

Электротомография при разведке флангов золотосульфидных месторождений



В. В. Оленченко,
вед. науч. сотр., зав.лаб.
геоэлектрики, к.г.-м.н.,
доцент
Институт нефтегазовой
геологии и геофизики СО РАН
(OlenchenkoVV@yandex.ru)



А. С. Калганов,
ст. преподаватель, кафедра
прикладной геологии и
технологии геологической
разведки, Забайкальский гос.
университет
(gravegro@yandex.ru)

Электроразведка различными модификациями метода *вызванной поляризации* (ВП) является основным видом работ при поисках и разведке рудных месторождений [Комаров, 1980; Коробейников, 2009]. Это связано с контрастными электрофизическими свойствами рудных минералов по отношению к вмещающим породам. Как правило, сульфиды и некоторые оксиды обладают низким удельным электрическим сопротивлением ($УЭС, \rho$) и высокой поляризуемостью (η), что позволяет однозначно выделять рудные тела по аномалиям низкого $УЭС$ и высокой поляризуемости.

В прошлом столетии основными методами электроразведки на руду были метод срединного градиента (СГ-ВП), симметричного или комбинированного электропрофилирования (СЭП-ВП, КЭП-ВП), вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ-ВП). По данным электропрофилирования строились карты *кажущихся параметров* ρ_k и η_k , которые отражают распределение этих величин на некоторой эффективной глубине. Данные зондирования ВЭЗ-ВП интерпретировались в рамках одномерной горизонтально-слоистой модели среды, которая в реальности таковой не является, что вносило существенные, а иногда критичные ошибки в результаты определения мощности, сопротивления и поляризуемости слоев.

В настоящее время в практику электроразведочных исследований вошел **метод электротомографии с измерением вызванной поляризации** [Бобачев, 2006; Татьков, 2014; Оленченко, 2018; Anthony, 2017; Bery, 2012]. И хотя в основе метода лежат вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ), принципы обработки и интерпретации данных коренным образом отличаются от метода ВЭЗ. Главное отличие заключается в автоматической инверсии в рамках двумерной (2D) или (3D) трехмерной модели среды. Двумерная инверсия выполняется для профильных данных, в предположении, что геологическая среда аппроксимируется двумерным строением, то есть слабо меняется по простиранию. Трехмерная инверсия проводится по результатам площадных исследований и позволяет изучать среды со сложным геологическим строением с локальными неоднородностями, например месторождения 3 и 4 группы сложности геологического строения.

Нами проведены исследования на флангах двух золоторудных месторождений, отличающихся по геолого-генетическому типу.

Первое месторождение относится к малосульфидному золотокварцевому жильному типу [Корольков, 2007]. Оно расположено в Восточных Саянах в горной местности с абсолютными

отметками высот 2300–2500 м, в зоне распространения многолетнемерзлых пород до глубины 200 м. Мощность перекрывающих рыхлых отложений незначительна, за исключением осыпей. Золотоносные кварцевые жилы залегают преимущественно среди гнейсо-гранитов и приурочены к зонам расланцевания и милонитизации по

тектоническим нарушениям. Основными структурными элементами месторождения являются крутопадающие ($60-70^\circ$) тектонические зоны северо-западного простирания (рудная зона №1 и 2). Породы в рудной зоне №1 интенсивно катаклазированы, расланцованы, милонитизированы и подвергнуты вторичным гидротермальным изменениям. Общая глубина разведанности месторождения составляет 180 м. Сульфидная минерализация в основном представлена пиритом (5–10%), реже встречаются галенит, сфалерит, пирротин, видимое золото.

При измерениях применялась аппаратура «Скала-64», разработанная в институте нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН и выпускаемая серийно фирмой ООО «Конструкторское бюро электротометрии» (Россия). В этой электроразведочной станции 16 измерительных каналов опрашивают 64 электрода, расстояние между электродами составляло 10 м. Измерения выполнялись по сети субпараллельных профилей. Семь профилей длиной по 950 м и три профиля по 630 м. Последовательность подключения электродов соответствовала прямой и встречной трехэлектродным установкам. Электрод С выносился в «бесконечность» на расстояние 2 км от профиля наблюдений. Максимальное расстояние между питающим электродом "А" и центром приемной линии "MN" составило 550 м, что обеспечило глубинность исследований до 200 м. В режиме измерения вызванной поляризации длительность импульса зарядки среды составляла 100 мс, длительность паузы — 160 мс. Поляризуемость (m) среды оценивалась по параметру «заряжаемости» — интегральной характеристике, представляющей собой площадь под кривым спадом вызванной поляризации (ВП) в диапазоне времени 20–180 мс.

