

## **ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЯ СО СТАНДАРТНЫМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ**

### **Введение**

Основным способом повышения результативности работ методами сопротивлений и вызванной поляризации является использование методики **электротомографии** [Бобачев и др. , 2006]. Этот подход позволяет практически перейти от интерпретации в рамках горизонтально-слоистых сред к двумерной и трехмерной интерпретации. Это принципиально расширяет круг решаемых электроразведкой задач, за счет исследования сред, значительно отличающихся от «классических» горизонтально-слоистых. Методика электротомографии применяется на Западе уже более 15 лет [Griffiths and Barker, 1993; Бобачев и др., 1996] и давно стала стандартным геофизическим инструментом. Это методика даже вошла в «Свод Правил» Госстроя России [СП 11-105-97, 2004]. Однако она до сих пор не получила широкого применения в практике отечественной геофизики из-за отсутствия отечественной аппаратуры и достаточно высокой стоимости импортной аппаратуры. Кроме того, отсутствие аппаратуры приводит к недостатку информации об успешного внедрении и неясности ее возможностей при решении практических задач. Для решения задач практического освоения и апробации методики электротомографии на Геологическом факультете МГУ разработали технологию проведения полевых работ с использованием существующих электроразведочных комплексов для методов сопротивлений и ВП.

### **Электротомография**

Электротомография - это целый комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одни и те же фиксированные на профиле наблюдений положения электродов. Это приводит к уменьшению общего числа рабочих положений электродов при существенном увеличении плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований. Такой подход позволяет с одной стороны, работать с современной высокопроизводительной аппаратурой, а с другой стороны, применять эффективные алгоритмы моделирования и инверсии.

## Многоэлектродная аппаратура

Разрешающая способность (т.е. количество деталей геоэлектрического разреза, устойчиво проявляющихся в электрическом поле) и, соответственно, качество интерпретации данных электротомографии тесно связано с числом и плотностью измерений на одном профиле. Их число обычно достигает первых тысяч, поэтому вопрос о производительности полевых измерений имеет принципиальное значение и во многом определяет возможность практического использования этого метода. Для достижения максимальной эффективности при проведении полевых работ применяется специальная аппаратура с программируемой автоматической коммутацией электродов [Griffiths and Barker, 1993; Бобачев и др., 1996; Dahlin, 2001]. Далее для краткости мы будем использовать термин многоэлектродная аппаратура.

В *многоэлектродной* аппаратуре используется большой набор электродов (обычно от 48 до 128 штук), соединенных в виде электроразвечной косы. В отличие от обычных многоканальных систем каждый электрод может использоваться не только как приемный, но и как питающий (рис. 1). Таким образом, один раз установив и подключив электроды можно провести весь комплекс профильных измерений.

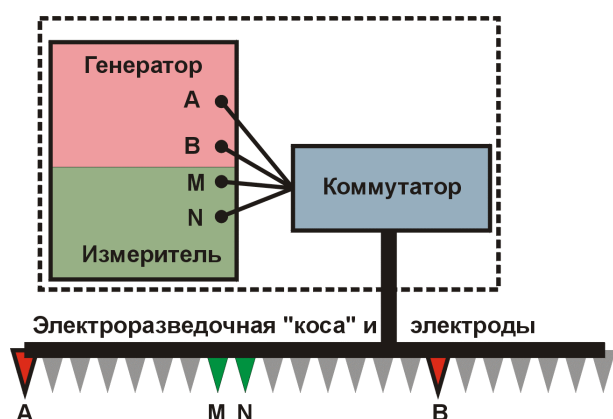


Рис. 1. Многоэлектродная аппаратура.

## Электротомография с одноканальной аппаратурой

Очевидно, что именно многоэлектродная аппаратура обеспечивает максимальную производительность при полевых работах методом электротомографии. Но, в тоже время, сегодня она практически не используется в практике отечественной инженерной геофизики. С одной стороны это связано с высокой стоимостью аппаратуры (40-100 тыс. долларов), с другой стороны пока довольно мало успешных примеров применения, из-за отсутствия аппаратуры. Чтобы разорвать этот замкнутый круг, можно и нужно проводить работы со стандартной одноканальной электроразвечной аппаратурой.

Опыт проведения подобных работ имеется. На пример, методика Сплошных электрических зондирований, разработанная и используемая на кафедре геофизики МГУ

[Бобачев и др., 1995]. Но этот подход имеет очень низкую производительность и не получил широкого внедрения. Поэтому нами была разработана методика, позволяющая добиться высокой производительности и при использовании одноканальной аппаратуры. Она была воплощена в коммутатор «СОМх64».

