

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱՐԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ԱՐՇԱԿ ԿԱՐԼԵՆԻ ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ

ՎԵԿՏՈՐԱՅԻՆ ՀԱՆՈՒՅԹԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ
ՏԵՍԱԿԱՆ ԴՐՈՒՅԹՆԵՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ
ԷԼԵԿՏՐԱՅԵՏԱԽՈՒԶԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ

ԻԴ.00.08 — Երկրաֆիզիկա, օգտակար հանածոների որոնման
երկրաֆիզիկական մեթոդներ
մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների
դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

Ս Ե Ղ Մ Ա Գ Ի Ր

ԵՐԵՎԱՆ — 2003

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

МАТЕВОСЯН АРШАК КАРЛЕНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ
МЕТОДИКИ ВЕКТОРНОЙ СЪЕМКИ
ПРИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 24.00.08 — Геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

ЕРЕВАН — 2003

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի (ԵԳԻ) Գիտական խորհուրդում:

Գիտական խորհրդատու.

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ,

երկրաբանահանքաբանական գիտ. դոկտոր,

Ռ.Լ.ՄԵԼԿՈՆՅԱՆ

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ.

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր

Ն.Բ.ԵՆԳԻԲԱՐՅԱՆ

Ֆիզիկամաթեմատիկական գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր

Ս.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

տեխնիկական գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր

Լ.Ս. ՉԱՆՏՈՒՐԻՇՎԻԼԻ

Առաջատար կազմակերպություն.

ՀՀ Սեյսմիկ Պաշտպանության

Ազգային Ծառայություն

Պաշտպանությունը կայանալու է 29 ապրիլի 2003թ., ժամը 14⁰⁰
Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի թ. 054 մասնագիտական
խորհրդում.

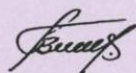
Հասցեն՝ 375019, Երևան, Մարշալ Բաղրամյանի պող. 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵԳԻ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 27 մարտի 2003թ.

054 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
երկրաբանահանքաբանական գիտ. թեկնածու

Հ.Վ.ՇԱՀԻՆՅԱՆ



Тема диссертации утверждена Ученым Советом Института геологических наук (ИГН) НАН РА.

Научный консультант:

член-корреспондент НАН РА,

доктор геолого-минералогических наук,

Р.Л.МЕЛКОНЯН

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, профессор

Н.Б.ЕНГИБАРЯН

доктор физ.-мат. наук, профессор

С.М.ОГАНЕСЯН

доктор технических наук, профессор

Л.С.ЧАНТУРИШВИЛИ

Ведущая организация: Национальная служба сейсмической защиты РА

Защита диссертации состоится 29 апреля 2003г. в 14⁰⁰ ч., на заседании
Специализированного Совета 054 Института геологических наук НАН РА.

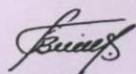
Адрес: 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан 27 марта 2003г.

Ученый секретарь Специализированного Совета 054,
канд. геол.-мин. наук

Г.В.ШАГИНЯН



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1944
Актуальность работы. Одним из основных методов разведочной геофизики является электроразведка контактным (гальваническим) способом измерений методами сопротивлений, вызванной поляризации (ВП), естественного электрического поля (ЕП), блуждающих токов (БТ), теллурических токов (ТТ), заряда (МЗ). Однако, зачастую, несмотря на превосходные физические предпосылки, отмеченные методы не находят должного применения. К основным причинам, препятствующим этому можно отнести использование соответствующих (специфичных) методик работ, включающих в себе как определенную геометрию установок измерений, и соответствующей аппаратуры, непредусмотренной для исследований всеми вышеперечисленными методами, так и способов обработки и интерпретации результатов измерений. Кроме этого, отсутствует более совершенная, отвечающая современным требованиям, методика и соответствующие ей лабораторные установки для изучения удельного электрического сопротивления и поляризуемости горных пород и руд, слагающих исследуемую геоэлектрическую среду.

В итоге, несмотря на проведение достаточно оптимального комплекса электроразведочных работ, вышеприведенные факторы не позволяют эффективно выполнять как внутриметодное (электроразведочное), так и межметодное комплексирование, что существенно ограничивает область применения таких исследований.

В этом аспекте развитие и совершенствование теоретических основ векторной съемки (В.А.Комаров, 1972) и разработка единой, универсальной методики электроразведочных работ при проведении крупномасштабных площадных исследований методами постоянного тока является весьма актуальной задачей.

Широкое внедрение компьютеризированных систем регистрации, обработки и интерпретации непосредственно в процессе измерений в различных областях науки и производства, создают необходимые и достаточные предпосылки для решения этой проблемы.

Основные теоретические работы и математическое моделирование, представленные в диссертационной работе, выполнены

в Институте геологических наук (ИГН) НАН Армении на основании ранее (1979-1992 гг.) проведенных экспериментальных (физическое моделирование, лабораторное изучение электрических свойств горных пород и руд, полевые опытно-методические работы) и теоретических исследований в Институте геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) НАН Армении.

Цель работы состоит в разработке теоретических основ единой методики векторной съемки при электроразведочных исследованиях контактным способом измерений для оптимального как внутриметодного комплексирования, так и получения полноценного материала, требуемого при комплексировании с другими методами разведочной геофизики.

Основные задачи исследований:

- анализ распределения и проявления на дневной поверхности векторного электрического поля, сопоставление и обоснование выбора различных интерпретируемых параметров, характеризующих исследуемую геоэлектрическую среду по удельному электрическому сопротивлению и поляризуемости;
- разработка единой методики регистрации, обработки и интерпретации данных векторных измерений, предусматривающей исследования геологической среды с произвольными системами возбуждения (как естественного, так и искусственного) и регистрации электрического поля;
- разработка и совершенствование критериев измерений при векторной съемке электроразведочными методами постоянного тока, их различными модификациями и способами;
- разработка методики векторной съемки методом БТ при сложном характере проявления поля электрических помех (техногенного электрического поля);
- усовершенствование традиционных методик вертикального электрического зондирования, площадного электропрофилирования, теллурических токов с учетом результатов решения вышеуказанных задач;
- выявление параметров вызванной поляризации, обобщенно и более полноценно характеризующих весь цикл измерений;
- разработка способа и лабораторной установки для исследования "тонких" структурно-текстурных особенностей разнотипных неоднородно-анизотропных моделей и образцов горных пород и руд, необходимых для достоверного истолкования результатов векторных измерений.

Основные защищаемые положения:

- при площадных электроразведочных исследованиях выбор оптимальных установок необходимо проводить по характеру проявления на дневной поверхности вектора напряженности

изучаемого электрического поля с учетом соответствующих критериев измерений;

- выбор оптимального способа регистрации, нормирования, обработки и интерпретации данных методом БТ необходимо осуществлять по характеру проявления поля электрических помех в пределах исследуемого планшета съемки, согласно предлагаемой его классификации;
- для повышения информативности традиционных методик электрического зондирования и электропрофилирования необходимы дополнительные векторные измерения в пункте наблюдений при различных системах возбуждения электрического поля;
- рекомендуемая методика проведения векторной съемки, предусматривающая исследования с произвольными системами возбуждения (как естественного, так и искусственного электрического поля) и регистрации, с соответствующей обработкой и интерпретацией данных, позволяет эффективно проводить внутриметодное комплексирование и создает необходимые предпосылки для успешного межметодного комплексирования;
- предлагаемые интегральные амплитудно-временные параметры вызванной поляризации (в частности, отдача ВП по количеству электричества, по напряжению и по энергии), обобщенно и более полноценно характеризуют весь цикл измерений и позволяют определить эквивалентное электрическое воздействие при использовании произвольного временного режима измерений (импульса тока любой формы);
- разработанная крестовая лабораторная установка и соответствующая ей методика для исследования характера распределения электрических свойств моделей и образцов горных пород и руд в условиях вращения вектора напряженности прилагаемого электрического поля существенным образом повышает воспроизводимость, разрешающую способность и информативность измерений.

Научная новизна работы:

- разработаны теоретические основы методики площадных электроразведочных работ контактным способом измерений, предусматривающие исследования с произвольными системами возбуждения и регистрации электрического поля;
- предложены критерии достоверности и разрешающей способности измерений при работах рассматриваемыми методами сопротивлений и ВП, их способами и модификациями при исследовании разнотипных геоэлектрических сред, которые позволяют оценить эффективность измерений различными как простыми, так и многоэлектродными системами возбуждения;

- впервые дана классификация электрического поля БТ по характеру его проявления в пределах исследуемого планшета съемки и, в соответствии с ней, разработаны способы его регистрации, нормирования, обработки и интерпретации;
- обеспечено повышение информативности исследований традиционными методиками вертикального электрического зондирования, площадного электропрофилирования, теллурических токов путем проведения определенных дополнительных векторных измерений (несущественно увеличивающих объем полевых работ) и соответствующей обработки и интерпретации данных;
- разработан способ определения эквивалентного электрического воздействия при использовании произвольного временного режима измерений (импульса тока любой формы), основанный на предлагаемых интегральных амплитудно-временных параметрах вызванной поляризации, обобщенно и в целом характеризующих весь цикл измерений при исследовании электрохимических процессов;
- впервые создана лабораторная крестовая установка с возможностью вращения вектора напряженности прилагаемого электрического поля для изучения неоднородно-анизотропных проводящих поляризующихся моделей и образцов горных пород и руд, и разработана соответствующая методика исследований удельного электрического сопротивления и поляризуемости образцов.

Практическое значение работы. Применение разработанной единой методики площадных электроразведочных исследований контактным способом измерений электрических полей позволит существенно повысить их эффективность в сложной геоэлектрической обстановке, в том числе, при микроэлектроразведочных изысканиях.

