

На правах рукописи

ПОТАПОВ Владимир Владимирович

**ПРОГРАММНО–АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И
МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЗОНДИРОВАНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ
ТОКАМИ (ЗВТ)**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы
поисков полезных ископаемых

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



НОВОСИБИРСК 2010

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук
Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения РАН

Научный руководитель:

доктор технических наук
Могилатов Владимир Сергеевич

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук,
профессор Поспеев Александр Валентинович

кандидат технических наук
Персова Марина Геннадьевна

Ведущая организация:

Учреждение Российской академии наук
Институт геофизики
Уральского отделения РАН
(ИГФ УрО РАН, г. Екатеринбург)

Защита состоится 25 июня 2010 г. в 9 часов 30 минут на заседании
диссертационного совета Д 003.068.03 при Учреждении Российской
академии наук Институте нефтегазовой геологии и геофизики им.
А.А. Трофимука СО РАН по адресу: пр-т Ак. Коптюга, 3,
г. Новосибирск, 630090, конференц-зал.

Тел.: +7(383)-330-62-84

Факс: +7(383)-333-25-13

e-mail: NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН.

Автореферат разослан 21 мая 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. геол.-минерал. наук, доцент



Н.Н. Неведрова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Объект исследования – метод зондирования вертикальными токами (ЗВТ) на предмет создания специализированных алгоритмов обработки и интерпретации полевых данных вертикальной магнитной компоненты и определения информативности радиальной электрической компоненты поля.

Актуальность исследования. В 90-ые годы сотрудниками Сибирского научно-исследовательского института геологии, геофизики и минерального сырья МПР РФ (СНИИГГиМС) и Института геофизики Сибирского отделения РАН (ИГФ СО РАН) был создан метод наземной электроразведки – зондирования вертикальными токами (ЗВТ). Исползован принципиально новый по способу возбуждения поля источник – круговой электрический диполь (КЭД), позволяющий реализовать площадные исследования с закрепленным источником. Метод способен решать задачи выделения локальных неоднородностей в горизонтально-слоистом разрезе.

При оконтуривании протяженных по площади геоэлектрических объектов методом ЗВТ возникали сложности, как при проведении полевых работ, так и при интерпретации данных. Не было разработанной методики объединения данных от нескольких источников КЭД, а с помощью одного источника невозможно получить данные со всей исследуемой площади.

Многие этапы обработки, такие как нормировка площадных и профильных сигналов, проводились вручную, что являлось нежелательным субъективным фактором и требовало достаточно много времени.

Кроме того, совершенно не использовались данные радиальной электрической составляющей поля, в которой содержится информация об одномерной вмещающей среде, и также о процессах вызванной поляризации (ВП).

Исходя из выше сказанного, **представляется актуальным** усовершенствование и автоматизация процедур обработки данных ЗВТ таким образом, чтобы имелась возможность учитывать и совмещать данные от нескольких установок КЭД, с целью ускорения процесса обработки и исключения субъективного человеческого фактора; также актуально определить степень информативности радиальной электрической составляющей поля.

Цель работы – повысить достоверность и информативность метода ЗВТ, сократить материальные и временные затраты при проведении полевых работ, обработке и интерпретации данных метода ЗВТ.

Научная задача исследований – усовершенствовать программно-алгоритмический комплекс обработки и интерпретации данных ЗВТ путем разработки алгоритмов и программ на основе анализа особенностей сигналов ЗВТ и развития методики интерпретации посредством определения информативности радиальной электрической составляющей поля.

Основные новые научные результаты, полученные лично автором.

Усовершенствована и максимально автоматизирована обработка полевых данных:

- Разработан алгоритм для автоматической нормировки площадных сигналов ЗВТ-М, учитывающий падение сигнала с увеличением расстояния от источника.
- Разработан алгоритм автоматического совмещения данных ЗВТ-М от нескольких источников
- Разработан алгоритм построения профилейных сигналов ЗВТ-М.
- Все разработанные алгоритмы реализованы в программно-алгоритмическом комплексе «ЗаВеТ-М».

На основе численного моделирования получены важные методические рекомендации и выводы:

- Показано, что угол радиального направления в установке КЭД-МN практически не влияет на измеряемый сигнал.
- Показано, что угол поворота вокруг своей оси линии MN в установке КЭД-МN не должен превышать 10 градусов, для исключения значительного искажения измеряемого сигнала.
- Установлено, что чувствительность к изменению геоэлектрических параметров тонкого слоя (сопротивление, глубина, поляризационные параметры слоя) для установок КЭД-МN и АВМN одинакова.

