

*На правах рукописи*

*Поспеева*

**ПОСПЕЕВА Елена Валентиновна**

**ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НЕОДНОРОДНОСТИ  
ЛИТОСФЕРЫ СИБИРСКОЙ И АРХАНГЕЛЬСКОЙ  
АЛМАЗОНОСНЫХ ПРОВИНЦИЙ И ИХ СВЯЗЬ С  
ПРОЯВЛЕНИЯМИ КИМБЕРЛИТОВОГО  
МАГМАТИЗМА**

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  
доктора геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН)

Официальные оппоненты:

**Похиленко Николай Петрович**, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, директор Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск;

**Антонов Юрий Николаевич**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск;

**Жамалетдинов Абдулхай Азымович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, Санкт-Петербургский филиал, г. Санкт-Петербург.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук (ИГ КарНЦ РАН) г. Петрозаводск.

Защита состоится 31 января 2013 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 003.068.03 при Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН в конференц-зале.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью организации, просим направлять по адресу:

просп. Ак. Коптюга, 3, г. Новосибирск, 630090

факс: +7(383)-333-25-13

e-mail: [NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru](mailto:NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИНГГ СО РАН

Автореферат разослан 23 ноября 2012 г.

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



Н.Н. Неведрова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Объектом исследования** является глубинный геоэлектрический разрез земной коры и верхней мантии Сибирской и Архангельской алмазоносных провинций.

**Предмет исследований** – литосферные геоэлектрические неоднородности различного сопротивления и их связь с проявлениями кимберлитового магматизма.

**Актуальность.** Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии в связи с тектоникой, магматизмом и размещением полезных ископаемых является одной из актуальных задач современной геологии, решение которой имеет практическое значение для расширения минерально-сырьевой базы страны. Особое место в этом плане занимают алмазы, как один из стратегических видов минерального сырья, играющего важную роль в развитии народного хозяйства России. Результаты геолого-геофизических исследований, проведённых в пределах Сибирской и Восточно-Европейской кимберлитовых провинций, показали достаточно высокие перспективы обнаружения здесь новых месторождений алмазов. Их практическая реализация связывается с расширением площадей за счёт «закрытых» территорий, в пределах которых объекты поисков перекрыты образованиями различного генезиса. Одним из способов понять особенности глубинной структуры алмазоносных площадей, отличающие их от соседних «пустых», являются геофизические исследования.

В Якутской кимберлитовой провинции в процессе поиска алмазных месторождений проведены региональные геофизические наблюдения методами глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и МТЗ, грави- и магнитометрические съёмки. При интерпретации материалов этих исследований выявлены десятки аномалий, связанных с глубинными неоднородностями. В результате выполненного в дальнейшем углублённого анализа геолого-геофизических данных установлено, что алмазоносные кимберлитовые поля Якутии характеризуются аномальными свойствами консолидированной земной коры. Они фиксируются низкоградиентными локальными магнитными и гравитационными минимумами амплитудой 20-80 нТл и 1-3 мГл, и наличием многочисленных, разноориентированных осей синфазности волнового поля. По данным магнитотеллурических исследований в литосфере Якутской кимберлитовой провинции выделяются

закономерно сочетающиеся разноранговые геоэлектрические неоднородности. Провинция находится в пределах приподнятых по поверхности фундамента районов платформы, на площади, ограниченной изолиниями глубины залегания 180-200 км современного положения астеносферы. Кимберлитовые поля, как правило, располагаются в пределах крупных высокоомных неоднородностей с сопротивлением тысячи Ом·м, а участкам их локализации соответствуют проводящие субвертикальные аномалии. На современном этапе исследований актуальной задачей прогнозно-поисковых работ на алмазы в пределах «закрытых» территорий является локализация площадей, перспективных на обнаружение кимберлитовых полей и кустов кимберлитовых тел.

**Цель исследования** – разработать геоэлектрические критерии проявлений кимберлитового магматизма на основе особенностей распределения глубинной электропроводности в литосфере алмазоносных провинций.

**Научные задачи:**

1. Обосновать модель «нормального» геоэлектрического разреза земной коры и верхней мантии Сибирской и Архангельской кимберлитовых провинций.