Идея этого подхода в том, что коммутируются только приемные электроды, соединенные косой (рис. 2). Выбор рабочей пары приемных электродов обеспечивается программой, записанной в памяти коммутатора. Питающий электрод переносится вручную. Для возбуждения и измерения электрического поля используется обычная электроразведочная аппаратура для метода ВЭЗ или ВЭЗ-ВП (ЭРА-МАКС, ЭРП-1, МЭРИ, АСТРА).

Это позволило создать простой и дешевое дополнение к стандартной аппаратуре (5 тыс. долларов, включая косы и электроды), позволяющее производить детальные работы методом электротомографии. Эффективное использование коммутатора приемных диполей требует применения установок с неподвижными питающими электродами: трех электродная установка Шлюмберже или дипольная осевая. Тогда при одном положении питающего электрода проводятся измерения для всех необходимых приемных диполей.

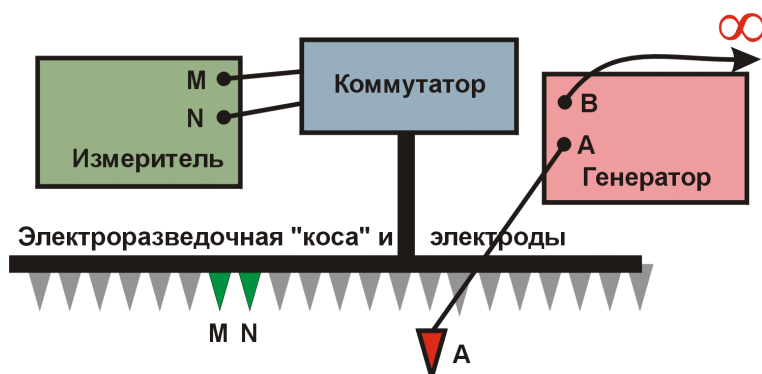
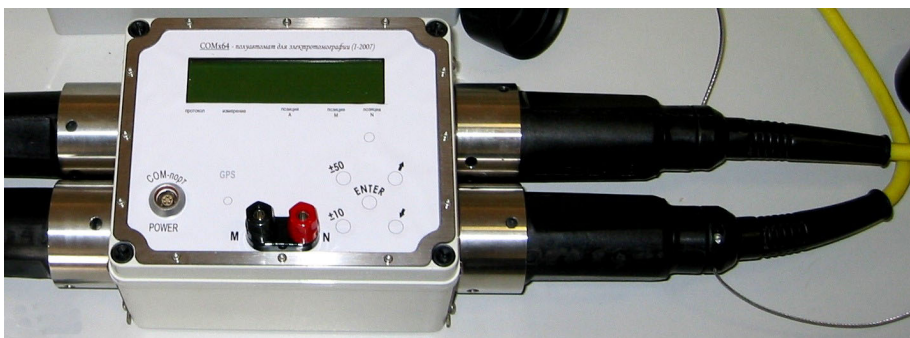


Рис. 2. Установка для электротомографии на базе одноканальной установки.

Коммутатор «СОМх64» обеспечивает измерения с 64-канальными косами. При расстоянии между электродами 3 метра это позволяет использовать сетку разносов от 4.5 метров до 120 метров. Глубина исследования достигает 50 метров. При этом мы рекомендуем использовать шаг по профилю 6 метров, чтобы получить достаточную производительность полевых работ. Число измерений при одной расстановке косы (длина профиля 200 метров) от 500 до 1000 и зависит от интервала разносов. Плотность наблюдений уменьшается в два раза по сравнению с обычной многоэлектродной аппаратурой.



**Рис. 3. Внешний вид коммутатор «COMx64» .**

Предлагаемая методика полевых измерений имеет некоторые преимущества по сравнению с использованием многоэлектродной аппаратурой.

