

ОТРАЖЕНИЕ ИСХОДНОЙ ЗАРЯЖЕННОСТИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА РЕЗУЛЬТАТАХ ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЯ

© 2016 г. А.К. Матевосян

Институт геологических наук НАН РА
0019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения,
E-mail: arshak.matevosyan@yandex.com
Поступила в редакцию 12.03.2015 г.

В настоящей статье представлены основные результаты впервые проведенного математического моделирования процесса выполнения электропрофилеирования методом вызванной поляризации. Установлена высокая погрешность измерений, вызванная отсутствием учета искажающего влияния исходной (первоначальной, остаточной) электрохимической заряженности геоэлектрической среды при проведении очередного измерения, приводящая в конечном итоге к неверным заключениям. Результаты исследований особенно актуальны при электротомографии для получения многомерных геоэлектрических разрезов и требуют особого внимания при выборе методики электроразведочных работ.

В статье (Матевосян, 2014²) представлены новые закономерности зарядки и разрядки геоэлектрической среды по особенностям проявления вторичного электрического поля после внешнего воздействия периодическими однополярными прямоугольными импульсами тока. Ранее на основании анализа интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации (Матевосян, 2001; Матевосян, 2011; Матевосян, 2013) предложен критерий электрохимической заряженности среды (Матевосян, 2014¹). В результате проведенных исследований выявлена систематическая (*методическая*) ошибка, возникающая в связи с отсутствием учета исходного электрохимического (*поляризационного*) состояния геоэлектрической среды перед очередным измерением. В частности, как показано в (Матевосян, 2014²), обработка временных зависимостей ВП с использованием однополярных периодических импульсов по стандартной методике (Инструкция..., 1984; Электроразведка, 1989) в ряде случаев приводит к существенным (*достигающим нескольких десятков процентов и более*) ошибкам (*особенно на поздних временах переходного процесса вторичного электрического поля, исследуемого на стадии детальных полевых работ*), и в итоге к неверным заключениям.

Целью настоящей статьи является выявление характера проявления и оценка величины искажающего влияния исходной (*первоначальной, остаточной*) электрохимической заряженности геоэлектрической среды на результаты электропрофилеирования методом **вызванной поляризации (ВП)** установкой срединного градиента и симметричной установкой (Комаров, 1980; Инструкция..., 1984; Электроразведка, 1989).

Электропрофилирование установкой срединного градиента

Для достижения поставленной цели промоделирован процесс выполнения электропрофилирования установкой **срединного градиента (СГ)** $AMNB$ (рис.1а) методом ВП при возбуждении электрического поля одичным прямоугольным импульсом тока в однородной изотропной поля-

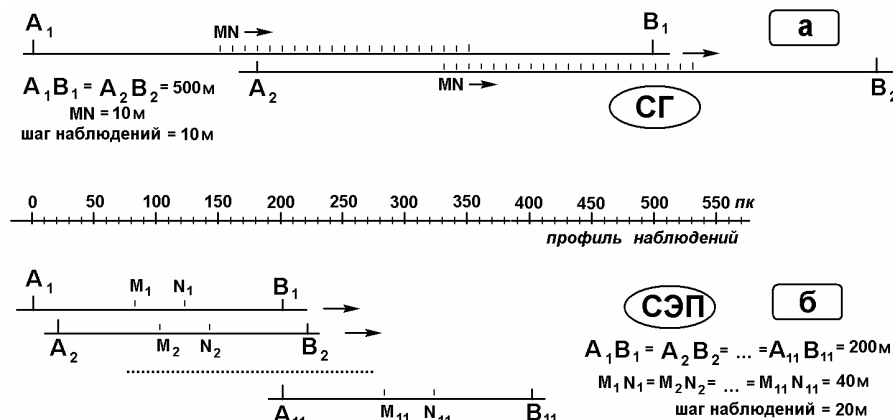


Рис.1. Схематическое представление установки срединного градиента (а) и симметричной установки (б) с расстановкой питающих и приемных электродов с направлением их перемещения (показаны стрелками) при математическом моделировании процесса выполнения электропрофилирования по профилю наблюдений.

