

ОПЕРАТИВНЫЙ СПОСОБ РАСШИФРОВКИ ЛОКАЛЬНЫХ АНОМАЛИЙ ОТ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

© 2017 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 15.03.2017.

Представлены результаты комплексного анализа разнотипных амплитудно-временных зависимостей вторичных поляризационных процессов в широком временном диапазоне, наблюдаемых в аномальных областях на поверхности сложной поляризующейся геоэлектрической модели.

Предлагается способ исследований методом вызванной поляризации на стадии детальных работ, основанный на оптимизации многокомпонентной системы векторных измерений в требуемом пункте наблюдений с применением многоазимутальной нерегулярной системы возбуждения электрического поля.

Современные возможности практической реализации детальных электроразведочных исследований контактным способом измерений (*крупномасштабные изыскания, включая микроэлектроразведку*) на рудных объектах существенно ограничены ввиду низкой эффективности применения для этих целей обычной методики электроразведочных исследований.

Наиболее широко используемыми способами исследований рудных геологических объектов на стадии детальных электроразведочных исследований методом **вызванной поляризации (ВП)** являются **точечное электрическое зондирование** (*с использованием радиально перемещаемой приемной линии, ориентированной по направлению к ближайшему питающему электроду*) (Методические рекомендации ..., 1989) и **электротомография** (*профильные линейные измерения с применением многоканальной электроразведочной косы*) (Mauriello et al., 1998; Бобачев и др., 2006; Caterina et al., 2014). Однако и эти способы геоэлектрических зондирований имеют определенные ограничения (*в частности, “жесткие” требования, предъявляемые к геометрии установки измерений, трудоемкость полевых работ и сложность обработки и интерпретации данных при нестандартных ситуациях*), что существенно снижает эффективность и ограничивает их практическую реализацию. Кроме этого, в результате выявления характера проявления и оценки величины искажающего влияния исходной (*первоначальной, остаточной*) электрохимической заряженности геоэлектрической среды на результаты ВП при электропрофилеировании (Матевосян, 2016), нетрудно представить, что качественно аналогичная картина будет наблюдаться и при электротомографии и точечном зондировании (*связанная с перестановкой установки измерений при проведение каждого цикла наблюдений*). Иными словами, в указанных мето-

диках искажающее влияние исходной электрохимической заряженности среды практически не поддается учету, зачастую может приводить к значительным погрешностям и в итоге непригодному для интерпретации (*некачественному*) исходному экспериментальному материалу.

Таким образом, специфика детальных малоглубинных электроразведочных исследований (в которой определяющую роль играет уменьшение и возможность учета искажающего влияния технологического фактора – обеспечения заземлений питающих и приемных неполяризующихся электродов в благоприятных условиях с использованием гибкой конфигурации установки измерений) требует постоянного развития и совершенствования, и сегодня это особенно актуально.

Многоэлектродные площадные системы возбуждения электрического поля с применением целенаправленного вращающегося поля в области исследования (*в пределах планшета съемки, пункта наблюдений*) с использованием нерегулярной многокомпонентной системы измерений (Матевосян, 1986) позволяют полноценно исследовать геоэлектрическую среду по системе взаимосвязанных и взаимно дополняющих параметров КС и КП (*включая тензорные*) (Матевосян, 2003¹). Однако, несмотря на свою высокоинформативность, реализация таких исследований сложна, относительно трудоемка и требует специальной методики измерений, обработки и интерпретации данных, что, к сожалению, в настоящее время зачастую является определяющим непреодолимым психологическим барьером для их широкого практического применения и развития.

С целью успешного решения указанной задачи требуется разработка новых и дальнейшее совершенствование известных способов измерений методом ВП на стадии детальных работ с применением, как эффективных площадных систем возбуждения и регистрации электрических полей, так и оптимальных временных режимов возбуждения внешнего поля с максимальным упрощением методики полевых работ. К настоящему времени выход из создавшегося положения представляется в оптимальном совмещении нерегулярной многоэлектродной системы возбуждения и векторных измерений электрических полей. В предыдущих статьях (Матевосян, 2016; 2017) приведены результаты проведенных теоретических исследований и проанализированы характерные особенности пространственно-временного распределения основных параметров первичного и вторичного электрических полей (*при равномерной площадной векторной съемке*) с применением нерегулярной многоазимутальной системы возбуждения сложной модели неоднородной геоэлектрической среды с разнотипными хорошо поляризующимися телами.

Целью настоящей статьи является:

- рассмотрение результатов комплексного анализа разнотипных амплитудно-временных зависимостей вторичных поляризационных процессов в широком временном диапазоне в двух исследуемых пунктах наблюдений, расположенных в

разнохарактерных аномальных областях поляризующейся геоэлектрической модели;

- представление методического подхода при разработке и оптимизации предлагаемого оперативного способа реализации крупномасштабных электроразведочных исследований площадных локальных аномалий от рудных объектов методом **вызванной поляризации (ВП)** с применением многокомпонентных векторных измерений при нерегулярной многоазимутальной системе возбуждения электрического поля.