Достоверность полученных научных результатов определяется следующим. Разработанные алгоритмы и их программная реализация были опробованы на большом количестве полевого материала. Работы методом ЗВТ-М проводились в Татарстане, в Якутии, в Норильском районе, в Австралии, в Италии и т.д. Результаты обработки и

интерпретации полевых данных для всех участков исследований хорошо согласуются с геологической априорной информацией.

Верификация программного обеспечения для численного моделирования проводилась с помощью сравнительного анализа расчетов по нескольким программам, предоставленным различными авторами (Антонов Е.Ю., Могилатов В.С. и др.). Были выполнены тестовые расчеты для известных установок и различных моделей среды. Выявлено хорошее совпадение сравнительных расчетов.

Теоретическая и практическая значимость. В работе отражены методические особенности ЗВТ, как принципиально нового метода наземной электроразведки: остаточное влияние вмещающей среды, диапазон времени регистрации, характер принимаемого сигнала.

Разработаны приемы и алгоритмы нормирования площадных сигналов ЗВТ, совмещения данных от нескольких установок КЭД, построения профильных сигналов ЗВТ, что повышает информативность метода за счет расширения площади исследования.

Реализация этих алгоритмов в программном комплексе обработки данных «ЗаВеТ-М» и значительное усовершенствование интерфейсной части этого программного комплекса позволили повысить эффективность оперативной обработки данных, за счет уменьшения временных и материальных затрат при проведении полевых работ, а также практически полной автоматизации процесса построения в реальном времени площадных и профильных сигналов ЗВТ.

Сравнительный анализ сигналов, полученных в результате математического моделирования, для двух установок КЭД-MN и АВМN показал эффективность использования установки КЭД-MN в качестве источника при изучении геоэлектрических параметров среды. Преимущество установки КЭД-MN в том, что она дает возможность реализовать площадной сбор данных при изучении этих параметров, что, в свою очередь, увеличивает информативность полевых работ за счет увеличения площади измерений при стационарно расположенном источнике поля и, соответственно, сокращает временные и финансовые затраты на проведение этих работ.

На основе результатов математического моделирования даны методические рекомендации по взаимному расположению источника (КЭД) и приемника (линия MN), которые позволят избежать искажений полевых данных при проведении полевых работ. Выполнение этих рекомендаций дает возможность значительно повысить достоверность измерений радиальной электрической составляющей поля.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы докладывались на всероссийских и международных конференциях: EAGE 64-th Conference & Exhibition – Stavanger, Norway, 2003; Международной научно-практической геолого-геофизической конкурса-конференции молодых ученых и специалистов “Геофизика”, Санкт-Петербург, 2003, 2005; Международном научном конгрессе «Гео-Сибирь», 2006; Международной конференции «Актуальные проблемы электромагнитных зондирующих систем» Киев, 2009 и др.

Полученные научные результаты достаточно полно изложены в 10 публикациях, из них в ведущих рецензируемых научных журналах, определенных Высшей аттестационной комиссией – 2 («Геофизика», 2003, №5; «Физика Земли», 2007, №5), 3 – статьи в научных журналах, 5 – материалы российских и международных конференций и семинаров.

Благодарности. Автор выражает благодарность сотрудникам Лаборатории электромагнитных полей и Лаборатории геоэлектрики ИНГГ СО РАН Е.Ю.Антонову, И.Н. Ельцову, Ю.А. Дашевскому, Г.М.Морозовой, Н.Н. Неведровой, В.Н. Глинских, Е.В. Павлову, В.В. Оленченко, Е.В. Поспеевой за помощь, советы и рекомендации, которые были очень полезны. Хотелось бы отметить плодотворное обсуждение результатов и внимательное отношение к работе Н.О. Кожевникова.

Автор многим обязан сотрудникам НПФ «ЗаВеТ-ГЕО» Б.П.Балашову, М.Ю.Секачеву, Г.В.Саченко, разработчикам аппаратуры для ЗВТ, с которыми автор совместно участвовал в полевых работах.

Автор считает своим долгом отметить плодотворное сотрудничество с организациями ЯНИГП ЦНИГРИ (г. Мирный), «Казаньгеофизика» (г. Казань) с которыми проводились совместные полевые исследования.

Автор глубоко признателен академику РАН М.И. Эпову за внимание к работе и предоставленные благоприятные условия для работы.

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю, доктору технических наук В.С. Могилатову за постоянное внимание и корректное научное руководство.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения содержит 133 страницы машинописного текста, 62 рисунка. Библиография содержит 63 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ЗВТ

Поля магнитного и электрического типа есть объективная реальность, форма существования электромагнитного поля в слоистой одномерной модели Земли и взаимодействия с ней. Возбуждение каждой из поляризаций электромагнитного поля связано со свойствами источника. Соответственно, можно выстроить формальное описание контролируемой индукционной (в частности, импульсной) наземной геоэлектрики в некотором симметричном виде, которое оказывается весьма эффективным.