2. Определить особенности геоэлектрического разреза кимберлитовых полей и их связь с проявлениями кимберлитового магматизма.

3. Обосновать прогнозные критерии алмазоперспективных площадей на основе комплексного анализа данных МТЗ и других геолого-геофизических методов;

4. Разработать приёмы и методы интерпретации данных глубинных магнитотеллурических зондирований применительно к сложно-построенному геоэлектрическому разрезу кимберлитовых районов.

**Фактический материал и методы исследования.** Основной метод исследования – магнитотеллурическое зондирование, основанное на изучении вариаций естественного электромагнитного Земли. Для решения поставленных задач привлечён обширный материал (более 3000 зондирований) по региональным и среднемасштабным работам МТЗ, проведённым О.Л. Полторацкой, Е.Н. Зуевым, В.П. Панариным, И.А. Яковлевым, А.А. Кулавским, М.Б. Алексеевым, В.И. Поспеевым, В.А. Шапоревым, В.Н. Широковым и многими другими в пределах Якутской и Архангельской алмазоносных провинций, а также на

территории Красноярского края и Эвенкийского АО ВостСибНИИГГиМСом, ФГУНПП «Иркутскгеофизика», ГПП «Архангельскгеология», ГПП «Красноярскгеофизика» и ЯНИГП ЦНИГРИ в течение 35 лет.

Работы МТЗ в диапазоне периодов 0.003-10000 с выполнены с применением новейшей технологии V5 System-2000 с использованием аппаратуры MTU-5 и MTU-2E компании «Phoenix Geophysics Ltd» (Канада). Для обработки полевых данных использовалось программное обеспечение «Phoenix Geophysics Ltd» - SSMT, основанное на корреляционном методе, позволяющим рассчитывать функции корреляции всех компонент МТ-поля с последующим Фурье-преобразованием. В результате получаются спектры мощности в широком частотном диапазоне, которые пересчитываются в компоненты тензора импеданса. Количественная интерпретация «методом подбора» выполнена в программном комплексе WinGLink. В процессе интерпретации основное внимание уделялось оценке параметров глубинного разреза. При этом применялась методика интерпретации с отбором квазипродольных кривых с последующим решением двумерной или трёхмерной прямой задачи – моделирование выполнялось по программам MTSEH1 и MTSEH3 (Б.А. Ананевич) и И.В. Варданын. Геолого-геофизическая интерпретация данных МТЗ выполнена на основе комплексного анализа данных о составе и структуре земной коры, а также особенностях теплового режима кимберлитовых провинций.

#### **Защищаемые научные результаты:**

1. В геоэлектрическом разрезе осадочного чехла и консолидированной части земной коры кимберлитовых районов существует несколько типов геоэлектрических структур, формирующих в магнитотеллурическом поле эффекты гальванической природы. В этих условиях для получения информации о распределении глубинной электропроводности, а также оценки параметров геоэлектрических неоднородностей, необходимо выделение квазипродольных кривых МТЗ, соответствующих в магнитотеллурическом поле  $E$  – поляризации.

2. Основными элементами модели глубинной электропроводности кимберлитовых провинций являются коровый и мантийный (астеносфера) проводящие слои, параметры которых определяются термодинамическим режимом земной коры и верхней мантии. Согласно петрологическим, тектоническим и геотермическим данным, территория провинций относится к наименее активным

регионам, не подвергавшимся существенной тектоно-магматической активизации на протяжении последующих посткимберлитовых этапов развития. Глубина залегания корового и мантийного проводящих слоёв для этих условий составляет 35-40 км и 180-250 км соответственно. При этом глубина залегания верхней кромки мантийного проводящего слоя соответствует не температуре солидуса, а началу градиентного понижения сопротивления из-за роста температуры.

3. Разноранговые объекты кимберлитового магматизма характеризуются определённым сочетанием геоэлектрических неоднородностей, различающихся по сопротивлению, латеральным размерам и глубинности. Провинции располагаются в пределах контуров, ограниченных изолиниями 180-220 км современного положения астеносферы; районы – в контурах региональных неоднородностей высокого сопротивления. Поля и кусты кимберлитовых трубок локализируются в пределах проводящих субвертикальных зон.