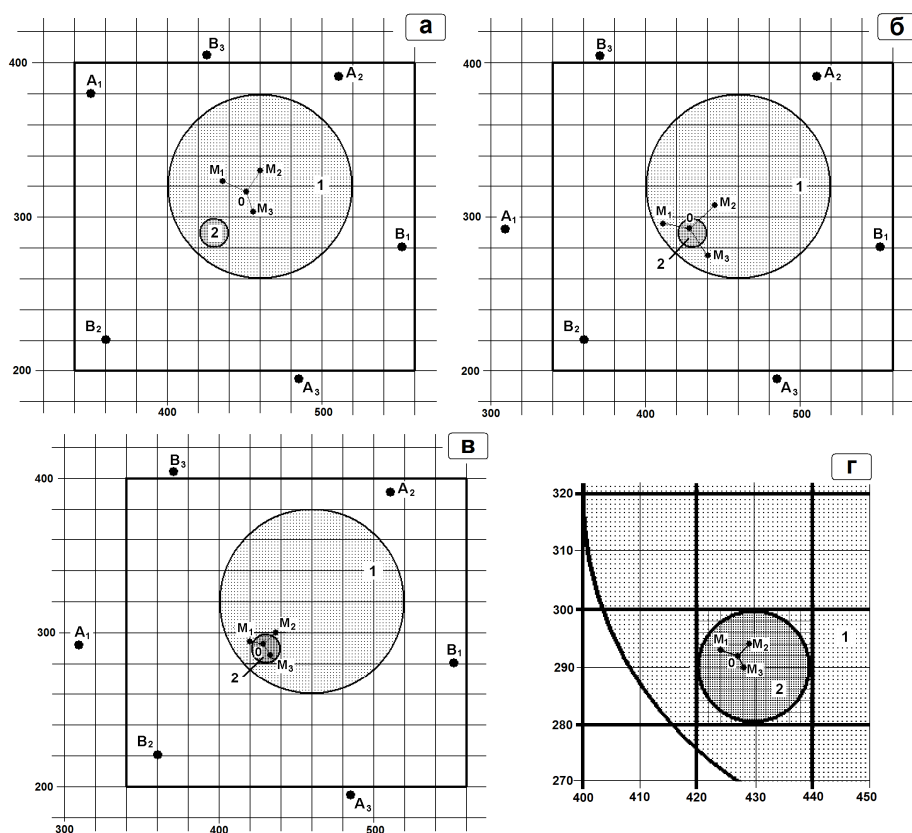


Рис.1. Планшет съемки при детальном исследовании аномальных областей 1 и 2 с месторасположением токовых электродов трех питающих линий (A_1B_1 , A_2B_2 и A_3B_3) на поверхности геоэлектрической модели А с локальным хорошо проводящим и поляризующимся сферическим телом 2, расположенным в области большей сферической неоднородности 1 с менее дифференцированными электрическими свойствами от вмещающей однородной среды.

а – при изучении региональной аномалии 1;

б, в (детализация 1), г (детализация 2) – при исследовании локальной аномалии 2 различной степенью детализации с использованием нерегулярной системы измерений из 4 приемных электродов (O , M_1 , M_2 и M_3) на каждом этапе детализации.

Представленная работа является логическим продолжением (Матевосян, 2017) и выполнена с использованием той же сложной поляризую-

щейся модели геоэлектрической среды. На рис.1 представлен планшет съемки на стадии детальных исследований аномальных областей 1 и 2 на поверхности геоэлектрической модели А (Матевосян, 2017), в табл.1 приведены размеры и направления ориентации нерегулярных систем питающих и приемных линий (*с небольшим произвольным смещением от правильной геометрии многоазимутальной площадной векторной установки* (Матевосян, 2003²)).

Таблица 1

Размеры (d, в метрах) и направления ориентации (φ , в градусах относительно оси x) питающих и приемных линий при изучении аномальных областей 1 и 2 на разных этапах детализации.

линии	аномалия 1 (рис.1а)		аномалия 2 (рис.1б)		аномалия 2 детализация 1 (рис.1в)		аномалия 2 детализация 2 (рис.1г)		аномалия 2 детализация 3	
	d	φ	d	φ	d	φ	d	φ	d	φ
питающие										
A_1B_1	223.6	153	240.2	178	240.2	178	240.2	178	240.2	178
A_2B_2	226.7	49	226.7	49	226.7	49	226.7	49	226.7	49
A_3B_3	218.4	286	239.4	299	239.4	299	239.4	299	239.4	299
приемные										
OM_1	18.0	146	17.3	170	7.6	157	3.2	162	0.10	180
OM_2	18.0	56	24.8	40	11.3	45	2.8	45	0.14	45
OM_3	11.2	297	21.4	307	8.6	306	2.2	297	0.14	315

Напомним, что исследуемая геоэлектрическая модель представлена локальным хорошо проводящим и поляризующимся сферическим телом 2 (*предполагаемый рудный объект*), расположенным в большей сферической области с относительно менее контрастными электрическими свойствами 1 (*в частности, область околорудной пиритизации*) от вмещающей однородной изотропной слабо поляризующейся среды (Матевосян, 2017).

Выбранная ранее (Матевосян, 2017) трехазимутальная нерегулярная система возбуждения электрического поля в геоэлектрической модели (рис.1а), состоящая из трех питающих линий (A_1B_1 , A_2B_2 и A_3B_3 – *наподобие установки срединного градиента*) с различными азимута ориентировки (*умышленно смещенных от центра исследуемых неоднородностей*), позволила оценить эффективность каждой из них при выполнении детальной площадной векторной съемки с целью исследования как относительно высокого регионального поляризационного фона, сформированного пиритизированной областью (*неоднородность 1*), так и локального рудного объекта (*неоднородность 2*). Следует обратить внимание, что несмотря на заметное произвольное расположение питающих электродов, изучаемая область геоэлектрической модели (*пункты наблюдений*) приблизительно расположена в центральной части соразмерных питающих линий (*следуя рекомендациям действующих электроразведочных методических инструкций, в частности* (Инструкция ..., 1984), для воз-

буждения относительно однородного нормального электрического поля в окрестности пункта измерений). Заметим также, что такая площадная система возбуждения, не только максимально приближена к реальным условиям проведения электроразведочных работ, но и позволяет создавать вращающееся электрическое поле в области требуемого исследуемого пункта наблюдений с использованием различных комбинаций питающих линий (в частности, $A_1B_1-A_2B_2$, $A_1B_1-A_3B_3$ и $A_2B_2-A_3B_3$) (Матевосян, 2003¹). Это обстоятельство особенно важно (поскольку является обязательным условием) для получения тензорных параметров **кажущегося сопротивления (КС)** и **кажущейся поляризуемости (КП)**, кардинально повышающих информативность исследований.

