

Электротомография

Представьте, что вы ищете в темноте потерянную монету. Разберем процесс поисков подробнее. Вы берёте фонарь, освещаете участок поверхности и осматриваете его. Потом вы перемещаете пучок света и осматриваете новый участок. В нашем простом примере луч фонаря – источник светового поля, а глаза – чувствительный элемент поисковой системы.

Проведем аналогию с методом сопротивления. Источник света соответствует токовым электродам, глаза – приемным. При профилировании мы одновременно перемещаем источник и приемник (перемещаем пучок света и взгляд, при этом мы не оглядываем освещенный участок). При зондировании приемные электроды остаются неподвижными, а источник перемещается (взгляд зафиксирован, а пучок света перемещается). Очевидно, оба способа – профилирование и зондирование - не оптимальны.

Кроме того, электропрофилирование может рассматриваться как сугубо поисковый метод, который позволяет найти объект, отличный по удельному сопротивлению от вмещающих пород, но не позволяет оценить его положение в разрезе. Данные зондирования в большинстве случаев содержат влияние приповерхностных неоднородностей, поэтому их интерпретация часто приводит к искаженным геоэлектрическим разрезам.

Электротомография – методика изучения распределения удельного сопротивления, которая наиболее близка к разумному способу поиска монеты: при каждом положении источника поля проводят несколько измерений напряжения, затем источник перемещают. Источники и приемники располагают на поверхности и в скважинах. Электротомография дороже профилирования и зондирования, но избавлена от присущих им недостатков.

Технология

Для электротомографии используют разные установки: трехэлектродную, дипольную, установку Венера и др. Электроды располагают на поверхности земли и/или в скважинах. Число электродов может быть разным, например, 16, 32, 64, 128 и т.д. Электроды соединяют косами с измерительной аппаратурой и генератором. В соответствии с протоколом измерений в дальнейшем электроды попарно коммутируются для создания электрического поля и измерения напряжения.

Простейшая и недорогая реализация электротомографии основана на использовании серийной одноканальной электроразведочной аппаратуры, например ЭРА, МЭРИ, АНЧ-3. При этом перестановка токовых электродов осуществляется вручную, а коммутация измерительных электродов либо вручную, либо с помощью специального электронного коммутатора, который предварительно программируется. Стоимость кос, коммутатора и программного обеспечения составляет около 200 тыс. рублей.

Полная автоматическая коммутация приемных и токовых электродов реализована в электроразведочной аппаратуре компаний IRIS, АВЕМ и других производителей. Стоимость такой аппаратуры составляет около 2 млн. руб.

В настоящее время готовятся к серийному выпуску комплекты электротомографической аппаратуры отечественного производства.

Интерпретация

Интерпретация данных, как это обычно принято в геофизических методах, основывается на методе проб и ошибок. В качестве начального приближения, как правило, используют модель однородного полупространства. В двумерном случае модельную область разделяют на однородные прямоугольники. Удельное сопротивление прямоугольников подбирают так, чтобы вычисленные значения кажущегося сопротивления наилучшим образом совпали с измеренными. Однако такое распределение не является единственным. Поэтому, для выбора оптимального решения используют дополнительные критерии. Таким критерием, как правило, является гладкость искомого распределения удельного электрического сопротивления. На сегодняшний день наиболее распространены томографические программы интерпретации данных М.Н.Локе (Малазия, www) и А.Е. Каминского (Санкт-Петербург, Россия, www).

Примеры

*Картирование границы известняков и доломитов, Месторождение "Печурки",
Сланцевский район Ленинградской области*

Наблюдения с поверхности выполнены для картирования границы известняков и доломитов в пределах месторождения "Печурки" по заказу ОАО "CESLA". Доломиты характеризуются пониженной пористостью и повышенным удельным сопротивлением по сравнению с известняками. Доломиты подстилаются толщей мергелей с пониженным удельным сопротивлением. Наблюдения выполнены трехэлектродной встречной установкой (расстояние между приемными электродами – 2 м, разнос АО от 3 до 37 м с шагом 2-4 м). На геоэлектрическом разрезе (Рис.1), построенном на основе программы Zond2D, отчетливо виден высокоомный горизонт, отвечающий горизонту доломитов, подстилающему продуктивный пласт известняков.