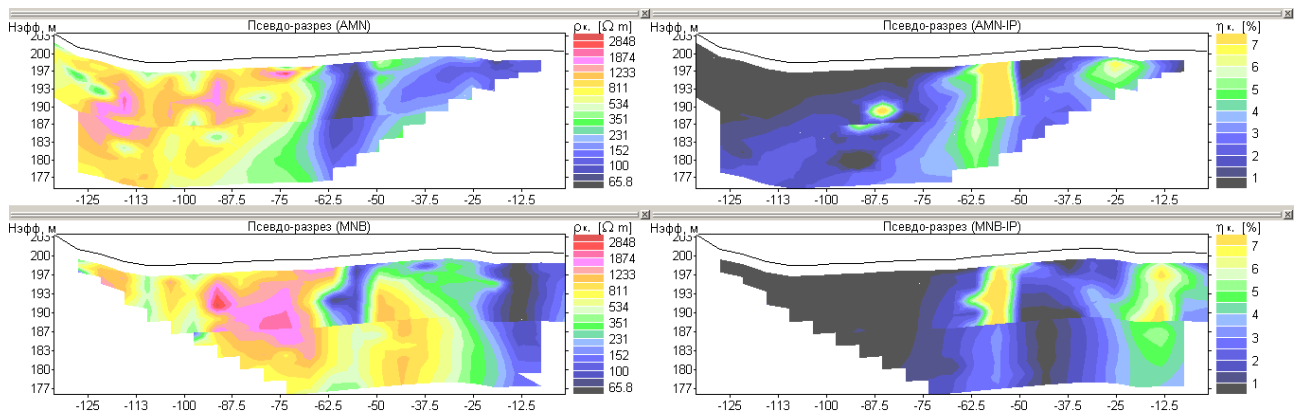
1. Питающий электрод может находиться за пределами измерительной косы («выносы»), что повышает глубинность на краях установки и позволяет переносить установку вдоль профиля без перекрытия.
2. Разделение приемных и питающих электродов позволяют использовать для заземления несколько электродов, уменьшая переходное сопротивление установки.

Кроме того неподвижность измерителя во время измерений и разделение приемных и генераторных линий позволяет успешно проводить полевые работы в дождь.

Возможности измерителя тоже влияют на производительность труда. К сожалению, разработчики современной аппаратуры (особенно цифровой) уделяют мало внимания повышению скорости измерений, предпочитая повышать точность измерений. Однако, при 1000 измерениях в день увеличение времени каждого всего на 3 секунд приводит к дополнительному часу работы в поле.

### **Практические примеры**

Рассмотрим практический пример использования электротомографии. Исследования выполнены в Кемеровской области для уточнения положения продуктивных марганцевых жил.



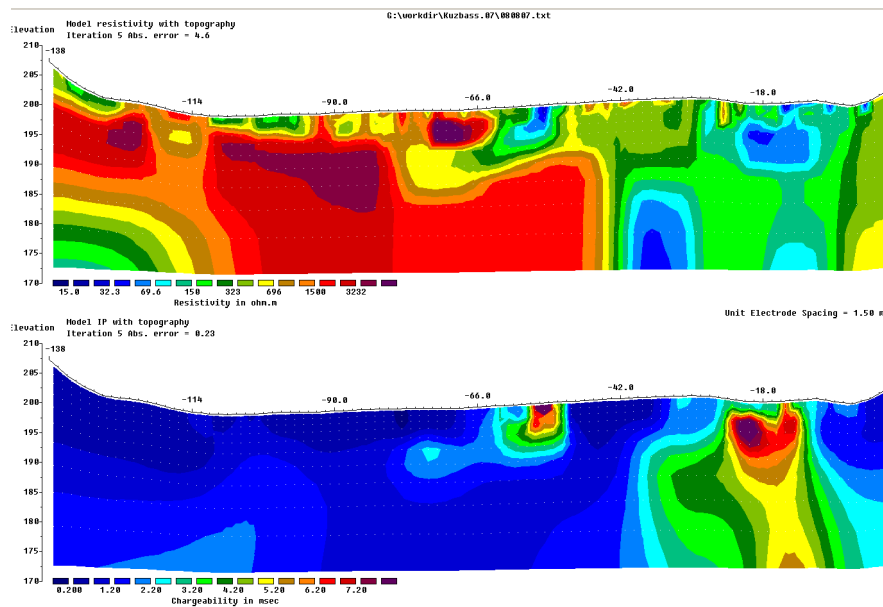
**Рис. 4. Псевдо-разрезы кажущегося сопротивления и поляризуемости для прямой и встречной установок.**

Полевые данные представлены в виде псевдо-разрезов кажущегося сопротивления, которые построены с учетом рельефа (рис.4). Эффективная глубина рассчитана по следующей формуле [Edwards, 1977]:

$$H_{\text{eff}} = \frac{AO}{2.63}.$$

Большая разница в кажущемся сопротивлении для прямой и встречной установками явно указывает на то, что изучаемый разрез существенно отличается от одномерного.

Результат автоматической двумерной инверсии показан на рис. 5. На нем выделяется две зоны повышенной проводимости и поляризуемости, но разной вертикальной мощности, связанные с марганцевым оруденением.