В процессе математического моделирования (при анализе большой совокупности пространственных амплитудно-временных зависимостей вторичного поля) выяснилось, что для многостороннего изучения неоднородности 2 целесообразна некоторая корректировка системы возбуждения: двух питающих линий (A_1B_1 и A_3B_3), которая была достигнута с перестановкой двух токовых электродов – $A_1(310м, 290м)$ и $B_3(370м, 405м)$ (рис.16, табл.1).

При моделировании использовались многокомпонентные способы векторных измерений:

- **“Пучком”** – относительно приемного электрода, ближайшего к соответствующему питающему электроду, установленного от центрального электрода O в сторону электрода A одновременного тремя измерительными каналами (трехкомпонентный способ измерений) при трех вариантах возбуждения поля: $A_1B_1 - M_1O$, M_1M_2 и M_1M_3 ; $A_2B_2 - M_2O$, M_2M_1 и M_2M_3 ; $A_3B_3 - M_3O$, M_3M_1 и M_3M_2 . Знак всех измеряемых разностей потенциалов в однородной изотропной среде – положительный; точка присвоения (опорный электрод) – M_1 , M_2 , M_3 при каждом направлении (азимуте) поля, соответственно.
- **“Звездочкой”** – относительно общего центрального приемного электрода O (опорный электрод – точка присвоения) одновременного тремя измерительными каналами (OM_1 , OM_2 , OM_3 – трехкомпонентный способ измерений) при трех направлениях возбуждения поля (A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3). Знак измеряемых разностей потенциалов в однородной изотропной среде при $A_1B_1-OM_1$; $A_2B_2-OM_2$; $A_3B_3-OM_3$ – отрицательный, в остальных случаях – положительный.
- **“Треугольником”** – одновременного тремя измерительными каналами (M_1M_2 , M_1M_3 , M_2M_3 – замкнутая система измерений – условно двухкомпонентный способ измерений: ввиду справедливости последовательного суммирования разностей потенциалов между приемными электродами – один канал является контрольным) при трех направлениях возбуждения поля (A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3). Предусмотрена возможность определения требуемых параметров элект-

рических полей при этом способе измерений путем пересчета данных “пучком” или “звездочкой”. Точкой присвоения результатов измерений условно может являться область в центре треугольника.

Информативность систем измерений “пучком” и “звездочкой” одинакова и выше, чем “треугольником”, однако в последнем случае есть возможность контролирования (дублирования) процесса измерений, что повышает достоверность измерений. При расчете тензорных параметров КС и КП по данным нерегулярной сети измерений (Матевосян, 2003¹) удобнее манипулировать системой “звездочка” – (M_1-O-M_2 , M_1-O-M_3 и M_2-O-M_3), которую можно получить как путем непосредственных измерений, так и пересчитав результаты измерений “пучком”. Каждая составляющая напряженности электрического поля в пункте наблюдений определялась как отношение разности потенциалов к расстоянию между приемными электродами (*иными словами, приращение потенциала электрического поля на расстоянии, равном разносу приемной линии*) и приписывалась к местоположению центрального приемного электрода O в направлении ориентации соответствующей приемной линии. Этим и объясняется некоторое расхождение рассматриваемых векторов плотности тока $\mathbf{j}$ (*основного векторного параметра нормального поля, характеризующего особенности системы возбуждения на поверхности однородной изотропной среды*) в исследуемом пункте наблюдений с использованием одной и той же питающей линии (рис.5,6). Однако, такой подход обеспечивает измерение и определение реальных величин электрических полей с высокой точностью исследований и полностью согласовывается с методикой экспериментальных работ. Следует заметить, что несмотря на отсутствие строгого требования к фиксированному размеру и ориентировке (*геометрии*) приемных линий, целесообразно соблюдать их соразмерность и приблизительно разбивать по направлениям (*азимутам*) каждой питающей линии (рис.1). Это позволяет оптимизировать весь процесс исследований с учетом критерия достоверности измерений (Матевосян, 2003¹). В итоге, несмотря на определенную произвольность выбора геометрии установки измерений, такое расположение токовых и приемных линий (*электродов*) позволяет в определенной степени одинаково как возбудить электрическое поле, так и оптимально его измерить, что является необходимым и весьма важным условием для дальнейшей эффективной комплексной обработки и интерпретации данных.

В результате численных расчетов для двух пунктов наблюдений (рис.1), расположенных в центральной области региональной (*над сферическим объектом 1*) и локальной (*над сферическим телом 2*) аномалий геоэлектрической модели **A**, соответственно, получены различные амплитудно-временные характеристики ВП (рис.2-5). Заметим, что в обоих случаях пункт наблюдений (*опорный центральный приемный электрод O*) не совмещен с эпицентрами сферических неоднородностей **1** и **2** (*удален на расстояние 11.2м и 3.6м, соответственно; табл.1*).