ризующейся геоэлектрической среде. Выбор наиболее простой модели геоэлектрической среды не случаен, поскольку только в этом случае измеряемые и определяемые параметры при электроразведочных исследованиях равны соответствующим истинным значениям, что позволит однозначно и совершенно убедительно решить поставленную задачу. Следует напомнить (Инструкция..., 1984; Электроразведка, 1989), что перед выполнением каждого измерения (*до пропускания импульса тока*) компенсируется разность потенциалов между приемными электродами, вызванная не только естественным электрическим полем, но и остаточным вторичным электрическим полем в результате предыдущих измерений. Суммарная величина исходного электрического поля не подается учету (*разделению*) и не фиксируется (*просто игнорируется*), а в лучшем случае приписывается только естественному полю.

При моделировании принималось, что промежуток времени между импульсами достаточен для проведения замеров и перемещения (*перехода*) на следующий пункт наблюдений приемной линии MN , и равен длительности импульсов тока, тем самым при одном фиксированном расположении питающих электродов (*питающей линии*) вдоль профиля наблюдений фактически обеспечивается временной режим измерений **ОПИ-2** – **однополярными периодическими импульсами со скважностью 2** (Электроразведка, 1989). Такое допущение вполне согласуется с дей-

ствующими нормативами электропрофилирования, имея ввиду, что продолжительность зарядки (импульса) t_3 зачастую выбирается равной нескольким минутам, и позволяет воспользоваться результатами нами ранее проведенных исследований (Матевосян, 2014²). При численных расчетах также допускалось, что изменение месторасположения питающих электродов (A_1 и B_1 на A_2 и B_2 , соответственно, рис.1а) для измерений второй части профиля выполняется за промежуток времени $12t_3$ (6 периодов), что также вполне разумно (реализуемо при хорошо налаженной полевой работе). Согласно общепринятым теоретическим основам метода ВП (Комаров, 1980; Электроразведка, 1989) (без учета исходной зарядженности исследуемой геоэлектрической среды (Матевосян, 2014¹)) в результате вышеописанного математического моделирования следует получить идентичные зависимости интерпретируемых параметров вдоль всего профиля наблюдений, причем с амплитудно-временными характеристиками ВП одинаковыми с первым пунктом измерений (пикет 155 – при первом возбуждении среды импульсом тока).

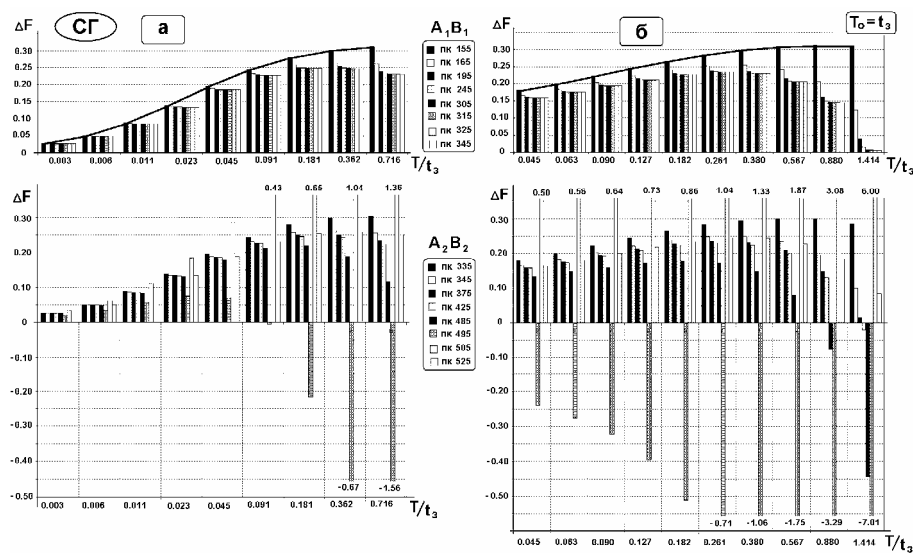


Рис.2. Диаграммы первой производной ПХ, определенной при пропускании тока (а) и по данным спада (б) при электропрофилировании над однородной изотропной поляризуемой геоэлектрической средой установкой срединного градиента первой (A_1B_1) и второй (A_2B_2) частей профиля наблюдений.

