

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

Институт геофизики им.С.И.Субботина

На правах рукописи

РЕВА Николай Васильевич

УДК 550.837

ИНДУКЦИОННЫЙ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В
ГЕОЭЛЕКТРИКЕ

Специальность 01.04.12 - Геофизика

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

г.Киев - 1996

550.3

ДВ 36.756
Диссертация является рукописью

Работа выполнена на кафедре геофизики
Шевченко

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00760877 (Z)

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук, проф. Гроза А.А.

Официальные оппоненты:

1. Доктор технических наук, проф. Белявский В.В.
2. Доктор физико-математических наук Шуман В.Н.

Ведущая организация:

Киевское отделение государственного геолого-разведочного института
(УкрГТРИ)

Защита состоится 20 февраля 1997г. в 10-00 час. на заседании
Специализированного совета Д 01.95.01 в Институте геофизики
им.С.И.Субботина НАН Украины: 252680, г.Киев-142, пр.Палладина,32.
Факс: (044) 450-25-20

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института геофизики
НАН Украины.

Автореферат разослан 17 января 1997г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения, просим высылать ученому секретарю Совета.

Ученый секретарь
Специализированного совета
доктор физико-математических наук

В.С.Гейко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Одним из ведущих методов изучения геоэлектрической структуры земных недр является метод становления поля (СП), основанный на исследовании переходных процессов, возбуждаемых внешним импульсным электромагнитным полем контролируемых источников. Работа посвящена рассмотрению нескольких проблем, являющихся актуальными для теории и практики метода СП.

Первая проблема связана с разработкой оптимальных способов выделения аномалий и форм представления информации (проблема индукционного анализа). Традиционно в методах импульсной геоэлектрики результат эксперимента изображают в виде зависимостей эффективного сопротивления (либо эффективной проводимости) от времени или эффективной глубины влияния. Такая форма представления информации является рациональной и практически оправданной, поскольку призвана наглядно визуализировать геоэлектрический разрез и обеспечить на этой основе экспресс-интерпретацию и геологическое истолкование экспериментальных результатов. Однако практически все современные методики трансформации сигналов СП в эффективные электрические характеристики не позволяют выполнять оптимальную визуализацию геоэлектрического разреза в произвольной пространственно-временной области электромагнитного эксперимента, в связи с их фактической специализацией по условиям дальней либо ближней зон переходного процесса. Учитывая это, в работе предлагаются авторские варианты индукционного анализа на основе дифференциальных и интегральных временных характеристик нестационарных магнитных полей.

Суть второй проблемы, касающейся вопросов обработки сигналов, состоит в нормализации регистрируемых переходных процессов. Под нормализацией зарегистрированного сигнала подразумевается его преобразование к виду переходного процесса, возникающего при возбуждении земной динамической системы скачкообразным изменением возбуждающего электромагнитного поля (возбуждение импульсом Хевисайда - единичной ступенью). Необходимость в такой процедуре обусловлена тем, что зарегистрированные переходные процессы могут отличаться от реакции земной динамической системы на возбуждение по Хевисайду, вследствие воздействия на нее систем регистрации (применение фильтров для подавления помех) и возбуждения (мощные источники не всегда обеспечивают необходимую длительность и качество фронтов возбуждающих импульсов - например магнитно-гидродинамический (МГД) генератор). В то же время теория нестационарных электромагнитных полей разработана для условий возбуждения по

ЛНБ для Украины
АН України

Хевисайду. В работе рассмотрены оригинальные пути решения задачи нормализации регистрируемых сигналов.

Третья проблема, рассматриваемая в диссертационной работе, посвящена изучению особенностей диффузионной кинематики импульсных электромагнитных возмущений в проводящих средах. Диффузионная кинематика квазистационарного электромагнитного возмущения зависит от электрических свойств и структуры геоэлектрического разреза, и, следовательно, наряду с индукционным анализом, может использоваться как дополнительный источник информации о геоэлектрическом разрезе.

Кинематическое направление в квазистационарной геоэлектрике является относительно новым. Впервые методологические основы диффузионной кинематики рассмотрены в совместных научных отчетах проф. Грозы А.А. и автора настоящей диссертационной работы, а также в диссертационной работе Грозы А.А. (1986г.). В них разработана теория интегральной кинематики, основанной на изучении особенностей распространения интегральных моментов импульсных возмущений - их "центров тяжести" и "моментов инерции" - в проводящих средах. Перспективное направление информационного анализа импульсного электромагнитного эксперимента, использующее кинематические идеи, развивается в работах В.Н.Шумана (1979, 1982, 1989гг.).

В плане развития идей диффузионной кинематики квазистационарных процессов в настоящей работе исследуется новое направление, основанное на изучении распространения экстремальных особенностей электромагнитных возмущений в проводящих средах. В этом отношении выполненная принципиальная разработка по своим внешним формальным признакам является электромагнитным аналогом корреляционного метода преломленных волн (КМПВ) в сейсморазведке.

Кроме вышеперечисленных проблем в работе рассматриваются некоторые частные, но представляющие интерес для практической геоэлектрики вопросы, такие как магнитный анализ переходных процессов и асимптотические представления нестационарных магнитных полей дипольных источников. Все рассмотренные выше проблемные и частные вопросы являются актуальными в связи с широким применением методов импульсной геоэлектрики в современной практике прикладных и научных геофизических исследований.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ. Основное целевое назначение диссертационной работы заключается в разработке новых способов индукционного анализа нестационарных электромагнитных полей, алгоритмов нормализации переходных процессов, в исследовании и развитии теоретических и методологических проблем кинематики квазистационарных электромагнитных возмущений в проводящих средах, как нового направления в импульсной геоэлектрике.

Конкретные задачи научных исследований предусматривали:

1. Обобщение, постановку и разработку задач теории нестационарных электромагнитных полей в горизонтально-слоистых средах.
 2. Анализ:
 - существующих форм представления информации и способов выделения аномалий в методах импульсной геоэлектрики;
 - исходных методологических концепций кинематического принципа электромагнитных исследований.
 3. Разработку:
 - алгоритмов трансформации и методики анализа переходных процессов на основе дифференциальных временных характеристик нестационарного магнитного поля;
 - алгоритмов трансформации переходных процессов, методик визуализации структуры геоэлектрического разреза и экспресс-интерпретации электромагнитных зондирований на основе интегральных временных характеристик нестационарного магнитного поля;
 - общей теории линейных экстремальных годографов импульсных электромагнитных возмущений для горизонтально-слоистых сред с изолирующим основанием;
 - кинематических методических систем и методики анализа электромагнитных годографов импульсных электромагнитных возмущений для непрерывного прослеживания опорного геоэлектрического горизонта по обобщенным геоэлектрическим характеристикам;
 - алгоритмов нормализации переходных процессов, искаженных системами возбуждения и регистрации электромагнитных полей.
 4. Изучение возможности магнитного анализа импульсов становления магнитного поля для картирования зон тектонических нарушений, литологических контактов и индикации магнитоактивных образований.
 5. Физическое моделирование диффузионной кинематики переходных процессов для выяснения особенностей поведения экстремальных годографов в условиях горизонтально-неоднородных разрезов.
 6. Опробование разработанных методик индукционного и кинематического анализа на экспериментальных данных геоэлектрических исследований, выполненных в районах с различным геологическим строением.
- НАУЧНАЯ НОВИЗНА.** Разработана теория гармонического электромагнитного поля электромагнитного дипольного источника в горизонтально-слоистой среде с учетом токов смещения.
- Решена нестационарная задача для модели тонких проводящих слоев, разделенных изоляторами.

