

РАЗДЕЛЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО И ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ПОЛЕЙ ПРИ ПОИСКЕ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Георгий Михайлович Тригубович

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 67, доктор технических наук, профессор, научный руководитель геофизических исследований, тел. (383)222-53-24, e-mail: tgm@sniiggims.ru

Феликс Моисеевич Каменецкий

Мюнхенский университет Людвига-Максимилиана, Германия, доктор технических наук, профессор, консультант по электромагнитным геофизическим методам, e-mail: kamen@geophysik.uni-muenchen.de

Антон Владимирович Чернышев

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 67, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383) 222-42-03, e-mail: chernshv@sniiggims.ru

Александр Владимирович Куклин

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 67, ведущий инженер, тел. (383)222-42-03, e-mail: kuklin@sniiggims.ru

Индукционные и поляризационные поля в ближней зоне источника аддитивны и различным образом зависят от размеров и/или конфигурации генераторно-измерительной установки, что позволяет разделить эти поля по результатам измерений с установками разных размеров и/или конфигурации. Приводятся примеры разделения индукционного и поляризационного сигналов на практических данных при поиске полиметаллических руд.

Ключевые слова: вызванная поляризация, становление поля, разделение полей, EM-DataProcessor, импульсные зондирования.

INDUCTION AND POLARIZATION FIELD SEPARATION IN POLYMETALLIC ORES EXPLORATION

Georgiy M. Trigubovich

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 630091, Russia, Novosibirsk, 67 Krasny Prospect, Doctor of Science, Professor, Supervisor of geophysical research, tel. (383)222-53-24, e-mail: tgm@sniiggims.ru

Felix M. Kamenetsky

Ludwig-Maximilian University of Munich, Germany, Doctor of Science, Professor (Moscow), Consultant in Geo-Electromagnetics, tel. 49 89 1406269, e-mail: kamen@geophysik.uni-muenchen.de

Anton V. Chernyshev

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 630091, Russia, Novosibirsk, 67 Krasny Prospect, Ph. D., Leading Researcher, tel. (383)222-42-03, e-mail: chernshv@sniiggims.ru

Aleksandr V. Kuklin

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 630091, Russia, Novosibirsk, 67 Krasny Prospect, Leading Engineer, tel. (383)222-42-03, e-mail: kuklin@sniiggims.ru

Induction and polarization fields are additive in the near-zone of the transmitter and its dependence from dimension and/or configuration of transmitter-receiver system is different. This allow to separate induction and polarization fields using the results of transient soundings with different transmitter-receiver system. The examples of induction and polarization fields separation in polymetallic ores exploration are introduced.

Key words: induced polarization, transient field, field separation, EM-DataProcessor , TEM soundings.

Учёт поляризации среды неизбежно приводит к существенному увеличению числа параметров при решении обратной задачи. В результате инверсия исходных данных может оказаться невыполнимой [2, 5]. Возможным выходом из такой ситуации может стать разделение индукционного и поляризационного полей. В этом случае для индукционной части может быть использован весь арсенал ранее разработанных методов инверсии, а параллельно выделяемая поляризационная часть может дать дополнительную информацию о природе изучаемого объекта, представляющую большой интерес на этапе геологической интерпретации.

Для описания зависимости удельной электропроводности от частоты чаще всего пользуются известной формулой Cole-Cole [4]:

$$\sigma(\omega) = \sigma_{\infty} \left[1 - \frac{m}{1 + (1 - m)(-i\omega\tau_{IP})^c} \right] \quad (1)$$

где m – поляризуемость ($0 \leq m < 1$), τ_{IP} – время релаксации, c – степенной показатель, σ_{∞} – истинная электропроводность среды на высоких частотах, $\sigma_0 = \sigma_{\infty}(1 - m)$ – стационарная электропроводность среды на нулевой частоте.

В установке с соосными петлями сигнал в приемнике во временной области может быть представлен в виде [1, 5]:

$$V(t) = \frac{\mu_v I Q q}{2\pi} \left[\frac{(\sigma_0 \mu_v)^{3/2}}{10\sqrt{\pi}} t^{-5/2} - \frac{q_2 \sigma_{\infty} \mu_v m}{4R\tau_{IP}^2 (1 - m)^2} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{IP}(1 - m)}\right) \right], \quad (2)$$

где $\mu_v = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м, I – ток в генераторной петле, Q и q – площади генераторной и приёмной петель, R – радиус генераторной петли, q_2 – коэффициент, близкий к единице, зависящий от размеров генераторной и приёмной петель [1, 5].