На рис. 2 представлены временные зависимости первой производной (приращения) **переходной характеристики (ПХ)** по десятичному логарифму времени $\square F$, определенной при пропускании тока (а) и по данным спада (б) при электропрофилировании первой (верхние диаграммы – пикеты 155-345 при возбуждении поля питающими электродами A_1 и B_1) и второй (нижние диаграммы – пикеты 335-525 при возбуждении поля питающими электродами A_2 и B_2) частей профиля наблюдений (с пере-

крытием измерений на пикетах 335 и 345) при T_0 равном t_3 (где T_0 – абсцисса максимума первой производной ПХ ВП по десятичному логарифму времени – постоянная времени, характеризующая поляризационные особенности геоэлектрической среды). Численные расчеты выполнены при различных значениях отношения T_0/t_3 . Ниже приведены полученные зависимости только при $T_0=t_3$ (рис. 2-4), аппроксимации ПХ логарифмической функцией и допущении линейности протекания поляризационных процессов (Комаров, 1980).

Представленные на рис. 2 зависимости $\square F$, определенной при пропускании тока (а) при электропрофилировании первой части профиля наблюдений (питающие электроды A_1 и B_1) согласуются с аналогичными зависимостями, приведенными в статье (Матевосян, 2014²). Как видно из рис. 2 величины $\square F$ как при пропускании тока (а), так и на спаде (б) плавно изменяются от пикета к пикету (постепенное отклонение значений определяемых параметров от истинных величин), несмотря на то, что измерения проводятся над однородной изотропной средой. Это обстоятельство объясняется протеканием довольно продолжительного спада поляризационных процессов (Матевосян, 2014¹), т.е. к моменту регистрации электрических полей при возбуждении следующим (очередным) импульсом поляризующейся геоэлектрической среде свойственна существенная неполная разрядка.

При исследовании же второй части профиля (питающие электроды A_2 и B_2), т.е. после возбуждения геоэлектрической среды серией импульсов постоянного тока при измерении первой части профиля, аналогичные диаграммы кардинально меняют свой облик – характеризуются не только высокими значениями $\square F$, но и абсолютно непонятными с точки зрения существующих представлений отрицательными значениями $\square F$ на поздних временах («необъяснимый феномен» в рамках современного состояния теории ВП). В данном случае это в первую очередь относится к пикетам 485, 495, 505, 515. Объяснение такого характера проявления основного интерпретируемого амплитудно-временного параметра ВП состоит в переходе приемной линии (MN) через предыдущее месторасположение одного из питающих электродов (B_1 – пикет 500). Согласно действующим электроразведочным инструкциям, ввиду резкого возрастания напряженности первичного поля вблизи питающих электродов не допускается проведение измерений как первичного, так и вторичного электрических полей в данных областях. Однако в нашем рассмотренном случае эта область (пикеты 480-520) после перестановки питающих электродов (A_2B_2) попала на исследуемый участок профиля наблюдений, и объективно проявилась из-за чрезмерно интенсивного вторичного электрического поля в этой области в результате предыдущих возбуждений электрического поля (при измерениях первой части профиля с использованием питающей линией A_1B_1). Это наглядно отражено и на графиках вдоль профиля наблюдений производной переходной характеристики (рис. 4) при пропускании тока (СГ, а) и по данным спада (СГ, б). На этих графиках также наблюдается

резко выраженная нестыковка на пикетах 335 и 345 (на участке перекрытия – при контрольных измерениях), полученных при возбуждении однородной изотропной среды первой (A_1B_1) и второй (A_2B_2) питающими линиями.

Электропрофилирование симметричной установкой

Аналогичным образом промоделирован процесс выполнения электропрофилирования методом ВП импульсами постоянного тока над однородной изотропной поляризующейся геоэлектрической средой **симметричной установкой (СЭП) $AMNB$** (рис.1б). При выполнении численных расчетов допускалось, что промежуток времени равный $3t_z$ между импульсами достаточен для проведения замеров и перемещения на следующий пункт наблюдений всей установки измерений (как приемной линии MN , так и питающей AB), тем самым формально обеспечивается временной режим возбуждения электрического поля ОПИ-4 (однополярными периодическими прямоугольными импульсами со скважностью 4). Такое допущение также вполне созвучно с действующими нормативами электропрофилирования симметричной установкой. Кроме этого принято, что за промежуток времени между импульсами исследуемая среда полностью разряжается (т.е. перед очередным измерением в следующем пункте наблюдений она возвращается в первоначальное состояние), тем самым компенсируя электрическое поле перед пропуском очередного импульса проигнорировано присутствие остаточной заряженности среды в результате предшествующих замеров. Очевидно (согласно известным теоретическим основам метода ВП) в результате такого моделирования следует ожидать идентичные амплитудно-временные зависимости при каждом положении установки измерений вдоль всего профиля наблюдений, причем с амплитудно-временными характеристиками ВП, полученными при первом пункте измерений (пикет 100 – первое возбуждение среды импульсом тока).