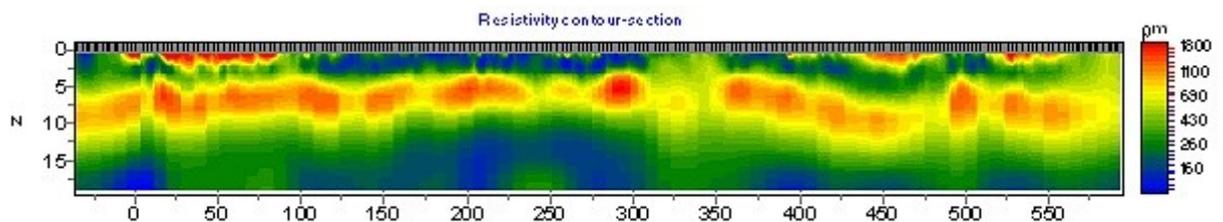


Рис. 1. Слой доломитов повышенного сопротивления по данным наземной томографии

Объемное картирование метасоматического массива и сульфидного оруденения

Наблюдения с поверхности с измерением фазового сдвига (ВП) выполнены над потенциально рудоносным массивом метасоматитов, включающим сульфидную вкрапленность (Кольский полуостров). Метасоматиты характеризуются повышенным сопротивлением по сравнению с вмещающими песчаниками. Наблюдения выполнены установкой градиента при MN 10 м, АВ – 150 м, шаг перемещения АВ – 50 м. На геоэлектрическом разрезе (программа Zond2D) границы массива отмечаются увеличением удельного сопротивления (Рис.2). В приконтактных и придонных частях массива, а также во вмещающих породах отмечаются аномалии поляризуемости, отвечающие вкрапленности сульфидных минералов.

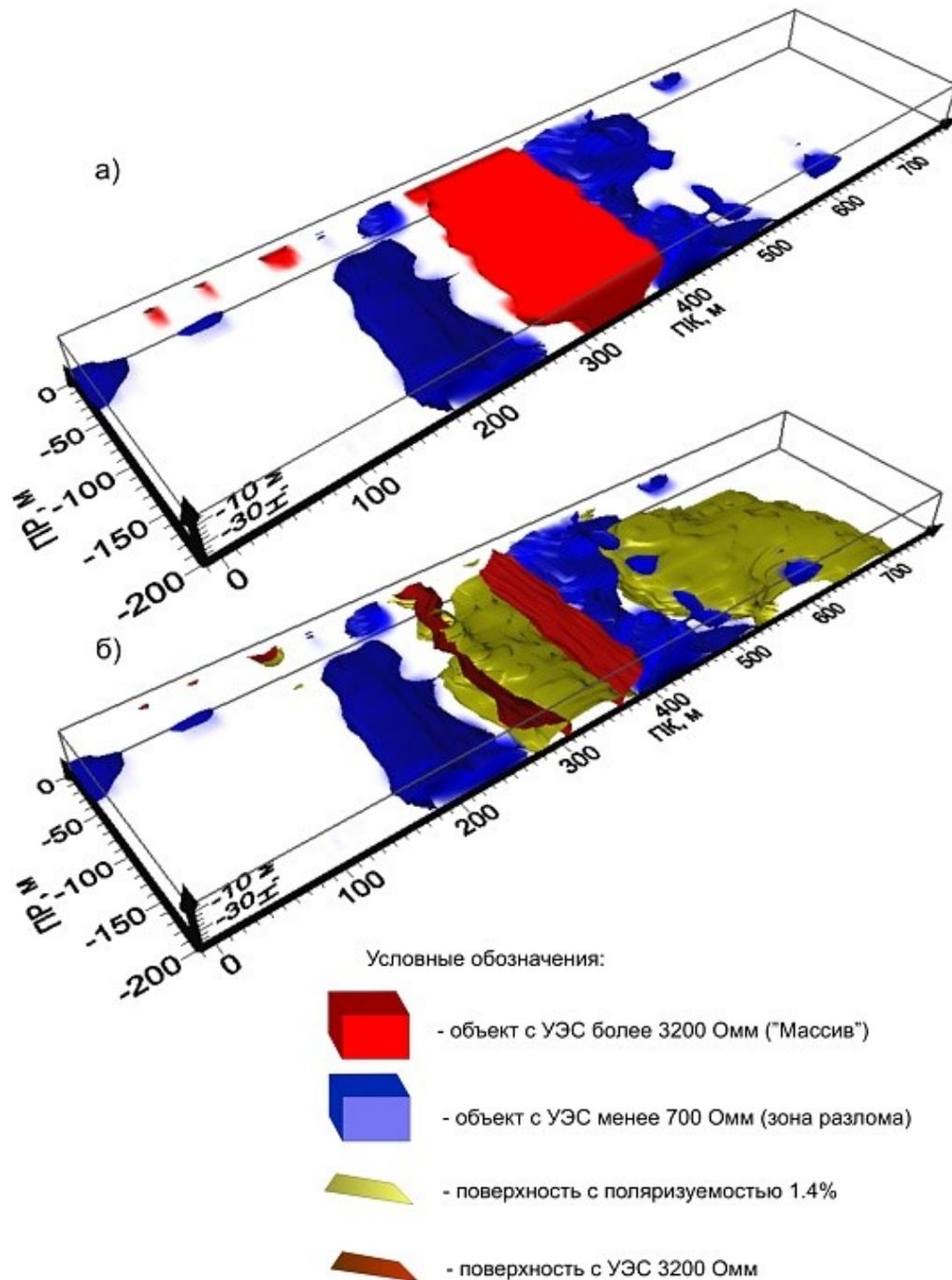


Рис. 2. Картирование метасоматического массива и сульфидной вкрапленности по данным наземной томографии