Интерпретационными критериями для выделения на картах и разрезах УЭС зон катаклаза и милонитизации является их низкое УЭС по

сравнению с вмещающей толщей. Чем выше степень дробления породы, тем ниже УЭС субстрата. Таким образом, УЭС зоны милонитизации ниже, чем зоны катаклаза. Индикатором присутствия в зонах дробления неокисленных сульфидов является повышенная их поляризуемость. При этом в первом приближении интенсивность поляризуемости возрастает при увеличении объемного содержания сульфидов.

На рис. 1 показана объемная геоэлектрическая модель распределения УЭС и поляризуемости. В модели УЭС изоповерхностью $7 \text{ кОм}\cdot\text{м}$ выделены зоны пониженного УЭС. Области с меньшим сопротивлением полупрозрачные. В модели поляризуемости показаны области со значениями m более 20 мВ/В . Они пространственно совпадают с участками пониженного сопротивления. Известная рудная зона №1 выделяется линейной крутопадающей проводящей структурой с повышенной поляризуемостью. Зона №2 отмечается нечеткой областью пониженного УЭС со слабой поляризуемостью. К юго-западу от зоны №1 выделяется мощная (80–100 м) крутопадающая зона низких УЭС, сопровождающаяся высокой поляризуемостью. Такой набор геофизических признаков говорит о высокой перспективности выделенной структуры на золотое оруденение.

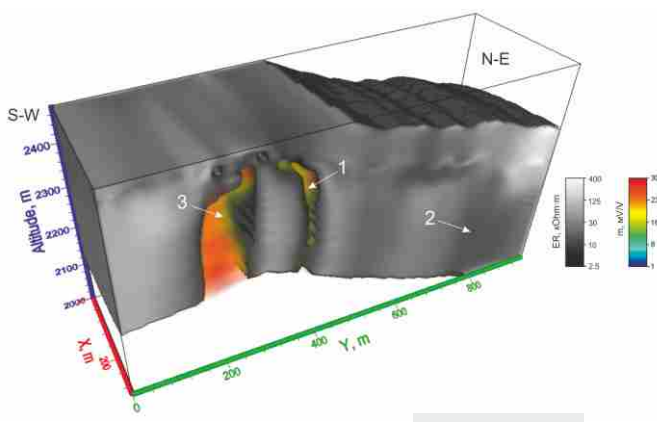


Рис. 1. Объемное распределение УЭС и поляризуемости:

- 1 — известная рудная зона №1;
- 2 — известная рудная зона №2;
- 3 — неизвестная ранее рудная зона

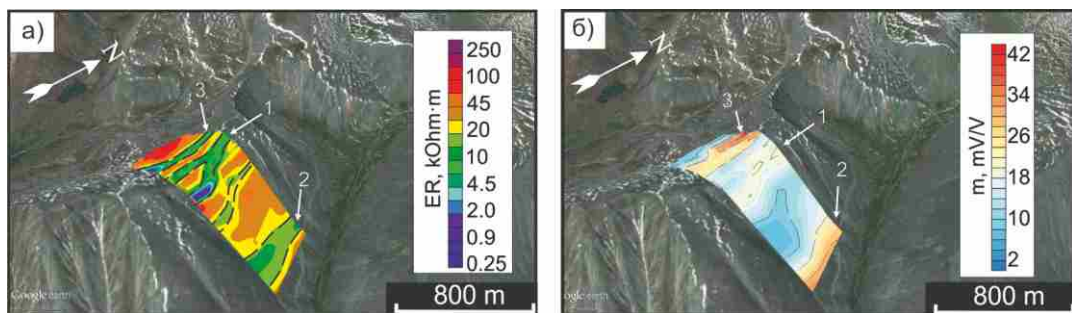


Рис. 2. Карты распределения УЭС и поляризуемости на глубине 100 м:

1 — известная рудная зона №1; 2 — известная рудная зона №2; 3 — неизвестная ранее рудная зона

На рис. 2 приведены срезы объемной геоэлектрической модели в виде карт УЭС и поляризуемости пород на глубине 100 м, наложенных на рельеф местности. Подробное представление данных позволяет увидеть особенности строения рудных зон в плане с учетом рельефа местности и спланировать разведочное бурение. Известные рудные зоны и их апофизы прослеживаются на картах распределения УЭС линейными зонами пониженного и низкого УЭС, к краевым частям которых (*зальбандам*) приурочены аномалии поляризуемости, вызванные сульфидизацией.

Проведенные исследования показали, что электротомография с измерением вызванной поляризации позволяет эффективно выделять рудоконтролирующие структуры в геологических условиях Восточных Саян, несмотря на сложность рельефа, трудоемкость заземлений и многолетне-мерзлое состояние пород. Известные рудные зоны картируются по линейным геоэлектрическим аномалиям пониженного УЭС с повышенной поляризуемостью. По этому же набору интерпретационных критериев выделена неизвестная ранее перспективная рудоконтролирующая структура.

