

Опыт применения индукционной томографии при поисково-оценочных работах на коренное золото

А.А. Роженцов (ООО «Макс-Модл»), М.В. Абрамов (ООО ГП «Сибгеотех»), В.С. Касторных (ООО «Макс-Модл»), М.В. Панарина (ООО ГП «Сибгеотех»)

Введение

Известно, что в методах импульсной индуктивной электроразведки наблюдаются эффекты, связанные с индукционно вызванной поляризацией [4, 5 и др]. Еще не так давно вообще отрицалось такое явление. Однако сейчас с использованием этой феноменологии разработана и используются новая высокоразрешающая технология индукционной электромагнитной томографии iT. Да, iT – это реплика метода переходных процессов (МПП), также как и ЭТ – реплика электроразведки методом вертикальных электрических зондирований ВЭЗ). В индукционной томографии, также как и в ЭТ, измеряется поляризационная компонента, которая отвечает за рассеянную золото-рудную минерализацию. Золото-кварцевые объекты, которые зачастую не находят отражения в резистивной компоненте измеряемого сигнала МПП, практически всегда дают аномальные поля индукционной поляризации. Однако всегда приходится учитывать, что в спектре АЧХ отклика золото-кварцевых объектов присутствуют поляризующиеся «объекты-помехи», которые могут снижать поисковую эффективность метода.

Моделирование.

Приводим частное модельное сопоставление результативности iT и ЭТ. На рисунке 1 показаны одномерная модель среды, которую будем считать фоном (зеленая линия), и аномальная среда (оранжевая линия) с третьим слоем, отличающимся от фона по сопротивлению и поляризуемости.

Для моделирования сигналов iT использован незаземленный контур $50 \times 50 \text{ м}^2$, ток 10 А, с соосным измерителем $Q = 200 \text{ м}^2$. Для моделирования сигналов ВЭЗ была использована установка Шлюмберже (A-MN-B), ток 1А, MN=10м.

На рисунке 1б показаны сигналы, характерные для метода iT, измеренные после выключения тока в источнике. Приведены сигналы для фоновой среды, для среды с уменьшенным сопротивлением в третьем слое и для среды с уменьшенным сопротивлением и наличием поляризуемости в третьем слое.

На рисунке 1в для тех же одномерных моделей среды показаны результаты метода ВЭЗ, соответственно кажущиеся сопротивление и поляризуемость в зависимости от $AB/2$, рассчитанные по разности потенциалов на MN, возникающей при пропускании через AB постоянного тока.

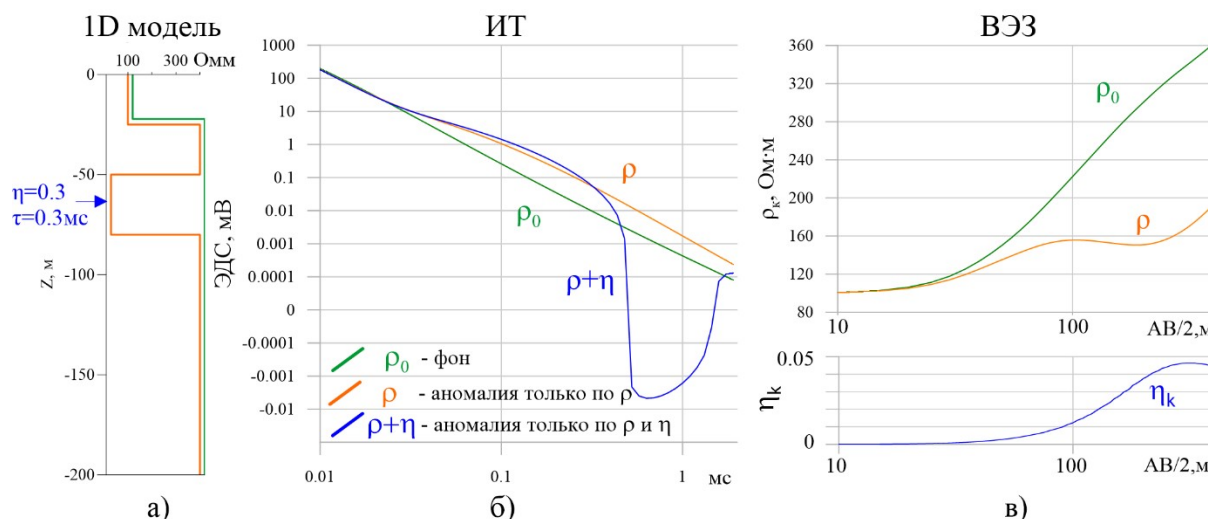


Рисунок 1. 1D модель среды (зеленая линия - фоновая среда, оранжевая – среда со слоем, аномальным по сопротивлению и поляризации), $E(t)$ по методу ИТ, кажущееся сопротивление и поляризуемость по методу ВЭЗ

Как видим иТ сигнал относительно фонового значения достигает одного порядка на временах 0.1-0.5мс, после 0.5мс видим смену знака сигнала, связанного с ВП, т.е. аномалии электрофизических параметров среды проявились очень существенно (рисунок 1б).