Примем в качестве базовой модели среды одномерную, горизонтально-однородную модель и применим уравнения Максвелла с соответствующими условиями. Напомним, что поле электрического типа определяется отсутствием вертикальной компоненты магнитного поля, а поле магнитного типа – отсутствием вертикальной электрической компоненты. Поэтому, сведя задачу к определению вертикальных компонент, получим решение для любой компоненты поля ($P_k = E_{x,y,z}, H_{x,y,z}$) в виде линейного двучлена вида:

$$P_k = \hat{F} \{ a_k \hat{F}^* \{ \text{rot}_z \mathbf{j}^{cm} \} X + b_k \hat{F}^* \{ \text{div} \mathbf{j}^{cm} \} V \},$$

где \mathbf{j}^{ct} – поверхностный сторонний ток, $\hat{F} \{ \}$ и $\hat{F}^* \{ \}$ – прямое и обратное линейные преобразования по латеральным координатам.

Наземный источник ТМ-поля можно предложить, исходя из приведенной выше формулы. Мы должны потребовать, чтобы (в полярной системе координат)

$$\text{rot}_z \mathbf{j}^{cm} = \frac{1}{r} \left[\frac{\partial (r j_\varphi^{cm})}{\partial r} - \frac{\partial j_r^{cm}}{\partial \varphi} \right] = 0$$

Очевидное решение – это осесимметричное распределение стороннего тока, имеющего только радиальную компоненту $j_r^{cm}(r)$. Будем называть такой источник круговой электрический диполь (КЭД).

Теоретические и методические основы нового способа электроразведки с использованием КЭД в качестве источника изложены в работах Могилатова В.С. Общая схема работ методом ЗВТ–М (т.е. зондирования вертикальными токами с регистрацией dB_z/dt) приведена на рис.1. Устанавливается питающая установка – круговой электрический диполь с радиусом, соответствующим глубине

исследований. Идея такого источника подразумевает, что геометрия его правильная, а токи в лучах выровнены.

Метод с использованием такого источника был назван зондирования вертикальными токами (ЗВТ) (рис. 1). Метод ЗВТ призван решать специфические задачи оконтуривания локальных объектов и, как правило, должен использоваться в комплексе с классическими электроразведочными методами. Ниже рассмотрим некоторые вопросы, возникающие при ознакомлении с этим новым способом электроразведки.

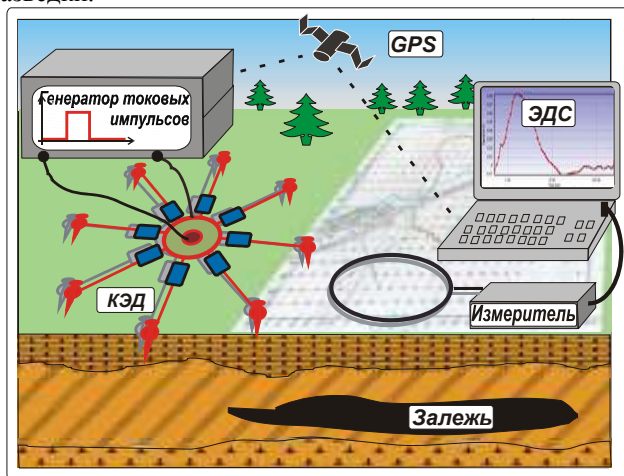


Рис. 1 Схема работ методом ЗВТ.

При работах методом ЗВТ источник устраивается таким образом, что электромагнитное поле во всех магнитных компонентах не содержит отклика от вмещающей толщи. В этом случае проблема влияния нормальной части разреза решается на физическом уровне, а не за счет ограниченной пространственно-временной выборки и фиксации отклика.

ТМ-поляризация реализуется в чистом виде только в горизонтально-слоистой среде. Горизонтально-слоистого разреза не существует в природе, всегда есть какие-то отклонения. Однако, с другой точки зрения можно сказать, что, напротив, идеальный (воображаемый, кажущийся, эффективный) горизонтально-слоистый разрез существует всегда, сосредоточивая в себе основную проводимости. Эта вмещающая среда (ее отклик) не присутствует в сигнале. Применение КЭД в качестве источника позволяет убрать отклик не горизонтально-

слоистого разреза, а некоторого осесимметричного распределения проводимости.

Площадной магнитный отклик в ЗВТ-М, свободный от фона вмещающей среды и целиком обязанный латеральным неоднородностям обладает высокой визуализирующей способностью. Разумеется, углубленная и полная интерпретация должна производиться с помощью трехмерного моделирования. Однако с трехмерным моделированием в ЗВТ-М имеются очень серьезные проблемы. Основная проблема состоит в том, что до конца непонятна природа трехмерного сигнала ЗВТ-М.