4. Кимберлитовый магматизм наиболее вероятен в пределах площадей, пространственно сопряжённых с проводящими неоднородностями, расположенными в узлах пересечения рудоконтролирующих и секущих их систем региональных глубинных разломов. При этом контуры неоднородностей второго порядка отвечают площадям, где вероятность обнаружения кимберлитового магматизма наиболее высока.

#### **Научная новизна работы. Личный вклад.**

1. Разработана и применена оптимальная методика среднемасштабных магнитотеллурических исследований в условиях сложного геоэлектрического разреза кимберлитовых районов:

- на основе опытно-методических работ разработана методика полевых исследований с аппаратурой MTU-5 и MTU-2E, которая заключается в синхронной регистрации компонент магнитотеллурического поля одновременно тремя станциями;

- для оценки размерности геоэлектрического разреза и нормализации кривых МТЗ разработана методика комплексной интерпретации данных МТЗ с другими видами электромагнитных зондирований;

- выполнена оценка разрешающей способности метода при выделении локализованных проводящих неоднородностей;

- по результатам численного моделирования составлены номограммы для определения параметров геоэлектрических неоднородностей, выявленных в разрезе средней части земной коры;

2. Обоснованы и составлены унифицированные схемы геоэлектрического разреза осадочного чехла Малоботуобинского, Средне-Мархинского и Зимнебережного кимберлитовых районов;

3. На основе анализа геоэлектрических, геотермических и петрологических данных обоснована модель «нормального» разреза Сибирской и Архангельской кимберлитовых провинций;

4. Предложены геоэлектрические модели разноранговых объектов кимберлитового магматизма: провинций-районов-полей-кустов, адекватно удовлетворяющие наблюдаемой совокупности геолого-геофизических данных.

Основные результаты получены лично автором или при её непосредственном участии – от планирования съёмок методом МТЗ и обработки первичных данных до синтеза большого количества разнородной геолого-геофизической информации. Этот синтез в виде геоэлектрических построений, а также их интерпретации в терминах глубинной геологии составляет научную новизну работы.

Начиная с 2008 года Институтом нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, по инициативе и под научным руководством академика РАН М.И. Эпова проводятся работы методом МТЗ в пределах Байкальской рифтовой зоны и тектонических впадин Горного Алтая с целью изучения особенностей глубинного строения и термодинамического режима этих регионов.

**Практическая значимость.** Результаты выполненных исследований содержат информацию о положении корового и мантийного проводящих слоев и аномальной проводимости локализованных геоэлектрических неоднородностей. Эта информация может быть использована для решения разнообразных геолого-тектонических и поисковых задач. В частности, для оптимизации алмазопроисковых работ на «закрытых» территориях метод МТЗ может быть применён в качестве первоочередного в общем комплексе геолого-геофизических исследований. При этом в качестве наиболее перспективных площадей следует рассматривать области аномально высокой проводимости, расположенные в узлах рудоконтролирующих и секущих их зон глубинных разломов. Разработанные приёмы и способы интерпретации изложены автором в «Методическом пособии по применению магнитотеллурических зондирований при

среднемасштабных алмазопроисковых работах», (г. Мирный, 2006) и применяются в практике работ подразделений АК «АЛРОСА».

Результаты магнитотеллурических исследований, проведённые в Чуйско-Курайской депрессионной зоне Горного Алтая, показали высокую информативность метода при оценке глубинной сейсмичности региона, а также перспектив Чуйской впадины на обнаружение рудных месторождений. В пределах Байкальской рифтовой зоны по положению корового проводящего слоя выделены блоки, различающиеся по интенсивности проявления процесса рифтогенеза.