Реализация работы. Отдельные элементы методики исследований внедрены в ИГИС НАН РА и госпредприятии "Региональная геология и геофизика" Министерства охраны природы РА. Результаты работы использовались при проведении детальных поисково-разведочных изысканий методами сопротивлений, ВП, БТ на объектах бывшего "АрмЗолото".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Всесоюзных совещаниях по разработке и комплексированию геофизических методов при детальной и эксплуатационной разведке рудных месторождений (Ленинакан, 1982) и по поляризационным электроразведочным методам (Ленинакан, 1985), научных конференциях (Ереван, 1984, 1998; Гюмри, 1996, 1999, 2001), неоднократно обсуждались на семинарах ИГИС и ИГН НАН РА, Ереванского физического института (ЕрФИ), на кафедре Геофизических методов поисков и разведки месторождений полезных

ископаемых Санкт-Петербургского государственного университета, в отделе электроразведки НПО "РудГеофизика" (Санкт-Петербург). Материалы, представленные в изобретениях прошли научно-техническую экспертизу и экспериментальное подтверждение в ведущих научно-технических центрах бывшего СССР.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 статьи, получено 6 авторских свидетельств СССР на изобретение.

Объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения. Содержит 160 страниц текста, 267 рисунков, 68 таблиц и список литературы из 231 наименований.

Благодарности. Автор глубоко признателен научному консультанту член-корр. НАН РА Р.Л.Мелконяну, академикам НАН РА Р.Т.Джрбашяну и Р.О.Авакяну за оказанное постоянное внимание, обсуждение ряда принципиальных вопросов по теме диссертации, высказанные ценные замечания и рекомендации.

Искреннюю благодарность автор выражает профессору Санкт-Петербургского государственного университета В.А.Комарову, оказавшему решающее влияние на формирование научных интересов и взглядов автора.

Особую благодарность автор выражает профессору С.В.Бадалян, докторам наук А.А.Петрову, К.М.Ермохину (Санкт-Петербург), кандидатам наук Р.Т.Мириджаняну, М.М.Авдевичу, С.П.Сергееву (Санкт-Петербург), Г.В.Вартаняну, а также Г.Э.Малхасяну за научное сотрудничество и постоянно проявленный интерес к работе.

Автор глубоко признателен сотрудникам ИГИС, ИГН НАН РА, ЕрФИ за совместную работу, плодотворные научные общения и дискуссии, а также всем друзьям и коллегам за неоценимую помощь, поддержку и полезные советы на различных стадиях подготовки диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Разработке методики электроразведочных работ контактным способом измерений электрических полей и изучению электрических свойств (электропроводности и поляризуемости) горных пород и геологических образований посвящены работы М.М.Авдевича, Г.М.Авчяна, Л.М.Альпина, С.В.Бадаляна, С.Ю.Баласаняна, И.Х.Блоха, В.М.Бондаренко, В.В.Бродового, В.Р.Бурсиана, В.Б.Гамояна, Б.И.Геннадина, В.Н.Дахнова, Н.Б.Дортман, К.М.Ермохина, М.С.Жданова, А.И.Заборовского, Ф.М.Каменецкого, А.К.Козырина, В.А.Комарова, В.В.Кормильцева, А.П.Краева, А.Н.Мезенцева, Р.С.Минасяна, А.А.Никитина, И.К.Овчинникова, Э.И.Пархоменко, А.А.Петрова, А.А.Редозубова, Я.С.Сапужака, Б.С.Светова, А.С.Семенова, М.В.Семенова, С.С.Сыскова, А.Г.Тархова, Л.С.Чантуришвили, Т.Л.Челидзе, В.Р.Червяченко, В.К.Хмелевского, О.М.Шаповалова, В.А.Шевнина, С.М.Шейнманна, Ю.В.Якубовского, В.В.Bhattacharya, Н.М.Bibby,

U.C.Das, D.Doicin, G.M.Habberjam, M.N.Nabighian, A.A.R.Zohdy и др. Краткий обзор и анализ их теоретических и экспериментальных работ приводятся в **главе 1**. Показано неоспоримое преимущество векторной съемки, заключающееся в измерении двух взаимно перпендикулярных составляющих напряженности электрического поля в каждом пункте наблюдений, по сравнению со способами, использующими одну приемную линию. Однако в настоящее время объем таких исследований весьма ограничен, поскольку для успешной практической реализации векторная съемка должна удовлетворять следующим основным требованиям экспериментальных (как полевых, так и лабораторных) исследований, к которым относятся:

- универсальность методики исследований разнотипных геоэлектрических сред;
- возможность использования таких систем возбуждения электрического поля, которые позволяют изменять, а при необходимости и вращать направление электрического поля в требуемой области геоэлектрической среды с произвольным расположением питающих электродов установки измерений;
- применение нерегулярной сети пунктов наблюдений (с благоприятным размещением приемных электродов);
- необходимость одновременной регистрации различных электрических полей на значительной части или на всем планшете съемки.

В **главе 2** рассмотрены особенности регистрации и обработки результатов векторных измерений электрических полей. Внедрение в геофизику цифровых способов регистрации и эффективных методов обработки данных на базе компьютерной технологии позволяет сократить затраты на проведение исследований, повысить их качество, точность и информативность получаемых данных. Решающую роль в этом принадлежит преобразованию и визуализации интерпретируемых параметров.

В разделе 2.1 представлены взаимосвязь и способы преобразования параметров, характеризующих исследуемую геоэлектрическую среду при векторных измерениях. Так, при одном направлении возбуждаемого электрического поля (двухэлектродная система возбуждения) в процессе интерпретации результатов векторных измерений вычисляются параметры кажущегося сопротивления или кажущейся поляризуемости:

$$a = B/A, \quad a_k = B \cos \alpha / A, \quad a_v = B \sin \alpha / A,$$

здесь A и B — модули векторов возбуждаемого (приложенного) $\mathbf{A}$ и наблюдаемого (возбужденного, измеренного) $\mathbf{B}$ электрических полей, α — угол между векторами $\mathbf{A}$ и $\mathbf{B}$, применяемые при векторной съемке.

При интерпретации результатов измерений, полученных при двух различных направлениях возбуждаемого электрического поля (в частности, с использованием многоэлектродных систем возбуждения, позволяющих вращать направление поля) в требуемом пункте наблюдений, определяются компоненты (a_{xx} , a_{xy} , a_{yx} , a_{yy}) двухмерного тензора $\mathbf{a}$ второго ранга из выражения:

$$\begin{bmatrix} B_x \\ B_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{xx} & a_{xy} \\ a_{yx} & a_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \end{bmatrix},$$

где A_x и A_y , B_x и B_y — x - и y -составляющие векторов возбуждаемого $\mathbf{A}$ и наблюдаемого $\mathbf{B}$ электрических полей, соответственно.

Компоненты тензора наиболее полно характеризуют особенности проявления исследуемой среды по данному параметру. Однако их совместное рассмотрение при интерпретации во многих случаях значительно осложнено и не наглядно. Поэтому удобнее манипулировать различными инвариантами данного тензора. В частности, по нижеприведенным формулам вычисляются главные (экстремальные: максимальное — $a_{\max}$ и минимальное — $a_{\min}$) значения тензора $\mathbf{a}$:

$$a_{\text{ex}} = \sqrt{(a_{xx} - a_{yy})^2 + (a_{xy} + a_{yx})^2} \pm \sqrt{(a_{xx} + a_{yy})^2 + (a_{xy} - a_{yx})^2} / 2$$

и их направления

$$\phi_{\text{ex}} = \{\arctg[(a_{xy} + a_{yx}) / (a_{xx} - a_{yy})] + \arctg[(a_{xy} - a_{yx}) / (a_{xx} + a_{yy})] + \pi k\} / 2,$$

где $k=0, 1$. В качестве основных интерпретируемых параметров наряду с $a_{\max}$, $a_{\min}$, ϕ_{ex} используются также $a_{\text{med}} = \sqrt{a_{\max} a_{\min}}$, $a_{\text{rel}} = a_{\max} / a_{\min}$ — инварианты тензора $\mathbf{a}$. При требуемом направлении возбуждаемого поля величина параметра $\mathbf{a}$ определяется отношением модулей векторов $\mathbf{A}$ и $\mathbf{B}$, и представляется следующим образом:

$$a = B/A = \sqrt{(a_{xx} \cos \delta + a_{xy} \sin \delta)^2 + (a_{yx} \cos \delta + a_{yy} \sin \delta)^2},$$

где δ — угол между вектором $\mathbf{A}$ и осью x .

Здесь же приведены формулы преобразования компонентов несимметричного двухмерного тензора второго ранга $\mathbf{a}$, при повороте координатной плоскости на угол θ , из которых, в частности, следует, что инвариантами тензора $\mathbf{a}$, являются также $a_{xx} + a_{yy}$, $a_{xy} - a_{yx}$, $(a_{xx} + a_{yy}) / (a_{xy} - a_{yx})$, которые ввиду их устойчивости к измерениям выбранной системы координат наряду с $a_{\max}$, $a_{\min}$, a_{med} , a_{rel} могут быть эффективны при исследованиях сложных геоэлектрических сред. В методах сопротивлений и ВП под $\mathbf{a}$ подразумеваются соответствующие параметры кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости, в методах БТ и ТТ — параметры техногенного электрического и магнитотеллурического полей.

Зачастую при площадных электроразведочных работах измерение двух взаимно перпендикулярных x - и y -составляющих

вектора напряженности исследуемого электрического поля в каждом пункте планшета съемки сопряжено со значительными трудностями или вовсе не осуществимо. В связи с этим в таких пунктах наблюдений рекомендуется проводить измерения как с измененным разносом приемной линии, так и отклоненной ориентировкой от принятых направлений x и y . В первом случае этот методический вопрос решается обычным путем: нормировкой по величине соответствующего разнosa приемной линии. Во втором — предлагается преобразовать соответствующие векторы регистрируемых электрических полей (в частности, плотности тока, напряженностей первичного и вторичного, техногенного, магнитотеллурического полей) в пункте наблюдений вдоль произвольных осей p и q (т.е. p - и q -составляющих в системе координат POQ) во взаимно перпендикулярные x - и y -составляющие (в системе координат XOY) с использованием формул:

$$A_x = (A_p \sin \omega - A_q \sin \nu) / \sin(\omega - \nu) \text{ и } A_y = (A_q \cos \nu - A_p \cos \omega) / \sin(\omega - \nu),$$

где A_x , A_y , A_p , A_q — x -, y -, p -, q -составляющие вектора A в пункте наблюдений; ν и ω — углы между положительными направлениями оси x с осями p и q , соответственно (причем ν и ω считаются положительными при отсчете от полярной оси против часовой стрелки). Здесь же приведен графический способ определения A_x и A_y , а также произвольной составляющей рассматриваемого вектора на заданную ось. При экспериментальных исследованиях, рекомендуется соблюдать условия $|\sin(\omega - \nu)| \geq 0.5$, где $(\omega - \nu)$ — величина угла между приемными линиями.