Если речь идет о нормальном сигнале (отклик от одномерной среды), то закономерности спада сигнала могут быть изучены и определены в зависимости от типа источника и измеряемой компоненты поля. Однако, если (как это имеет место в ЗВТ-М) сигнал сугубо трехмерного происхождения, закономерности определить сложно. Тем не менее, для эффективной обработки необходимо найти алгоритмы нормировок сигнала, притом, применить независимо к каждому временному срезу.

Те же вопросы возникают при построении профильных сигналов, с увеличением времени сигнал уменьшается по амплитуде и для построения равномерного среза по профилю также необходима нормировка, опять же с учетом нескольких постановок КЭД.

Глава 2 АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ПЛОЩАДНЫХ ДАННЫХ МЕТОДА ЗВТ-М И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В качестве величины, которая отображается в площадном сигнале ЗВТ-М на какой-либо точке измерения, выступает E_i^{nop} равное

$E_i^{nop} = E_i \cdot r_i^x$, где E_i – ЭДС измеренная на i -ом пикете, r_i – расстояние от i -ого пикета до центра КЭД, x – степень зависимости сигнала от расстояния, или, что то же самое, нормировочный коэффициент.

Критерием правильно подобранного нормировочного коэффициента, является отсутствие явной зависимости величины E_i^{nop} от расстояния до источника и максимально равномерное распределение E_i^{nop} по всей площади.

Математически это условие выражается так:

$$\sum_{i=1}^n \left[E_i \times r_i^x - \frac{\sum_{j=1}^n E_j \times r_j^x}{n} \right]^2 \rightarrow \min$$

где E_i – полевое значение сигнала в i -ой точке наблюдения, r_i – расстояние от центра КЭД до i -ой точки наблюдения, n – количество точек наблюдения, на которых проводились измерения при данной постановке КЭД.

Автоматический поиск степени зависимости сигнала от расстояния и есть алгоритмическое нововведение в процесс нормировки. При построении площадного сигнала ЗВТ-М на другом времени измерения, коэффициент может меняться.

Если работы проводятся с несколькими постановками КЭД, то требуется провести сшивку данных от всех КЭД. Поскольку от различных КЭД на одном и том же пикете можно получить разные уровни сигнала, то и при построении площадных сигналов от разных КЭД получится разный средний уровень интенсивности, что требует его выравнивания при совмещении.

Был предложен следующий способ совмещение данных. Исходя из качества полевого материала и плотности точек наблюдения, определяется приоритетность данных КЭД. Потом, к наиболее предпочтительным данным добавляются менее качественные, и так далее. Естественно, что при стыковке может меняться средний уровень сигнала для разных КЭД, поэтому при стыковке нужно провести процедуру нормировки.

Для участка измерений от каждого КЭД определяется средний уровень амплитуд сигналов и коэффициент приведения к уровню, полученному от КЭД-1 (первого КЭД) по формуле:

$$K_{i}^{нор} = \frac{\tilde{E}_1^{нор}}{\tilde{E}_i^{нор}}$$

где $K_i^{нор}$ - коэффициент приведения для сигналов от КЭД- i , $\tilde{E}_1^{нор}$ - средний уровень сигналов, полученных от КЭД-1, $\tilde{E}_i^{нор}$ - средний уровень сигналов, полученных от КЭД- i .

Сигналы по всей площади исследования для каждого времени измерения приводятся к одному уровню – уровню основного участка с $K_1^{нор} = 1$, используя полученные выше нормировочные коэффициенты.

Понятно, что можно выбрать другой алгоритм увязки данных от различных питающих установок, но на данный момент реализован этот. Такой способ увязки показал свою эффективность при обработке данных. В дальнейшем планируется включить в программу «ЗаВеТ-М»

и другие способы увязки, и в процессе работ выбирать наиболее оптимальные.

Кроме построения площадных сигналов ЗВТ-М возникла необходимость строить также и профильные сигналы. Это нормированный сигнал ЗВТ вдоль какого-либо профиля, который отображает изменение сигнала ЗВТ по глубине вдоль профиля, и позволяет судить о глубинных изменениях в среде. Нормировка профильного сигнала должна включать в себя параметры генераторно-измерительного комплекса, параметры среды, учет нескольких постановок КЭД и понижение уровня сигнала с течением времени.

При построении профильных сигналов ЗВТ каждому времени измерения ставится в соответствие некая эффективная глубина. Выбрав несколько точек измерения вдоль профиля, получаем профильный сигнал ЗВТ-М, связанный с глубиной. Профильные сигналы содержат в себе информацию о глубинном строении среды вдоль каждого профиля наблюдений, точнее об отличии электрических свойств неоднородностей по сравнению с вмещающей средой.