#### **Апробация работы.**

Материалы исследований по теме диссертационной работы неоднократно докладывались на региональных и всесоюзных конференциях и симпозиумах. По теме работы опубликован 56 печатный труд, в том числе: 11 в ведущих научных рецензируемых журналах из перечня ВАК, раздел в монографии «Глубинное строение территории СССР» под редакцией В.В. Белоусова, а также доложены на региональных и международных конференциях и семинарах:

- Международная конференция «Методы изучения, строения, и мониторинг литосферы. Новосибирск. 1998; VIII Региональная конференция по распространению радиоволн. Санкт-Петербург. 2002, октябрь; Международная конференция «Проблемы геокосмоса». Санкт-Петербург. 2002, июнь; 64-я Международная конференция EAGE. Италия. Флоренция. 2002, май; Семинар по электромагнитной индукции в Земле. США. Нью-Мехико. 2002, июнь; Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле». Москва. 2003, Научно-практическая конференция «Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях». Томск. 2003; Научно-практическая конференция "Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов прошлое, настоящее и будущее". - Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ. 2004; Международная конференция «Современные электроразведочные технологии при поисках месторождений полезных ископаемых». Санкт-Петербург. 2004, апрель; Международная конференция «Глубинный магматизм его источники и проблема плюмов». Мирный. 2006, июнь; Региональная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-масштабное обеспечение их решений». Мирный. 2006, март; IV Международный научно-практический семинар «Применение современных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых». Санкт-

Петербург. 2006, март; Всероссийская конференция с международным участием «Академическая наука и ее роль в развитии производительных сил в северных регионах России». Архангельск. 2006, июнь; Региональная научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях, научное и методико-технологическое обеспечение их решений. Мирный. 2008, март.

**Объём и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения и включает 299 страницы текста, 126 рисунков и 5 таблиц; библиография содержит 275 наименования.

Глава I **«Обзор состояния проблемы»** посвящена вопросам регионального и среднемасштабного прогнозирования кимберлитового магматизма на основе комплексного геолого-геофизического анализа, в том числе с применением современных (спутниковых) глубинных геофизических и геологических материалов.

Глава II **«Геолого-геофизические предпосылки глубинных магнитотеллурических исследований»** состоит из пяти частей: физико-петрологическая дифференциация земной коры и верхней мантии (2.1); природа проводящих слоев в земной коре и верхней мантии (2.2); локализованные геоэлектрические неоднородности (2.3); модель «нормального» геоэлектрического разреза (2.4); физическое состояние земной коры и верхней мантии и особенности тектоники, магматизма и размещения полезных ископаемых эндогенного генезиса (2.5).

Глава III **«Основные методические приемы интерпретации магнитотеллурических данных»** посвящена разработке основных методических приемов интерпретации данных МТЗ применительно к сложным геолого-тектоническим условиям кимберлитовых районов.

Глава IV **«Магнитотеллурические исследования в Сибирской кимберлитовой провинции при прогнозировании коренных месторождений алмазов»** состоит из четырех частей, в которых рассмотрена глубинная и тектоническая структура алмазоносных и потенциально алмазоносных территорий Сибирского кратона (4.1; 4.2) и особенности их геоэлектрических разрезов (4.3; 4.4)

Глава V **«Особенности глубинного строения литосферы Восточно-Европейской алмазоносной провинции на примере Зимнебережного и Северо-западного кимберлитовых районов»** состоит из двух частей. Первая часть посвящена Архангельской

алмазоносной провинции (%.1), вторая – Западно-Карельской кимберлитовой провинции.

**Благодарности.** Автор глубоко признателен академику РАН М.И. Эпову за внимание и поддержку, без которой реализация работы была бы невозможна. В процессе работы ценные советы и замечания были получены от академика РАН Н.П. Похиленко и коллег Н.О. Кожевникова, В.В. Плоткина, Л.В. Витте, В.В. Оленченко, Е.Ю. Антонова.

Глубокую признательность автор выражает руководству и сотрудникам ЯНИГП ЦНИГРИ – А.В. Герасимчуку, Н.Н. Зинчуку, Л.П. Шадринной, Ю.В. Утюпину, Ф.К. Зайцевскому, Н.О. Свиридовой, А.А. Валуевой. М.Н. Гарату за прекрасную организацию полевых исследований, результаты которых легли в основу диссертационной работы, а также безвременно ушедшим из жизни А.В. Манакову и В.А. Матросову. Сотрудникам «АЛРОСА Поморье» - В.В. Вержаку, Ю.А. Олениусу, за предоставление архивных материалов геолого-геофизических исследований Архангельской алмазоносной провинции.