Разработана и реализована новая система индукционного анализа нестационарных магнитных полей, основанная на использовании интегральных временных характеристик переходных процессов. Предложенная методика индукционного анализа обеспечивает оптимальную визуализацию геоэлектрического разреза в произвольной пространственно-временной области.

Разработана теория линейной экстремальной кинематики импульсных магнитных возмущений в горизонтально-слоистых средах и методические системы практической реализации кинематических исследований.

Решена задача о стационарном магнитном поле электрического дипольного источника в присутствии вертикальной границы раздела и определены критерии картирования литологических контактов и зон тектонических нарушений по результатам дистанционных измерений магнитного поля.

Уточнена поздняя асимптотика переходных процессов в магнитных полях дипольных источников для модели горизонтально-слоистого разреза с изолирующим основанием.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ.

Разработанные системы индукционного и кинематического анализа направлены на повышение информативности и разрешающей способности электромагнитных зондирований импульсными источниками при структурных геоэлектрических исследованиях недр, геофизическом прогнозировании нефтегазовых и рудных залежей и глубинных электромагнитных зондированиях земной коры. Разработки получили значительное практическое применение для решения структурно-геологических задач и прогнозирования нефтегазовых залежей. Внедрение научных разработок осуществлялось производственными геофизическими организациями Мингео Украины в районах Вольно-Подолли и Днепровско-Донецкой впадины, Управлением геологии Туркмении в районах Центральных Кара-Кумов и Мингео России в районе Центральной Сибири.

СТЕПЕНЬ ЛИЧНОГО УЧАСТИЯ АВТОРА В ВЫПОЛНЕННЫХ

РАБОТАХ. Все принципиальные решения и программные разработки, обеспечившие теоретические расчеты, обработку и анализ экспериментальных данных, выполнены автором самостоятельно. Материалы экспериментальных исследований, приведенные в работе, получены экспедициями лаборатории геоэлектрических исследований Киевского университета им.Тараса Шевченко, в которых автор принимал личное участие, а также заимствованы в производственных организациях Украины (ПГО "Укргеофизика", ПГО "Севукргеология"), России (ПГО "Енисейгеофизика") и Туркмении (Центральная геофизическая экспедиция), с которыми лаборатория геоэлектрических исследований вела творческое

сотрудничество на хозяйственной основе. В выполнении хозяйственных работ автор принимал непосредственное участие, являясь их ответственным исполнителем. Автор лично курировал также и полевые работы, проводившиеся производственными организациями. За плодотворное сотрудничество и творческое общение в процессе выполнения экспериментальных работ, а также предоставленную возможность использования экспериментальных данных автор выражает глубокую признательность коллегам-производственникам Трегубенко В.И., Слободянюку С.И., Голику А.И., Колдунову А.В., Страшко В.В., Томчакову Л.И., Яланскому А.И., Ларионову Е.И., Тойбу Р.Е., Бубнову В.В. и многим другим работникам производственных организаций.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные результаты работы докладывались на многих всесоюзных конференциях и семинарах по геоэлектрике (Фирюза, 1974; Звенигород, 1976; Мукачево, 1978; Хабаровск, 1980; Апатиты, 1980; Челябинск, 1982; Киев, 1986; Славское, 1989; Москва, 1992), Международной конференции "Анизотропия. Фракталы" (Киев, 1994), а также на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава геологического факультета Киевского университета им. Тараса Шевченко.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 8 работ и 5 объемных научно-технических отчетов по НИР, которые депонированы во Всесоюзном информационном центре. Одна работа находится в печати.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа в структурном отношении состоит из введения, трех глав, заключения, семи текстовых и трех графических приложений. Объем основной части диссертационной работы составляет 213 страниц, в том числе 37 рисунков, 11 страниц списка литературы, включающего 115 наименований. Объем текстовых приложений составляет 205 страниц, в том числе 41 рисунок. Графические приложения включают 30 чертежей.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории геоэлектрических исследований кафедры геофизики Киевского университета им. Тараса Шевченко по научно-технической программе РН.50.01, а также бюджетной научной тематике лаборатории. До 1993 г. работа выполнялась под научным руководством доктора физ.-мат. наук, профессора Грозы А.А., а после 1993 г. - автором самостоятельно. Глубокую благодарность научному руководителю, к сожалению рано ушедшему из жизни, и память о нем автор сохранит навсегда.

За значительную помощь в выполнении экспериментальных работ, обработке и анализе экспериментальных данных, техническом оформлении работы автор искренне признателен и глубоко благодарен своим коллегам по работе в лаборатории геоэлектрических исследований Руденко Т.В., Андриевской Л.П., Егоровой Н.С., Гаврильцеву В.Б., Кутьшенко Т.И.,

бывшим сотрудникам лаборатории Липскому Ю.И., Негоде В.Г., Калькутину Ю.Г., Лукашевич Л.А., Байсарович И.М., Шибецкому Ю.И., Главинскому Д.А.

Весьма плодотворное влияние на выполнение работы оказывало постоянное внимание и полезные советы докт. физ.-мат. наук Шумана В.Н., а также творческое общение с докторами наук Сапужаком Я.С., Сейфуллиным Р.С., Куликом С.Н. Автор выражает им глубокую признательность. Автор выражает благодарность зав. кафедрой геофизики Киевского университета проф. Продайводе Г.Т. за создание благоприятных условий и способствование в выполнении научных исследований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ. Обсуждаются актуальные проблемы развития электромагнитных зондирований земной коры импульсными источниками и обосновываются три основных направления научных исследований, выполненных в работе - индукционный анализ переходных процессов, нормализация импульсов становления поля и диффузионная кинематика электромагнитных возмущений в проводящих средах. Кратко излагается общая структура работы.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ.

Основная задача теории электромагнитных зондирований заключается в определении нестационарных электромагнитных полей заданной системы источников возбуждения на поверхности горизонтально-слоистой геоэлектрической структуры и в верхнем полупространстве. Большой вклад в разработку различных вариантов этой задачи внесли Тихонов А.И., Шейнман С.М., Ваньян Л.Л., Четаев Д.Н., Кауфман А.А., Светов Б.С., Гроза А.А. и многие другие известные исследователи. В настоящей главе с позиций обобщения имеющихся основополагающих работ, а также собственных теоретических и методических разработок изложены основные положения теории нестационарных электромагнитных полей дипольных источников в горизонтально-слоистых средах.

Обобщенная исходная модель среды для постановки основной задачи теории электромагнитных зондирований представляется горизонтально-слоистой геоэлектрической структурой, состоящей из произвольного количества k однородных горизонтов с любыми заданными удельными электрическими проводимостями $\gamma_i = 1/\rho_i$, магнитными μ_i и диэлектрическими ϵ_i проницаемостями и мощностями h_i . Со стороны дневной поверхности и основания модель ограничена верхним и нижним полупространствами с параметрами $\gamma_0, \mu_0, \epsilon_0, h_0 \rightarrow \infty$ и $\gamma_k, \mu_k, \epsilon_k, h_k \rightarrow \infty$. Такая

обобщенная модель допускает различные частные варианты, включая обычную немагнитную модель структурной электроразведки ($\mu_1 = \mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ гн/м}$), ограниченную сверху изолирующим полупространством ($\gamma_0 = 0, \mu_0 = \mu, \varepsilon_0 = 10^{-9}/36\pi \text{ ф/м}$), а также модель тонких слоев, разделенных изоляторами.