В ВЭЗе кажущиеся характеристики показывают намного меньшее отклонение от фоновых значений. Так, по сопротивлению мы видим аномалию не более 50%, а кажущаяся поляризуемость достигает всего только 5% (рисунок 1в).

Рассмотрена 3D модель субгоризонтального рудного объекта, отличающегося от фоновой среды по сопротивлению и поляризуемости (рисунок 2). Для моделирования сигналов иТ была использована установка с генераторным контуром 50 x 50м, амплитудой тока 10А, измерителями с магнитным моментом 200м², расположенными на разносах 0, ± 50 , ± 100 , ± 150 м.

По профилю измерений, проходящему над поисковым объектом, генераторно-измерительные установки размещались со 100% перекрытием [2].

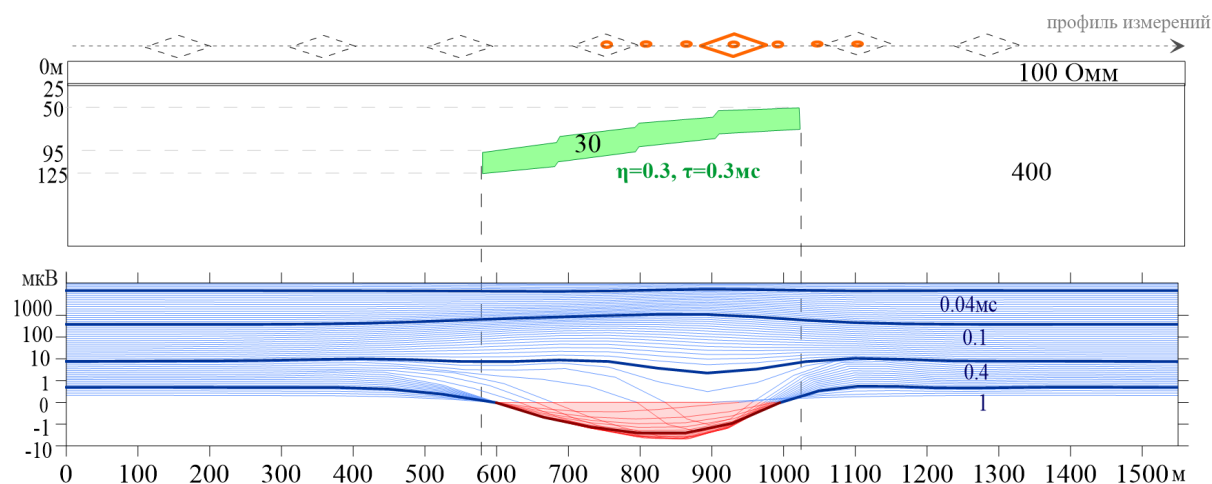


Рисунок 2. 3D модель среды (разрез) с субгоризонтальным рудным объектом (оранжевым цветом показан один паттерн раскладки системы наблюдений по методу ИТ со 100% перекрытием) и электрограмма сигналов, по методу ИТ, на временах 0.01-2мс после выключения тока.

Из рисунка 2 видно, что локальный объект, обладающий аномальным сопротивлением и поляризуемостью относительно вмещающей среды, также проявляется существенным отклонением сигнала от фоновых значений.

В проекции поискового объекта на времена измеримого сигнала (до ~ 1 мс) были зарегистрированы значения как превышающие фон в несколько раз (связанные с пониженным сопротивлением объекта), так и отрицательные значения, связанные с возникновением эффекта ВП (рисунок 2).

Таким образом, система наблюдений в методе ИТ позволяет детально локализовать поисковый объект, а за счет точек повторных измерений отдельно учитывать при интерпретации протекающие в среде индукционные процессы и процессы ВП [2].

Пример картирования непроводящих золото-кварцевых объектов.

Цель: проследить золото-кварцевые объекты. Провести тестирование технологии ИТ на известном субвертикальном объекте.

Особенность исследования: ИТ по параметрам ρ и η .

Оборудование: Томограф «MAX-MODL»: индуктор, терминальные индукционные приемники.

Метод: Профилированное IP-зондирование η с боковой проекцией резистивной моды. 1D-инверсия с разделением резистивной и поляризационной мод.

Результат: Получены геоэлектрические разрезы на основе параметров η и ρ . Выявлены перспективные золото-кварцевые объекты. Объекты пространственно локализованы и оценены.