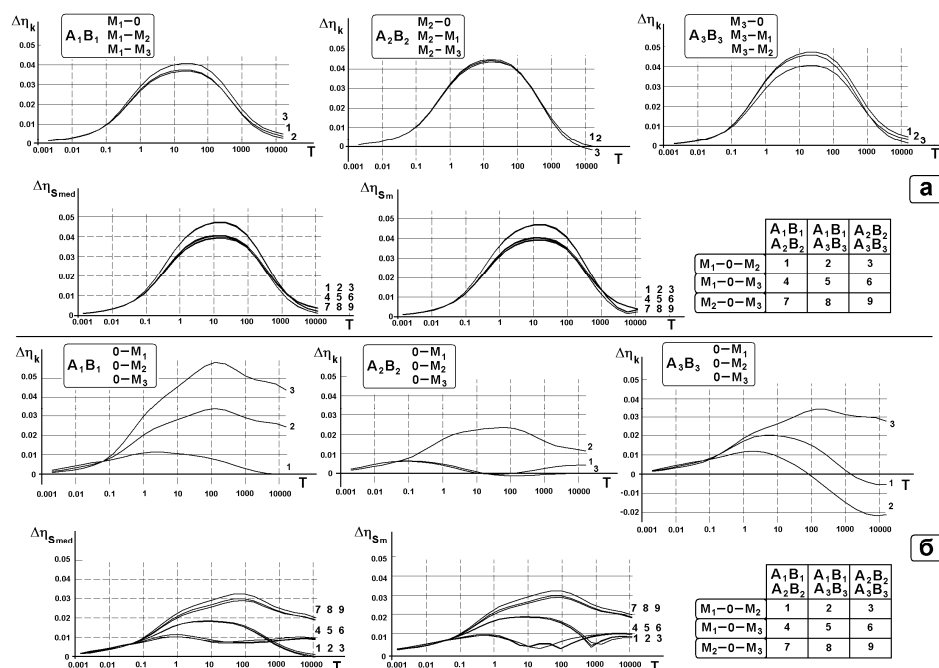


Рис.2. Кривые первых производных параметров кажущейся поляризуемости $\Delta\eta_k(T)$, $\Delta\eta_{smed}(T)$ и $\Delta\eta_{sm}(T)$ в процессе пропускания одиночного импульса постоянного тока и с использованием различных систем возбуждения и регистрации над региональным объектом **1** (а) и локальным объектом **2** (б) (в центральных частях аномальных областей **1** и **2**, соответственно).

На рис.2 и 3 представлены кривые первых производных (*приращений*) переходной характеристики ВП над электрическими неоднородностями. Здесь:

$\Delta\eta_k(T)$ – приращение (*первая производная*) **кажущейся поляризуемости (КП)** по логарифму времени (Электроразведка, 1989), вычисленное путем численного дифференцирования кажущейся поляризуемости $\eta_k(T)$ по результатам измерений разности потенциалов каждой приемной линии при пропускании тока поочередно тремя питающими линиями (*простые установки площадных измерений*);

$\Delta\eta_{smed}(T)$ – приращение усредненной величины полной кажущейся поляризуемости по логарифму времени, вычисленное путем численного дифференцирования кажущейся поляризуемости $\eta_{smed}(T)$ (*тензорный параметр КП* (Матевосян, 2003¹)) результатов векторных измерений напряженности вторичного поля при пропускании тока с использованием разных трех приемных электродов (*двух приемных линий*) и попарно взятых двух питающих линий (*площадные двухазимутальные многоэлектродные установки измерений*);

$\Delta\eta_{sm}(T)$ – приращение усредненной величины полной кажущейся поляризуемости по логарифму времени (*дифференциальный тензорный параметр КП*), вычисленное по результатам изменений (*приращения во времени*) векторных измерений напряженности вторичного поля с использованием разных трех приемных электродов и попарно взятых двух питающих линий.

На рис. 2 графики $\Delta\eta_k(T)$ получены при системе измерений “пучком” и “звездочкой” с применением трех простых систем возбуждения (A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3). Ниже приведены графики $\Delta\eta_{smed}(T)$ и $\Delta\eta_{sm}(T)$, полученные тремя двуазимутальными системами возбуждения ($A_1B_1-A_2B_2$, $A_1B_1-A_3B_3$ и $A_2B_2-A_3B_3$), позволяющими создавать вращающееся электрическое поле в требуемом пункте наблюдений (Матевосян, 2003¹), также системой измерений “звездочка”. Общая закономерность этих временных зависимостей над региональной неоднородностью 1 (рис.2а) проявляется в виде максимальных значений $\Delta\eta_k(T)$, $\Delta\eta_{smed}(T)$ и $\Delta\eta_{sm}(T)$ во временном интервале $T=20-40$ с. Над локальной неоднородностью 2 (рис.2б) аналогичные кривые существенным образом отличаются как формой, так максимальными значениями и постоянной времени T_{max} при разных системах возбуждения и измерений. Это (*и в первую очередь, широкий временной интервал проявления T_{max}*) наглядно свидетельствует о присутствии хорошо поляризующейся неоднородности в области пункта наблюдений соразмерной с разносами приемных линий. Такая неоднозначная и на первый взгляд противоречивая картина проявления амплитудно-временных зависимостей (*в частности, присутствие временных интервалов с отрицательными значениями дифференциальной кажущейся поляризуемости*) диктует необходимость продолжения детальных работ (*с целью расшифровки аномального поведения полученных кривых*), с поэтапным уменьшением разносов приемных линий при фиксированном опорном приемном электроде (рис.3). Согласно этим кривым, уже с первой стадии детализации наблюдается устойчивая динамика приведенных временных зависимостей (*постоянная времени T_{max} изменяется в достаточно конкретном временном интервале: 2000-10000с*). На первых двух этапах детализации четко прослеживается зависимость амплитуды дифференциальной кажущейся поляризуемости от выбранной системы измерений (*одной приемной линии при вычислении $\Delta\eta_k(T)$ и двух – при определении тензорных параметров $\Delta\eta_{smed}(T)$ и $\Delta\eta_{sm}(T)$*). Третью стадию детализации, выполненную при достаточно малых величинах разносов приемных линий (табл.1), практически можно считать предельной (*теоретической*), при которой “все семейство” кривых $\Delta\eta_{smed}(T)$ и $\Delta\eta_{sm}(T)$ сливается в единую временную зависимость.