Возбуждение геоэлектрической модели осуществляется приподнятыми на высоту h над дневной поверхностью элементарными дипольными источниками трех типов: вертикальным магнитным диполем, представляющим собой замкнутый контур тока малых размеров, имеющим эффективную площадь dq ; горизонтальным электрическим диполем (горизонтальным линейным током малых размеров dl); электромагнитным диполем, образованным системой горизонтального линейного тока длины dl и двух вертикальных противоположенных токов длины h , заземленных на дневной поверхности. Приземлением горизонтального тока ($h \rightarrow 0$) электромагнитный диполь легко превращается в обычный для электроразведки электрический диполь. Моменты магнитного (M^*), электрического и электромагнитного (M) диполей выражаются: $M^* = I_0^*/4\pi$, где $I_0^* = I \cdot dq$; $M = I_0/4\pi$, где $I_0 = I \cdot dl$. Ток в контуре источников в принципе может изменяться произвольно, однако практически чаще всего используется возбуждение по гармоническому закону $I(t) = I \cdot e^{-i\omega t}$, либо по закону импульса Хевисайда - $I(t) = I \cdot \sigma(t)$. Начала декартовой и цилиндрической систем координат заданы на уровне подъема источника.

В общем случае напряженности нестационарных магнитного \vec{H} и электрического \vec{E} полей удобно выражать через векторный \vec{A} и скалярный U электродинамические потенциалы известными соотношениями электродинамики:

$$\vec{H} = \text{rot} \vec{A}; \quad \vec{E} = -\mu \vec{\partial} \vec{A} / \partial t - \text{grad} U; \quad -\gamma U - \varepsilon \partial U / \partial t = \text{div} \vec{A} \quad (1.1)$$

Таким образом решение нестационарной задачи сводится к определению электродинамических потенциалов полей источников возбуждения с последующим расчетом напряженностей по (1.1).

В реферируемой главе выполнены полные спектральные решения для компонент векторных потенциалов (A_φ - для магнитного диполя; A_1, A_2 - для электрического и электромагнитного диполей), учитывающие токи смещения и дифференциацию разреза по электрическим, магнитным и диэлектрическим свойствам. Решения получены путем специализации интегралов уравнений Гельмгольца для векторных потенциалов ($\Delta A_{\varphi, x, z} = k^2 A_{\varphi, x, z}$, где $k^2 = -\omega^2 \mu \varepsilon$ - волновое число, $\varepsilon = \varepsilon + i\gamma/\omega$ - комплексная

диэлектрическая проницаемость) по первичным циклическим полям источников, граничным условиям

$$[\mu A_{\varphi, z}] = 0; [\partial A_{\varphi, z} / \partial z] = 0; [A_z] = 0; [U] = 0 \quad (1.2)$$

и с учетом известной в геоэлектрике теоремы Липской-Ваньяна, применимость которой расширена для условий общей постановки задачи. В итоге по алгоритмам (1.1), в которых при гармоническом возбуждении \vec{E} и U выражаются

$$\vec{E} = i\omega\mu\vec{A} - \text{grad}U; \quad U = 1/(\omega\epsilon)\text{div}\vec{A}, \quad (1.3)$$

получены спектральные решения для всех компонент напряженностей электромагнитного поля в точках верхнего полупространства ($z \leq h$).

На основе полных аналитических представлений электромагнитных полей получены частные решения для квазистационарного случая с магнитной дифференциацией слоистой толщи ($\epsilon_i = 0; k_i^2 = -i\omega\gamma_i\mu$), ограниченной сверху непроводящим полупространством. Переводом этих решений в стационарный режим аналитически определены магнитные поля дипольных источников и, таким образом, решена задача теории дистанционно-магнитных зондирований магнитоактивных горизонтально-слоистых сред электрическим и магнитным источниками (подтвержден результат Грозы А.А., полученный временным способом). В главе выполнено детальное представление аналитических решений для модели однородного проводящего полупространства по всем компонентам гармонических электромагнитных полей как с учетом токов смещения, так и для классического квазистационарного случая.

Представляется, что спектральные решения для электромагнитных полей, приведенные в работе, являются наиболее полными из имеющихся в литературе по геоэлектрике, а для электромагнитного дипольного источника они выполнены впервые. Эти решения составляют аналитическую основу для реализации практической возможности изучения как электрических, так и диэлектрических свойств геоэлектрического разреза, что может найти успешное применение при решении инженерно-геологических и экологических задач.

На основе спектральных решений в главе выполнено интегральное аналитическое представление переходных процессов (квазистационарный случай) в электромагнитных полях возбуждающих импульсных магнитного и электромагнитного дипольных источников, приподнятых на высоту h над поверхностью горизонтально-слоистого геоэлектрического разреза. В приведенных решениях подинтегральные информативные переходные функции определяются через интегральное Лапласово обращение своих операционных изображений. На основе дедукции общих нестационарных решений выполнена детальная разработка нестационарной задачи для модели однородного полупространства по всем компонентам магнитного и

электрического поля. Приведены асимптотики повышенной точности, описывающие раннюю ($t \rightarrow 0$) и позднюю ($t \rightarrow \infty$) стадии переходного процесса. Асимптотические соотношения могут использоваться для анализа экспериментальных данных.

В завершение главы выполнена аналитическая разработка нестационарной импульсной задачи для модели тонких слоев с продольными проводимостями $\bar{S}_k = S_1, S_2, \dots, S_k$, разделенных изоляторами с мощностями $\bar{h}_{k-1} = h_1, h_2, \dots, h_{k-1}$. Показано, что в этом случае информативная подинтегральная функция $W_1(m, t)$, входящая в интегральные представления компонент электромагнитного поля, выражается в виде экспоненциального ряда

$$W_1(m, t) = \sum_{i=1}^k D_i \exp(-\alpha_i t); \quad \alpha_i > 0, \quad (1.4)$$

где $D_i = D_i(m, \bar{S}_k, \bar{h}_{k-1})$; $\alpha_i = \alpha_i(m, \bar{S}_k, \bar{h}_{k-1})$ - функциональные коэффициенты. Для модели с $k \leq 4$ коэффициенты D_i, α_i имеют аналитические представления (в работе приведены), следовательно, переходные процессы в этом случае описываются однократными интегралами. Для модели с $k > 4$ коэффициенты D_i, α_i могут определяться только численным способом.

Для модели одного тонкого слоя ($k=1$) детально разработана нестационарная задача по всем компонентам электромагнитного поля и приведены асимптотические выражения повышенной точности в области ранних ($t \rightarrow 0$) и поздних ($t \rightarrow \infty$) времен переходного процесса. Модель тонкого слоя, как и однородного полупространства, является опорной, в связи с ее использованием как аналитической нормы в различных системах анализа переходных процессов.

ГЛАВА 2. ИНДУКЦИОННЫЙ АНАЛИЗ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.