В разделе 2.2 обосновывается необходимость построения круговых диаграмм интерпретируемых параметров по результатам электроразведочных исследований при различных направлениях возбуждаемого электрического поля в пункте наблюдений. В результате проведения временных (режимных) электроразведочных исследований в конкретном пункте наблюдений при различных временных режимах или при электроразведывании методами сопротивлений и ВП получается серия круговых диаграмм каждого интерпретируемого параметра и с целью их истолкования возникает необходимость их совместного рассмотрения, выполнение чего путем их наложения не наглядно и малоэффективно. В этих случаях целесообразнее построение разверток (соответственно временных или глубинных — изменяющихся с разносом питающих линий) круговых диаграмм соответствующего параметра — наподобие карт изолиний, где по одной оси (абсцисс) откладываются значения времени или глубины (полуразнос питающих линий), а по другой (ординат) — направление возбуждаемого (или возбужденного) электрического поля.

Наряду с картами изолиний интерпретируемых параметров (в частности, $a_{\max}$, $a_{\min}$, a_{med} и др.), построенными обычным образом, повышенную информативность несут в себе направления ориентации

экстремальных величин (ϕ_{ex}). С этой целью эффективно построение карт проявления анизотропности по соответствующему параметру с использованием ромбиков, размер которых устанавливается прямо пропорционально величине a_{rel} с ориентацией большой диагонали по направлению a_{max} , и наложением их на карты изолиний a_{med} .

Поскольку в некоторых случаях (при исследовании сложных геоэлектрических сред) круговые диаграммы не однозначно характеризуют тензор $\mathbf{a}$, в связи с этим предлагается способ его визуализации путем построения векторов (стрелок) $\mathbf{a}^x(a_{xx}, a_{yx})$ и $\mathbf{a}^y(a_{xy}, a_{yy})$ в плоскости $ХОУ$. Физический смысл этих векторов заключается в том, что они проявляются (наблюдаются) в пункте наблюдений при поочередном возбуждении (поляризации) электрического поля единичными векторами $\mathbf{1}(1, 0)$ и $\mathbf{1}(0, 1)$, направленными по осям x и y , соответственно. В результате вычислений строятся стрелки $\mathbf{a}^x$ и $\mathbf{a}^y$ для вышеуказанного тензора $\mathbf{a}$, которые попарно соединяются. Расположение этого отрезка с указанием его начала (a_{xx}, a_{yx}) и конца (a_{xy}, a_{yy}) в плоскости $ХОУ$ однозначно определяет тензор $\mathbf{a}$. Такая визуализация двумерного тензора второго ранга особенно эффективна при компьютерной обработке и интерпретации данных.

В процессе обработки результатов измерений многоэлектродными системами возбуждения по определению различных параметров КС и КП методами сопротивлений и ВП, характеризующих исследуемую геоэлектрическую среду в пункте наблюдений, целесообразно построение диаграмм векторов плотности тока, напряженностей первичного и вторичного электрических полей при различных системах возбуждения. Для наглядного представления динамики (характера изменения во времени) рассматриваемого параметра в исследуемом пункте наблюдений эффективно построение годографов векторов напряженностей первичного и вторичного, естественного, техногенного, теллурического электрических полей в процессе всего цикла измерений.

При оценке коррелируемости двух сопоставляемых параметров показана необходимость построения корреляционного поля (диаграмма рассеяния) по каждому значению выборки в плоскости $ХОУ$, по которому можно принять и визуально оценить линейную (или гиперболическую, степенную, экспоненциальную, показательную, логарифмическую) корреляцию, с последующим вычислением коэффициента корреляции и, при необходимости, определением уравнения регрессии.

В главе 3 представлена векторная съемка методами сопротивлений и вызванной поляризации.

В настоящее время при интерпретации результатов измерений методами сопротивлений и вызванной поляризации используются различные параметры кажущегося сопротивления и кажущейся

поляризуемости, полученные путем разнообразных трансформаций (преобразований) значений наблюдаемых электрических полей. Все большую актуальность приобретают площадные электроразведочные исследования геоэлектрической среды при различных направлениях возбуждаемого электрического поля.

Автором проведены предшествующие данной работе теоретические и экспериментальные исследования структуры векторного электрического поля, возбуждаемого двумя точечными источниками тока с различными величинами токов, пропускаемых через них. Установлена принципиальная возможность создания электрического поля требуемого направления в пункте наблюдений (вращения поля) посредством варьирования величинами и направлениями токов, одновременно пропускаемых через питающие электроды многоэлектродной установки (состоящей из трех питающих электродов, подсоединенных к одному источнику тока). Показана возможность имитации вращения направления поля путем вычислительных процедур. Выполнены теоретические исследования однородной анизотропной поляризующейся среды с использованием двух различных групп многоэлектродных установок и приведены основные результаты физического моделирования сложной неоднородно-анизотропной модели геоэлектрической среды предложенным способом интерпретации результатов площадных измерений при различных направлениях возбуждаемого электрического поля путем получения параметров ОКС и ОКП.

В разделе 3.1 обсуждается вопрос исследования геоэлектрической среды многоэлектродной установкой *ABCD*, состоящей из четырех произвольно расположенных питающих электродов и двух взаимно перпендикулярных приемных линий (диполей), с использованием различных систем возбуждения вращающегося электрического поля в пункте наблюдений. Установлена возможность создания идентичного электрического поля этой установкой в пункте наблюдений двумя различными вариантами подключения питающих электродов к источнику тока. Наряду с аналитическим, предлагается графический способ определения величин соотношений токов, пропускаемых через систему питающих электродов многоэлектродной установки, для возбуждения необходимого электрического поля. Особое внимание уделено случаю когда многоэлектродная система возбуждения не позволяет вращать электрическое поле в требуемом пункте. Установлено, что многоэлектродная установка становится нулевой только при коллинеарности векторов возбуждаемого электрического поля в рассматриваемом пункте наблюдений при одном и втором вариантах подсоединения питающих электродов к источнику (источникам) тока и при конкретном соотношении величин токов, пропускаемых через питающие электроды системы возбуждения.

В разделе 3.2 рассматривается совокупность интерпретируемых параметров КС и КП при векторных измерениях различными системами возбуждения электрического поля методами сопротивлений и ВП. В зависимости от выбранных при расчетах векторов **A** и **B** определяется тот или иной параметр КС или КП в исследуемом пункте наблюдений.

- При определении *полного (наблюдаемого)* КС ($\rho_S = E_o / j$):
 A — вектор плотности тока j ,
 B — вектор напряженности первичного электрического поля E_o ;
- при определении *полной (наблюдаемой)* КП ($\eta_S = E_{вп} / E_o$):
 A — вектор напряженности первичного электрического поля E_o ,
 B — вектор напряженности вторичного электрического поля $E_{вп}$;
- при определении *остаточного* КС ($\rho_R = E_o / E_{оф}$):
 A — усредненный (нормированный) вектор напряженности первичного поля $E_{оф}$,
 B — вектор напряженности первичного поля E_o ;
- при определении *остаточной* КП ($\eta_R = E_{вп} / E_{впф}$):
 A — усредненный (нормированный) вектор напряженности вторичного поля $E_{впф}$,
 B — вектор напряженности вторичного поля $E_{вп}$;
- при определении *фонового* КС ($\rho_{SF} = E_{оф} / j$):
 A — вектор плотности тока j ,
 B — усредненный (нормированный) вектор напряженности первичного поля $E_{оф}$;
- при определении *фоновой* КП ($\eta_{SF} = E_{впф} / E_{оф}$):
 A — вектор напряженности первичного электрического поля E_o ,
 B — усредненный (нормированный) вектор напряженности вторичного поля $E_{впф}$;
- при определении *аномального* КС ($\rho_A = E_{оА} / E_{оН}$):
 A — вектор напряженности нормального первичного поля $E_{оН}$,
 B — вектор напряженности аномального первичного поля $E_{оА}$;
- при определении *аномальной* КП ($\eta_A = E_{впА} / E_{впН}$):
 A — вектор напряженности нормального вторичного поля $E_{впН}$,
 B — вектор напряженности аномального вторичного поля $E_{впА}$.

Полное (наблюдаемое) электрическое поле — это электрическое поле, проявляемое в геоэлектрической среде (модели) в присутствии объекта исследования (в целом).

Фоновое (усредненное, нормированное) электрическое поле — полное электрическое поле после усреднения “скользящим” окном.

Нормальное электрическое поле — электрическое поле, проявляемое в геоэлектрической среде (модели) в отсутствии объекта исследования.

Аномальное электрическое поле — разность полного и нормального электрических полей ($E_{оА} = E_o - E_{оН}$, $E_{впА} = E_{вп} - E_{впН}$).

Здесь же представлены параметры КС (ρ_k , ρ_v) и КП (η_k , η_v), используемые при проведении векторной съемки методами сопротивлений и ВП через компоненты соответствующих тензоров, проанализированы особенности их проявления. Проведен анализ

возможностей и эффективности исследований простой установкой, показана более низкая разрешающая способность и информативность этих измерений по сравнению с результатами векторных измерений.

В этом же разделе рассматривается способ интерпретации, заключающийся в определении усредненных значений параметров первичного и вторичного электрических полей для каждого исследуемого пункта наблюдений при различных направлениях возбуждаемого электрического поля, и в получении тензорных параметров ОКС и ОКП.