В результате математического моделирования выявлены основные закономерности проявления различных взаимосвязанных амплитудно-вре-

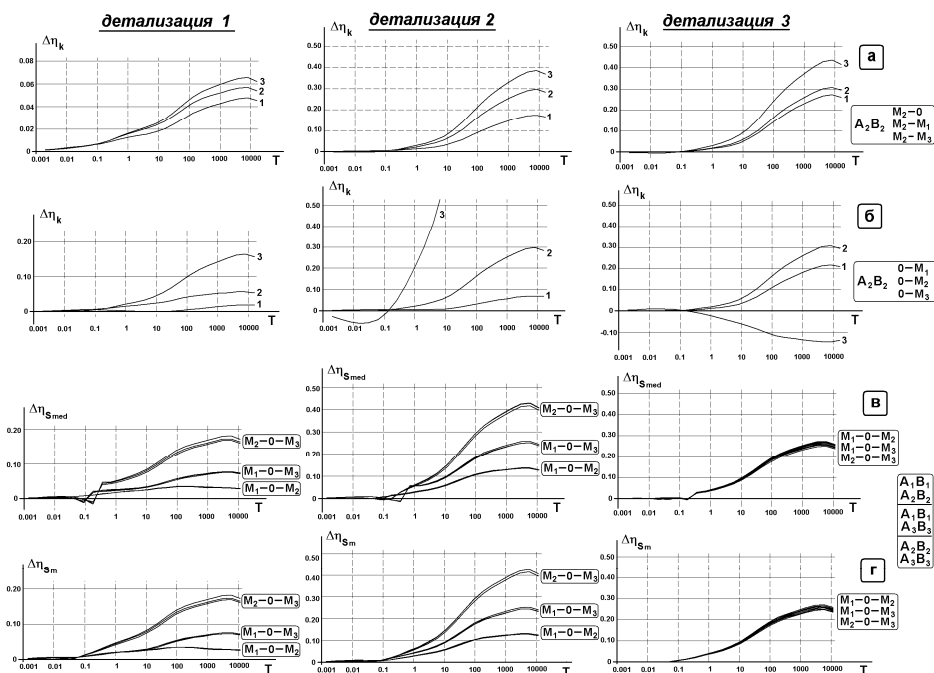


Рис.3. Графики $\Delta\eta_k(T)$, $\Delta\eta_{smed}(T)$ и $\Delta\eta_{sm}(T)$ в аномальной области 2 на разных этапах детализации.

менных характеристик поля ВП (в широком временном диапазоне) в аномальных областях на поверхности неоднородной поляризующейся геоэлектрической модели на разных этапах детализации измерений. При этом, особую важность в процессе обработки и интерпретации данных приобретает представление (визуализация) основных векторных и тензорных параметров исследуемых электрических полей. В частности, построение кривых дифференциальной (первой производной) кажущейся поляризуемости, диаграмм векторов плотности тока, напряженностей первичного и вторичного электрических полей, временных диаграмм компонентов тензора кажущейся поляризуемости, круговых временных диаграммы и разверток диаграмм различных параметров КС и КП. Некоторые из них приведены ниже.

На рис.4 представлены диаграммы векторов плотности тока $\mathbf{j}$, напряженностей первичного $\mathbf{E}_0$ и вторичного $\mathbf{E}_{вп}(T)$ электрических полей над электрическими неоднородностями 1 и 2 при поочередном возбуждении электрического поля тремя питающими линиями (A_1B_1 , A_2B_2 и A_3B_3) и измерении с использованием системы “звездочка” (трех пар приемных линий: M_1-0-M_2 , M_1-0-M_3 и M_2-0-M_3). Здесь также приведены максимально информативные временные диаграммы компонентов двумерного тензора второго ранга кажущейся поляризуемости $\eta_s(T)$ (η_{xx} , η_{xy} , η_{yx} , η_{yy}) при многоазимутальном возбуждении поля, построенные ранее предложенным