Огромное влияние на становление диссертанта как специалиста оказал ушедший из жизни В.И. Поспеев, с именем которого справедливо связывается развитие магнитотеллурических исследований в Восточной Сибири.

Автор благодарен своим коллегам В.В. Потапову, А.М. Шеину, А.А. Сахаровой за внимание и помощь при оформлении рукописи.

### **Научный результат 1**

**В геоэлектрическом разрезе осадочного чехла и консолидированной части земной коры кимберлитовых районов существует несколько типов геоэлектрических структур, формирующих в магнитотеллурическом поле эффекты гальванической природы. В этих условиях для получения информации о распределении глубинной электропроводности, а также оценки параметров геоэлектрических неоднородностей, необходимо выделение квазипродольных кривых МТЗ, соответствующих в магнитотеллурическом поле E – поляризации.**

Научный результат 1 раскрыт в главе 3.

Основные результаты представляемой работы получены с использованием комплекса методических приемов интерпретации материалов МТЗ, которые позволили получить существенно новую информацию о строении земной коры и верхней мантии алмазоносных и потенциально алмазоносных провинций Сибирского кратона и

Восточно-Европейской платформы. К ним относится: создание унифицированных схем геоэлектрического разреза осадочного чехла кимберлитовых районов Сибирской и Архангельской алмазоносных провинций; разработке методики совмещения кривых МТЗ с кривыми других видов электромагнитных зондирований (ЗСБ, ВЭЗ); применение численного моделирования для оценки разрешающей способности метода при выделении проводящих объектов в разрезе земной коры и определения их параметров; применение модельных кривых МТЗ для оценки глубины залегания литосферного проводящего слоя.

Важнейшим этапом интерпретации является анализ магнитотеллурических данных, который проводился по следующей схеме:

- анализ параметров неоднородности тензора импеданса  $N_{mt}$ ,  $Skew_s$ ,  $Skew_v$ ;
- анализ амплитудных и фазовых диаграмм на характерных периодах;
- подавление статического смещения кривых – нормализация кривых;
- анализ амплитудных и фазовых разрезов квазипродольных и квазипоперечных кривых кажущегося сопротивления.

Особенность интерпретации магнитотеллурических данных, полученных в кимберлитовых районах, обусловлена их сложным геолого-тектоническим строением. В разрезе осадочного чехла и консолидированной части земной коры кимберлитовых районов существует несколько типов локальных и региональных геоэлектрических структур с высокими значениями удельного сопротивления. В осадочном чехле это четвертичные отложения Зимнебережного района, породы кристаллического фундамента, выходящие на поверхность на северо-западе Карелии. На Сибирском кратоне - это силлы траппов и высокоанизотропные породы галогенно-карбонатного кембрия. Эти структуры формируют в МТ-поле два типа эффектов гальванической природы - « $\rho$ -эффект» и «S-эффект», которые проявляются в статическом смещении поперечной составляющей МТ-поля по оси сопротивлений вверх. В случае - « $\rho$ -эффекта» наблюдается постоянный «статический» сдвиг поперечных кривых. В случае «S-эффекта» - сдвиг только их низкочастотных ветвей. Теоретические расчёты [Бердичевский, Дмитриев, 2009] и практические наблюдения показывают, что при наличии в разрезе осадочного чехла неоднородностей, формирующих подобные эффекты, близкими к

локально-нормальной кривой остаются продольные кривые. В случае, когда кроме приповерхностных других неоднородностей нет и кривые конформны по всем направлениям, эффект статического смещения может быть (по крайней мере, частично) исключен с помощью процедуры нормализации. Одним из наиболее надёжных способов нормализации кривых МТЗ является их приведение к кривым ЗСБ, поскольку кривые ЗСБ практически не подвержены факторам, искажающим электрическое поле, так как в этом методе измеряется дифференцированная по времени магнитная составляющая электромагнитного поля. При этом кривые ЗСБ не только содержат информацию о верхней части разреза, но и помогают в значительной степени уменьшить многозначность определения глубинной геоэлектрической модели. При комплексировании возникает проблема совмещения кривых различного вида электромагнитных зондирований. Совмещение по разносам невозможно, так как это различные функции одного аргумента. Наиболее корректно совмещать кривые по уровню кажущегося сопротивления и параметрам  $S$  и  $H$ . В случае отсутствия данных ЗСБ, нормализация кривых МТЗ осуществлялась по модельным кривым МТЗ, совмещённым с кривой глобального магнитовариационного зондирования. Модельные кривые являются откликом геоэлектрических разрезов, характеризующих «нормальный» градиентно-слоистый разрез регионов с различной термодинамической активностью, и определяют место и петрологическое соответствие геоэлектрических комплексов, выделяемых магнитотеллурическими зондированиями [Поспеев, Поспеева, 1989]. Они выступают в качестве теоретических кривых для определения номера разреза, а также служат в качестве репера при нормализации кривых МТЗ в области низких частот.