В методах импульсной геоэлектрики данные экспериментальных измерений обычно представляются в виде кривых электромагнитных зондирований, представляющих собой зависимости эффективного сопротивления ρ_t или продольной проводимости S_t , определяемых в рамках эквивалентных моделей однородного полупространства и тонкого проводящего слоя, от зондирующего параметра - времени t либо глубины влияния H_t . Различными исследователями вопрос трансформации сигналов в эффективные электрические характеристики решается по-разному. В связи с этим возникает вопрос о критериях оптимальности выполняемых преобразований.

Исходя из физического принципа электромагнитных зондирований, в основе которого лежит явление скин-эффекта, очевидно оптимальными следует считать те методики трансформации сигнала, которые на полном

временном интервале переходного процесса адекватно отражают изменения с глубиной обобщенных геоэлектрических характеристик разреза - среднего продольного сопротивления $\rho(z)$ и суммарной продольной проводимости $S(z)$.

В текстовом приложении I, дополняющем главу, выполнен анализ существующих способов трансформации сигналов становления индукционного магнитного поля $\partial B_z / \partial \alpha$ (полной формулы, формул ранней и поздней стадий, методики Сидорова-Тикшасва и др.) в эффективные электрические параметры, который показывает, что практически все способы не в полной мере удовлетворяют предложенному критерию оптимальности.

В дополняющем главу текстовом приложении II предложена разработка, направленная на повышение разрешимости информационного анализа в промежуточной стадии переходного процесса. Основу ее составляет временной принцип анализа аномального сигнала $\partial B_z / \partial \alpha$. Вводится дифференциальная временная характеристика сигнала, изменяющегося по произвольному закону $A(t) = A_0 f(t)$, в виде эффективного времени

$$T(t) = \frac{A(t)}{\frac{\partial A(t)}{\partial \alpha}} = \frac{f(t)}{\frac{\partial f(t)}{\partial \alpha}} \quad (2.1)$$

Выполненный анализ временных характеристик показал, что они достаточно чувствительны к выделению аномальных особенностей импульсов становления магнитного поля в интервале ранней и промежуточной стадий переходного процесса ($t/\tau < 10$, $\tau = r^2 \mu / 4\rho$). Установлено соответствие между дифференциальной временной характеристикой и эффективной проводимостью в виде:

$$S_\tau = \frac{4|T|}{\mu r} \quad (2.2)$$

Для промежуточной стадии переходного процесса ($0.3 \leq t/\tau \leq 10$) разработан алгоритм расчета эффективного сопротивления, основанный на нормировке дифференциальной временной характеристики по промежуточной и поздней стадиям становления магнитного поля в однородном полупространстве:

$$\rho_\tau = \frac{r^2 \mu}{10t \sqrt{7.7777|T|/t - 2.1111 - 1}} \quad (2.3)$$

Проведенное сопоставление расчетных трехслойных кривых $S_\tau(t)$ и $\rho_\tau(t)$ для разносов $r/H = 2$ с аналогичными формами представления информации по В.А.Сидорову позволяет считать предложенный временной

анализ переходных процессов в промежуточной дистанционной области электромагнитного эксперимента эффективным средством получения дополнительной информации о свойствах геоэлектрического разреза.

Решение проблемы индукционного анализа (оптимальной визуализации структуры геоэлектрического разреза на полном временном интервале переходного процесса) предлагается выполнить на основе интегральной временной характеристики нестационарных магнитных полей. Такая характеристика $\varphi(r, t)$ вводится по вертикальному магнитному полю гальванического возбуждающего источника и через сигнал индукционного датчика $E(t)$ выражается следующим соотношением:

$$\varphi(r, t) = \frac{[1 - h_2(r, t)]^{3/2}}{q(r, t)}, \quad (2.4)$$

где $h_2(r, t) = \int_0^t E(t) dt / \int_0^\infty E(t) dt$ - магнитное поле, нормированное по стационарному уровню; $q(r, t) = E(t) / \int_0^\infty E(t) dt = \partial h_2(r, t) / \partial t$ - нормированный сигнал индукционного датчика.

Аналитическое исследование интегральной временной характеристики (2.4), выполненное для моделей однородного полупространства и тонкого проводящего слоя, возбуждаемых электрическим диполем и заземленной линией конечной длины, приводит к выводу о возможности использования этих аналитических норм для корректного определения эффективных сопротивлений ρ_{ef} и проводимостей S_{ef} в произвольной пространственно-временной области электромагнитного эксперимента. В главе выполнена алгоритмическая и методическая разработка по трансформации переходных процессов, возбуждаемых электрическим диполем, линией конечной длины и квадратной петлей (соосная установка "петля в петле"), во временные кривые электромагнитных зондирований $\rho_{ef}(t)$ и $S_{ef}(t)$. Временные зависимости эффективных сопротивлений и проводимостей могут быть представлены также в масштабе эффективных глубин, которые определяются, согласно известному в геоэлектрике соотношению $H_{ef}(t) = \rho_{ef}(t) \cdot S_{ef}(t)$. Сопоставление расчетных глубинных кривых электромагнитных зондирований $\rho_{ef}(H_{ef})$ и $S_{ef}(H_{ef})$ с обобщенными характеристиками геоэлектрического разреза $\rho_1(z)$ и $S(z)$, выполненные для многочисленных эталонных моделей, свидетельствует об их близком соответствии, что подтверждает оптимальность предложенной формы представления информации.

Для повышения степени разрешимости электромагнитных зондирований уместна постановка дифференциальных трансформаций

зависимостей $\rho_{ef}(t)$ и $S_{ef}(t)$, в форму интерпретационного сопротивления по алгоритму:

$$\rho_l(t) = \rho_{ef}(t) \left[1 - \frac{S_{ef}(t) \cdot \partial \rho_{ef}(t) / \partial t}{\partial S_{ef}(t) / \partial t \cdot \rho_{ef}(t)} \right] \quad (2.5)$$

В работе приведено сопоставление кривых электромагнитных зондирований, рассчитанных по интегральным временным характеристикам (2.4), с распространенными в методе ЗСБЗ представлениями $S_{ef}(H_{ef})$ по В.А.Сидорову и $\rho_l(t)$ по А.А.Кауфману, такое сопоставление свидетельствует о предпочтительности первых, особенно на ранних и промежуточных временах переходного процесса.

В рамках предложенной системы индукционного анализа в главе предложена методика визуальной экспресс-интерпретации кривых $\rho_{ef}(H_{ef})$, $S_{ef}(H_{ef})$ и $\rho_l(H_{ef})$ по их особым точкам. Примеры сопоставления экспериментальных трансформант с эталонными, рассчитанными для разрезов с параметрами, определенными по результатам визуальной интерпретации, подтверждают достаточно высокую эффективность разработанной методики интерпретации кривых электромагнитных зондирований.