Объемное изучение геологического строения площадки под строительство общественно-делового центра "Охта-центр" (г. Санкт-Петербург)

Наблюдения по системе скважина – поверхность выполнены для корреляции геологического разреза между скважинами. При каждом фиксированном положении пары электродов (питающий А и приемный М) проводились измерения при всех положениях другой пары электродов (В и N) в соседних скважинах и на дневной поверхности (Рис.3). Затем пара электродов АМ переносилась на 10 м вдоль оси скважины, и процесс измерений повторялся вновь. Расстояние АМ и ВN составляло 10 м. Расстояние между скважинами – от 20 до 40 м.

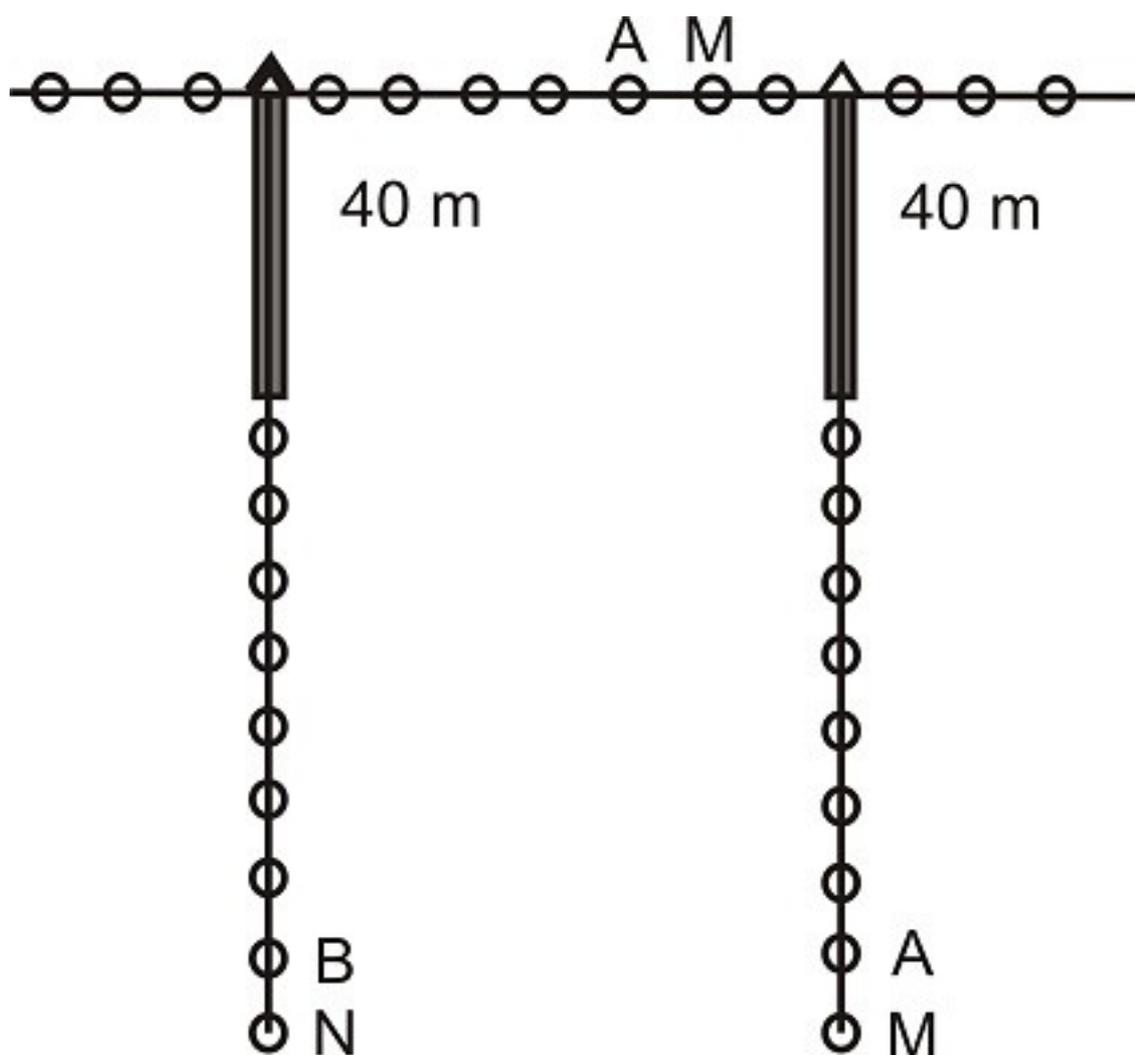


Рис. 3. Схема взаимного расположения источников и приемников при межскважинном электрическом просвечивании

Интерпретация выполнена с помощью специализированного программного обеспечения ZondСНТ, позволяющего решать обратную задачу электроразведки. Использовался метод Ньютона с регуляризацией по Тихонову. В качестве регуляризации используется фильтр гладкости. В результате подбора получено объемное распределение удельного электрического сопротивления, отражающее слоистый характер разреза (Рис.3).