На рис.3 представлены временные зависимости первой производной ПХ ВП, определенной при пропуске тока (а) и по данным спада (б) при электропрофилировании над однородной изотропной поляризующейся геоэлектрической средой симметричной установкой с предварительной компенсацией первоначального электрического поля (естественного электрического поля и остаточного вторичного поля после предыдущих импульсов) до пропускания очередного прямоугольного импульса. Представленные на этих рисунках зависимости $\square F$, полученные при пропуске тока (а) по своему характеру проявления в определенной степени схожи с аналогичными зависимостями, приведенными в (Матевосян, 2014²), только при наблюдениях в начале профиля (пикеты 100-160) – постепенное отклонение (уменьшение) значений определяемых параметров от истинных значений (пикет 100). Эта закономерность (тенденция) объясняется влиянием вторичного электрического поля, возбужденного в

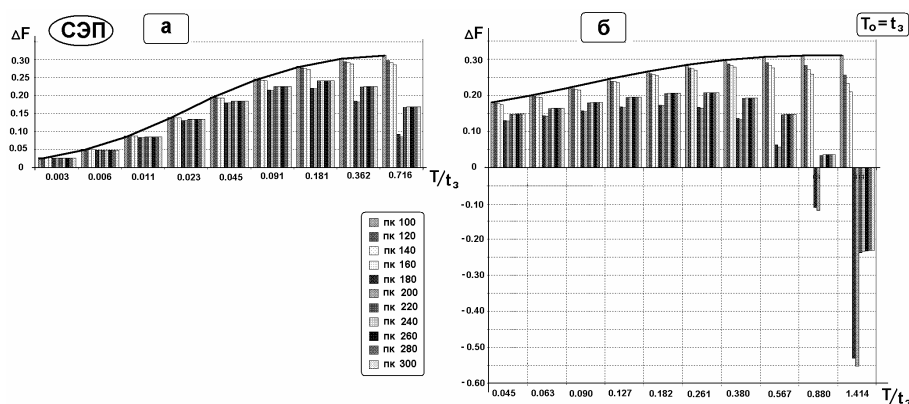


Рис.3. Временные зависимости первой производной ПХ, определенной при пропускании тока (а) и по данным спада (б) при электропрофилировании симметричной установкой над однородной изотропной поляризующейся геоэлектрической средой, по результатам моделирования всего процесса выполнения наблюдений.

результате предыдущих измерений. В дальнейшем, начиная с пикета 160, проявляются парадоксальные с точки зрения существующих представлений отрицательные значения ΔF . В интервале пикетов 180-200 наблюдается резкое уменьшение значений ΔF , а затем скачкообразное увеличение ΔF (пикеты 220-300). В данном случае объяснение такого характера проявления основного амплитудно-временного параметра состоит не только в значительно замедленном протекании вторичных процессов из-за остаточной поляризованности среды, но и в переходе приемной линии (MN) через предыдущие области месторасположения питающего электрода B в процессе электропрофилирования (аналогично, с использованием установки срединного градиента при измерении второй части профиля) в области чрезмерно интенсивного вторичного электрического поля, сформировавшегося в результате предыдущих возбуждений электрического поля. Это отражено и на графиках первой производной ПХ ВП (рис.4) вдоль профиля наблюдений при пропускании тока (СЭП, а) и по данным спада (СЭП, б). Численные расчеты при других величинах отношения T_0/t_3 показали, что приведенные на рис.2-4 графики при $T_0/t_3=1$ претерпевают различные количественные изменения, однако характер (качественные особенности) проявляемых интерпретируемых параметров остается неизменным.