**Рис. 5. Результаты инверсии данных электрической томографии на карьере «Марганцевый».**

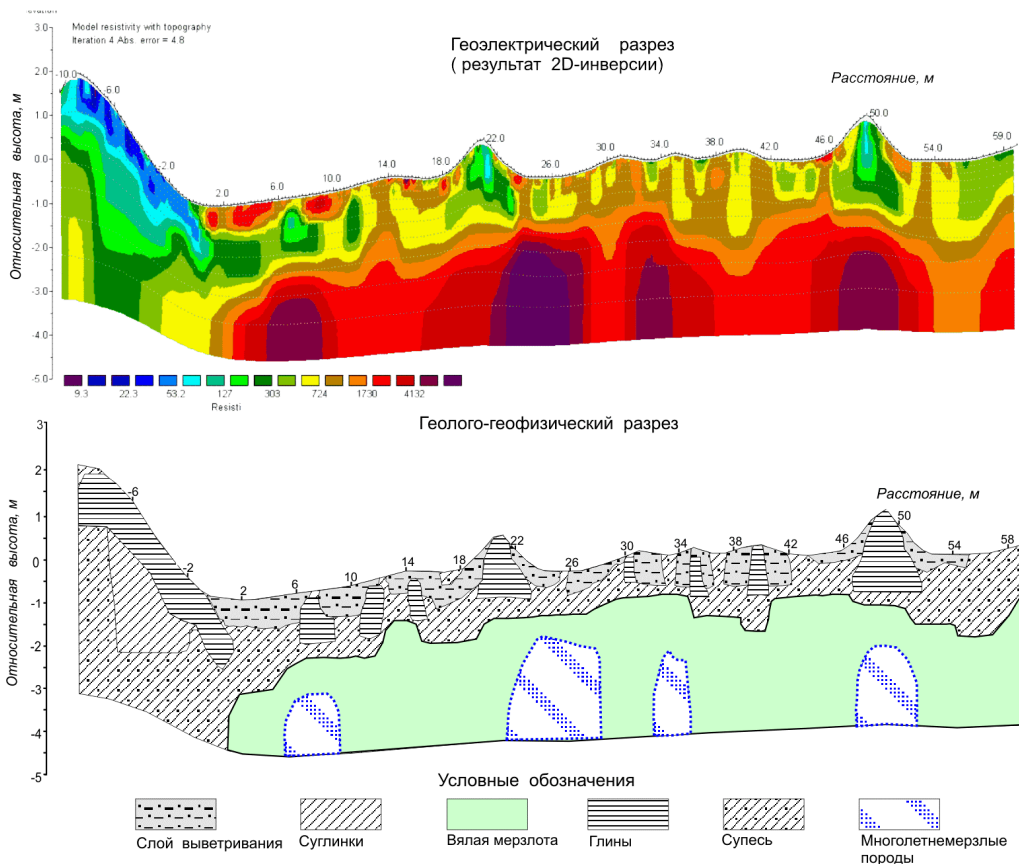
Другой полевой пример это изучение мерзлотных процессов на археологическом памятнике крепость Пор-Бажын (Республика Тыва) (рис. 6). В этом случае использовались

косы с шагом между электродами 0.5 метров, что обеспечить необходимую детальность работ.



**Рис. 6. Проведение геофизических и археологических исследований в крепости Пор-Бажын (Тыва).**

На рис. 7 показаны результаты интерпретации по профилю, начинающемуся на крепостной стене профиля. Так стены были сложены из утрамбованной глины (пахса), то они обладают повышенной проводимостью. В данном случае методика электротомографии позволила также успешно работать в условиях крутого рельефа.



## Рис. 7. Результаты геофизической и геолого-геофизической интерпретации

### Заключение

На Геологическом факультете МГУ разработан и апробирован подход, позволяющий практически внедрять методику электротомографии на базе стандартных электроразведочных комплексов. Мы надеемся, что это поможет внедрить электротомографию в практику отечественной геофизики.

### Литература

- Griffiths, D.H., Barker, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *J. Appl. Geophysics* 29, 211–226.
- Edwards, L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 42, 1020-1036.
- Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А.. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, N02, 14-17.
- Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. // *Физика Земли* 1995 - N 12 - с.79-90.
- Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред. М., 1996, 50 с. // *Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ "Геоинформмарк". Выпуск 2.*
- СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований» / Госстрой России. – М.: ПНИИИС Госстроя России, 2004. – 49 стр.