

излучателем и количественным контролем параметров измерительной установки. На представленной объемной карте проведена уверенная геологическая увязка рудных подсечений и выявлены все важные структурные и морфологические особенности строения залежи, необходимые для подсчета запасов месторождения.

In the paper I discuss the first practical experience of resistivity map creating of whole mineral field resulted from 3D inversion of crosswell radiowave tomography data obtained during measurements in wide spaced wells. The characters of new radiowave system RVGI-07 with controlled transmitter are submitted. The reliable correlation of borehole ore intersections and important morphological and tectonic features of the mineral field were obtained by means of the 3D resistivity map.

Сульфидные месторождения в древних породах обычно имеют чрезвычайно сложное строение. Нормы геологической разведки для оценки запасов требуют использования очень густой сети разведочного бурения. В рудной геофизике 1960–1980-х годов был хорошо известен метод радиоволнового просвечивания, который широко применялся при поисках и разведке рудных месторождений [1, 3]. Упрощенный лучевой алгоритм позволял получать результаты только в двухмерном варианте. С 1993 г. в ООО «Радионда LTD» разрабатывается новая аппаратура и методика [4], позволяющие провести трехмерную обработку данных [6]. В данной статье, по сути, описывается первый опыт построения объемной геоэлектрической карты целого месторождения.

Золотомедное месторождение Лобаш-1 относится к гидротермально-магматическим штокверковым месторождениям и парагенетически связано с проявлением гранитного интрузивного магматизма в пределах Восточной-Карельской формационной зоны (архей-протерозойский возраст). Месторождение является частью кварцеворудного штокверка зонального строения, приуроченного к гранитной интрузии, находящейся на глубине 500–600 м. Месторождение локализуется в толще зеленокаменных вулканогенных пород.

В пределах месторождения выделяются несколько продуктивно минерализованных (сульфидизированных) пластов субгоризонтального или полого моноклиналиного залегания, прослеживающихся по простиранию до 0,7–1 км, по падению 0,5 км, при мощности каждой 25–35 м. Продуктивные зоны сульфидно-кварцевой минерализации заключают в объеме многочисленные небольшие локальные золоторудные скопления и тела, приуроченные к интенсивно гидротермально-метасоматически проработанным участкам рудовмещающей толщи метавулканитов. Глубины рудных подсечений колеблются от 50 до 250 м. Площадь месторождения составляет порядка 1 км².

Месторождение разбурено вертикальными скважинами, глубиной до 320 м. Расстояния между скважинами в профиле 80 м, расстояние между профилями 80 м. В скважинах проведены измерения комплексом каротажа, а также проведены межскважинные измерения радиоволнового просвечивания.

Метод РВГИ (радиоволновая геоинтроскопия — современная модификация радиоволнового просвечивания) основан на зависимости интенсивности поглощения энергии радиоволн от электрических характеристик пород, расположенных на трассе распространения волны [3]. Физико-гео-

© Кузнецов Н.М., 2008

Кузнецов Н.М. (ООО «Радионда LTD»)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОВОЛНОВОЙ ГЕОИНТРОСКОПИИ МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ РАЗВЕДКИ ЗОЛОТОМЕДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В статье рассматривается первый практический результат построения объемной геоэлектрической карты рудного месторождения по данным радиоволновых исследований межскважинного пространства при относительно редкой сети скважин. Приведены характеристики новой радиоволновой аппаратуры РВГИ-07 с управляемым скважинным

