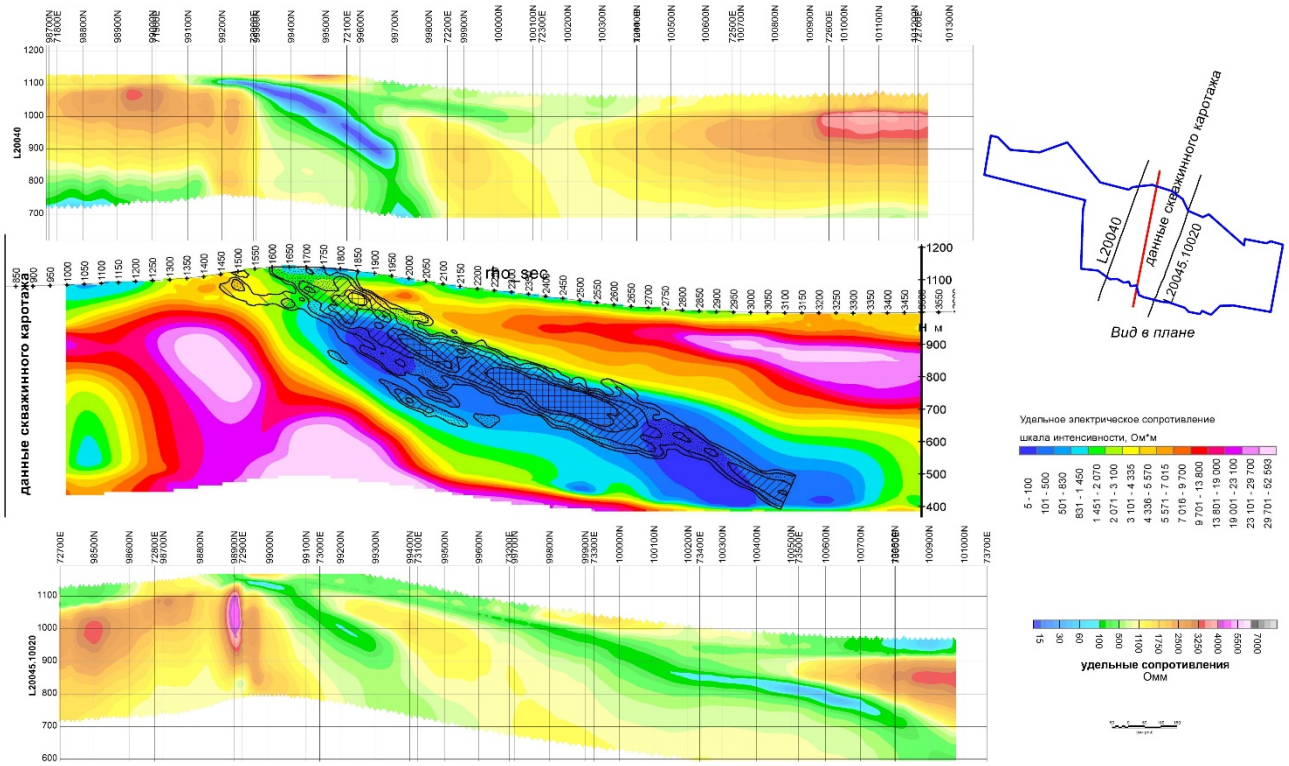


Рисунок 8. Геоэлектрические разрезы месторождения Сухой Лог, построенные по данным скважинного каротажа (в центре) и аэроэлектроразведки (совместное использование и частотных, и временных данных).

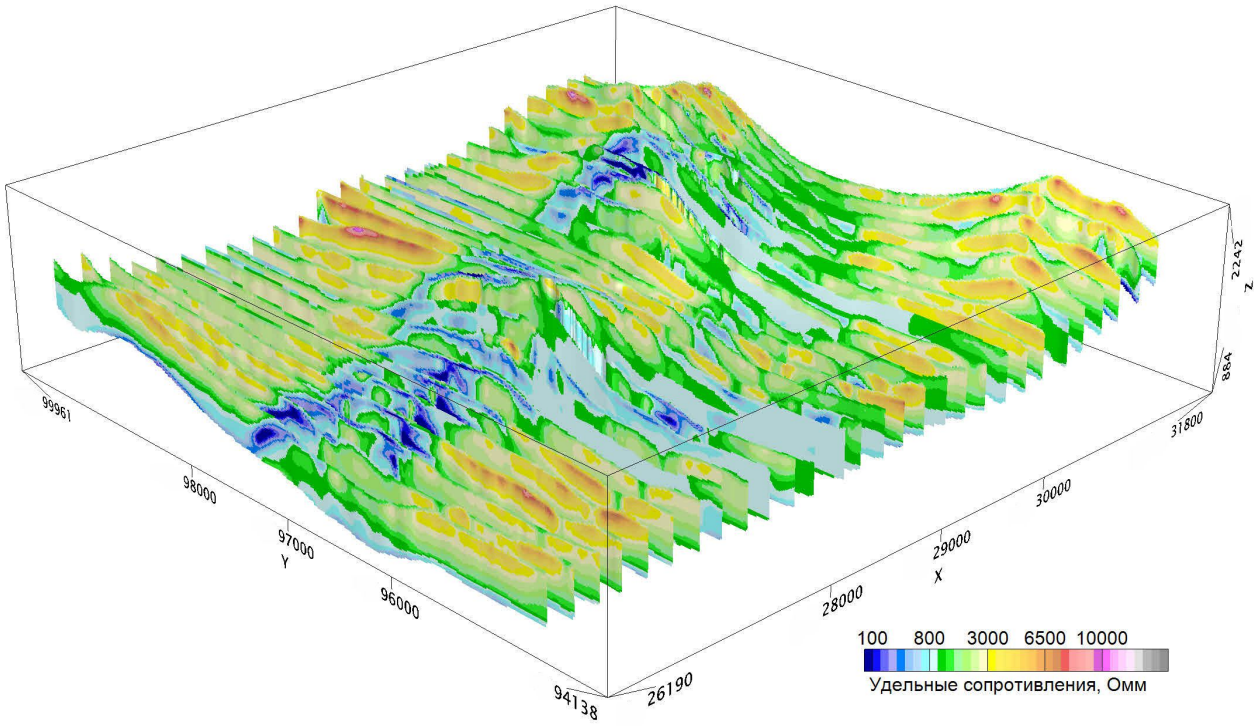


Рисунок 9. Схема геоэлектрических разрезов медного месторождения в Забайкальском крае. По оси z — высота над уровнем моря, м.