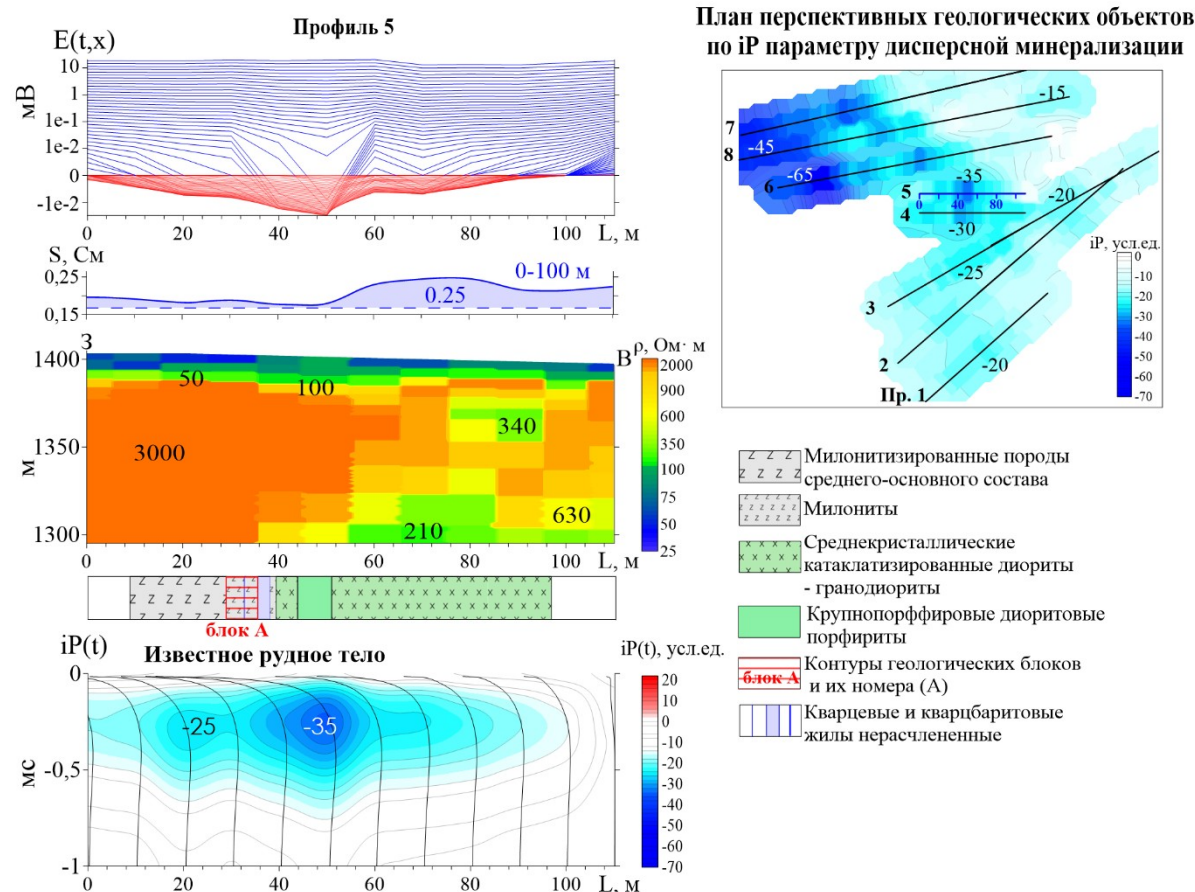


Рисунок 3. Пример проявления золото-кварцевых объектов по результатам ИТ.

Выводы

Индукционная томография iT с использованием мультиракурсных наблюдений позволяет прецизионно разделять резистивность и поляризуемость геологической среды и получать качественный геофизический прогноз по рассеянной полиметаллической минерализации. С нашей точки зрения iT является эффективной альтернативой классическому методу ЭТ.

Библиография

1. Тригубович, Г.М. Индукционная томография в электроразведке / Г.М. Тригубович, В.В. Филатов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири, 2023. №4а, С.53-62.
2. Патент №2852479, Российская Федерация, МПК G01V 3/12 (2025.08). Способ электромагнитной геотомографии: №2025109461: заявл. 15.04.2025: опубл. 08.12.2025 / Тригубович Г.М., Абрамов М.В., Чернышев А.В. – 20с.
3. Хмелевской В. К. Основной курс электроразведки. Ч. 1. Электроразведка постоянным током. – М.: Недра, 1970. – 245 с.
4. Каменецкий Ф.М. Три лекции о вызванной поляризации геологической среды/ Ф.М. Каменецкий, Г.М. Тригубович, А.В. Чернышев — Мюнхен: Вера Фарлаг, 2014. — 58 с.
5. Тригубович, Г.М. Феноменология вызванной поляризации / Г.М. Тригубович, Ф.М. Каменецкий // Геофизика, 2013. — № 1. — С. 80—83.

References

1. Trigubovich G.M. Induction tomography in geoelectrical surveying / G.M. Trigubovich, V.V. Filatov // Geology and mineral resources of Siberia, 2023. №4a, P.53-62.
2. Patent №2852479, Russian Federation, IPC G01V 3/12 (2025.08). Method of electromagnetic geotomography: №2025109461: appl. 15.04.2025: publ. 08.12.2025 / Trigubovich G.M., Abramov M.V., Chernyshev A.V. – 20p.
3. Khmelevskoy V. K. Basic course of electrical exploration. Part 1. Electrical exploration with direct current. – M.: Nedra, 1970. – 245 p.
4. Kamenetsky F.M. Three lections about induced polarization of geologic medium / F.M. Kamenetsky, G.M. Trigubovich, A.V. Chernyshev — Munich: Vera Farlag, 2014. — 58 p.
5. Trigubovich, G.M. Phenomenology of induced polarization / G.M. Trigubovich, F.M. Kamenetsky // Geophysics, 2013. — № 1. — P. 80—83.