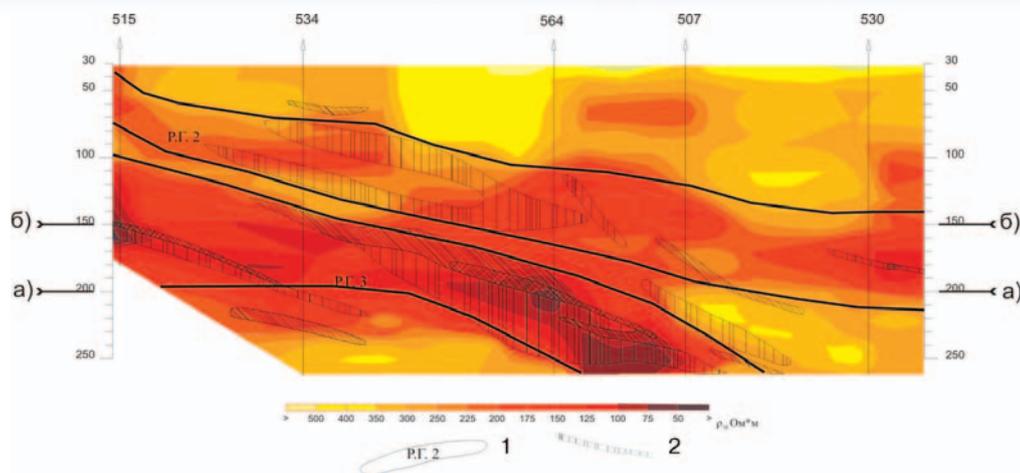


Рис. 1. Геоэлектрический разрез по линии I-I', построенный на основе алгоритма томографического восстановления (2D): 1 — рудные горизонты по данным ОРВП-РВГИ; 2 — участки с богатой сульфидной минерализацией

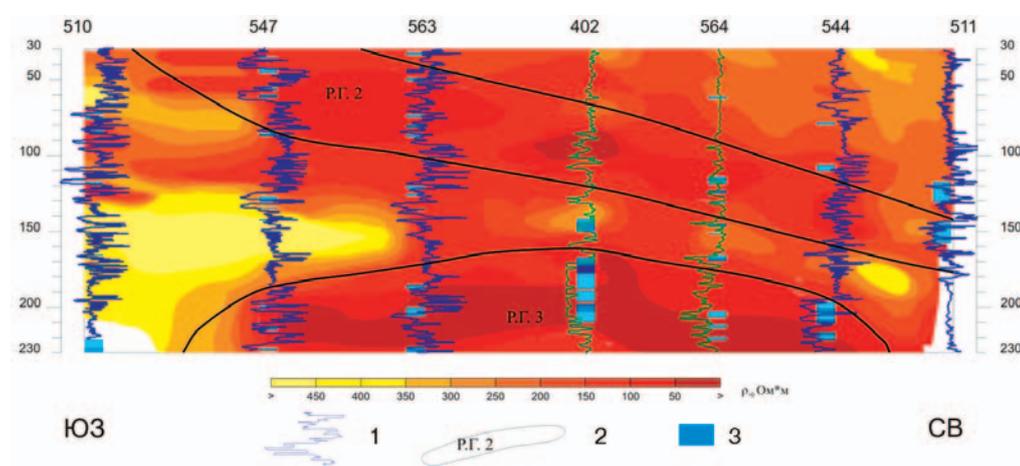


Рис. 2. Фрагмент 3D геоэлектрической карты РВГИ, вертикальное сечение по линии II-II': 1 — данные электрического каротажа ОРВП; 2 — рудные горизонты по данным ОРВП-РВГИ; 3 — интервалы прожилково-вкрапленных руд (данные по керну)