Описанная картина поведения ΔF – одного из основных интерпретируемых параметров в методе ВП, делает его практически малоэффективным (такой полевой материал фактически не поддается истолкованию). И не случайно, что при проведении полевых работ опытными исследователями, измерения на спаде при относительно поздних временах (соразмерных с t_3) не проводятся. Однако отсутствие результатов таких полевых измерений не могут дать объективной полноценной картины

геоэлектрической среды, и, в первую очередь, при исследовании рудных (содержащих электропроводящие минералы) объектов, характеризующихся высокими значениями временного параметра переходной характеристики (постоянной времени).

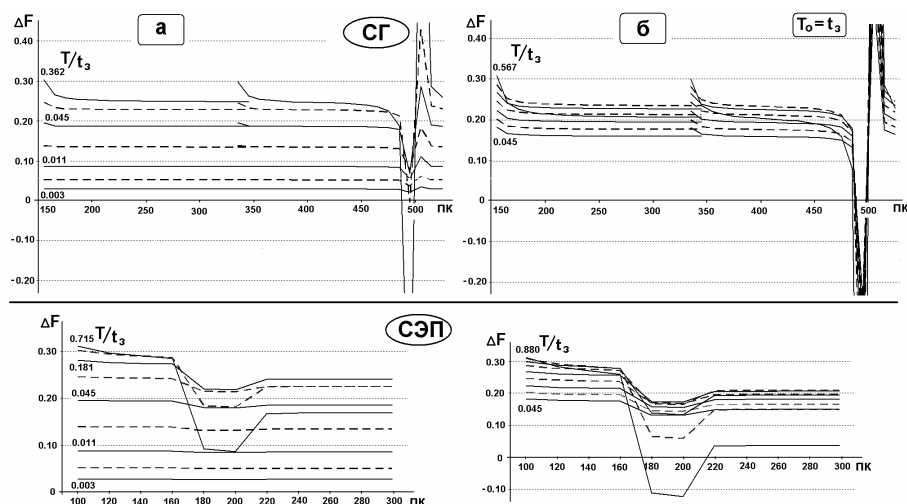


Рис.4. Графики первой производной ПХ вдоль профиля наблюдений над однородной изотропной поляризующейся геоэлектрической средой, определенной при пропускании тока (а) и по данным спада (б) установкой срединного градиента (СГ) и симметричной установкой (СЭП), по результатам моделирования всего процесса выполнения электропрофилирования. Шифр кривых $-T/t_3$.

Исходя из универсальности выше примененной методологии теоретических исследований и численных расчетов, представленные результаты моделирования (сделанный вывод) можно распространить и при рассмотрении других основных модификаций электроразведочных установок измерений в методах постоянного тока, в частности, комбинированного электропрофилирования и вертикального электрического зондирования. Нетрудно представить, что в этих случаях также будет наблюдаться аналогичная картина – высокая погрешность исследований методом ВП, вызванная отсутствием учета искажающего влияния исходной (первоначальной, остаточной) электрохимической заряженности геоэлектрической среды при проведении очередного измерения, и в конечном итоге приводящая к неверным заключениям.

На практике опытным полеви́кам-операторам при выполнении электроразведочных работ знакомо интенсивное изменение разности потенциалов между приемными электродами («непонятное сползание поляризации неполяризуемых электродов» – особенно при изысканиях на рудных объектах), что зачастую затрудняет предварительную компенсацию естественного электрического поля даже при измерениях первичного

электрического поля. Непосредственно следующие за рядовыми измерениями контрольные или повторные наблюдения еще более усложняют осмысление полученных, достаточно разных (*а порой и взаимно противоречивых*) данных. В полевых условиях это просто приписывается к разному роду причинам естественного и техногенного происхождения, которых более чем достаточно. По предъявляемым требованиям электро-разведочных инструкций к полевому материалу, аналогичным вышеприведенным результатам математического моделирования, он должен отбраковываться, но не единичны случаи, когда недобросовестными специалистами с использованием априорной информации вводятся соответствующие «коэффициенты подгонки».