Нормируем ЭДС на величину (IQq) , положим, что размер генераторной петли не изменяется, и обозначим

$$\bar{V}_{Ind} = \frac{\mu_v (\sigma_0 \mu_v)^{3/2}}{2\pi \cdot 10\sqrt{\pi}} t^{-5/2}, \quad \bar{V}_{IP} = -\frac{\mu_v \sigma_\infty \mu_v m}{2\pi \cdot 4R\tau_{IP}^2 (1-m)^2} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{IP}(1-m)}\right). \quad (3)$$

Здесь \bar{V}_{Ind} – индукционная, а \bar{V}_{IP} – поляризационная составляющая сигнала. Тогда формулу (2) можно представить в виде:

$$\bar{V}(t) = \bar{V}_{Ind} + q_2 \bar{V}_{IP}. \quad (4)$$

Таким образом, проведя измерения дважды с различными размерами приёмной петли (сигналы с индексами 1 и 2), можно восстановить индукционный и поляризационный сигналы:

$$V_{Ind} = V_1 - k(V_1 - V_2), \quad (5)$$

$$V_{IP} = k(V_1 - V_2), \quad (6)$$

где коэффициент k определяется размерами приемных петель [1, 5].

Приведем пример разделения сигналов от простейшей модели среды – поляризующегося полупространства сопротивлением 100 Ом·м и параметрами поляризации $c=1$, $m=0.04$, $\tau=3$ мс. Во всех примерах в качестве генератора используется петля 100x100 м².

Рассмотрим разделение сигналов по измерениям совмещенной (приемник 100x100 м²) и соосной (приемник 1x1 м²) установок. Для таких установок коэффициент k в (5) и (6) равен 6,67 [1, 5]. На рис. 1 приведены регистрируемые сигналы, теоретические индукционный (от среды без ВП) и поляризационный (полученный вычитанием сигнала от среды без ВП из суммарного сигнала) сигналы, а также восстановленный по формуле (6) сигнал ВП. Все сигналы приведены к единичной площади приемника и единичному току в генераторе.

Другим подходом к разделению сигналов может являться способ, основанный на измерениях с точечным приемником в центре и вне контура генераторной петли. На рис. 2 показан результат восстановления сигнала ВП по измерениям в центре генераторной петли и на расстоянии 100 м от ее центра.

Как видно из представленных рисунков, в обоих случаях восстановленные сигналы ВП достаточно близки к теоретическим.

Экспериментальные полевые исследования методом зондирования становлением поля с петлевым источником проводились в районе Майского месторождения полиметаллов, расположенного в северо-западной части Змеиногорского района Рудного Алтая. Рудная зона приурочена к толще известковистых алевролитов и аргиллитов и характеризуется неравномерно распределённым полиметаллическим оруденением.

Размеры рудных тел составляют от 60 до 600 м, мощность рудных тел – от 0,5 до 34 м, глубина залегания – от поверхности до 230 м. Прожилковые рудные тела представлены сфалеритом и галенитом. Халькопирит и пирит имеют подчи-

ненное значение. Среднее содержание руды по месторождению: Cu – 0.43 %, Pb – 2.4 %, Zn – 5.13 %. Сопротивление руд – от 20 до 100 Ом·м. Сопротивление алевролитов – от 180 до 4000 Ом·м. Поляризуемость руд – от 0.5 % до 50 %. Вертикальный разрез по буровому профилю вкрест простирания рудных тел показан на рис. 3.

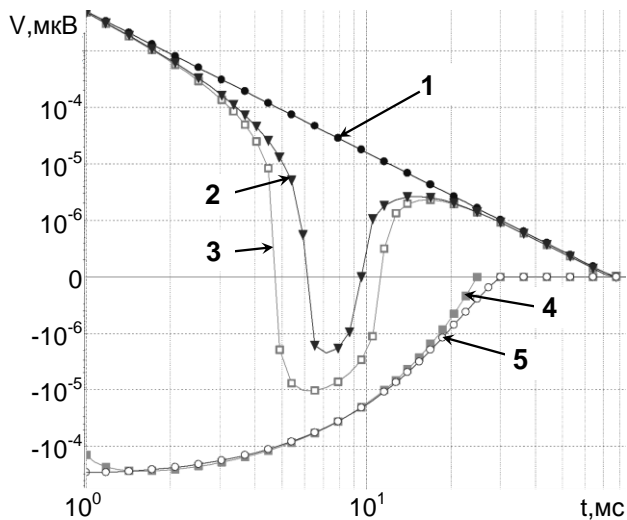


Рис. 1. Разделение сигналов для совмещенной установки:

- 1 – индукционный сигнал;
- 2 – сигнал в совмещенном приемнике;
- 3 – сигнал в точечном приемнике;
- 4 – восстановленный сигнал ВП;
- 5 – теоретический сигнал ВП

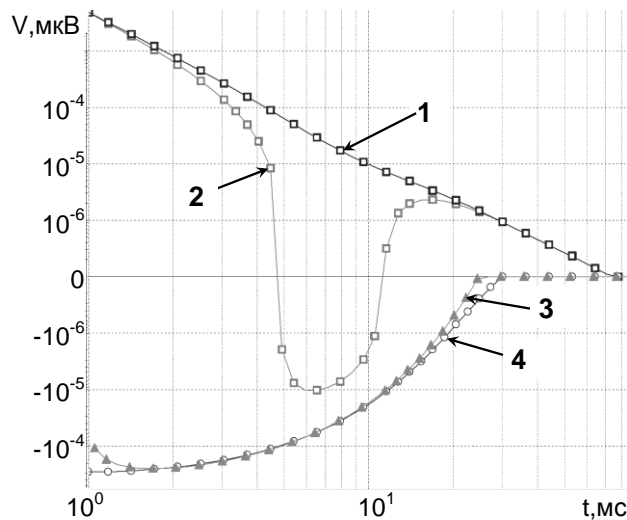


Рис. 2. Разделение сигналов для разнесенной установки:

- 1 – сигнал в выносном приемнике;
- 2 – сигнал в центральном приемнике;
- 3 – восстановленный сигнал ВП;
- 4 – теоретический сигнал ВП

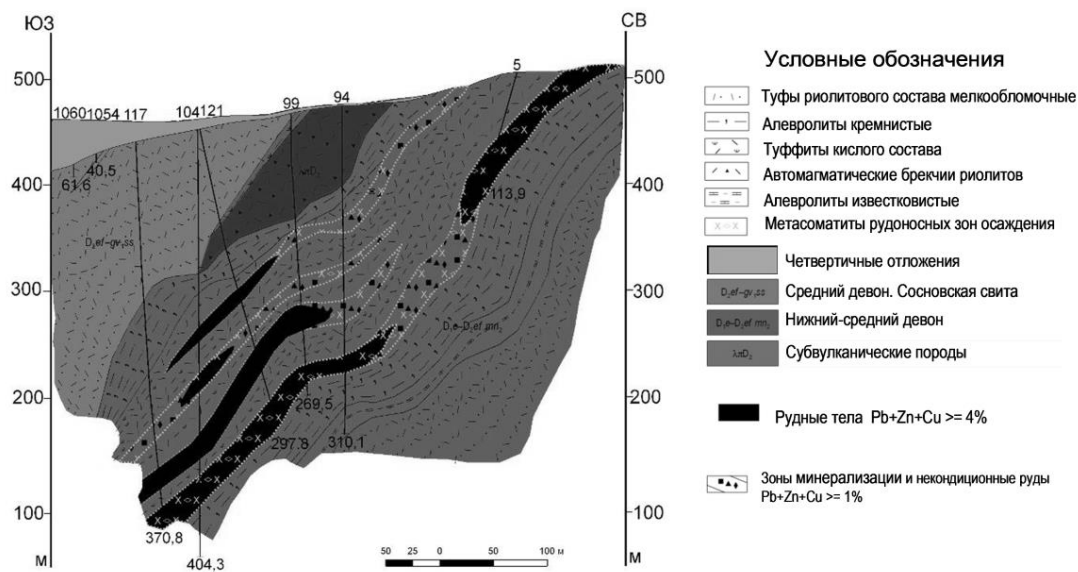


Рис. 3. Геологический разрез по буровому профилю месторождения Майское

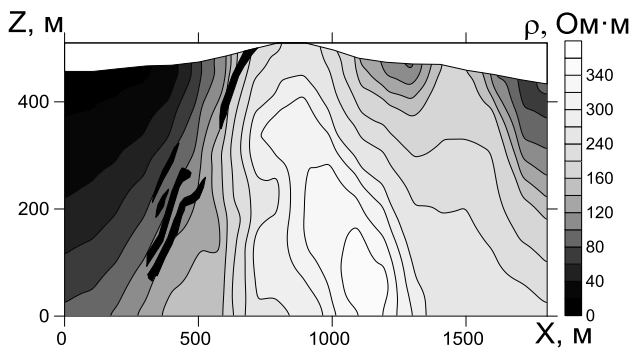


Рис. 4. Вертикальный разрез кажущегося сопротивления, полученный по индукционной составляющей сигнала