Слоистое строение среды отмечается как для коренных пород (ниже 45 м), так и для четвертичных отложений. Дислоцированные серо-зеленые глины в кровле котлинского горизонта отмечаются повышенными значениями удельного сопротивления. На части томограмм подобный слой встречается также на глубине 80-100 м. С дальнейшим увеличением глубины сопротивление постепенно растет, что отражает увеличение содержания песчаной фракции в глинах котлинского возраста.

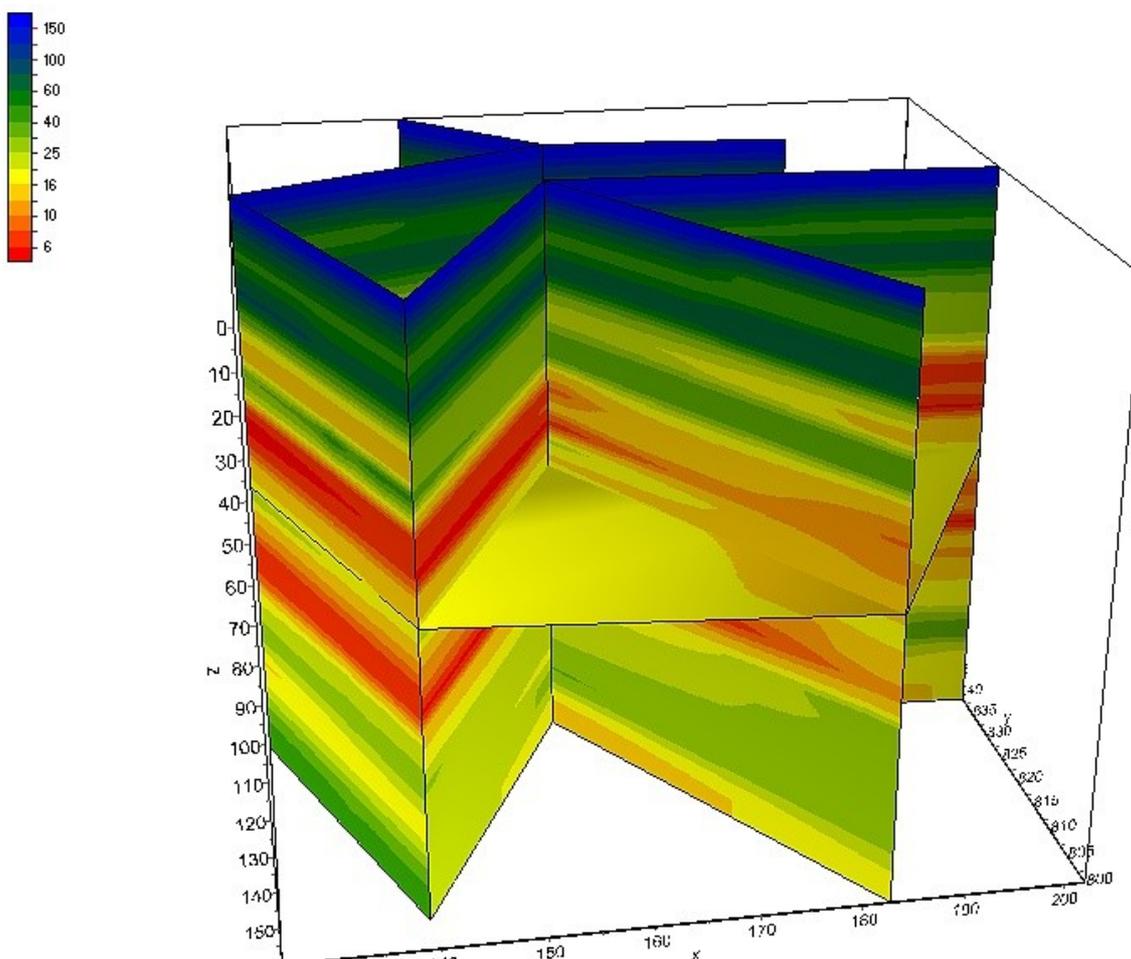


Рис. 4. Объемная геоэлектрическая модель основания высотного здания Охта-центр