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что при электропрофилировании методом ВП реальных неоднородных геологических сред аналогичной методикой, систематическая погрешность исследований может значительно превышать результаты представленного математического моделирования. С другой стороны, даже имея полную информацию о всех возбуждениях электрического поля с начала проведения электроразведочных работ на исследуемом участке (*всю предысторию электрически возбужденного состояния среды к моменту очередного измерения, и в частности промежутки времени между импульсами и расстановку применяемых установок измерений*), уверенный учет (*определение и введение поправочных коэффициентов для нормирования или устранения*) влияния рассматриваемого искажающегося фактора практически не выполним (*и если еще учесть непредсказуемость в неоднозначном характере протекания нелинейный процессов ВП в области питающих электродов при большой интенсивности высокоградиентного внешнего электрического поля в реальной геологической среде*). Кроме этого, кажущиеся относительно незначительные отклонения при установлении питающих и приемных электродов от требуемых месторасположений в процессе электроразведочных работ во избежание чрезмерно поляризационных областей (*даже в пределах норм, установленных соответствующими руководствами и инструкциями*) может также привести к неподдающейся нормировке данных и значительным погрешностям (*в ряде случаев многократно превышающим установленные величины*).

ЛИТЕРАТУРА

- Инструкция по электроразведке.** Л., Недра, 1984, 352 с.
- Комаров В.А.** Электроразведка методом вызванной поляризации. Л.: Недра, 1980, 391 с.
- Матевосян А.К.** Интегральные амплитудно-временные параметры вызванной поляризации. Доклады НАН Армении, 2001, 101, N 1, с. 76-83.
- Матевосян А.К.** Определение полных интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации по результатам векторных измерений. Доклады НАН Армении, 2011, 111, N 2, с. 157-163.
- Матевосян А.К.** Проявление интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации при периодическом возбуждении геоэлектрической среды однополярными прямоугольными импульсами тока. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2013, 66, N 2-3, с. 40-46.

Матевосян А.К. Критерий электрохимической заряженности геоэлектрической среды. Доклады НАН Армении, 2014¹, 114, N 1, с. 33-43.
Матевосян А.К. Об искажении результатов исследований методом вызванной поляризации при использовании периодических однополярных прямоугольных импульсов тока. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2014², 67, N 2-3, с. 13-20.
Электроразведка. Справочник геофизика. М., Недра, 1989, в двух книгах – 438 с, 378 с.

Рецензент Р. Григорян

**ԵՐԿՐԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ՄԿՁԲՆԱԿԱՆ
ԼԻՑՔԱՎՈՐՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԱՐՏԱՅՈՒՈՒՄԸ
ԷԼԵԿՏՐԱՊՐՈՖԻԼԱՑԻԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ՎՐԱ**

Ա.Կ.Մաթևոսյան

Ամփոփում

Հոդվածում ներկայացված են առաջին անգամ կատարված հարուցված բևեռացման մեթոդով էլեկտրապրոֆիլացման պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելավորման հիմնական արդյունքները: Բացահայտված է բարձր չափման սխալի առկայությունը պայմանավորված հաջորդ չափման ընթացքում երկրաէլեկտրական միջավայրի նախնական էլեկտրաքիմիական լիցքավորվածության գործոնի խանգարիչ ազդեցության հաշվի առնելու բացակայությամբ, որը, ի վերջո, բերում է սխալ եզրակացությունների: Ուսումնասիրությունների արդյունքները հատկապես արդիական են էլեկտրատոմոգրաֆիայի եղանակով բազմատարածական երկրաէլեկտրական կտրվածքներ ստանալու ժամանակ և արժանի են հատուկ ուշադրության էլեկտրահետախուզական աշխատանքների մեթոդիկայի ընտրման ժամանակ:

**REFLECTIONS OF INITIAL CHARGE GEOELECTRIC MEDIA
FOR RESULTS OF ELECTRICAL PROFILING**

A.K. Matevosyan

Abstract

This article presents the main results of the first mathematical modeling performance electrical profiling (*median gradient and symmetrical arrays*) of induced polarization method. The high measurement error caused by the lack of consideration of the distorting influence of the original electrochemical charge of the geoelectrical medium during the next measurement, leading eventually to the wrong conclusions was discovered. The results of studies are particularly relevant at electrical tomography to obtain multi-dimensional geoelectrical sections and require special attention when choosing a methodology of electrical survey.