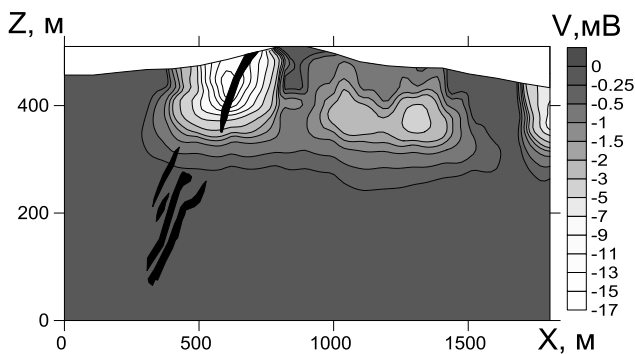


Рис. 5. Вертикальный разрез выделенного сигнала ВП

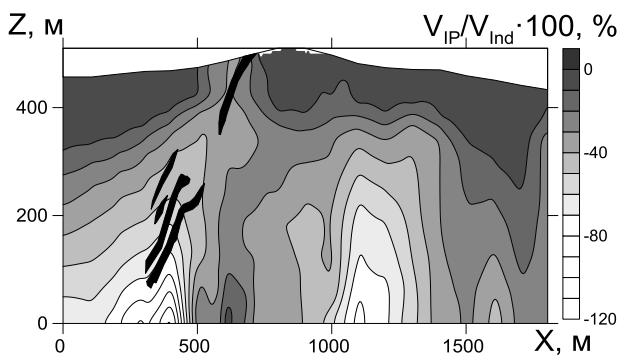


Рис. 6. Вертикальный разрез нормированного сигнала ВП

Таким образом, экспериментально подтверждена возможность изучения зон вызванной поляризации, связанных с полиметаллическим оруденением. На примере исследований с петлями $100 \times 100 \text{ м}^2$ в пределах Майского месторождения показано, что зоны ВП, полученные в результате разделения сигналов, достаточно хорошо коррелируют с пространственным положением известных рудных тел.

Измерения проводились компактными датчиками $1 \times 1 \text{ м}^2$ внутри и вне генераторных петель с размерами $100 \times 100 \text{ м}^2$. Результаты разделения индукционного и поляризационного полей, проведенного в программе EM-DataProcessor [3], приведены на рис. 4–6.

На рис. 4 представлен вертикальный разрез кажущегося удельного сопротивления по буровому профилю, построенный по индукционной составляющей сигнала. Как видно из этого рисунка, рудные тела в разрезе локализируются в зоне влияния выклинивающихся четвертичных отложений и алевролитов и практически не проявляются в индукционных сигналах.

На рис. 5 представлен разрез выделенного сигнала ВП в зависимости от глубины зондирования, вычисленной для соответствующих времен по индукционному сигналу. Как видно из этого рисунка, верхнее рудное тело отмечается достаточно широкой зоной ВП, которая, затухая, продолжается в высокоомную часть разреза, полученную по индукционным сигналам.

На рис. 6 представлен разрез сигнала ВП (V_{IP}), нормированный на восстановленный индукционный сигнал (V_{Ind}) на соответствующих значениях времени: $V_{IP}/V_{Ind} \cdot 100\%$. На этом разрезе известные рудные тела хорошо коррелируются с пространственным положением относительной аномалии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каменецкий Ф. М., Тимофеев В. М. О возможности разделения индукционных и поляризационных эффектов // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1984. - № 12. - С. 89–94.
2. Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. Совместная инверсия данных МПП с учётом индукционно-вызванной поляризации // Геология и геофизика. - 2009. - Т. 50, № 2. - С. 181–190.
3. Тригубович Г.М., Чернышев А.В., Куклин А.В., Ковальский Я.Ф., Сверкунов А.С. EM-DataProcessor: оперативная 3D-инверсия данных импульсной индуктивной электроразведки // Интерэкспо Гео-Сибирь-2014. - Т. 2, № 3. - С. 95–101.
4. Dias, C. A. Developments in a model to describe low-frequency electrical polarization of rocks // Geophysics. - 2000. - 65. - P. 437–451.
5. Kamenetsky F.M., Trigubovich G.M., Chernyshev A.V. Three lectures on geological medium induced polarization. L-M University of Munich, Vela Verlag. - 2014. - 56 p. ISBN: 978-3-941352-65-0

© Г. М. Тригубович, Ф. М. Каменецкий, А. В. Чернышев, А. В. Куклин, 2015