Характерным признаком кимберлитовых районов является приуроченность их к крупным неоднородностям высокого сопротивления, экранирующим поперечную составляющую МТ-поля, изменяя не только уровень, но и форму кривых. В этом случае процедура нормализации кривых значительно затруднена. Из-за сильного гальванического экранирования резко снижается чувствительность поперечной составляющей по отношению к проводящим зонам, расположенным в пределах высокоомных блоков земной коры, которые являются объектом изучения. Поэтому информация о них может быть получена только с помощью продольных кривых [Бердичевский, 2009].

Оценка разрешающей способности метода при выделении двух- и трёхмерных проводящих объектов показала:

- для неоднородностей типа двумерной проводящей вставки порог чувствительности составляет:  $2l / H_M = 0.2$  ( $2l$  – ширина вставки,  $H_M$  – глубина залегания верхней кромки); порог применимости модели Тихонова-Каньяра – 4-6, начиная с этих соотношений параметры, определённые по 1D инверсии близки к истинным параметрам неоднородности

- для трёхмерных объектов порог чувствительности метода зависит как от соотношения ширины ( $2l$ ) неоднородности к глубине её залегания ( $H$ ), так и соотношения длины ( $2L$ ) к её ширине ( $2l$ ) и проводимости. Для соотношения  $2L/2l = \infty, 6, 3, 1$  порог чувствительности метода равен соответственно 0,2; 0,3; 0,8; 1, а порог применимости модели Тихонова-Каньяра - 4; 8; 20; 30. То есть, для корректного определения параметров неоднородности с помощью одномерного подхода, отношение  $2L/2l$  должно быть достаточно большим.

- глубина залегания верхней кромки неоднородности, точно определяется по продольным кривым, рассчитанным над ее центром и вблизи него ( $d=0, \frac{1}{4} 2l$  и  $\frac{1}{2} 2l$ ), а проводимость меньше в несколько раз.

Параметры проводящих неоднородностей определялись с помощью номограмм поправок, составленных на основе численного моделирования целого класса двумерных и трёхмерных проводящих объектов. Номограммы характеризуют отношение модельных параметров неоднородности ( $h$  и  $S$ ) и параметров, полученных по результатам одномерной интерпретации. Распределение коэффициентов даётся в координатах ширины проводящих объектов и расстоянию от их центра.

## **Научный результат 2**

**Основными элементами модели глубинной электропроводности кимберлитовых провинций являются коровый и мантийный (астеносфера) проводящие слои, параметры которых определяются термодинамическим режимом земной коры и верхней мантии. Согласно петрологическим, тектоническим и геотермическим данным, территория провинций относится к наименее активным регионам, не подвергавшимся существенной тектоно-магматической активизации на протяжении последующих посткимберлитовых этапов развития. Глубина залегания корового**

**и мантийного проводящих слоёв для этих условий составляет 35-40 км и 180-250 км соответственно. При этом глубина залегания верхней кромки мантийного проводящего слоя соответствует не температуре солидуса, а началу градиентного понижения сопротивления из-за роста температуры.**

Защищаемое положение 2 раскрыто в главе 5 и обосновывается на фактическом материале, изложенном в главах 2, 4 и 5.

По данным магнитотеллурических зондирований основными элементами глубинной электропроводности земной коры и верхней мантии Земли являются мантийный и литосферный проводящие слои.