Для построения профильного сигнала ЗВТ-М нужно определить коэффициент, отвечающий за привязку по глубине, среднее сопротивление геоэлектрической среды и выбрать временной нормировочный коэффициент.

Привязка по глубине осуществляется с использованием следующей формулы:

$$H_i = k \cdot \sqrt{\frac{t_i \cdot \rho}{\mu_0}}$$

где H_i – глубина, соответствующая i -ому времени измерения, t_i – i -ое время измерения, ρ – среднее сопротивление разреза, которое равно

$$\rho = \frac{\sum h_i \cdot \rho_i}{\sum h_i}, \text{ где } h_i \text{ – это мощность } i\text{-го слоя, а } \rho_i \text{ – сопротивление } i \text{ – го}$$

слоя в одномерной модели среды, μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, k – временной нормировочный коэффициент.

Зависимость от параметров t и ρ определялась из соображений размерности. Точная привязка по глубине обеспечивается коэффициентом k , с использованием априорной геологической информации.

Будем считать, что интенсивность измеряемой ЭДС падает с увеличением времени по степенному закону. Поэтому для нормировки уровня сигнала по всем глубинам на профильном сигнале следует

отображать не ЭДС, а $ЭДС * t^x$, где x – искомый, временной нормировочный коэффициент. Этот коэффициент должен обеспечить отсутствие зависимости интенсивности профильного сигнала от глубины.

Созданные и описанные здесь алгоритмы позволяют автоматически и без потерь времени, строить площадные сигналы ЗВТ, на что раньше требовалось большое количество времени, и также строить профильные сигналы ЗВТ, что ранее не делалось вовсе.

В программном комплексе были реализованы следующие процедуры предварительной обработки, которых не было ранее: просмотр всех отдельных измерений (дублей), сделанных на отдельной точке измерения, осреднение всех или некоторых измерений (дублей) от этой точки, сглаживание измеренной кривой, интегрирование измеренной кривой.

Дополнительно внутри программного комплекса «ЗаВеТ-М» был разработан графический интерфейс, который позволяет быстро создавать модели среды любой сложности. Визуализация 3D модели непосредственно в программе заметно упрощает процесс создания подобных моделей.

Усовершенствование программно-алгоритмической системы «ЗаВеТ-М» значительно ускорило процесс обработки и интерпретации данных, что дает возможность получать предварительные результаты полевых работ непосредственно в процессе их проведения, и значительно упрощает окончательную интерпретацию результатов и улучшает их качество.

Полевые работы с использованием метода ЗВТ-М проводились в республике Татарстан в 2001 году на Красно-Октябрьском месторождении нефти. Работы проводились силами опытно-методической партии НПУ «Казаньгеофизика».

По результатам работ построены предварительные площадные сигналы ЗВТ-М на различных временах. В качестве основного было выбрано время 21 мс. На этом времени площадной сигнал ЗВТ-М (рис. 2) наиболее информативен, на нем четко виден контур положительного аномального сигнала. Кроме того, как показала привязка по глубине, это время соответствует глубине ≈ 700 метров, что соответствует глубине залежи.

На рисунке 2 показано достаточно хорошее совпадение контура нефтеносности, установленного по данным сейсморазведки и по данным ЗВТ-М. Таким образом, можно предположить, что положительный

аномальный сигнал ЗВТ-М обусловлен наличием ореола повышенного сопротивления над залежью. Причем этот ореол достаточно хорошо совпадает с контуром залежи нефти в карбоне, выделенным по данным 3D-сейсморазведки.

При обработке первичных данных на Красно-Октябрьском месторождении интенсивно использовался программный комплекс «ЗаВеТ-М». Это показывает эффективность созданного комплекса при решении задач нормировки и построения площадных и профилейных сигналов ЗВТ-М.

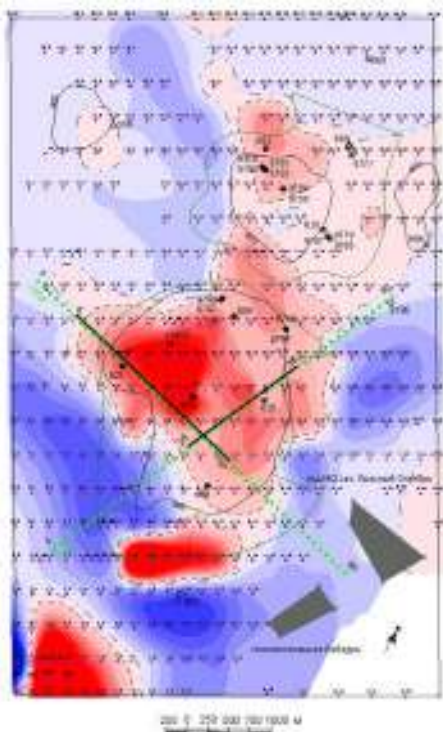


Рис. 2 Площадной сигнал ЗВТ-М на времени 21 мс.