Между интерпретируемыми параметрами справедливы соотношения:

- при простой (двухэлектродной) системе возбуждения

$$\rho_R = \rho_S / \rho_{SF} \quad \text{и} \quad \eta_R = \eta_S / \eta_{SF};$$

- при многоэлектродной системе возбуждения вращающегося электрического поля

$$\rho_{ij} = \rho_{Rix} \rho_{SFxj} + \rho_{Riy} \rho_{SFyj} \quad \text{и} \quad \eta_{ij} = \eta_{Rix} \eta_{SFxj} + \eta_{Riy} \eta_{SFyj};$$

где $(i,j)=(x,y)$, через которых представлены соответствующие компоненты тензоров, и в частности

$$\rho_{Rmed} = \rho_{Smed} / \rho_{SFmed} \quad \text{и} \quad \eta_{Rmed} = \eta_{Smed} / \eta_{SFmed}.$$

При усреднении данных эффективными являются варианты по скользящему окну с учетом (при исследовании методом ВП в случае резкой дифференциации изучаемой геоэлектрической среды по удельному электрическому сопротивлению) и без учета неоднородности возбуждаемого электрического поля. Определение фоновых параметров КС и КП, полученных при таких усреднениях и их сопоставление с соответствующими полными и остаточными параметрами, позволяет судить в какой степени на исследуемой площади удалось разделить региональную и локальную составляющие рассматриваемого параметра.

Путем теоретических расчетов на примерах разнотипных геоэлектрических моделей (1 — однородная анизотропная среда, 2 — вертикальный контакт двух однородных сред, 3 — однородная среда с поверхностной полусферической неоднородностью и 4 — однородная среда со сферическим телом) выявлена зависимость параметров КС и КП от выбранных систем возбуждения и регистрации многоэлектродной установки *ABCD*, обсуждаются закономерности проявления того или иного параметра при площадных исследованиях.

Комплексный анализ данных математического моделирования свидетельствует, что параметры КС и КП при многоэлектродных системах возбуждения в определенных областях планшета съемки принимают значения, существенно отличающиеся от электрических свойств объектов, слагающих исследуемую модель (наблюдается появление ложных аномальных зон), что диктует необходимость разработки и внесения соответствующих критериев измерений.

В разделе 3.3 представлен критерий достоверности измерений в данном пункте наблюдений, которым служит величина (интенсивность) искусственно возбуждаемого электрического поля (вектора плотности тока $\mathbf{j}$ в методе сопротивлений и вектора напряженности первичного поля $\mathbf{E}_0$ — в методе вызванной поляризации). В частности, для многоэлектродных установок, состоящих из единственной системы возбуждения вращающегося электрического поля в рассматриваемом пункте наблюдений этим критерием является минимальная величина $\mathbf{j}$ в этом пункте наблюдений, определение которой в требуемом пункте при системе возбуждения ABC , состоящей из трех питающих электродов (A , B и C), осуществляется по формуле

$$j_{\min}^{ABC} = 2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}/d,$$

где $a=|\mathbf{j}^{AB}|$, $b=|\mathbf{j}^{AC}|$, $c=|\mathbf{j}^{BC}|$ — величины (модули) векторов плотности тока в данном пункте наблюдений при возбуждении электрического поля двумя питающими электродами A и B , A и C , B и C , соответственно; $p=(a+b+c)/2$; $d=\max\{a, b, c\}$.

В случае возбуждения системой $AB-CD$, состоящей из четырех питающих электродов (A , B , C и D), подключенных попарно (A и B , C и D) к двум автономным источникам тока, значение минимальной величины (модуль) $\mathbf{j}$ определяется по выражению:

$$j_{\min}^{AB-CD} = 2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-d)}/d,$$

где $a=|\mathbf{j}^{AB}|$, $b=|\mathbf{j}^{CD}|$, $d=\max\{|\mathbf{j}^{AB}+\mathbf{j}^{CD}|, |\mathbf{j}^{AB}-\mathbf{j}^{CD}|\}$, $p=(a+b+d)/2$. Заметим, что по принятому определению этого критерия при использовании многоэлектродных систем возбуждения предъявляются более строгие требования, чем к двухэлектродным системам, слагающим многоэлектродную, поскольку достоверными могут являться результаты тех измерений, при которых, независимо от направления возбуждаемого электрического поля, создается поле необходимой величины.

Критерием разрешающей способности измерений (раздел 3.4) принимается величина разности (приращения) интенсивностей электрического поля (вектора напряженности первичного поля $\Delta\mathbf{E}_0$ при работах методом сопротивлений и вектора напряженности вторичного поля $\Delta\mathbf{E}_{вп}$ — методом вызванной поляризации), полученная в присутствии (наблюдаемое поле — ниже обозначено индексом 2) и без (нормальное поле — индексом 1) объекта исследования. В частности, при создании электрического поля двухэлектродной (AB) системой возбуждения им соответствуют величины векторов:

$$|\Delta\mathbf{E}_0^{AB}| = |\mathbf{E}_0^{AB_2} - \mathbf{E}_0^{AB_1}| \quad \text{и} \quad |\Delta\mathbf{E}_{вп}^{AB}| = |\mathbf{E}_{вп}^{AB_2} - \mathbf{E}_{вп}^{AB_1}|.$$

Для многоэлектродных установок этим критерием служит максимальная величина приращения векторов напряженностей первичного и вторичного среди значений соответствующих векторов двухэлектродных систем возбуждения, слагающих данную

многоэлектродную систему в рассматриваемом пункте. В частности, определение максимальной величины вектора ΔE_0 в пункте наблюдений при системе возбуждения ABC , состоящей из трех питающих электродов (A , B и C), осуществляется по условию

$$\Delta E_{\text{омакс}}^{ABC} = \max\{|\Delta E_0^{AB}|, |\Delta E_0^{AC}|, |\Delta E_0^{BC}|\},$$

где $|\Delta E_0^{AB}|$, $|\Delta E_0^{AC}|$, $|\Delta E_0^{BC}|$ — величины векторов напряженности первичного поля в данном пункте наблюдений при возбуждении электрического поля двумя питающими электродами A и B , A и C , B и C , соответственно.

В случае возбуждения системой $AB-CD$, состоящей из четырех питающих электродов (A , B , C и D), подключенных попарно (A и B , C и D) к двум автономным источникам тока, максимальная величина вектора ΔE_0 определяется по выражению:

$$\Delta E_{\text{омакс}}^{AB-CD} = \max\{|\Delta E_0^{AB}|, |\Delta E_0^{CD}|\},$$

где $|\Delta E_0^{AB}|$, $|\Delta E_0^{CD}|$ — модули векторов напряженности первичного поля в данном пункте наблюдений при возбуждении электрического поля двумя питающими электродами A и B , C и D . Отметим, что по принятому определению этого критерия многоэлектродным системам возбуждения предъявляются менее строгие требования, чем двухэлектродным системам, слагающим многоэлектродную (в отличие от критерия достоверности измерений), поскольку в данном случае считается, что искомый объект может быть обнаружен когда он проявляется по результатам измерений хотя бы в одном направлении возбуждаемого электрического поля.

С целью установления эффективности той или иной системы возбуждения при выделении полезной информации (выявлении аномальных областей) необходим учет проявления допускаемых (предполагаемых) помех (в частности, природной дисперсии распределения удельного электрического сопротивления и поляризуемости геоэлектрической модели без искомого объекта или исследуемого свойства среды) в нормальном поле. Приняв предельные значения их проявления в каждом пункте за величины среднеквадратичных отклонений (соответственно $\Delta E_{\text{омакс}}^{\sigma}$ и $\Delta E_{\text{ВПмакс}}^{\sigma}$) в разделе 3.5 сформулированы условия принятия решения о наличии аномалии: при исследовании методом сопротивлений — *аномалий проводимости* (с учетом критерия достоверности измерений напряженности первичного электрического поля и соблюдением неравенства $\Delta E_{\text{омакс}} \geq 3\Delta E_{\text{омакс}}^{\sigma}$) и методом ВП — *аномалий поляризуемости* (с учетом критериев достоверности измерений напряженностей первичного и вторичного электрических полей и соблюдением неравенства $\Delta E_{\text{ВПмакс}} \geq 3\Delta E_{\text{ВПмакс}}^{\sigma}$).

В разделе 3.6 проведен анализ карт аномальных областей проводимости и поляризуемости при исследовании разнотипных геоэлектрических моделей пятью (ABC , ABD , ACD , BCD , $AD-BC$)

1974
4761

сложными системами возбуждения, построенных с учетом критериев достоверности и разрешающей способности измерений и в присутствии природной дисперсии электрических свойств вмещающей среды. Установлена зависимость проявления аномальных областей от системы возбуждения, которая уверенно прослеживается на картах различных однородных анизотропных сред. Показано, что по аналогичным картам моделей различных горизонтально-двухслойных (отличающихся друг от друга электрическими свойствами второго слоя и глубиной его залегания) и с локальной электрической неоднородностью, можно судить и о глубинности исследований каждой системой возбуждения. Установлено, что в большинстве случаев ни одной системой возбуждения многоэлектродной установки невозможно полноценно исследовать весь планшет съемки, что говорит в пользу внутриметодного комплексирования результатов всех измерений.

При площадных электроразведочных исследованиях контактным способом измерений электрических полей особый интерес представляет возможность использования нерегулярной (произвольной) сети пунктов наблюдений. В разделе 3.7 сперва оценена погрешность, возникающая при смещении пунктов наблюдений от квадратной сети, а затем рассмотрена возможность использования нерегулярной сети. На примерах четырех вышепредставленных разнотипных геоэлектрических моделей показана эффективность предлагаемого способа регистрации и трансформации первичного и вторичного электрических полей (методами сопротивлений и ВП), суть которого сводится к преобразованию данных, полученных нерегулярной сетью пунктов наблюдений в правильную. Отмечено, что применение нерегулярной сети требует проведения дополнительных топографических работ, связанных с определением координат каждого приемного электрода.

В итоге представленных исследований методами сопротивлений и ВП разработана универсальная методика площадных электроразведочных изысканий разнотипных геоэлектрических сред с возможностью применения автоматизированной системы измерений, обработки и интерпретации данных с выявлением наиболее перспективных аномальных областей проводимости и поляризуемости.

Глава 4 посвящена векторной съемке методом блуждающих токов, который применяется при решении различных геологоразведочных, инженерно-геологических, эколого-геофизических задач в районах разведываемых и эксплуатируемых месторождений, где зачастую применение традиционных электроразведочных методов (сопротивлений, вызванной поляризации, естественного электрического поля, заряда и др.), основанных на изучении характеристик искусственных или естественных электрических полей, затруднено или практически невозможно.