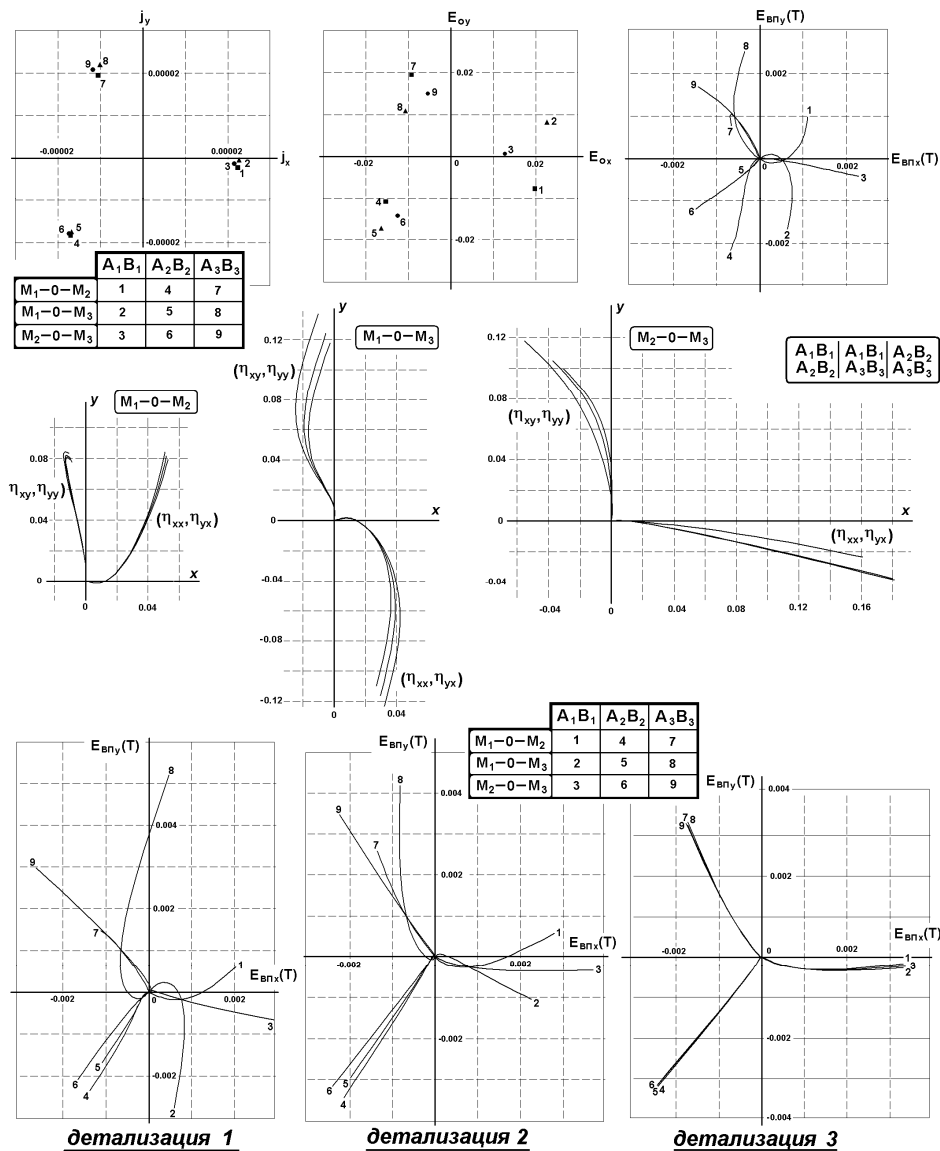


Рис.4. Диаграммы векторов плотности тока $\mathbf{j}$, напряженностей первичного $\mathbf{E}_0$ и вторичного $\mathbf{E}_{wp}(\mathbf{T})$ полей (верхние графики), временные диаграммы компонентов тензора $\eta_s(\mathbf{T})$ (промежуточные графики) в аномальной области 2 при многоазимутальном возбуждении электрического поля ($A_1 B_1$, $A_2 B_2$ и $A_3 B_3$) с использованием трех нерегулярных систем приемных линий (M_1-0-M_2 , M_1-0-M_3 и M_2-0-M_3) и диаграммы напряженности вторичного поля $\mathbf{E}_{wp}(\mathbf{T})$ (нижние графики) на каждом последующем этапе детализации.

способом (Матевосян, 2003¹). Неожиданно интересную картину можно наблюдать на временных диаграммах $\mathbf{E}_{wp}(\mathbf{T})$ (иллюстрация траектории конца вектора напряженности вторичного поля), однозначно указывающих на сложную структуру исследуемой модели и характеризующих присутствие региональной и локальной (на разных этапах детализации)

(рис.4) неоднородностей, выраженных достаточно сложной (на первый взгляд непонятным, даже абсурдным поведением) “закрученной” траекторией конца векторов вторичного поля в процессе поляризации среды (возбуждения геоэлектрической модели). Это обстоятельство более странно отражается на составляющих вектора $E_{вп}(T)$ (в частности x - и y -, что легко проследить на приведенных диаграммах) и проявляется не только уменьшением их величин со временем, но и изменением знака. Только путем векторных измерений в исследуемом пункте можно объяснить и истолковать полученные данные, в противном случае их следует просто забраковывать (что на практике и происходит). Представленные диаграммы наглядный классический пример, еще раз подтверждающий необходимость и эффективность векторной съемки.

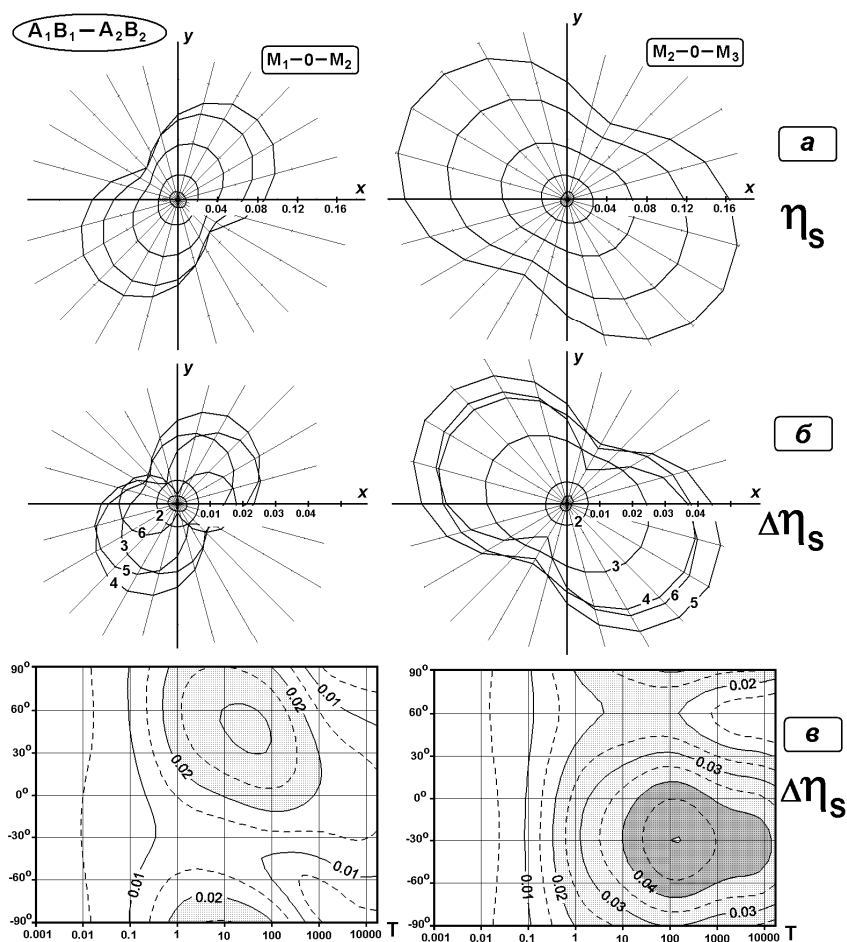


Рис.5. Круговые временные диаграммы (а, б) и развертки диаграмм (в) параметров кажущейся поляризуемости $\eta_s(T)$ (а) и $\Delta\eta_s(T)$ (б, в) в аномальной области 2 геоэлектрической модели А при возбуждении электрического поля двумя питающими линиями (A_1B_1 и A_2B_2) с использованием двух систем приемных линий (M_10-M_20 и M_20-M_30).