— контур положительной аномалии поля ЗВТ, — обобщенный контур нефтеносности среднего и нижнего карбона по данным сейсморазведки, 1_13 — пункт наблюдения, ◼ — населенный пункт, ● — скважины

В августе 2005 года были проведены полевые работы методом ЗВТ на Черногорском месторождении Норильского рудного поля. Целью работ являлось апробация метода ЗВТ при поисках рудных месторождений, оценка работоспособности методики ЗВТ в условиях многолетней мерзлоты, полевое опробывание алгоритмов обработки, анализа и визуализации сигналов ЗВТ.

Отличительными особенностями работ на Черногорском месторождении являлось то, что плохие условия заземлений в многолетней мерзлоте обуславливали низкий ток в генераторной линии (до 12А), вследствие чего измеряемые сигналы были малой амплитуды на фоне высокого уровня помех.

Черногорское медно-никелевое месторождение приурочено к Черногорскому интрузиву, который

расположен в северо-восточной части Норильской мульды восточнее интрузива Норильск-1. Он залегает в межформационном шве между отложениями тунгусской серии и разведочинской свиты в своей восточной части, а в западной части – среди девонских отложений.

В результате применения разработанных алгоритмов обработки и фильтрации данных удалось получить качественный материал, пригодный для дальнейших построений.

На времени 0.103 мс на плане изолиний сигнала ЗВТ (рис. 3) высокоамплитудными знакопеременными аномалиями отчетливо начинает проявляться геологическая структура. Здесь по границе смены знака сигнала можно оконтурить поисковые объекты на площади исследований. Судя по форме границ, на этом временном срезе выделяется собственно Черногорская интрузия габбро-долеритов, а также приконтактово-измененные и вмещающие породы.

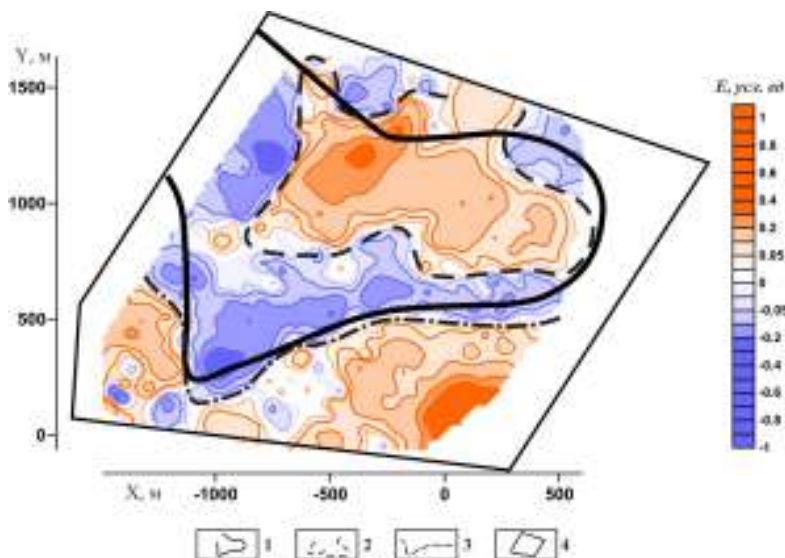


Рис. 3 План изолиний сигналов ЗВТ на времени 0.103 мс по Черногорскому месторождению. 1 – контур интрузии по геологическим данным; 2 – граница неизмененных габбро-долеритов по данным ЗВТ; 3 – граница приконтактово измененных и вмещающих пород по данным ЗВТ; 4 – контур участка работ

В процессе обработки первичных данных при работе на Черногорском интрузиве была выявлена высокая эффективность программного комплекса для скорости определения качества первичных

данных, используя алгоритмы фильтрации, суммирования и сглаживания удалось получить более качественный материал. Новые возможности программного комплекса позволили практически в режиме реального времени получать площадные сигналы высокого качества непосредственно в поле.

Глава 3 ЗОНДИРОВАНИЯ ВЕРИКАЛЬНЫМИ ТОКАМИ С ИЗМЕРЕНИЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Следующим этапом развития метода являться измерение, дополнительно к вертикальной магнитной, также и радиальной электрической составляющей электромагнитного поля. Это позволит получить дополнительно информацию о вмещающей среде, которая отсутствует при измерении только магнитной компоненты.