Библиотека

Однако, до сих пор метод БТ играет второстепенную роль при геофизических исследованиях и не получил должного практического применения из-за плохой воспроизводимости и низкой информативности измерений, что в первую очередь обусловлено отсутствием детальных теоретических и экспериментальных исследований пространственно-временных характеристик техногенного электромагнитного поля (ТЭМП) при произвольных типах источников блуждающих токов.

Наиболее полный и всесторонний анализ работ в области исследования первичного электрического поля блуждающих токов выполнен В.Б.Гамояном. Им усовершенствованы различные физико-математические модели источников поля помех на рудниках, аппроксимируя их системой кусочно-однородных или точечных источников тока, и разработаны теоретические основы, методика и аппаратура исследований, основанные на определении закона изменения тока утечки в землю из рельсов вдоль железнодорожного полотна при различных положениях электровоза в момент наблюдения. С этих позиций изучено распределение потенциала и напряженности электрического поля помех в однородно-изотропной, однородно-анизотропной и неоднородных средах при наличии контакта разных пород, пластообразного, сферического, цилиндрического и более сложных геоэлектрических неоднородностей.

В настоящее время основным недостатком метода БТ считается то обстоятельство, что поле электрических помех формируется под воздействием множества нестационарных источников. В связи с этим, основные усилия специалистов ориентированы в двух направлениях: во-первых, на разработку способов и приемов, позволяющих выделять из совокупности разнообразных аperiодических импульсов техногенного электромагнитного поля тяговой сети железной дороги однотипные по структуре полезные сигналы; и во-вторых, на сборе необходимых сведений о системе энергоснабжения электровозов и попытках их классифицировать для геофизических исследований. Иными словами, основная задача сводится к вычислению коэффициента учета взаимного положения точечных источников помех и точек наблюдений, как в методе сопротивлений, с чем и связаны все трудности получения качественных полевых исследований этим методом.

В разделе 4.1 впервые дана классификация первичного электрического поля БТ. Рассмотрены признаки, характеризующие электрическое поле блуждающих токов и позволяющие его систематизировать. Они подразделены на временные (признаки стационарности и стабильности), пространственно-временные (признак однородности) и пространственные (признак линейности). Согласно приведенным признакам поле БТ за весь исследуемый цикл измерений в различных пунктах наблюдений в пределах планшета съемки может

проявляться как квазистационарное или вовсе отсутствовать, квазистабильное, нестабильное и нулевое. Квазистабильное и нестабильное поле может быть квазиоднородным или неоднородным. В свою очередь неоднородное поле подразделяется на квазилинейное и нелинейное. При нелинейном характере проявления поля БТ, уменьшая межбазисное расстояние, можно добиться его квазилинейности. Такая классификация поля БТ дает возможность выбрать правильную и оптимальную методику исследований методом блуждающих токов.

В разделе 4.2 рассматривается подход при выборе временного режима для автоматизированной обработки данных. Предлагается критерий надежности при определении тензорных параметров ψ по результатам измерений и вычислений нормированных значений приращения напряженности поля БТ в каждом полевым пункте при двух моментах времени $(\Delta E_{БТ1}, \Delta E_{БТ2})$, которым является величина: $2\sqrt{p(p-a)(p-b)(p-d)}/d$, где $a=|\Delta E_{БТ1}|$, $b=|\Delta E_{БТ2}|$, $p=(a+b+d)/2$, $d=\max\{|\Delta E_{БТ1}+\Delta E_{БТ2}|, |\Delta E_{БТ1}-\Delta E_{БТ2}|\}$, превышающая величину пороговой напряженности, задаваемой известным способом с учетом уровня искажающих факторов.

В этой же главе (раздел 4.3) приведены способы нормирования поля блуждающих токов в полевым $H(x_H, y_H)$ пункте:

- по одному базисному (B_1) пункту:

$$\psi^{B_1} = \Delta E_{БТ} / \Delta E_{БТ}^{B_1} \quad \text{и} \quad \phi = \arctg(\Delta E_{БТ}^{B_1 y} / \Delta E_{БТ}^{B_1 x}) + k\pi,$$

здесь $k=0$, при $\Delta E_{БТ}^{B_1 x} \geq 0$ и $k=1$, при $\Delta E_{БТ}^{B_1 x} < 0$;

$$\Delta E_{БТ}^{B_1} = [(\Delta E_{БТ}^{B_1 x})^2 + (\Delta E_{БТ}^{B_1 y})^2]^{1/2};$$

- по двум $B_1(x_{B1}, y_{B1})$ и $B_4(x_{B4}, y_{B4})$ базисным пунктам, расположенным на одной прямой с полевым пунктом $H(x_H, y_H)$:

$$\psi^{B_{14}} = \Delta E_{БТ} / \Delta E_{БТ}^{B_{14}} \quad \text{и} \quad \phi = \arctg(\Delta E_{БТ}^{B_{14} y} / \Delta E_{БТ}^{B_{14} x}) + k\pi,$$

здесь $k=0$, при $\Delta E_{БТ}^{B_{14} x} \geq 0$ и $k=1$, при $\Delta E_{БТ}^{B_{14} x} < 0$;

$$\Delta E_{БТ}^{B_{14}} = [(\Delta E_{БТ}^{B_{14} x})^2 + (\Delta E_{БТ}^{B_{14} y})^2]^{1/2},$$

где ρ -составляющая вектора приращения напряженности поля БТ в полевым пункте определяется из выражения (при интерполировании степенной функцией с учетом удельного электрического сопротивления в области базисных пунктов — ρ^{B_1}, ρ^{B_4}):

$$\Delta E_{БТ}^{B_{14} \rho} = [\Delta E_{БТ}^{B_4 \rho} (\rho^{B_1} / \rho^{B_4}) - \Delta E_{БТ}^{B_1 \rho}] \cdot \{[(x_H - x_{B1})^2 + (y_H - y_{B1})^2] / [(x_{B4} - x_{B1})^2 + (y_{B4} - y_{B1})^2]\}^{m/2} + \Delta E_{БТ}^{B_1 \rho},$$

где $m > 0$, (в частности при линейном интерполировании $m=1$);

- по трем $B_1(x_{B1}, y_{B1})$, $B_2(x_{B2}, y_{B2})$ и $B_3(x_{B3}, y_{B3})$ базисным пунктам, не расположенным на одной прямой (двумерное линейное интерполирование):

$$\psi^{B_{123}} = \Delta E_{БТ} / \Delta E_{БТ}^{B_{123}} \quad \text{и} \quad \phi = \arctg(\Delta E_{БТ}^{B_{123} y} / \Delta E_{БТ}^{B_{123} x}) + k\pi,$$

здесь $k=0$, при $\Delta E_{БТ}^{B_{123} x} \geq 0$ и $k=1$, при $\Delta E_{БТ}^{B_{123} x} < 0$;

$$\Delta E_{BT}^{B123} = [(\Delta E_{BT}^{B123}{}_x)^2 + (\Delta E_{BT}^{B123}{}_y)^2]^{1/2},$$

где x - или y -составляющая (произвольная ρ -составляющая) вектора приращения напряженности поля БТ при линейном интерполировании (с учетом удельного электрического сопротивления в области базисных пунктов — $\rho^{B1}, \rho^{B2}, \rho^{B3}$) определяется из уравнения:

$$\begin{vmatrix} x_H - x_{B1} & y_H - y_{B1} & \Delta E_{BT}^{B123} - \Delta E_{BT}^{B1} \\ x_{B2} - x_{B1} & y_{B2} - y_{B1} & \rho^{B1}(\Delta E_{BT}^{B2} - \Delta E_{BT}^{B1} \rho) / \rho^{B2} \\ x_{B3} - x_{B1} & y_{B3} - y_{B1} & \rho^{B1}(\Delta E_{BT}^{B3} - \Delta E_{BT}^{B1} \rho) / \rho^{B3} \end{vmatrix} = 0$$

• по трем и более базисным пунктам, не расположенным на одной прямой, с использованием различных процедур интерполирования двумерной функции (в частности *Kriging* (K), *Minimum Curvature* (MC) из пакета программ *SURFER*):

$$\psi^K = \Delta E_{BT} / \Delta E_{BT}^K \text{ и } \phi = \arctg(\Delta E_{BT}^K{}_y / \Delta E_{BT}^K{}_x) + k\pi,$$

здесь $k=0$, при $\Delta E_{BT}^K{}_x \geq 0$ и $k=1$, при $\Delta E_{BT}^K{}_x < 0$;

$$\Delta E_{BT}^K = [(\Delta E_{BT}^K{}_x)^2 + (\Delta E_{BT}^K{}_y)^2]^{1/2};$$

• по скользящему окну (R) — (плавающее нормирование в окне), по усредненным x - и y -составляющим вектора приращения напряженности поля БТ в пунктах, расположенных в окрестности рассматриваемого полевого пункта:

$$\psi^R = \Delta E_{BT} / \Delta E_{BT}^R \text{ и } \phi = \arctg(\Delta E_{BT}^R{}_y / \Delta E_{BT}^R{}_x) + k\pi,$$

здесь $k=0$, при $\Delta E_{BT}^R{}_x \geq 0$ и $k=1$, при $\Delta E_{BT}^R{}_x < 0$;

$$\Delta E_{BT}^R = [(\Delta E_{BT}^R{}_x)^2 + (\Delta E_{BT}^R{}_y)^2]^{1/2};$$

где x - и y -составляющие (произвольная ρ -составляющая) вектора приращения напряженности определяется из уравнения:

$$\Delta E_{BT}^R{}_p = \left(\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-N}^N \Delta E_{BT}^R{}_{pij} - \sum_{i=-m}^m \sum_{j=-n}^n \Delta E_{BT}^R{}_{pij} \right) / [(2M+1)(2N+1) - (2m+1)(2n+1)],$$

где M и N — внешние, m и n — внутренние размеры окна усреднения по x и y , соответственно (M, N, m и n — целые положительные числа).