Второе месторождение расположено в Бодайбинском золотоносном районе и относится к золотосульфидно-вкрапленно-прожилковому типу в черносланцевых комплексах. Рудная зона месторождения локализуется в

нижней подсвите хомолхинской свиты (PR_3hm_1), сложенной филлитами, углисто-серицит-кварцевыми сланцами с маломощными редкими прослоями известняков и наложенной железисто-карбонатной минерализацией, окварцеванием и сульфидизацией. Ближняя к участку геофизических работ зона имеет общее субширотное простирание с падением на север под углом 5–10, мощность ее неравномерная с постепенным увеличением на восток от 8 до 25 м, с выклиниванием по падению. Структурный фактор в локализации рудной зоны проявляется наиболее интенсивным развитием кливажа, зон брекчирования. В целом зона пластообразная, средняя мощность — 60–90 м. Рудная зона не имеет четких границ с вмещающими породами и определяется визуально по количественному соотношению кварца и сульфидов.

Геофизические исследования методом электротомографии с измерением вызванной поляризации проведены на восточных флангах известной рудной зоны с целью структурно-геологического картирования и оценки потенциальной рудоносности флангов.

Исследования выполнены по сети из 6 профилей длиной по 950 м, расположенных на расстоянии 100 м друг от друга. Шаг измерений по профилю составлял 10 м. В качестве аппаратуры применялась электроразведочная станция «Скала-64». Последовательность подключения электродов соответствовала прямой и встречной трехэлектродным установкам.

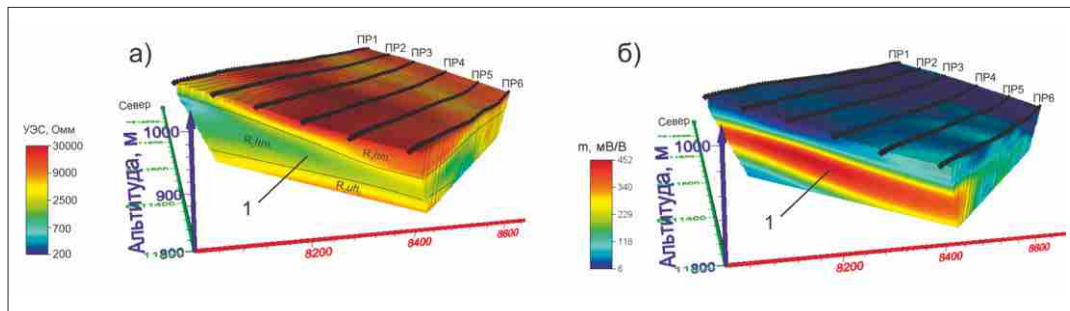


Рис. 3. Объемные модели УЭС (а) и поляризуемости (б) восточных флангов месторождения:
1 — сульфидизированная подсвита хомолхинской свиты

На рис. 3 показана объемная модель распределения УЭС и поляризуемости восточных флангов месторождения.

Как видно из рис. 3, верхняя часть разреза обладает очень высоким УЭС, достигающим несколько десятков тысяч Ом·м. Эти породы представлены переслаиванием филлитов и кварцевых песчаников (20–25%). При этом в верхней части подсвиты увеличивается мощность и объем грубозернистых пород, чем и объясняется высокое УЭС (помимо криогенного фактора). Нижняя часть этого горизонта насыщена сульфидами, что приводит к уменьшению УЭС пород.

Породы первого горизонта нижней подсвиты хомолхинской свиты ($R_3hm_1^1$) имеют низкое УЭС. Хорошо заметно, что горизонты пород, выделяемые низким УЭС, отмечаются аномально высокой поляризуемостью (рис. 3, б) из-за сульфидной минерализации. В основании разреза выделяются высокоомные известняки угаханской свиты (R_3uh_2).

Характер распределения электрического сопротивления в объемной модели согласуется с представлениями о геологических структурах на юго-восточных флангах. Пологое падение пород на восток, северо-восток выражается в плавном погружении опорных электрических горизонтов.

На рис. 4 показаны карты распределения УЭС и поляризуемости на глубине 50 м. Среди пород очень высокого УЭС выделяются линейные зоны пониженного (менее 1000 Ом·м)

электросопротивления. Эти линейные аномалии электропроводности сопровождаются высокой поляризуемостью, что дает основание интерпретировать такие зоны как пачки пород, богатых сульфидной минерализацией. Выходы таких сульфидизированных пачек ближе к поверхности отмечаются в юго-западной части участка исследований. К северо-востоку сульфидизированные слои погружаются на глубину.