В дополняющем главу текстовом приложении III исследуется вопрос о возможности магнитного анализа по стационарному магнитному полю источников возбуждения. Известно, что аномальность магнитного поля гальванического источника зависит не только от магнитных свойств, но и от наличия латерального изменения в электрических свойствах разреза, и эта причина в преимущественных случаях более существенна, чем первая. Следовательно, при выполнении импульсного электромагнитного эксперимента уместен анализ стационарного магнитного поля для выявления горизонтальных электрических неоднородностей (литологических контактов, тектонических нарушений и т.д.). В этой связи, с целью исследования особенностей поведения магнитного поля над вертикальным контактом, в приложении решена задача о стационарном магнитном поле электрического диполя в присутствии вертикальной границы раздела для параллельной и ортогональной к контакту ориентации источника. Установлено, что на профильных графиках аномального магнитного поля $B_z^a(x)$ контакт проявляется наличием остроконечных экстремумов, а на графиках магнитного параметра

$\mu_{ef}(x)$ ($\mu_{ef} = B_z / B_z^0$; $B_z = \int_0^{\infty} (\partial B_z / \partial t) dt$; B_z^0 - нормальное поле источника) - в виде изломов. Отмечается увеличение μ_{ef} в сторону блока с повышенным сопротивлением. Анализ аналитических представлений $\mu_{ef}(x)$ приводит к

выводу, что $\mu_{ef} \leq 3$. Приведены примеры экспериментальных графиков $\mu_{ef}(x)$, $B_z^a(x)$, подтверждающие возможность картирования зон тектонических нарушений.

Для установок индукционного типа (петля), используемых в методе ЗСБЗ, стационарное магнитное поле определяется только магнитными свойствами пород. В этом случае приближенную оценку стационарного магнитного потока в контуре индукционного датчика предлагается выполнять с аналитическим учетом приращения потока на начальном времени регистрации сигнала t_n по формулам для однородного полупространства с удельным сопротивлением $\rho = \rho_{ef}(t_n)$. Приводятся примеры приближенного магнитного анализа ЗСБЗ в Центральной Сибири, подтверждающие принципиальную возможность обнаружения магнитоактивных образований.

ГЛАВА 3. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ПРОВОДЯЩИХ СРЕДАХ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ.

Развитие методов геоэлектрических исследований связано с поисками новых физических характеристик электромагнитных полей и процессов, которые могут служить информативными параметрами. В этом отношении совершенно очевидно, что полная физическая характеристика нестационарного электромагнитного поля в земле может быть получена в том случае, если наряду с динамикой переходного процесса, традиционно используемой в импульсной геоэлектрике, исследовать пространственную кинематику его распространения в проводящей среде.

По своей физической природе переходные процессы в земле являются не волновыми, а диффузионными. Тем не менее мы будем пользоваться термином "импульсная волна", понимая под этим однократное распространение в проводящей среде электромагнитного возмущения, возникающего при мгновенном включении или выключении источника поля. В этой связи волновой фронт определяется нами как поверхность максимальных или минимальных изменений градиентов интенсивностей электрического поля при удалении от источника возбуждения. Такое определение фронта является однозначным и допускает его четкую экспериментальную индикацию по временным экстремумам скорости изменения магнитной индукции $\partial \vec{B} / \partial t$, согласно второму уравнению Максвелла. Кинематические характеристики электромагнитных возмущений в земле удобно представлять в форме годографов. Годографы в этом случае понимаются в обычном смысле, как функциональные зависимости времен прихода волн от координат точек наблюдений.

Концептуальное обоснование экстремальной кинематики приводится на примере сферической импульсной волны электрического дипольного источника в однородной среде с удельным сопротивлением ρ . Уравнение времен прихода фронта импульсной волны и скорость его распространения имеет вид:

$$t = R^2 \mu / (10\rho); V = 5\rho / (R\mu) \quad (3.1)$$

где R - удаление от источника; $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ гн/м. Как следует из (3.1) скорость распространения импульсного возмущения претерпевает дистанционную дисперсию. Кинематические характеристики позволяют исключительно просто определить удельное сопротивление пространства $\rho = R^2 \mu / (10t)$.

Для построения системы кинематической геоэлектрики важное значение имеет исследование кинематических особенностей импульсных волн в горизонтально-слоистых геоэлектрических разрезах. Простейшим вариантом общей горизонтально-слоистой структуры является модель тонкого проводящего слоя с продольной проводимостью S , возбуждаемого приподнятыми на высоту h импульсными магнитным и электрическим дипольными источниками. В главе выполнено исследование особенностей экстремальной кинематики импульсных возмущений для этой модели. В результате установлено, что уравнения годографов импульсных возмущений представляются в следующей обобщенной форме:

$$t = r/V - t_0 \quad \text{или} \quad t = r/V - r_0/V \quad (3.2)$$

В соотношениях (3.2) скорости распространения магнитной импульсной волны V и кинематические параметры t_0 и r_0 определяются:

а) для возбуждения электромагнитным диполем:

$$V = 4/\mu S; t_0 = (2h - z)\mu S/2; r_0 = V \cdot t_0 = 2(2h - z) \quad (3.3)$$

б) для возбуждения магнитным диполем:

$$V = \sqrt{1 + \sqrt{5/6} \cdot 4/\mu S}; t_0 = (2h - z)\mu S/2; r_0 = \sqrt{1 + \sqrt{5/6}} \cdot 2(2h - z), \quad (3.4)$$

где z - вертикальная координата профиля наблюдений в системе координат, начало которой совмещено с источником. Совершенно очевидно, что экстремальные годографы импульсных возмущений (3.2) представляют собой прямые линии, угловые наклоны которых определяются скоростями распространения, зависящими, как следует из (3.3, 3.4) только от продольной проводимости слоя S . Линии годографов отсекают на отрицательной оси ординат время t_0 , а на оси абсцисс - отрезок $r_0 = V \cdot t_0$. В пределах $-r_0 \leq r \leq r_0$ фронты импульсных волн не прослеживаются, поэтому эту область по аналогии с сейсморазведкой можно назвать "мертвой зоной". При опущенных на слой источниках возбуждения и профилях наблюдений "мертвая зона" $r_0 = 0$. На основе простой и очевидной интерпретации линейных годографов однозначно определяются электрическая и

геометрические характеристики модели. Столь простая интерпретация в рамках индукционного анализа невозможна.

В главе приводится авторское формализованное истолкование кинематической схемы распространения импульсных возмущений для модели тонкого слоя с позиций квазиволновых аналогий. В общих чертах эта схема соответствует кинематике сейсмических головных преломленных волн. При этом распространение магнитного возмущения в изоляторе является мгновенным ($V \rightarrow \infty$), а в проводящем слое скорость его распространения соответствует скорости "расплывания" электрического вихря (3.3, 3.4). Критические лучи пространственно совпадают с линиями максимумов первичного вертикального магнитного поля и его максимальных вертикальных градиентов. Модель тонкого слоя является опорной моделью, позволяющей разработать методику решения линейной кинематической задачи для горизонтально-слоистых разрезов, подстилаемых изолятором.

