

«УТВЕРЖДАЮ»



Зам. директора ИО РАН

член-корр. РАН

Л.И. Лобковский

03 декабря 2015 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук на диссертационную работу Ореховой Дарьи Александровны «Исследование структур литосферы в высоких широтах по данным естественных и мощных искусственных источников электромагнитного поля», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

### 1. Общие положения

Диссертационная работа Ореховой Д.А. выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте физики Земли им. О.Ю.Шмидта Российской академии наук.

Диссертация содержит 131 страницу, включая 61 рисунок, 4 таблицы, библиографический список литературы из 77 наименований использованной литературы.

### 2. Актуальность диссертационной работы

Электромагнитные методы исследования глубинного строения Земли дают важную информацию о строении недр, которую во многих случаях трудно получить другими геофизическими методами. В частности все более широкое проведение морских электромагнитных зондирований сыграло важную роль в понимании различий строения и эволюции океанической и континентальной

литосферы. Особое значение имеет применение глубинных электромагнитных зондирований в Северном Ледовитом океане в связи с уникально широкой распространенностью там блоков литосферы и, соответственно субконтинентального типа, вытекающей отсюда проблемы геологической границы шельфа и в связи с поисками месторождений углеводородов. Однако из-за близости ионосферных источников естественного электромагнитного поля возникают особые трудности как при зондированиях с помощью этих источников (за счет нарушения стандартного условия плоской волны), так и при зондированиях с помощью искусственных источников (за счет высокого уровня помех). Кроме того, постоянный ледовый покров океана препятствует проведению донных электромагнитных измерений по сложившейся методике. Таким образом, диссертационная работа Ореховой Дарьи Александровны, посвященная высокоширотным электромагнитным зондированиям в высоких широтах и особо – в Северном Ледовитом океане является актуальной.

### 3. Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, перечислены новые результаты, полученные в диссертации, определена практическая ценность и область применения результатов, приведены сведения по оценке достоверности полученных результатов и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы выполнен обзор состояния проблемы, существующих подходов к учету влияния неоднородности поля ионосферного источника и обзор ранее выполненных электромагнитных зондирований на Кольском полуострове и в Северном Ледовитом океане, тех регионах, на которых сконцентрировано дальнейшее исследование автора.

Во второй главе рассматривается интерпретация двух экспериментов с применением мощного протяженного источника поля (антенны сверхдлинноволнового передатчика) на Кольском полуострове – наземного в средней части полуострова и морского в Кольском заливе. Описывается общая для этой и последующих глав методика моделирования поля методом интегральных уравнений в комбинации, в необходимых случаях, с нейросетевым методом решения параметрической обратной задачи. Выявлен гальванический береговой эффект обусловленный циркуляцией тока от источника по протяженным разломам с замыканием через море. Построены трехмерные геоэлектрические модели средней части Кольского полуострова и Кольского залива. В последнем случае отмечена важная роль данных измерений вертикальной составляющей электрического поля на дне для выделения по удельному сопротивлению двух высокоомных блоков коры. Дана геолого-геофизическая интерпретация результатов.

В третьей главе моделируется решение электромагнитным методом задачи диагностики наличия/отсутствия залежи углеводородов в перспективной структуре. Задача решается на конкретном примере Штокмановского месторождения. С помощью трехмерного моделирования рассчитана реакция площадного распределения всех шести компонент поля на дне при возбуждении поля на различных частотах различным образом расположенным и различно ориентированным электрическим биполем при условии чувствительности аппаратуры на уровне современного стандарта. Показано, что наибольшую чувствительность к наличию залежи газоконденсата имеют измерения вертикальной компоненты электрического поля при радиальной поляризации.

В четвертой главе моделируются магнитотеллурические зондирования и зондирования с контролируемым источником в Северном Ледовитом океане для определения их возможностей и ограничений для задач определения типа литосферы и картирования локальных структур. Рассматриваются варианты зондирований со дна и с поверхности (льда). Вначале рассматриваются типовые элементарные структуры в глубоком океане над океанической и

континентальной литосферой го, а затем над реальными структурами – хребтами Гаккеля и Менделеева-Альфа. Показано, что тип литосферы хорошо по магнитотеллурическим данным определяется со льда, но для картирования структур пригоден только донный вариант.