В процессе обработки данных наряду с обычно определяемыми усредненными значениями ψ за исследуемый цикл измерений по

формуле: $\psi = (\sum_{k=1}^N \psi_k) / N$, здесь N — количество моментов времени

(импульсов); ψ_k — k -ое значение ψ , вычисленное одним из способов нормирования поля (при этом среднеквадратичное отклонение равно

$\sigma_\psi = [(\sum_{k=1}^N (\psi - \psi_k)^2) / N]$, для повышения информативности предлагается

исследовать проявление анизотропности параметра ψ в зависимости от направления вектора нормированного поля, определяя дифференцированные по азимуту упомянутого вектора параметры:

$$\psi_{ave} = (\sum_{n_\phi} \psi_\phi) / n_\phi, \quad \sigma_{\psi ave} = (\sum_{n_\phi} \sigma_{\psi\phi}) / n_\phi,$$

здесь $\psi_\phi = (\sum_{i=1}^{n_i} \psi_{\phi i}) / n_i$, $\sigma_{\psi\phi} = [(\sum_{i=1}^{n_i} (\psi_\phi - \psi_{\phi i})^2) / n_i]$, n_ϕ — количество секторов (при 10° $n_\phi = 18$ — данные противоположных секторов, согласно принципу линейности первичного электрического поля БТ, объединяются); n_i — количество моментов времени, при которых нормированный вектор находится в ϕ -ом секторе.

Величина отношения $\max\{\psi_\phi\} / \min\{\psi_\phi\}$ характеризует степень проявления анизотропности по ψ , которая теоретически может наблюдаться в двух случаях: во-первых, за счет погрешности, связанной с нормированием поля БТ (в частности, линейным интерполированием при выраженном нелинейном характере поля БТ), и увеличивается с удалением от базисных пунктов; во-вторых, из-за неоднородности исследуемой геоэлектрической среды по удельному электрическому сопротивлению.

Сформулированы условия принятия решения о наличии аномалии по параметру ψ в рассматриваемом полевом пункте:

- средней проводимости: $|\psi_{ave} - 1| \geq 3\sigma_{\psi max}$,
- анизотропности: $\psi_{\phi max} - \psi_{\phi min} \geq 3\sigma_{\psi max}$.

Последующая обработка данных позволяет построить карты не только ψ , σ_ψ , ψ_{ave} , $\sigma_{\psi ave}$ и аномальных областей средней проводимости и анизотропности для всего планшета съемки, но и азимутальные гистограммы и круговые диаграммы ψ в требуемом полевом пункте.

В разделе 4.5 приведены основные результаты математического моделирования при исследовании тех же разнотипных геоэлектрических моделей, представленных в главе 3. При моделировании рассматривались шесть различных циклов измерений с использованием имитирующих поле БТ одновременно действующих точечных и линейных эквипотенциальных, как поверхностных, так и погруженных источников тока. Значения силы токов, проходящих через источники поля БТ задавались случайным образом. Приведенные результаты исследований выполнены при шести произвольно размещенных базисных пунктах в пределах планшета съемки.

В процессе моделирования определялись параметры электрического поля БТ: напряженность и приращения напряженности, по которым строились карты векторного поля, изолиний его составляющих, параметра ψ и его проявления анизотропности при различных способах нормирования поля, а также годографы векторного первичного электрического поля БТ, круговые диаграммы, азимутальные гистограммы, корреляционные поля между наблюдаемыми и нормированными параметрами поля в исследуемом пункте наблюдений. В результате интерпретации получены

обобщенные (сводные) карты аномальных областей средней проводимости и анизотропности по параметру ψ на поверхности исследуемых геоэлектрических моделей.

Здесь же рассмотрены особенности векторной съемки при регистрации поля БТ той же (рассмотренной в разделе 3.7) нерегулярной разряженной сетью пунктов наблюдений на поверхности геоэлектрической модели, содержащей сферическое тело посредством нормирования поля по трем базисным пунктам нерегулярной сети. Несмотря на уменьшение разрешающей способности измерений при использовании нерегулярной сети наблюдений по сравнению с правильной сетью, такие исследования рекомендуются при большей контрастности по удельному электрическому сопротивлению исследуемого объекта от вмещающей среды.

Особое внимание уделено определению кажущегося сопротивления по электрическому полю блуждающих токов и оценке его информативности. Приведенные диаграммы ρ_s , построенные по электрическому полю БТ, характеризующиеся существенным разбросом значений независимо от цикла измерений, отвергают существующее мнение о необходимости сведения процесса обработки данных методом БТ к конечному интерпретируемому параметру кажущегося сопротивления, способом, применяемым в методе сопротивлений. Представленные зависимости подтверждают обоснованный в разделе 3.2 вывод о том, что кажущееся сопротивление ρ_s при сложной системе возбуждения электрического поля может принимать любые неотрицательные значения и его использование на последней стадии интерпретации не целесообразно (не говоря о том, что в методе БТ это практически не выполнимо).

В разделе 4.6 приведены результаты сопоставления исследований на поверхности геоэлектрических моделей 2, 3, 4, рассмотренных в главе 3, методами сопротивлений (при различных системах возбуждения многоэлектродной установкой *ABCD*) и блуждающих токов (при нормировании поля по трем базисным пунктам и скользящему окну).

В итоге проведенных исследований методом БТ разработана единая (универсальная — не зависящая от типа изучаемой геоэлектрической среды и особенностей источников техногенного электрического поля) методика с возможностью внутриметодного (электроразведочного) комплексирования, использование которой позволяет повысить разрешающую способность измерений, выделять с высокой точностью и достоверностью неоднородности геологических образований по электропроводности, получать более полную информацию о характере блуждающих токов, что особенно важно не только на стадии детальных геофизических исследований в пределах действующих месторождений, но и при решении многих нарастающих

проблем в области экологической ситуации в промышленно развитых районах.

В главе 5 рассмотрена возможность использования теоретических основ векторных измерений при проведении исследований некоторыми традиционными методами.

Рассмотрены два способа электрического зондирования, выполняемых путем векторных измерений возбуждаемого вращающегося электрического поля в центре зондирования. Сущность первого предлагаемого способа крестового вертикального электрического зондирования методами сопротивлений и ВП (раздел 5.1) заключается в измерении двух (не обязательно ортогональных) составляющих первичного и вторичного электрических полей в пункте наблюдений при поочередном возбуждении поля двумя (ортогональными или косоугольными) питающими линиями с постепенно увеличивающимися разносами (наподобие крестового ВЭЗ симметричной установкой). При интерпретации результатов измерений, полученных при двух направлениях возбуждаемого электрического поля, определяются компоненты тензоров КС и КП при каждом разносе питающих линий. Рассмотрена эффективность предлагаемого способа на двух простых геоэлектрических моделях. Результаты исследований этой методикой крестовых зондирований анизотропной модели однозначно свидетельствует о присутствии анизотропии электрических свойств исследуемой геоэлектрической среды, параметры которой легко определяются путем итераций. При исследовании обычной методикой крестовых зондирований над такой моделью требуются дополнительные данные (в частности, измерения и при других азимутах питающих линий, т.е. проведение кругового зондирования). В случае другой простой геоэлектрической модели, представляющей собою однородную изотропную среду со сферическим телом, установлено присутствие в среде горизонтальной электрической неоднородности.

Таким образом, несмотря на то, что при выполнении крестовых зондирований предлагаемой методикой увеличивается объем работ, неоспорима их эффективность за счет повышения информативности и разрешающей способности измерений. Однако, для однозначной интерпретации данных над сложными геоэлектрическими средами, естественно необходимо комплексирование электроразведочного и электропрофилирования с привлечением результатов математического и физического моделирования электрических полей в неоднородных по удельному электрическому сопротивлению и поляризуемости средах.

В разделе 5.2 рассмотрена методика электроразведочных исследований, включающая в себе элементы электрических (вертикального крестового или кругового и дипольного) зондирований и профилирования, и названная многоазимутальным комбинированным

электрическим зондированием (МАК-зондированием), позволяющая исследовать геоэлектрическую среду как с глубиной, так и по направлениям ориентации питающих электродов, кардинально повышающая разрешающую способность и информативность измерений. Предлагаемый способ электроразведочных исследований методами сопротивлений и вызванной поляризации осуществляется путем использования радиально ориентированных от пункта наблюдений (центра зондирования), в котором определяются требуемые (в частности x - и y -) составляющие первичного и вторичного электрических полей, питающих линий (аналогично крестовому или круговому зондированию), но в отличие от них дополнительно проводятся измерения этих же составляющих при возбуждении электрического поля различными парами питающих электродов, не лежащими на одной прямой с центром зондирования. Для обоснования эффективности этого способа геоэлектроразведки проведено математическое моделирование на трех разнотипных геоэлектрических моделях в двух (двухазимутальной и трехазимутальной) модификациях МАК-зондирования.

В разделе 5.3, на примерах тех же (глава 3) четырех разнотипных геоэлектрических моделей с использованием предложенных критериев достоверности и разрешающей способности измерений, и с учетом условия принятия решения о наличии аномалий проводимости и поляризуемости, оценена эффективность площадных электроразведочных исследований квадрипольной установкой — успешно применяемой зарубежными исследователями.

Предложен способ интерпретации вариаций геомагнитного поля, заключающийся в определении трехмерного тензора нормированного кажущегося удельного электрического сопротивления $\mathbf{R}$ (раздел 5.4) и его визуализации, что способствует эффективному сопоставлению тензоров, полученных по измерениям как за различные циклы наблюдений, так и при различных парах пунктов наблюдений. Рассмотрена взаимосвязь между основными интерпретируемыми параметрами при смене местами базисного и полевого пунктов. Вводится понятие годографа тензора $\mathbf{R}(t)$.

В разделе 5.5 основываясь на результатах теоретических исследований векторных измерений даны некоторые практические рекомендации при проведении магнитотеллурических работ.

Глава 6 посвящена исследованиям петрофизических (электрических) характеристик моделей и образцов.

Современные исследования как геоэлектрической среды, так и образцов горных пород и руд методом вызванной поляризации выполняются с использованием различных временных режимов измерений, а обработка и интерпретация данных сводится к получению дифференциальных параметров переходного процесса вторичного

электрического поля. В разделе 6.1 приведен способ подбора временных режимов для непосредственного измерения высших производных переходной характеристики (ПХ) ВП.