Экстремальная кинематическая задача для горизонтально-слоистой модели разреза, подстилаемого изолятором (именно в этом случае имеют место экстремальные особенности импульса $\partial B_z / \partial a$), может быть разрешена только для асимптотически удаленных от источника областей, в которых практически отсутствует дистанционная дисперсия скорости распространения импульсного возмущения. В главе разработана методика решения асимптотической экстремальной задачи, идейную основу которой составляет очевидное предположение о том, что в асимптотически удаленных областях переходный процесс в промежуточной и конечной временных стадиях приближается к виду переходного процесса в тонком проводящем слое с продольной проводимостью, равной суммарной продольной проводимости разреза S . Решение экстремальной задачи в такой постановке выполняется через предварительное аналитическое определение асимптотического переходного процесса для разрезов с исчезающе малыми мощностями слоев ($h_i \rightarrow 0$). Такое аналитическое определение асимптотического переходного процесса представляет собой достаточно нетривиальную задачу. В конечном итоге уравнения экстремальных годографов имеют такой же вид, как и для модели тонкого проводящего слоя (3.2). При этом кинематические параметры t_0 и r_0 определяются:

а) для возбуждения электрическим диполем:

$$t_0 = H\mu S(0.6B - 0.1A); \quad r_0 = H(2.4B - 0.4A) \quad (3.5)$$

б) для возбуждения магнитным диполем:

$$t_0 = H\mu S(0.8643B - 0.3643A); \quad r_0 = H(4.7814B - 2.0152A) \quad (3.6)$$

В выражениях (3.5, 3.6) H и S обозначают соответственно суммарную мощность и продольную проводимость слоев, а A и B - функциональные

коэффициенты, зависящие от мощностей h_i и продольных проводимостей $S_i = h_i/\rho_i$ горизонтов;

$$A = 1 + \sum_{i=2}^{k-1} (\bar{S}_i \sum_{j=1}^{i-1} \bar{h}_j - \bar{S}_{i-1} \sum_{j=1}^{k-1} \bar{h}_j) \quad (3.7)$$

$$B = \frac{2}{3} \left[\sum_{j=1}^{k-1} \bar{S}_j \bar{h}_j - \sum_{i=2}^{k-1} \left(\bar{S}_i \sum_{j=1}^{i-1} \bar{S}_j \bar{h}_j + \bar{S}_{i-1} \sum_{j=1}^{k-1} \bar{S}_j \bar{h}_j \right) \right] + 2 \sum_{i=2}^{k-1} \left[\bar{S}_i \sum_{j=1}^{i-1} \bar{h}_j - \bar{S}_{i-1} \sum_{j=1}^{k-2} \left(\bar{h}_j \sum_{l=j+1}^{k-1} \bar{S}_l \right) \right]$$

где k - количество слоев; $\bar{S}_i = S_i/S$; $\bar{h}_i = h_i/H$. Проведенное графическое сопоставление теоретических годографов и визуально определенных временных координат максимумов импульсов становления магнитного поля для двухслойного и трехслойных разрезов подтвердило правильность полученных решений и, кроме того, позволило сделать достаточно важный методический вывод: дистанционная область, в которой проявляются экстремальные особенности импульсов становления магнитного поля является практически недиспергирующей. Следовательно, в этой области возможно выполнение электромагнитного профилирования кинематическим способом.

Анализ "мертвых зон" r_0 линейных годографов свидетельствует о том, что для двухслойной среды r_0 однозначно определяет мощность проводящего горизонта ($r_0 = 1.2H$ - для электрического возбуждения; $r_0 = 1.172H$ - для магнитного возбуждения), а для многослойных сред r_0 зависит от мощностей и сопротивлений горизонтов, причем для трехслойных разрезов типа Н $r_0 > H = \sum_{i=1}^{k-1} h_i$, а для разрезов типа А $r_0 < H$.

Отношение $r_0/H = k$ выражает собой коэффициент связи параметра r_0 с мощностью надпорной части разреза. В главе приведен анализ зависимостей параметров r_0 и t_0 от электрических и геометрических характеристик трехслойных разрезов и модели двух тонких проводящих слоев, разделенных изолятором.

На основе выполненных теоретических разработок по экстремальной кинематике импульсных возмущений в проводящих средах может быть реализована система кинематического эксперимента в варианте дистанционно-временного профилирования (ДВП), описанная в текстовом приложении IV. Модификация ДВП заключается в кинематическом анализе электромагнитных возмущений в дальней недиспергирующей зоне источника и предназначена для непрерывного прослеживания опорного геоэлектрического горизонта по мощности и суммарной продольной проводимости надпорной толщи.

Наблюдения в методе ДВП осуществляются по системам встречных и нагоняющих годографов. Эти системы дают возможность получить в

каждой точке наблюдений обобщенные кинематические характеристики - V, t_0, r_0 . Эти параметры определяют мощность надпорной толщи ($H = r_0/k = V \cdot t_0/k$) и ее суммарную продольную проводимость ($S = 4/\mu V$). Опорную количественную основу ДВП рационально дополнять индукционным анализом переходных процессов в каждой точке наблюдений.

Для экспериментальной проверки основных теоретических положений, отработки системы наблюдений ДВП и прогнозной оценки его разведочных возможностей был выполнен значительный объем физического моделирования, описанного в текстовом приложении IV. В целом к наиболее существенным результатам модельных исследований ДВП следует отнести экспериментальное подтверждение основных положений теоретического анализа кинематики импульсных волн в горизонтально-слоистых средах, установление закономерностей максимальных годографов в условиях резких горизонтальных неоднородностей типа "сброса", "горста", "грабена", "щели" в проводящей толще, обнаружение обратных импульсных волн, отраженных от локальных неоднородностей, а также экспериментальное доказательство возможности получения локальной информации о строении проводящей среды.

В дополняющем главу приложении V рассмотрен вопрос о поздней стадии переходного процесса ($t \rightarrow \infty$) индукционной магнитной компоненты $\partial B_z / \partial t$ для горизонтально-слоистой структуры с непроводящим основанием. В теории импульсной геоэлектрики обычно поздняя стадия представляется первым членом асимптотического разложения пропорциональным t^{-4} , зависящим только от суммарной продольной проводимости разреза (асимптота S). На основе асимптотического решения нестационарной задачи для геоэлектрической модели с малой мощностью проводящих горизонтов ($h_i \rightarrow 0$) удалось представить позднюю стадию становления магнитного поля в виде двух членов асимптотического ряда:

$$\frac{\partial B_z}{\partial t} = N \left[\frac{1}{\bar{t}^4} - \frac{8H}{r} (2A - 1.5B) \frac{1}{\bar{t}^5} \right], \quad (3.8)$$

где N - коэффициент, зависящий от типа источника и проводимости S ; $\bar{t} = 2t/(r\mu S)$; A, B - функциональные коэффициенты (3.7). Полученный результат позволил оценить асимптоту h_i^a средневзвешенной глубины погружения "плавающей плоскости" h_i - параметра, определяемого в достаточно распространенной системе индукционного анализа Сидорова-Тикшаева:

$$h_i^a = H(2A - 1.5B). \quad (3.9)$$

Таким образом, установленная взаимосвязь h_i^a с параметрами разреза может использоваться для обоснованной аналитической оценки мощности надпорной толщи.

Приложение VI. Вопросы нормализации импульсов становления поля.

Задача нормализации регистрируемого сигнала $y(t)$ (определение реакции земной динамической системы $x(t)$ на ее возбуждение импульсом Хевисайда) сводится к решению интегрального уравнения Вольтерра I-го рода типа свертки

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)l(t-\tau)d\tau, \quad (1)$$

где $l(t) = dy(t)/dt$ -импульсная переходная характеристика системы эксперимента ($\gamma(t)$ - переходная характеристика системы эксперимента). Функции $l(t)$ и $\gamma(t)$ считаются известными. Они могут быть представлены переходными характеристиками регистрирующего канала или возбуждающего импульса, либо обобщенной переходной характеристикой системы эксперимента, определяемой сверткой первых двух.