*Мантийный проводящий слой* как геоэлектрическую неоднородность, можно отнести к глобально распространённым объектам. Согласно результатам программы «ЭЛАС» [Ваньян, Гордиенко, 1986], этот слой проявляется на кривых глубинных магнитотеллурических зондирований во всех регионах мира. При этом глубина его залегания и степень выраженности заметно изменяются от региона к региону. Начиная с 1963 года, неоднократно предпринимались попытки увязать параметры мантийного проводящего слоя с параметрами ещё одной геофизической неоднородности – слоем пониженных сейсмических скоростей [Adam, 1963, Fournier, Ward, Morrison, 1963]. К настоящему времени во многих регионах, как у нас в стране, так и за её пределами, выполнен большой объём глубинных сейсмических и магнитотеллурических зондирований. Результаты этих исследований показали, что во многих континентальных регионах наблюдается совпадение глубины залегания высокопроводящего мантийного слоя с сейсмическим волноводом в верхней мантии [Alekseyev et al., 1977; Ryaboy, Derlyadko, 1984; Adam, Westegrom, 2001].

Понижение сейсмических скоростей в пределах волновода и одновременное увеличение электропроводности объясняется наличием в этой области мантии частично расплавленного вещества. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что упругие и электрические свойства горных пород в условиях верхней мантии претерпевают резкие изменения при достижении температуры солидуса, при этом нижняя граница электропроводности также является геотермической поверхностью солидуса, ниже которой плавление невозможно. Под областью частичного плавления в верхней мантии понимается астеносфера, в которой температура превышает температуру солидуса и наблюдается понижение сейсмических

скоростей, добротности и сопротивления. Согласно начальному определению астеносферы как слоя пониженной вязкости, она должна образовывать слой, способный к вязкому течению под действием относительно малых напряжений, позволяющий путём медленных движений постепенно создавать условия гидростатического равновесия [Жарков, 1983; Хитаров, Багдасаров и др., 1985].

Астеносфера, как область частичного плавления, фиксируемая с помощью геофизических методов, не образует единого слоя. Она хорошо развита в тектонически активных регионах с высоким тепловым потоком и не выделяется геофизическими методами в пределах антеклиз и щитов древних платформ.

Если частичное плавление здесь все же присутствует, то им охвачен слой верхней мантии незначительной мощности, либо частичный расплав не образует взаимосвязанной расплавленной фазы. Отсутствие области частичного плавления может быть связано с тем, что температура в мантии не достигла температуры солидуса, а также с тем, что при этой же температуре изменился солидус вследствие изменения вещественного состава или отсутствия потока летучих из глубоких частей мантии. Однако близость температур к температуре солидуса обеспечивает веществу относительно пониженную вязкость. Поэтому слой пониженной вязкости и механической добротности будет существовать и между астеносферными линзами [Артюшков, 1979; Жарков, 1983].

Вариации скорости и электропроводности в пределах астеносферы различаются в регионах с различной тектонической активностью [Рябой, 1979; Егоркин, 2000; 2004; Павленкова, 1996, 1998, 2001]. Об этом свидетельствует корреляция глубины залегания поверхности астеносферы с интенсивностью теплового потока, подтверждаемая многими исследованиями [Mikami, Hirahara, 1981; Adam, 1978; Hermance, 1983; Глазнев, 2003; Artemieva, 2011]. Чем активней регион, тем ближе к поверхности залегает кровля мантийного проводящего слоя и тем больше его суммарная электропроводность. И наоборот, «холодным» блокам тектоносферы соответствует область выклинивания (или отсутствия) зоны частичного плавления, а глубина залегания мантийного проводящего слоя будет соответствовать не поверхности солидуса, а градиентному понижению сопротивления или возможным фазовым переходам на глубинах 350-420 км [Ваньян, Гордиенко, 1986; Гордиенко, 1990].

Астеносфера юга Восточной Сибири не образует единого слоя, а образует три обособленные астенолинзы – Ангаро-Тунгусскую, Саяно-Байкальскую и Вилюйскую. Ее отсутствие предполагается в пределах Анабарского щита, Енисейского кряжа, Непско-Ботубобинской и Байкитской антеклиз, характеризующихся низкими значениями регионального теплового потока [Лысак, 1992].