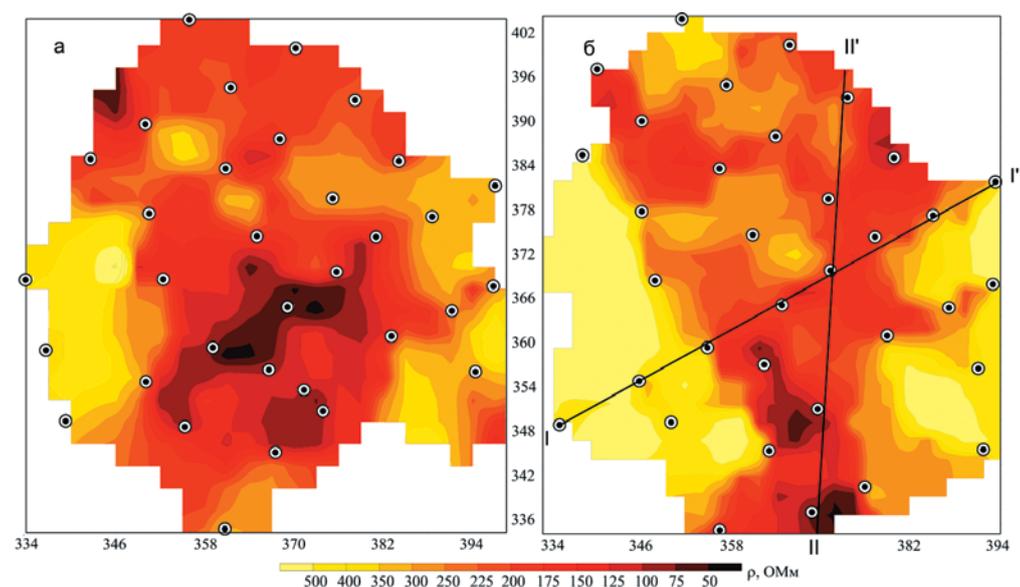


Рис. 3. Фрагменты 3D геоэлектрической карты РВГИ. Горизонтальные сечения на глубине 200 м (а) и 150 м (б)

логический анализ данных, получаемых путем многократного просвечивания объема горных пород радиоволновым полем дипольного источника, позволяет определять электрические свойства пород в естественном залегании и их распределение в изучаемом объеме среды. Породы, обладающие более низкими значениями $\rho_{эф}$, характеризуются более высоким поглощением радиоволн.

Измерения радиоволновым просвечиванием проводятся по веерной схеме [2]. При этом в одной скважине на определенной глубине фиксируется излучатель, нагруженный на электрическую антенну, а в стволе соседней скважины приемником по точкам с шагом 1–5 м проводятся измерения амплитуды осевой компоненты напряженности электрического поля. После окончания измерений излучатель перемещается на следующую точку, и цикл повторяется. Многократное пересечение лучей просвечивания позволяет использовать томографическую схему восстановления.

Обработка данных осуществляется с использованием двумерного итерационного томографического алгоритма или волнового метода восстановления. Первый алгоритм, по сути, является решением обратной задачи в предположении упрощенной лучевой схемы распространения волны. Между тем, на распространение сферической волны оказывает влияние некоторый объем прилегающих пород (характеризуемый зоной Френеля). В волновом методе восстановления, который, по сути, является методом осреднения, при расчетах учитывается влияние прилегающих пород. Первый алгоритм является двумерным и позволяет проводить обработку данных только в одном сечении, второй алгоритм при обработке нескольких сечений позволяет выполнить построение объемной геоэлектрической карты. На практике оба метода дают близкие результаты.

Отличительной особенностью современной аппаратуры РВГИ-2007 является возможность проводить измерения тока на входе передающей антенны. Именно это позволяет при обработке, путем приведения всех измерений к одному току, объединить весь массив полученных данных. Схема наблюдений была составлена на основе сети пробуренных скважин. Расстояние между скважинами в сечениях такой сети составило порядка 100 м. В результате опытно-методических работ была выбрана частота 625 кГц (длина волны во вмещающих породах порядка 50 м), которая обеспечивала надежную регистрацию сигнала и перекрытие зон Френеля соседних сечений в межскважинном пространстве. Последнее обстоятельство позволило построить объемную геоэлектрическую карту.

Так, на рис. 1 представлен разрез, полученный на первом этапе обработки: сопоставления геологической информации, каротажа и томографических (двумерных) разрезов. Участкам пониженного сопротивления электрокаротажа соответствуют интервалы с богатой сульфидной минерализацией. Однако по разрезу видно, что, исходя только из геологической информации или данных каротажа, невозможно однозначно увязать рудные подсечения. Решение такой задачи возможно по данным РВГИ. На разрезе (см. рис. 1) выделяются области пониженных сопротивлений, которым соответствуют рудные проявления, и которые можно объединить в рудные горизонты.