В практике цифровой обработки сигналов достаточно распространенным способом численного решения поставленной задачи является обратная рекурсивная фильтрация (ОРФ). По своей алгоритмической сущности ОРФ фактически представляет собой решение интегрального уравнения (1) методом квадратур. Численная реализация этого метода сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{j=1}^i A_j l_{ij} x_j = y_i, \quad i=1,2,\dots,n, \quad (2)$$

где A_j - числовые коэффициенты квадратурных формул; n - количество дискретов на интервале $[0, t_i]$; $l_{ij} = l(t_i - t_j)$; $x_j = x(t_j)$. Система (2) при известном x_1 , определяемом изначально в виде $x_1 = y'(0)/l(0) = y'(0)/l_1$, обеспечивает рекуррентное нахождение x_1, x_2, \dots, x_n . Регуляризатором ОРФ является шаг дискретизации. В приложении рассмотрены алгоритмы ОРФ, использующие формулы прямоугольников и трапеций при равномерном и неравномерном шаге дискретизации, включая логарифмический, часто применяемый в практике импульсной геоэлектрики. ОРФ проста и удобна в реализации, однако имеет существенный недостаток - накопление погрешностей в процессе нахождения последовательных решений.

Анализ реальных переходных характеристик $\gamma(t)$ систем экспериментов свидетельствует, что они могут быть аппроксимированы экспоненциальным рядом:

$$\gamma(t) = \sum_{k=0}^n A_k \exp(-\alpha_k t), \text{ где } \alpha_k \geq 0, \alpha_0 = 0, A_0 = 1. \quad (3)$$

Тогда очевидно, что переходная характеристика удовлетворяет линейному дифференциальному уравнению n -го порядка с постоянными коэффициентами

$$\sum_{k=0}^n a_k \gamma^{(k)}(t) = \sigma(t), \quad (4)$$

где $\sigma(t)$ - единичная функция включения. В этом случае уравнение (1) выразится в дифференциальном виде:

$$x(t) + \sum_{i=1}^{n-1} b_i x^{(i)}(t) = y(t) + \sum_{i=1}^n a_i y^{(i)}(t), \quad (5)$$

где $b_i = \sum_{j=1}^{n-i} a_{i+j} \gamma_0^{(j)}$, $i = 1, 2, \dots, n-1$. При нулевых начальных условиях переходной характеристики ($\gamma_0^{(i)} = 0$ при $i = 1, 2, \dots, n-1$) из (5) следует аналитическое решение задачи нормализации зарегистрированного сигнала $y(t)$ в изящном представлении:

$$x(t) = y(t) + \sum_{i=1}^n a_i y^{(i)}(t). \quad (6)$$

Коэффициенты a_i аналитического обратного фильтра (6) определяются по результатам анализа переходной характеристики динамической системы эксперимента, например операционным способом (составлением системы уравнений для операционных изображений функции $\gamma(t)$ в действительной области). В приложении выполнена разработка оригинального интегрального алгоритма определения коэффициентов фильтра для условия $n \leq 3$.

Численная реализация аналитической обратной фильтрации требует вычисления производных сигнала $y(t)$ высоких порядков, что является некорректной операцией. Однако, как показывает практика экспериментальных измерений, весьма часто $n \leq 3$ и даже $n \leq 2$. Кроме ограничения порядка n возможны и другие приемы регуляризации решений. Следует отметить, что влияние слагаемых с высокими порядками дифференцирования заметно лишь на ранних временах переходного процесса. Несомненным преимуществом аналитической обратной фильтрации перед рекурсивной является локальность алгоритма преобразования, проявляющаяся в том, что последующие решения для $x(t)$ не зависят от результата определения предыдущих. Приводятся практические примеры нормализации экспериментальных сигналов $y(t)$

аналитическими фильтрами с $n=2$ и $n=3$, свидетельствующие об эффективности их работы.

В приложении отдельно рассмотрены вопросы нормализации переходных процессов, возбуждаемые импульсами сложной формы, в частности, импульсами "МГД-генератора" и генгруппы "Полигон-2". Выполнен обзор и анализ существующих методик решения этой задачи. Предлагается для нормализации МГД-импульсов осуществлять комплексирование рекурсивной и аналитической обратной фильтрации. Приводятся практические примеры нормализации МГД-сигналов и сигналов генгруппы "Полигон-2".

Разработанные методики нормализации сигналов становления поля и их программная реализация использовались в производственных масштабах при обработке данных геоэлектрических исследований с МГД-источником и генгруппой "Полигон-2" в Центральной Сибири.

Приложение VII. Примеры практического использования кинематического и индукционного анализа нестационарных электромагнитных полей.

В приложении приводятся результаты производственного апробирования выполненных в главах 2 и 3 научных разработок по индукционному и кинематическому анализу нестационарных электромагнитных полей.

Экспериментальные кинематические исследования методом ДВП проводились в Днепровско-Донецкой впадине, на северо-западном склоне Украинского щита и в Туркмении. В приложении приведены результаты кинематических исследований по профилям Царичанка-Богодухов (30 километровый профиль, отработанный по неполной системе встречных годографов), Березичи-Шанивское озеро (9-километровый профиль, пройденный по системе встречных годографов) и по 32-километровому опорному профилю Бахардок-Эрбент, пройденному по полной системе встречных годографов. Экспериментальное опробование кинематических систем электромагнитных исследований подтверждает возможность непрерывного прослеживания опорного горизонта и перспективность данного направления в геоэлектрике.

В приложении приведены также результаты индукционного анализа данных метода СП на профиле I Руденковско-Новогригорьевской площади (ДДВ). Субширотный профиль, протяженностью 30км пересекает два нефтегазовых месторождения. В результате выполненного индукционного анализа, с целью прогнозирования электрических свойств разреза, были выделены области повышенных (на 10-15%) значений эффективных сопротивлений, пространственно приуроченных к областям месторождений. Здесь впервые был использован статистический метод главных компонент для выделения на вертикальных разрезах эффективных сопротивлений локальных аномалий повышенных сопротивлений.

В приложении рассмотрены также результаты индукционного анализа данных метода зондирования становлением поля с закрепленным источником (ЗС-ЗИ) на Собинском участке Катангской нефтегазоносной области (Центральная Сибирь), где работы выполнялись с МГД-генератором и генгруппой "Полигон-2", а также результаты работ метода ЗСБЗ на профиле ПР-218 Ереминской площади Катангской НГО. В результате установлено, что метод ЗС-ЗИ рационально использовать в комплексе геолого-геофизических исследований для картирования кристаллического фундамента, зон тектонических нарушений, оценки мощности рифейских образований и картирования глубинных проводников, наличие которых может быть использовано как региональный признак перспективности площадей на нефть и газ. Метод ЗСБЗ является надежным инструментом изучения верхней части разреза до глубин 2700-3000 метров и может комплексироваться с ЗС-ЗИ для более полного изучения геоэлектрического разреза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа направлена на развитие теории, методики и алгоритмов анализа данных импульсного пространственно-временного электромагнитного эксперимента, от состояния которых в значительной степени зависит эффективность геоэлектрических изысканий. В этом отношении результаты исследований, проведенных в работе, и защищаемые положения сводятся к следующему:

1. Выполнены обобщение, постановка и решение основной задачи теории электромагнитных зондирований дипольными источниками в горизонтально-слоистых средах с учетом токов смещения. Разработана методика решения нестационарной задачи для модели тонких проводящих слоев, разделенных изолятором.