Несмотря на повышенную разрешающую способность измерений и информативность дифференциальных параметров ВП, они не характеризуют весь исследуемый процесс полностью (в целом). В разделе 6.2 предлагаются обобщенные параметры ВП, получаемые по данным регистрации поля как при пропуске электрического тока (зарядке), так и после его выключения и характеризующие весь временной диапазон исследуемого процесса. Введены понятия интегральных амплитудно-временных параметров, характеризующих отдачу электрохимических процессов (ВП) по количеству электричества (электрическому заряду) $\Omega_Q = Q_c / Q$, энергии $\Omega_W = W_c / W_3$ и напряжению $\Omega_U = U_c / U_3$ при возбуждении в исследуемой среде электрического поля импульсами различной формы. В частности, импульсом постоянного тока длительностью t_3 : $I(T) = I_0$,

$$Q_c = \eta_k E_0 \int_0^{\infty} F^*(T) dT, \quad W_c = \eta_k^2 E_0^2 \int_0^{\infty} [F^*(T)]^2 dT, \quad U_c = \eta_k E_0 \int_0^{\infty} F^*(T) dT,$$

$$Q_3 = \eta_k E_0 \int_0^{t_3} [1 - F(T)] dT, \quad W_3 = \eta_k E_0^2 \int_0^{t_3} [1 - F(T)][1 + \eta_k F(T)] dT,$$

$$U_3 = E_0 \int_0^{t_3} [1 + \eta_k F(T)] dT,$$

здесь $F^*(T) = F(T + t_3) - F(T)$, $F(T)$ — ПХ ВП при прямоугольном одиночном импульсе постоянного тока; η_k — асимптотическое (при $t_3 \rightarrow \infty$) значение кажущейся поляризуемости, определяемой как отношение поля ВП к первичному (при $t_3 \rightarrow 0$) полю; $E_0 = \rho_k I_0 / kr$ — напряженность первичного электрического поля; ρ_k — кажущееся удельное сопротивление; k — коэффициент установки; r — разност приемной линии. Таким образом, под *отдачей вызванной поляризации по количеству электричества* Ω_Q подразумевается отношение кажущегося количества электричества, полученного на спаде, к кажущемуся количеству электричества, затраченному при зарядке. Аналогично *по энергии* Ω_W и *напряжению* Ω_U . Установлено, что с учетом линейности вторичных процессов отдача ВП по количеству электричества (Ω_Q) равна 1 (100%) независимо от t_3 и формы импульса.

В разделе 6.3 предложен способ оценки электрического воздействия при произвольном импульсе тока (с применением интеграла Дюамеля) по отклику интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации.

Под эквивалентным воздействием по соответствующему интегральному амплитудно-временному параметру принимается

возбуждение в исследуемой среде прямоугольного импульса тока такой амплитуды (интенсивности) и длительности, при котором воздействие на среду (отклик среды) по данному параметру одинаков.

Из нижеприведенных соотношений, в которых слева представлены значения при произвольной форме импульса (возбуждения), а справа — при прямоугольном импульсе тока, определяются длительность и амплитуда эквивалентного воздействия по каждому интегральному амплитудно-временному параметру:

$$\begin{aligned} \bullet Q_3 & \int_0^{t_3} [I(T) - \int_0^T I(T-\tau) F'(\tau) d\tau] dT = I_0^{Q_3} \int_0^{t_3} [1 - F(T)] dT, \\ \bullet U_3 & \int_0^{t_3} [I(T) + \eta_k \int_0^T I(T-\tau) F'(\tau) d\tau] dT = I_0^{U_3} \int_0^{t_3} [1 + \eta_k F(T)] dT, \\ \bullet W_3 & \int_0^{t_3} [I(T) - \int_0^T I(T-\tau) F'(\tau) d\tau] [I(T) + \eta_k \int_0^T I(T-\tau) F'(\tau) d\tau] dT = \\ & = (I_0^{W_3})^2 \int_0^{t_3} [1 - F(T)] [1 + \eta_k F(T)] dT, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet Q_c & \int_0^\infty \int_0^{t_3} I(t_3 - \tau) F'[T - (t_3 - \tau)] d\tau dT = I_0^{Q_c} \int_0^\infty [F(T + t_3^{Q_c}) - F(T)] dT, \\ \bullet U_c & \int_0^\infty \int_0^{t_3} I(t_3 - \tau) F'[T - (t_3 - \tau)] d\tau dT = I_0^{U_c} \int_0^\infty [F(T + t_3^{U_c}) - F(T)] dT, \\ \bullet W_c & \int_0^\infty \left\{ \int_0^{t_3} I(t_3 - \tau) F'[T - (t_3 - \tau)] d\tau \right\}^2 dT = (I_0^{W_c})^2 \int_0^\infty [F(T + t_3^{W_c}) - F(T)]^2 dT. \end{aligned}$$

Подбор эквивалентного воздействия путем последовательных итераций может осуществляться как по заданной длительности прямоугольного импульса, так и по заданной величине тока.

На примере геоэлектрической среды проанализирована динамика проявления интегральных параметров при произвольном импульсе тока. Учитывая возможность подбора эквивалентного воздействия при соответствующем интегральном параметре путем варьирования величин длительности и амплитуды прямоугольного импульса, рекомендуется выбирать эквивалентное воздействие, удовлетворяющее (с допустимой погрешностью) одновременно двум и более интегральным амплитудно-временным параметрам.

Предлагаемый способ определения эквивалентного электрического воздействия несомненно представляет большой практический интерес для оценки поляризационных процессов при

сложной структуре исследуемых электрических полей. Использование рассмотренных интегральных амплитудно-временных параметров при выборе оптимального временного режима измерений (особенно при поисках и картировании геологических образований с электропроводящими включениями) позволит увеличить эффективность метода ВП.

Ранее автором был проведен анализ пространственно-временных электрических характеристик различных двух- и многокомпонентных гетерогенных сред, содержащих сфероидальные включения, по полученным выражениям и предлагаемому алгоритму их расчетов при произвольном направлении прилагаемого электрического поля. Выявлена зависимость этих параметров от величин удельного электрического сопротивления и поляризуемости (включая амплитудно-временных характеристик) вмещающей среды и включений, формы, объемной концентрации, ориентировки включений по отношению к направлению поля. Установлена принципиальная возможность дифференциации различных групп включений, слагающих многокомпонентную среду, что имеет особое практическое значение. Доказано, что по характеру распределения анизотропии удельного электрического сопротивления и поляризуемости каждого пласта, слагающего толщу пород, происходит не только количественное, но и качественное изменение обобщенных электрических характеристик последней, отсутствие учета которого может привести к существенным ошибкам при истолковании результатов электроразведочных работ.

В разделах 6.4 и 6.5 рассмотрены разработанные нами лабораторная установка и методика для исследования удельного электрического сопротивления и поляризуемости (включая изучение амплитудно-временных характеристик ВП) моделей и образцов горных пород и руд в условиях вращения вектора напряженности прилагаемого электрического поля, позволяющие существенным образом улучшить воспроизводимость, повысить разрешающую способность и информативность измерений, необходимых для достоверного истолкования результатов векторной съемки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резюмируя основные результаты исследований можно констатировать, что представленные в диссертационной работе, теоретические основы единой (универсальной при изучении разнотипных геоэлектрических сред) методики проведения площадных электроразведочных работ контактным способом векторных измерений предусматривают исследования с произвольными системами возбуждения и регистрации электрического поля. С учетом предлагаемых критериев достоверности и разрешающей способности измерений оценена эффективность исследований различными как

простыми, так и многоэлектродными системами возбуждения и выявлены аномальные области проявления электрических параметров.

Впервые дана классификация первичного электрического поля БТ по характеру его проявления в пределах исследуемого планшета съемки и, в соответствии с ней, разработаны способы его регистрации, нормирования, обработки и интерпретации.

Особое внимание уделено исследованию электрохимических процессов методом ВП, в частности, разработан способ определения эквивалентного электрического воздействия при использовании произвольного временного режима измерений (импульса тока любой формы), основанный на предлагаемых интегральных амплитудно-временных параметрах вызванной поляризации (в частности, отдача ВП по количеству электричества, напряжению и энергии), обобщенно и в целом характеризующих весь цикл измерений. Естественно, что векторная съемка предъявляет более строгие требования к лабораторным исследованиям электрических характеристик пород и руд, слагающих изучаемую геологическую среду. В этой связи, большое значение имеют впервые созданная лабораторная установка для изучения неоднородно-анизотропных проводящих поляризующихся моделей и образцов горных пород и руд с возможностью вращения вектора напряженности прикладываемого электрического поля, и разработанная соответствующая методика исследований удельного электрического сопротивления и поляризуемости образцов.

Представленная работа будучи посвящена теоретическим основам методики векторных измерений при электроразведочных исследованиях одновременно имеет большое прикладное значение. К задачам в области ее широкого практического внедрения в рациональном комплексе геолого-геофизический изысканий следует отнести:

- создание многофункциональной многоканальной компьютеризированной аппаратуры, работающей в режиме реального времени, для проведения комплексных как полевых, так и лабораторных исследований;
- разработка соответствующего программного обеспечения (включая решения прямых задач для сложных неоднородно-анизотропных геоэлектрических сред) с максимальной визуализацией всего процесса исследований с получением пространственно-временных электрических характеристик и трехмерных построений изучаемой геоэлектрической среды;
- разработка генераторной группы и изготовление специального оборудования, приспособленных для исследований многоэлектродными системами возбуждения и регистрации;

- проведение целенаправленных опытно-методических исследований для отладки всего технологического процесса площадных электроразведочных работ;
- создание методического пособия для широкого круга геофизиков, применяющих электроразведку при решении практических задач.

Перспективными направлениями дальнейшего развития предлагаемой методики векторной съемки видится в совершенствовании исследований методом ВП в присутствии поля электрических помех и вторичного поля БТ (исследование поляризационных свойств геологической среды по полному электрическому полю БТ). Большие потенциальные возможности векторных измерений можно ожидать при решении сейсмопрогностических и геоэкологических задач, что непременно приведет к резкому увеличению роли и объема подобных площадных электроразведочных исследований путем изучения временных вариаций электрических свойств геологической среды (мониторинг геоэлектрических процессов).