Следующим этапом было построение объемной карты. Измерения РВГИ были проведены в 82 парах скважин. При создании матрицы использовались данные более 44 тыс. лучей просвечивания. Одно из главных достоинств трехмерной матрицы — возможность строить произвольные горизонтальные и вертикальные сечения, вне зависимости от расположения скважин. На рис. 2 представлен разрез по линии II-II, полученный в результате трехмерной обработки. Так же как и на рис. 1, на разрез вынесены рудные интервалы, которые нашли отражение в областях пониженного сопротивления.

Как при решении двумерной задачи, так и на вертикальном срезе объемной карты (рис. 3), выделяются низкоомные аномальные области, к которым приурочены зоны с высокой сульфидной минерализацией. Практически все аномальные области расположены в закономерном порядке, что позволяет их объединить в рудные горизонты. Верхний рудный горизонт I имеет сопротивление 150–200 Ом·м. Его мощность составляет 20–25 м, падение — 15–20°. Второй рудный горизонт II имеет мощность 30–45 м и падение 15–20°, сопротивление горизонта составляет 50–250 Ом·м. Нижний рудный горизонт III имеет куполообразную форму и максимальную мощность в центральной части участка, порядка 60 м. Горизонты высокоомных вмещающих пород обладают сопротивлениями 200–500 Ом·м, представлены массивными, различной зернистости метагаббро, метабазальтами и метаандезитами.

На горизонтальных сечениях (см. рис. 3) можно проследить поведение рудных горизонтов в плане. Так на рис. 3 а, который соответствует глубине в 200 м, отчетливо выделяется третий рудный горизонт, представленный «раздувом» в центральной части и двумя, восточным и западным, крыльями. В то же время в северном и южном направлении интенсивность рудного горизонта практически не изменяется. Практически такую же картину можно наблюдать и на рис. 3 б (глубина 150 м), где рудный горизонт прослеживается в направлении СЮ, в то же время размер крыльев

(западного и восточного) увеличивается. Таким образом, на глубине в 150 м представлен верх куполообразного третьего рудного горизонта.

Приведенные данные показывают, что при использовании РВГИ, даже на большой глубине, возможно провести детальное исследование разреза; использование РВГИ позволило осуществить корреляцию рудных подсечений при существующей достаточно редкой сети бурения; современная аппаратура РВГИ и методика измерений, позволяют выполнять работы на большой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Б.Ф., Гуревич Г.Ф., Чигирин И.И. Методические указания по обработке и интерпретации результатов радиопросвечивания в анизотропных средах при редкой сети скважин. — М.: ЦНИГРИ, 1984.
2. Борисов Б.Ф., Гуревич Г.Ф., Чигирин И.И. Радиопросвечивание в анизотропных средах при редкой сети бурения. — М.: Тр. ЦНИГРИ, вып. 161, 1981. — С. 90–96.
3. Истратов В.А., Лысов М.Г., Чибрикин И.В. и др. Радиоволновая геоинтроскопия РВГИ межскважинного пространства на месторождениях нефти. Спецвыпуск «Геофизика», 2000. — ЕАГО.
4. Истратов В.А., Остапчук С.И., Скрынник А.В., Перекалин С.О. Новая аппаратура для радиоволновой геоинтроскопии горных пород в межскважинном пространстве «РВГИ-2005» // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2006. — № 1. ЕАГО. — Саратов, 2006.
5. Istratov, V.A., Frolov A.D. Radio wave borehole measurements to determine in situ the electric property distribution in a massif // J. Geophys. Res. — 2003. — Planets. — Vol. 108, No E 4, doi: 10.1029/2002JE001880.