2. Разработан временной принцип анализа переходных процессов, основанный на использовании их дифференциальных временных характеристик, а также унифицированная система индукционного анализа, основанная на использовании интегральных временных характеристик нестационарных магнитных полей, позволяющая выполнять оптимальную визуализацию структуры геоэлектрического разреза в произвольной пространственно-временной области.

3. Разработана методическая концепция и теория экстремальной кинематики переходных процессов в произвольных горизонтально-слоистых средах. Предложены методические системы кинематических наблюдений и интерпретации экстремальных годографов.

4. Выполнено физическое моделирование кинематики импульсных возмущений для горизонтально-слоистой среды и сред, содержащих структуры типа "сброса", "грабена", "горста".

5. Разработаны алгоритмы аналитической обратной фильтрации переходных процессов для решения задачи нормализации импульсов становления поля, искаженных системами регистрации и возбуждения.

6. Разработаны методические принципы магнитного анализа нестационарных магнитных полей при выполнении пространственно-временных электромагнитных исследований.

7. Уточнена поздняя асимптотика переходных процессов в магнитном поле дипольных источников для произвольных горизонтально-слоистых сред, подстилаемых изолятором.

8. На экспериментальных материалах, полученных в ДДВ, УЩ, Центральных Кара-Кумах, Центральной Сибири показана эффективность разработанных систем индукционного и кинематического анализа при изучении структуры геоэлектрического разреза и прогнозировании областей, перспективных на нефть и газ.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Вопросы обратной фильтрации импульсов становления поля. Геофизический журнал, Киев, 1985, №5, с.19-26 (в соавторстве с Грозой А.А.).

2. Методы обработки и интерпретации МГД-импульсов. Тезисы докладов на Всесоюзном семинаре "Электромагнитные зондирования", Баку, 1981.

3. Об исследовании анизотропных геоэлектрических разрезов дипольными установками. Материалы по геологии, геофизике и геохимии Украины, Казахстана и Забайкалья. Вестник КГУ, Киев, 1973, с.94-97.

4. Временные характеристики магнитного поля дипольного источника. Геофизический сборник Ин-та геофизики АН УССР, №61, Киев, 1974, с.62-70 (в соавторстве с Грозой А.А.).

5. Исследование переходных процессов со сложной формой возбуждающего импульса. Труды ИЗМИРАН АН СССР, 1986 (в соавторстве с Грозой А.А., Руденко Т.В., Негодой В.Г.).

6. Екстремальна кінематика перехідних процесів в магнітному полі дипольного джерела. Тези доповідей Міжнародної геофізичної конференції "Анізотропія.Фрактали", Київ, 1994.

7. Індукційний аналіз імпульсів становлення магнітного поля. Тези доповідей Міжнародної геофізичної конференції "Анізотропія.Фрактали", Київ, 1994 (в співавторстві з Руденко Т.В., Кутищенко Т.І.).

8. Інтегральні електромагнітні зондування незаземленими петлями. Тези доповідей Міжнародної геофізичної конференції "Анізотропія.Фрактали", Київ, 1994 (в співавторстві з Грозою А.А., Руденко Т.В.).

9. Операционный анализ нестационарных электромагнитных полей. Геофизический журнал, Киев, (сдана в печать в 1996г.), (в соавторстве с Грозой А.А., Гаврильцевым В.Б.).

10. Исследование процессов распространения электромагнитных возмущений в проводящих средах и разработка кинематических систем глубинных электромагнитных зондирований импульсными источниками. Заключительный отчет о НИР по х/т №21-27, 1982, гос.рег. №77032925, 77070207, т.1 - 334 с., т.2 - 105 с. (в соавторстве с Грозой А.А.).

11. Разработка теоретических проблем и методологических принципов электромагнитных зондирований земной коры импульсными источниками. Заключительный отчет о НИР по г/б теме №2, 1993, гос.рег. №0193V044500 в соавторстве с Грозой А.А., Руденко Т.В.).

12. Исследование переменных электромагнитных полей в земле и разработка новых методов структурных геоэлектрических исследований в Днепровско-Донецкой впадине. Заключительный отчет о НИР по х/т №159-74, 1977, гос.рег. №75005559, 150 с. (в соавторстве с Грозой А.А.).

13. Кинематические исследования переходных процессов в земле для целей картирования поверхностей кристаллического фундамента в условиях западного склона Украинского щита. Заключительный отчет о НИР по х/т №174-74, 1976, гос.рег. №750015558, 56 с.(в соавторстве с Грозой А.А.).

14. Теоретические основы и методические системы электромагнитных зондирований земной коры импульсными источниками. Научно-технический отчет по х/д №10-87. Деп. ВИНТИ , рег. №01860136913, Киев, 1991 (в соавторстве с Грозой А.А., Руденко Т.В.).

Рева М.В. "Індукційний та кінематичний аналіз нестационарних електромагнітних полів в геоелектриці". Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.12 - Геофізика. Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, 1997.

Розроблена система індукційного аналізу імпульсів становлення магнітного поля, що ґрунтується на використанні часових інтегральних характеристик перехідних процесів і забезпечує оптимальну візуалізацію геоелектричного розрізу та експрес-інтерпретацію експериментальних даних в довільній просторово-часовій області електромагнітного експерименту.

Обґрунтована вихідна методологічна концепція і розроблена теорія дифузійної екстремальної кінематики перехідних процесів в довільних горизонтально-шарових середовищах. Запропоновані методичні системи кінематичних спостережень та інтерпретації експериментальних годографів для картування непровідникової основи геоелектричного розрізу за її узагальненими характеристиками.

На експериментальних матеріалах показана ефективність розроблених систем просторово-часового аналізу перехідних процесів при вивченні структури геоелектричного розрізу та прогнозуванні областей, перспективних на нафту та газ.

Ключові слова: електромагнітне зондування, індукційний аналіз, кінематика, годограф, геоелектричний розріз.

Reva N.V. "Inductive and kinematical analysis of non-stationary electromagnetic fields in geoelectricity". Thesis for Candidate of Science degree in physics and mathematics under the speciality 01.04.12 - Geophysics. S.I. Subbotin Institute of Geophysics, Academy of Science, Ukraine, Kyiv, 1997.

System of magnetic field relaxation impulses inductive analysis was developed. It is based upon application of time integral characteristics for transitional processes, and provides either optimal visualization of a geoelectric section and express interpretation of experimental data in arbitrary time-space domain of electromagnetic experiment.

Methodologic concept was grounded and theory of diffusional extremal kinematics for transitional processes in arbitrary horizontally stratified media was developed. Methodic systems of kinematical observations and interpretation of extremal time-charts for mapping of non-conducting basement of a geoelectric section from its generalized characteristics was proposed.

Efficiency of the proposed systems for transitional processes time-space analysis while investigation of a geoelectric section structure and prognosis of oil/gas promising areas was shown on experimental materials.



Подписано к печати 17.12.96 г.
Формат 60×84/16.
Объем: 2,0 уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Заказ 3.

Департамент рекламы АОЗТ «Надра»

441278

AB 36.756