В пятой главе описывается решение крупной многоплановой задачи о построении глубинной геоэлектрической модели центральной части Северного Ледовитого океана по магнитовариационным данным дрейфующих станций «Северный полюс». Показывается, что из-за сильного влияния источников применение для изучения разреза стандартной процедуры магнитовариационного профилирования невозможно. Предлагается и используется оригинальная методика комплексных эллиптических магнитных индукционных векторов. Отмечается, что различные компоненты этих векторов обладают разной чувствительностью к источникам и геоэлектрическому разрезу. Демонстрируется, что малые полуоси эллиптических векторов, в отличие от больших, слабо зависят от положения источника. На основе наблюдательных данных и расчета большого числа обучающих моделей по распределению больших полуосей нейросетевым методом решается обратная задача о нахождении эквивалентных источников поля. При этом оптимальном положении источников рассчитывается распределение малых полуосей, начиная со стартовой геоэлектрической модели заданной по априорным данным, которая затем поэтапно модифицируется до наилучшего совпадения с экспериментальными данными. В результате получена глубинная геоэлектрическая модель обширной приполюсной области Северного Ледовитого океана. Дана ее геолого-геофизическая интерпретация в контексте современных тектонических представлений.

В заключении сжато формулируются основные полученные результаты.

#### 4. Научная новизна

Наиболее значительными результатами работы, обладающими научной новизной, являются следующие:

1. Впервые разработан и экспериментально воплощен алгоритм нахождения по магнитовариационным данным на ограниченной площади эквивалентных источников электромагнитного поля в ионосфере, позволяющий корректно интерпретировать эти данные для изучения геоэлектрического разреза.

2. Получена первая трехмерная глубинная геоэлектрическая модель центральной части Северного Ледовитого океана.

3. На основе систематического трехмерного моделирования показаны возможности и ограничения различных вариантов постановки электромагнитных зондирований при решении задач определения типа литосферы под океаном, картирования геологических структур дна и диагностики наличия углеводородов в перспективных структурах.

4. На основе расчета электромагнитного поля мощного протяженного источника без использования упрощающих предположений и экспериментальных данных построены трехмерные геоэлектрические модели двух районов Кольского полуострова.

5. Обнаружен гальванический береговой эффект связанный крупномасштабной циркуляцией тока по региональным разломам и морю.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается большим количеством численных экспериментов и имеющимися геолого-геофизическими данными. Результаты работы докладывались на нескольких международных и всероссийских научных конференциях, где получили положительную оценку.

#### 5. Значимость полученных результатов для науки и производства

Практическая ценность диссертационной работы Д.А. Ореховой очевидна и имеет несколько аспектов. Результаты выполненной интерпретации массива магнитовариационных данных в Северном Ледовитом океане носят принципиальный характер для понимания особых черт его строения и генезиса.

Результаты выполненной интерпретации экспериментов с мощным протяженным источником на Кольском полуострове, несмотря на хорошую изученность региона, принесли новую информацию о разломной тектонике и блоковом строении. Результаты численных экспериментов, моделирующих магнитотеллурическое картирование литосферы Северного Ледовитого океана и поиски углеводородов в море, позволят рациональным образом планировать будущие электромагнитные зондирования, как в части адаптации аппаратуры к конкретным задачам, так оптимизации постановки измерений. Результаты экспериментальной проверки новых идей в интерпретации магнитовариационных измерений в высоких широтах с помощью эллиптических векторов и нахождения эквивалентных источников делают возможным их использование в современной практике.

#### 6. Замечания по диссертационной работе

В процессе ознакомления с содержанием диссертации отмечены некоторые недостатки:

1. Обзор высокоширотных электромагнитных зондирований недостаточно полон, за его рамками оказались зондирования в Антарктиде.
2. Модели океанической и континентальной литосферы весьма упрощены.
3. Исследование в целом носит несколько избыточно многоплановый характер.

#### 7. Соответствие содержания диссертации указанной специальности

Представленные в диссертации исследования отвечают пунктам 4, 8 и 13 паспорта специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» – «Физико-математические науки». Таким образом, диссертация соответствует указанной специальности.

## 8. Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Основные материалы диссертационной работы, ее результаты и выводы отражены в автореферате.

## 9. Заключение

Перечисленные замечания к работе не снижают ее научной и практической ценности. Диссертация Ореховой Д.А. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, и ее оценка положительна.

С учетом изложенного выше, диссертационная работа на тему: «Исследование структур литосферы в высоких широтах по данным естественных и мощных искусственных источников электромагнитного поля», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» к кандидатским диссертациям, а ее автор, Орехова Дарья Александровна заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Диссертационная работа рассмотрена на ученом совете геологического направления ИО РАН, 3 декабря 2015 г. протокол № 57.

Заведующий лабораторией геофизических полей ИО РАН

к.г.-м. н.

Н.А. Пальшин

Ученый секретарь ИО РАН

к.г.-м. н.

М.М. Марина