Было проведено математическое моделирование радиальных электрических сигналов от установки КЭД для того, чтобы определить насколько сильно могут повлиять различные параметры установок и моделей на сигнал, и насколько информативным будет результат при изучении геоэлектрических свойств среды.

Для моделирования использовались расчетные процедуры, которые были созданы в лаборатории электромагнитных полей и в лаборатории геоэлектрики Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН Антоновым Е.Ю. и Могилатовым В.С.

Расчеты проводились для 4-х типов трехслойных моделей с разной толщиной первого слоя от 200 метров до 1000 метров. Второй слой имел толщину 100 метров. Сопротивления слоев для каждого типа модели приведены ниже:

- 1) 1 слой - 100 Ом*м, 2 слой - 1 Ом*м, 3 слой - 100 Ом*м;
- 2) 1 слой - 1 Ом*м, 2 слой - 100 Ом*м, 3 слой - 1 Ом*м;
- 3) 1 слой - 1 Ом*м, 2 слой - 1 Ом*м, 3 слой - 1 Ом*м;
- 4) 1 слой - 100 Ом*м, 2 слой - 100 Ом*м, 3 слой - 100 Ом*м.

Для КЭД радиус составлял 500 метров. Разнос измерительной линии от центра КЭД принимался равным 1500 метров. Длина линии MN составляла 500 метров. Ток в сумме во всех лучах 64 ампера.

В процессе интерпретации результатов необходимо учитывать конфигурацию источника, взаимное расположение приемника и источника, поскольку это может значительно повлиять на получаемый сигнал.

На основе результатов численного моделирования показано, что влияние радиального угла одинаково для различных моделей, и оно не превысило 3%, что укладывается в погрешность измерений при

проведении электроразведочных работ. Следовательно, можно сделать вывод, что угол между каким-либо лучом КЭД и радиальным направлением, вдоль которого расположена измерительная линия, не влияет существенно на результат, и при проведении полевых работ он может быть любым.

Анализ относительного изменения сигналов для выбранных моделей показывает, что при вращении измерительной линии вокруг своей оси изменения могут составлять 100 процентов и выше. Поэтому при проведении полевых работ нужно контролировать радиальность расположения измерительной линии относительно установки КЭД и отклонение от радиального направления не должно превышать 5-10 градусов.

Необходимо понять какие преимущества и недостатки имеет КЭД и ТМ-поле, то есть установка КЭД-МН по сравнению с другими типами установок, например, такими как установка АВМН, при изменении различных параметров геоэлектрического разреза. Сравнительные расчеты позволят понять, как наиболее эффективно использовать установку КЭД-МН при геолого-геофизических исследованиях.

Для тех же четырех типов моделей сравнивалось относительное изменение сигнала, как для КЭД, так и для линии АВ, в случае наличия и отсутствия ВП. Относительное изменение сигналов вычислялось по формуле:

$$\eta = \left| \frac{(E_0 - E_{ВП})}{E_0} \right| \cdot 100\% ,$$

где η – относительное изменение, E_0 – значение сигнала без учета ВП, $E_{ВП}$ – значение сигнала с учетом ВП.

Как видно из рисунка 4, измеряемый уровень сигналов (автор считал этим уровнем сигнал с величиной более 1 мкВ) в случае линии, достигается на времени примерно 10 сек. В случае КЭД это время составляет 100 мс.

Также видно (рис. 4), что относительные изменения сигнала для установки КЭД мало меняются при изменении глубины тонкого слоя и меняются в пределах от 5 до 70% в измеряемом диапазоне значений сигнала (до 1 мкВ). Для установки АВМН относительные изменения отличаются для разной толщины тонкого слоя, но значения относительного изменения сравнительно такие же.

Для модели 1 использование КЭД дает примерно такие же результаты что и использование линии АВ, а при уменьшении уровня измеряемого сигнала КЭД даже будет более предпочтителен.

Для всех исследованных моделей сред КЭД, по сравнению с линией АВ, имеет сравнимые возможности в области исследования процессов

ВП. В некоторых случаях (модель 2) использование КЭД более предпочтительно. Но можно сказать, что в общем случае использование КЭД дает такие же результаты, как и использование линии АВ.