Согласно методике построения круговых диаграмм и разверток диаграмм (Матевосян, 2003¹) на рис.5 изображены временные зависимости полной кажущейся поляризуемости $\eta_s(T)$ и $\Delta\eta_s(T)$ от направления первичного поля с использованием питающих линий A_1B_1 и A_2B_2 и системы измерений “звездочкой”. Отмеченные зависимости позволяют проследить изменение рассматриваемых параметров не только во времени (*в частности, как приведенные на рис.2 и 3 графики $\Delta\eta_{sm}(T)$ – усредненных значений приращения кажущейся поляризуемости*), но и от направления прилагаемого электрического поля, что проявляется в виде азимутальной анизотропности определяемых параметров и содержит полезную информацию о пространственном распределении электрических неоднородностей геоэлектрической среды. Следует напомнить, что при исследовании реальных геоэлектрических сред (*сложных, содержащих разнотипные электропроводящие объекты*) такие временные диаграммы не всегда однозначно иллюстрируют определяемые тензоры КС и КП, и для этого дополнительно рекомендуется построение “отрезков” соответствующих тензоров (Матевосян, 2003¹) для требуемых моментов времени цикла измерений.

Достаточно эффективным средством для оперативной проверки, контроля и корректировки результатов измерений в процессе интерпретации данных на разных этапах детальных работ (*при математическом моделировании сложных геоэлектрических сред на разных стадиях детализации*) может являться построение карт изолиний потенциалов нормального, первичного и вторичного полей (рис.6). В частности, внимательное рассмотрение динамики изменения представленных параметров на этих картах дает ответ на “странное поведение” временных зависимостей кажущейся поляризуемости (рис.2 и 3) и векторов напряженности поля ВП (рис.4) при некоторых системах возбуждения и измерения поля. Сопоставляя результаты, полученные на разных этапах детализации (рис.4) практически отличающихся только размерами приемных линий (табл.1, рис.6), в грубом приближении можно судить о геометрических размерах и пространственном расположении аномалиеобразующего объекта. Большая разница между основными интерпретируемыми параметрами наблюдаемых электрических полей (*при использовании результатов измерений разными парами приемных линий на данном этапе детализации*) свидетельствует о присутствии в области пункта наблюдений локальной электрической неоднородности, соизмеримой с величиной разносов приемных линий. По мере уменьшения приемных линий (*на последующих этапах детализации*) указанная разница уменьшается, т.е. неоднородность 2 создает плавное локальное поле и тем самым уже проявляется как региональный объект. Следует подчеркнуть, что несмотря на повышенную информативность результатов измерений при малых разносах приемных линий, практическая реализация таких исследований сопряжена со значительными техническими (*для обеспечения требуемой интенсивности возбуждаемых электрических полей*) и методологичес-

кими (в частности, при соблюдении требований к геометрии расположения и условиям заземления приемных электродов) трудностями.

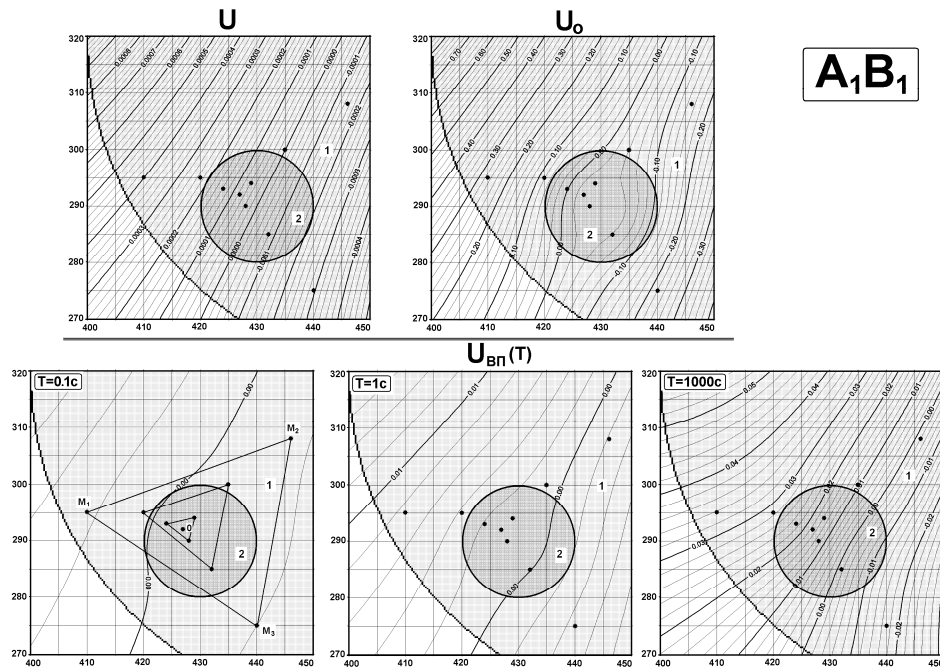


Рис.6. Карты изолиний потенциала возбуждаемого (нормального) U , первичного U_0 и вторичного $U_{ВП}(T)$ полей при возбуждении рассматриваемой геоэлектрической модели A питающей линией A_1B_1 в три момента времени; **черные точки** – местоположения приемных электродов при исследовании аномальной области 2; **треугольники** – используемые на каждом этапе детализации нерегулярные системы векторных измерений из 4 приемных электродов O, M_1, M_2 и M_3 .

Благодаря дифференциации неоднородной геоэлектрической модели не только по электрическим свойствам (удельному электрическому сопротивлению и поляризуемости), но и временному параметру ПХ ВП, удалось однозначно решить поставленную задачу (яркий демонстрационный пример, раскрывающий эффективность предлагаемого способа детальных исследований методом ВП). Кроме этого, полученные результаты математического моделирования позволяют еще раз констатировать, что при исследовании реальных геологических сред, содержащих электропроводящие включения, нельзя ограничиваться только измерениями поля ВП (поляризационного процесса) на ранних и, частично, средних временах ($T \leq 10c$). Следует также напомнить, что в процессе интерпретации электроразведочных данных (для каждого пункта наблюдений при исследовании неоднородной геоэлектрической среды) определяемые параметры и получаемые зависимости являются кажущимися (наряду с кажущимся сопротивлением и кажущейся поляризуемостью) и зависят не только от особенностей распределения электрических свойств среды, но и от конк-