Длинные оси аномалий на планах УЭС и ВП хорошо совпадают с ориентировкой слоистости и кливажа в канавах. Важно заметить, что кливаж на этом месторождении является признаком рудоносности.

Таким образом, по результатам площадных исследований, на юго-восточных флангах месторождения подтверждена эффективность технологии электротомографии для структурно-геологического картирования до глубин 100–150 м. Породы первого и второго горизонтов хомолхинской свиты с интенсивной сульфидной минерализацией выделяются в трехмерной геоэлектрической модели поляризующимся слоем с низким УЭС. В основании модели отмечаются высокоомные известняки угаханской свиты. В южной части участка исследований на глубине 50 м полосовыми аномалиями поляризуемости выделяются выходы пачек сульфидизированных пород, которые погружаются на восток-северо-восток. Предполагается, что на контактах этих пачек пород происходила сорбция золота.

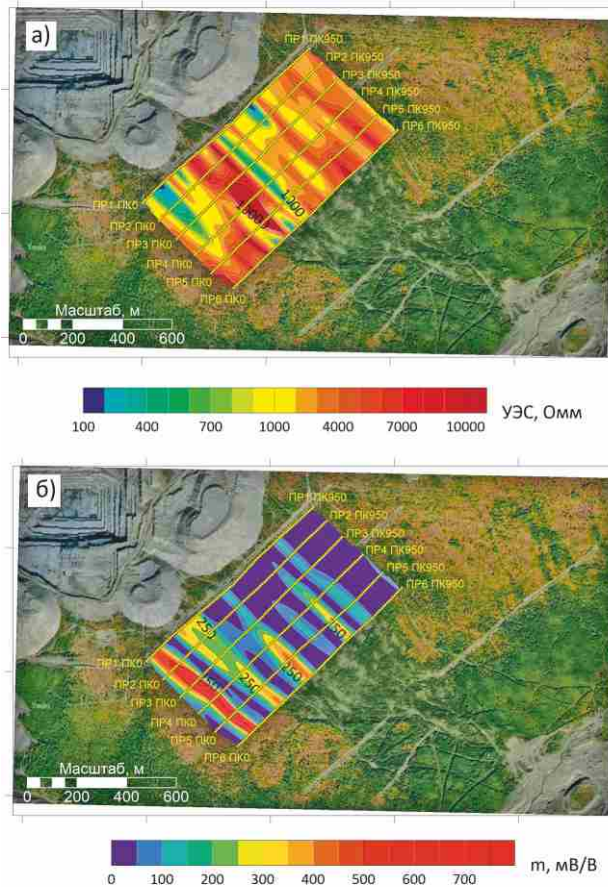
Рис. 4. Карты распределения УЭС (а) и поляризуемости (б) на глубине 50 м

ВЫВОДЫ

Метод электротомографии показал высокую эффективность при разведке флангов золотосульфидных месторождений в разных геолого-геофизических условиях.

Метод отличается хорошей пространственной разрешающей способностью и геологической информативностью по сравнению с применяемыми ранее методами зондирования и профилирования.

Обязательным условием для получения лучшего результата является проведение площадных зондирований по регулярной сети наблюдений и построение объемной геоэлектрической модели участка работ.



Литература

1. Бобачёв А. А., Горбунов А. А., Модин И. Н., Шевнин В. А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2006. — Т.2. — С.14–17.
2. Татьков И.Г., Татьков Г.И., Бадерин А.М., Ковбасов К.В. Результаты электротомографии при поисках рудного золота в условиях криолитогенеза и альпийского рельефа Северного Прибайкалья // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 1. — С. 32–38.
3. Комаров В. А. 1980, Электроразведка методом вызванной поляризации: Л., Недра. — 1980.
4. Коробейников А.Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых. Учебник для вузов. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. — 253 с.
5. Корольков А. Т. Геодинамика золоторудных районов юга Восточной Сибири / А. Т. Корольков. — Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. — 251 с.
6. Оленченко В. В., Шейн А. Н., Калганов А. С. Электротомография флангов кварц-золотосульфидного месторождения: опыт применения в Восточных Саянах (Россия) // Engineering and Mining Geophysics 2018. — 2018.
7. Anthony R. A. Evaluation of Iron Ore Deposits in Elayiram Pannai, Sattur Taluk, Virudhunagar District and Tamilnadu using 2D Electrical Resistivity Imaging // Journal of Applied Sciences and Environmental Management. — 2012. — Т. 16. — №. 2. — С. 171–173.
8. Bery A. A. et al. Electrical resistivity and induced polarization data correlation with conductivity for iron ore exploration // The Electronic Journal of Geotechnical Engineering. — 2012. — Т. 17. — С. 3223–3233 ■