Список опубликованных работ по диссертационной теме:

1. Матевосян А.К. О возможности применения трехэлектродной экранированной установки при исследованиях методами сопротивлений и вызванной поляризации. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1983, XXXVI, №1, с. 85-89.
2. Матевосян А.К. Некоторые результаты модельных исследований экранированными установками. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1985, XXXVIII, №1, с. 60-65.
3. Матевосян А.К. Методика исследований экранированными установками. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1985, XXXVIII, №6, с. 71-76.
4. Матевосян А.К. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1179243, 1985, Б.И. 34.
5. Матевосян А.К., Геворкян В.М. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1193619, 1985, Б.И. 43.
6. Матевосян А.К. Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1249607, 1986, Б.И. 29.
7. Матевосян А.К. Способ измерения высших производных переходной характеристики вызванной поляризации. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1987, XL, №1, с. 59-63.
8. Матевосян А.К., Бадалян С.В. Способ определения удельного электрического сопротивления образцов. Авторское свидетельство СССР № 1300369, 1987, Б.И.12.

9. *Матевосян А.К.* Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1350640, 1987, Б.И. 41.
10. *Матевосян А.К.* Вращение направления возбуждаемого электрического поля многоэлектродной установкой. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, №2, с. 56-63.
11. *Матевосян А.К.* Способ интерпретации результатов измерений методами сопротивлений и вызванной поляризации. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, №3, с. 46-55.
12. *Матевосян А.К.* О системе параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988, XLI, №4, с. 58-64.
13. *Матевосян А.К.* Изучение анизотропии электропроводности и поляризуемости пород с использованием различных систем возбуждения и регистрации электрических полей. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, №2, с. 53-66.
14. *Матевосян А.К.* Сопоставление различных параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости на примере двумерной модели геоэлектрической среды. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, XLII, №5, с. 44-54.
15. *Матевосян А.К.* Оценка амплитудных и временных параметров поляризуемости гетерогенных сред, содержащих сфероидальные включения. Известия АН Армении, Науки о Земле, 1992, XLV, №1, с. 33-47.
16. *Матевосян А.К.* Способ геоэлектроразведки. Авторское свидетельство СССР № 1704120, 1992, Б.И. 1.
17. *Матевосян А.К.* Особенности проявления амплитудных и временных электрических параметров многокомпонентной гетерогенной среды. Известия НАН РА, Науки о Земле, 1993, XLVI, №1, с. 62-66.
18. *Матевосян А.К.* Исследование обобщенных амплитудных и временных электрических характеристик слоистого разреза. Известия НАН РА, Науки о Земле, 1993, XLVI, №3, с. 54-59.
19. *Матевосян А.К.* Исследование особенностей электрических полей многоэлектродных систем возбуждения. Известия НАН РА, Науки о Земле, 1999, LII, №1, с. 53-63.
20. *Матевосян А.К.* Оценка влияния выбора системы регистрации при исследовании анизотропии геоэлектрической среды. Известия НАН РА, Науки о Земле, 1999, LII, №2-3, с. 84-88.
21. *Матевосян А.К.* Способ крестового вертикального электрического зондирования. Сборник научных трудов конференции, посвященной

- памяти А.Г.Бабаджяна, Гюмри, изд. "Гитутюн" НАН РА, 1999, с. 169-178.
22. *Матевосян А.К.* Способ интерпретации вариаций геомагнитного поля. Известия НАН Армении, Науки о Земле, 2000, LIII, №1-2, с. 93-98.
 23. *Матевосян А.К.* К вопросу интерпретации вариаций поля теллурических токов. Известия НАН Армении, Науки о Земле, 2000, LIII, №3, с. 59-61.
 24. *Матевосян А.К.* Лабораторная установка для исследования удельного электрического сопротивления и поляризуемости моделей и образцов горных пород и руд. Сборник научных трудов конференции, посвященной 40-летию основания ИГИС НАН РА, Гюмри, изд. "Гитутюн" НАН РА, 2001, с. 258-264.
 25. *Матевосян А.К.* Интегральные амплитудно-временные параметры вызванной поляризации. Доклады НАН Армении, 2001, 101, №1, с. 76-83.
 26. *Матевосян А.К.* Определение эквивалентного электрического воздействия по интегральным амплитудно-временным параметрам вызванной поляризации. Доклады НАН Армении, 2001, 101, №2, с. 150-157.
 27. *Матевосян А.К.* Критерий достоверности измерений при много-электродной системе возбуждения электрического поля. Известия НАН Армении, Науки о Земле, 2001, LIV, №1, с. 38-42.
 28. *Матевосян А.К.* Критерий разрешающей способности измерений при многоэлектродной системе возбуждения электрического поля. Известия НАН Армении, Науки о Земле, 2001, LIV, №2, с. 46-49.
 29. *Матевосян А.К.* Оценка погрешности площадных электроразведочных исследований, связанной с неточностью установления пунктов наблюдений. Доклады НАН Армении, 2002, 102, №2, с. 147-152.
 30. *Матевосян А.К.* Способ обработки результатов площадных электроразведочных измерений при нерегулярной сети пунктов наблюдений. Доклады НАН Армении, 2002, 102, №3, с. 243-249.

Ատենախոսությունը նվիրված է էլեկտրահեռախոսակա հեռագոտությունների ժամանակ կոնտակտային եղանակով չափման ընդամուր վեկտորային հանույթի մեթոդիկայի տեսական դրույթների մշակման, նպատակ ունենալով կատարել օպտիմալ կոմպլեկսավորում ինչպես տարբեր մեթոդներով ստացված էլեկտրահեռախոսակա տվյալների, այնպես էլ ունենալ լիարժեք նյութ, անհրաժեշտ (պահանջվող) համատեղ այլ հեռախոսակա երկրաֆիզիկայի մեկնաբանման համար:

Նպատակային հիմնահարցի լուծումն ապահովվել է շնորհիվ հետևյալ խնդիրների վճռման.

- վեկտորային էլեկտրական դաշտի բաշխման և արտահայտման անալիզը դիտարկվող մակերեսի վրա ու տարբեր պարամետրերի ընտրման հիմնավորումը, որոնք բնութագրում են հեռագոտավող երկրաէլեկտրական միջավայրի տեսակարար էլեկտրական դիմադրության և բեռնացման բաշխումը,
- վեկտորային չափումների գրանցման, մշակման և մեկնաբանման ընդամուր մեթոդիկայի ստեղծումը, որը նախատեսում է կատարել երկրաբանական միջավայրի հեռագոտությունները կամայական գրգռող (ինչպես բնական, այնպես էլ արհեստական) և գրանցող էլեկտրական դաշտի համակարգերի օգտագործմամբ,
- վեկտորային հանույթի ժամանակ էլեկտրահեռախոսակա հաստատուն հոսանքի մեթոդներով և նրանց տարբեր եղանակներով աշխատելիս չափանիշների մշակում և կատարելագործում,
- թափառող էլեկտրական հոսանքների բարդ արտահայտման բնույթի արկայության դեպքում վեկտորային չափումների մեթոդիկայի ստեղծումը,
- վերտիկալ էլեկտրական զոնդավորման, մակերեսային էլեկտրապրոֆիլավորման, թելուրային հոսանքների տրադիցիոն մեթոդիկաների կատարելագործումը հաշվի առնելով վերոհիշյալ խնդիրների լուծումը,
- հարուցված բեռնացման նոր պարամետրերի մշակումը, որոնք ընդամուրացված և ավելի լիարժեք բնութագրում են չափման ամբողջ ժամանակահատվածը, ու համարժեք էլեկտրական ազդեցության որոշման եղանակ կամայական չափման ժամանակային ռեժիմի դեպքում (ցանկացած ձևի հոսանքի իմպուլսի ժամանակ),
- տարբեր անհամասեռ և անհզոտրոպ մոդելների ու լեռնային ապառների հեռագոտման համար նոր եղանակի և լաբորատոր սարքավորման ստեղծումը, որը անհրաժեշտ է վեկտորային չափումների արդյունքները ճշգրիտ մեկնաբանման համար:

Էլեկտրական դաշտերի կոնտակտային եղանակով չափման ընդամուր մակերեսային էլեկտրահեռախոսակա հեռագոտությունների ժամանակ մշակված մեթոդիկան թույլ կտա զգալիորեն բարձրացնել նրանց էֆեկտիվությունը բարդ երկրաէլեկտրական իրավիճակում:

**DEVELOPMENT OF THE THEORETICAL BASES OF VECTOR SURVEY
METHODS OF ELECTRICAL PROSPECTING RESEARCHES
A B S T R A C T**

The thesis is devoted to the development of the united methods of the vector survey of electrical prospecting investigations with the help of contact measurements to ensure optimal use of a complex of (electrical prospecting) methods as well as for obtaining complete data required for completing with other methods of applied geophysics. The objectives have been achieved solving the following main problems:

- Analysis of the manifestation on the half-space of the vector electric field, of the comparison and of the choice of the parameters characterizing the geoelectrical medium according to resistivity and polarizability.
- Development of the united methods for registration, processing and interpretation of vector measurement data providing the study of the geological medium with arbitrary systems of excitation and recording of electrical field.
- Development and improvement of the measurements criteria during the vector survey with the help of electrical prospecting methods of direct currents and their various modifications.
- Development of the methods of the vector survey when the stray current field manifestation is complicated.
- Upgrading of the traditional methods of vertical electrical sounding, of profiling, of telluric currents taking into account the results of the above tasks.
- Development of the induced polarization parameters completely characterizing the whole measurement cycle as well as of the method of equivalent electrical influence determining using arbitrary pulse of current.
- Development of the method and designing of the laboratory arrangement for studying fine structural peculiarities of inhomogeneous-anisotropic models and rocks samples of various types which are necessary for the reliable interpretation of the vector measurement results.

The application of the developed methods of electrical prospecting investigations of contact measurements of the electrical fields allows to increase essentially their efficiency in case of complicated geoelectrical situation.



1944