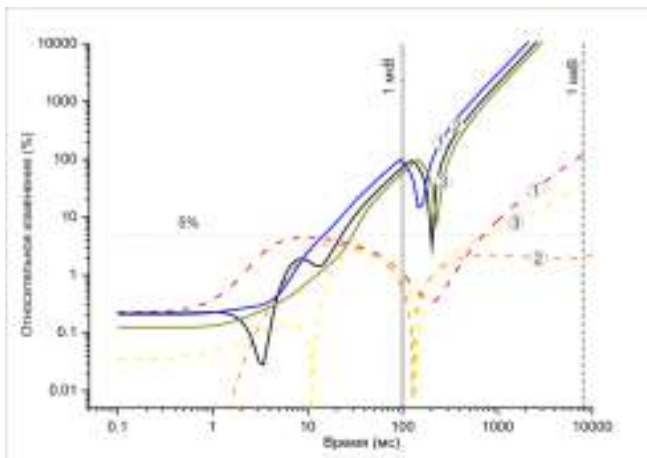


Рис. 4 Относительное изменение сигналов от установок КЭД (сплошные линии) и линия АВ (штриховые линии) для 1-ой модели среды: 1 – толщина верхнего слоя 400 м, 2 – толщина верхнего слоя 600 м, 3 – толщина верхнего слоя 1000 м

Для двух типов моделей (из четырех) сравнивалось относительное изменение сигнала для различной глубины тонкого слоя толщиной 100 метров с отличным сопротивлением по сравнению с вмещающей средой, как для КЭД, так и для линии АВ.

Показано, что установка КЭД-МН более чувствительна к изменению глубины тонкого слоя, но это преимущество проявляется в основном на поздних временах, где сигналы достаточно слабы.

Для четырех типов моделей сравнивалось относительное изменение сигнала для различных сопротивлений слоя толщиной 100 метров, расположенного на глубине 600 метров. Определено, что установка КЭД-МН также является не менее чувствительной к изменению сопротивления тонкого слоя, чем установка АВМН.

Анализ результатов численного моделирования показал, что радиальная электрическая составляющая поля от источника КЭД также чувствительна к изменениям геоэлектрических параметров среды (сопротивление, глубина залегания и поляризационные параметры слоя), как и установка АВМН.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общим результатом работы является развитие новых методических и интерпретационных средств для метода зондирований вертикальными токами, которые позволили упростить и ускорить процесс обработки данных при регистрации магнитной составляющей поля. Кроме того, были проведены исследования по эффективности регистрации электрической компоненты поля от КЭД.

Защищаемые научные результаты состоят в следующем.

Во-первых, **разработаны и программно реализованы алгоритмы обработки данных метода ЗВТ-М для нормировки площадных и профильных сигналов ЗВТ в зависимости от расстояния и времени, сшивки полевых данные от нескольких источников КЭД, проведения предварительной обработки полевых данных.**

Приведены примеры полевого использования разработанных алгоритмов для обработки данных метода ЗВТ при работах на рудных и нефтегазовых объектах. Все эти примеры показывают большую эффективность созданного программного обеспечения по сравнению с ранее существовавшими способами обработки.

Во-вторых, на основе имеющихся расчетных программ для различных источников (КЭД-MN, АВМN) проведено моделирование, с помощью которого **численно показано, что установка КЭД-MN по сравнению с установкой АВМN является таким же эффективным средством определения геоэлектрических параметров среды (сопротивление, глубина залегания и поляризационные параметры слоя). На основе численного моделирования процессов становления поля в методе ЗВТ разработаны методические рекомендации по проведению полевых работ с использованием установки КЭД-MN, учитывающие геометрические факторы генераторно-измерительного комплекса.**

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Результаты работ по оконтуриванию залежей нефти в Татарстане методом зондирований вертикальными токами. [Текст] / В.С. Могилатов [В.В. Потапов и др.]// Геофизика. – 2003. – №5 – С. 47–54.
2. **Потапов В.В.** Изучение процессов вызванной поляризации в электромагнитном ТМ-поле. [Текст] / **В.В. Потапов**, Е.В. Павлов // “Геофизика-2005”. V Международная научно-практическая геолого-геофизический конкурс-конференция молодых ученых и специалистов: Материалы. – Санкт-Петербург – 2005. – С. 233–235.

3. Могилатов В.С. Свойства радиальной электрической составляющей при возбуждении среды полем ТМ-поляризации. [Текст] / В.С. Могилатов, **В.В. Потапов** // Международный научный конгресс «Гео-Сибирь-2006», 24–28 апреля, 2006 г.: Тезисы. – Новосибирск. – 2006. – С. 170–174.
4. Могилатов В.С. Возбуждение полей в геоэлектрических экспериментах. [Текст] / В.С. Могилатов, **В.В. Потапов** // Физика Земли. – 2007. – №5 – С. 88–99.

Технический редактор Е.В.Бекренёва

Подписано в печать 30.04.2010

Формат 60x84/16. Бумага офсет № 1. Гарнитура Таймс

Печ. л. 0,9. Тираж 140. Зак. № 45

ИНГТ СО РАН, ОИТ, пр-т Ак. Коптюга, 3, Новосибирск, 630090