ретной примененной установки измерений. Ценность представленной методики заключается и в устойчивости конечных решений, благодаря векторным измерениям с привлечением инвариантных тензорных параметров КС и КП. Как показал наш опыт математического моделирования (*на проведенном большом фактическом материале*), представленный комплекс графической иллюстрации основных интерпретируемых пространственно-временных зависимостей зачастую играет решающую роль для объективного достоверного объяснения протекающих в геологической среде сложных электрохимических процессов. Предлагаемая методика реализуема даже при ограниченных технических возможностях электроразведочной аппаратуры (*в частности, с применением ранее разработанной и изготовленной нами в ИГИС НАН Армении электроразведочной 4-канальной аналого-цифровой запоминающей измерительной аппаратуры **Vector-AM***) и минимальных материальных затратах (*не дорогим вспомогательным полевым оборудованием*), но не в ущерб качеству исследований.

Предлагаемый способ детальных исследований методом ВП целенаправлен на оптимизацию системы многокомпонентных векторных измерений в требуемой области реальной геоэлектрической среды (*в присутствии разного рода приповерхностных искажающих факторов*) с применением многоазимутальной нерегулярной системы возбуждения электрического поля и основан на минимизации производственных затрат (*с максимальным упрощением методики исследований – выполнения полевых работ, обработки и интерпретации данных*) для получения необходимой и достаточно надежной информации (*экспериментального материала*) при решении поставленной задачи. Применение данного способа не исключает возможность оперативной расшифровки природы аномалиеобразующего геологического объекта по априорным (*геолого-геофизическим, геоморфологическим, биологическим и др.*) данным, без обычно выполняемого предварительного геоэлектрокартирования (*поисковой стадии работ методами постоянного тока*). Дальнейшие экспериментальные (*лабораторные, натурные, опытно-методические*) исследования пространственного распределения рассмотренного комплекса амплитудно-временных параметров ВП на поверхности сложных хорошо поляризующихся геоэлектрических сред, содержащих разнотипные электропроводящие (*рудные*) объекты, позволят совершенствовать представленную методику электроразведочных изысканий на стадии детальных работ. Предусмотренная гибкая методика исследований (*возможность использования нестандартных установок измерений для обеспечения благоприятных условий наблюдений возбуждаемых электрических полей с поэтапной детализацией работ в требуемых пунктах измерений, исходя из особенностей конкретно поставленной задачи*) существенно способствует практическому применению предлагаемого способа в различных модификациях, не ограничивая творческие инициативы высококвалифицированных специалистов.

Исследование частично выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН Армении в рамках научного проекта № 15Т-1Е418.

Литература

- Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А..** Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, №2, с.14-17.
- Инструкция по электроразведке.** Л.: Недра, 1984, 352с.
- Матевосян А.К.** Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1249607, 1986, Б.И. №29.
- Матевосян А.К.** Разработка теоретических основ методики векторной съемки при электроразведочных исследованиях. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. доктора физ.-мат. наук. Ереван, ИГН НАН РА, 2003¹.
- Матевосян А.К.** Трехазимутальная модификация МАК-зондирования. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2003², LVI, №2, с.56-59.
- Матевосян А.К.** Отражение исходной заряженности геоэлектрической среды на результатах электропрофилирования. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2016, 69, №3, с.15-23.
- Матевосян А.К.** Основные направления оптимизации площадных детальных исследований методом вызванной поляризации. Изв. НАН Армении, Науки о Земле, 2017, 70, №1, с.10-24.
- Методические рекомендации по применению точечных зондирований для построения геоэлектрического разреза.** Ленинград: НПО "РудГеофизика", 1989, 64с.
- Электроразведка.** Справочник геофизика. М., Недра, 1989, в двух книгах – 438с, 378с.
- Caterina D., Hermans T., Nguyen F.** Case studies of incorporation of prior information in electrical resistivity tomography: comparison of different approaches. Near Surface Geophysics, 2014, v. 12, №4, p.451-465.
- Mauriello Q., Monna D., Patella D.** 3D geoelectric tomography and archaeological applications. Geophysical prospecting, 1998, v. 46, 5, p.543-570.

Рецензент А. Тамразян

ՀԱՐՈՒՑՎԱԾ ԲԵՎԵՌԱՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴՈՎ ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՕԲՅԵԿՏՆԵՐԻՑ ՏԵՂԱԿԱՆ ԱՆՈՍԱԼԻԱՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՄԱՆ ՕՊԵՐԱՏԻՎ ԵՂԱՆԱԿ

Ա.Կ.Մաթևոսյան

Ամփոփում

Հոդվածում ներկայացված են լայն ժամանակային տիրույթում երկրորդական բևեռացող պրոցեսների տարաբնույթ ամպլիտուդա-ժամանակային կախվածությունների համալիր վերլուծության արդյունքները, որոնք դիտարկվում են բարդ բևեռացող երկրաէլեկտրական մոդելի մակերեսի անոմալ տեղամասերում:

Առաջարկվում է հարուցված բևեռացման մեթոդով մանրակրկիտ աշխատանքներ կատարելիս նոր էլեկտրահետախուզական եղանակ, որը հիմնված է բազմաբաղադրիչ վեկտորային չափումների համա-

կարգի օպտիմալացման վրա՝ կիրառելով էլեկտրական դաշտի բազմաազիմուտալ զրգոման համակարգ:

**OPERATIONAL DECODING METHOD OF LOCAL ANOMALIES
FROM ORE OBJECTS BY INDUCED POLARIZATION METHOD**

A.K. Matevosyan

Abstract

In this article the results of the complex analysis of the various types of amplitude-time dependences of secondary polarization processes in wide time range, observed in anomalous regions on the surface polarizing geoelectric model are presented.

The method of investigation by induced polarization method at the stage of detailed work, based on the optimization of a multi-component system of vector measurements at the required observation point with using a multi-azimuth irregular electric field excitation system is proposed.