*Литосферный проводящий слой*, расположенный в разрезе средней – нижней частях земной коры, был установлен магнитотеллурическими зондированиями. Этому способствовало его относительно неглубокое залегание (15-40 км) и значительное увеличение электропроводности. По данным лабораторных исследований, удельное сопротивление «сухих» пород, типичных для консолидированной коры (гранитов и базальтов), понижается с температурой от  $10^7 - 10^{10}$  Ом·м при  $200^\circ\text{C}$  до  $10^3 - 10^5$  Ом·м при температурах  $600^\circ\text{C}$  [Пархоменко, 1989]. В настоящее время существует две гипотезы, объясняющие такие различия между натурными и лабораторными данными. Первая - электронно-проводящая основана на связи проводящего слоя с графитистыми и сульфидно-графитистыми породами [Семенов, 1979, 1984; Жамалетдинов, 1984, 1996]. Сущность второй - водно-метаморфической гипотезы заключается в образовании свободного надкритического водного флюида в интервале температур  $400-800^\circ\text{C}$ . В пользу водно-метаморфической гипотезы, свидетельствует факт корреляции кровли проводящего слоя с сейсмическими неоднородностями – зонами расслоенной нижней коры и зонами повышенного поглощения сейсмических волн [Краснопевцева, 1987; Трапезников, 1997; Киссин, 2009]. В формировании сейсмической расслоенности нижней коры принимают участие взаимосвязанные процессы, среди которых ведущая роль принадлежит воздействию флюидов, метаморфизму и тектоническому течению вещества [Леонов, 1997]. Зоны повышенного поглощения сейсмических волн выделены во многих регионах и приурочены к нижним частям земной коры и верхней мантии. Поглощение упругих волн связывают с наличием флюида в трещинах и порах и его реакцией при прохождении упругих волн в среде [Кобранова, 1986; Невский и др., 1994; Копничев, Соколова и др., 2003]. Установлена зависимость локализации сейсмических волноводов и электропроводящего слоя от геотермических условий. Оптимальная глубина их кровли соответствует геозотермам  $350-450^\circ\text{C}$ , а также корреляция глубин залегания обеих слоёв со значениями теплового потока [Klemperer et al., 1987; Adam,

1987; Поспеев, 1984]. Эти данные подтверждают, что геотермический режим является одним из основных факторов, контролирующих распределение проводящего слоя в консолидированной коре. Поэтому закономерно, что этот слой наиболее приближен к поверхности в пределах астенолинз, где он имеет наиболее низкие сопротивления и уменьшенную мощность.

К настоящему времени установлено во многих регионах широкое распространение проводящего слоя в консолидированной коре различных структур и он рассматривается многими исследователями, не как геофизическая аномалия, а как регионально распространённый объект, отражающий закономерности развития и тектонического режима структур [Киссин, 2009]. На это указывает характер проводящего слоя в структурах разного возраста и с различной степенью современной или новейшей тектонической активности.

Сибирская кимберлитовая провинция располагается в пределах контуров, ограниченных изолиниями 180-200 км современного положения астеносферы, в пределах поднятых блоков древнего фундамента Сибирского кратона. Литосферный слой залегает на глубине около 40 км и полностью переходит в верхнюю мантию. Сопротивление слоя равно 150-200 Ом.м, мощность составляет порядка 40 км. Согласно геоэлектрической модели, в основу которой положены данные тектоники, петрологии и теплового режима, Сибирская кимберлитовая провинция соответствует «нормальному» геоэлектрическому разрезу антеклиз и щитов (геотермы 4 и 5).

Поскольку размещение проявлений кимберлитового магматизма в пределах Архангельской алмазоносной провинции определяются теми же факторами, что и в пределах Сибирской кимберлитовой провинции, а именно – мощностью и составом земной коры, наличием линейных глубинных деформаций, а также общностью развития алмазоносных структур, автором было сделано предположение и о сходстве их «нормальных» геоэлектрических разрезов. На основании изучения удельного кажущегося сопротивления на фиксированных периодах, относящихся к максимумам кривых МТЗ, на площади исследования были определены три области с различным типом геоэлектрического разреза, одна из которых соответствует «нормальному». На кривых зондирования, полученных в этой области отчётливо выделяются литосферный и мантийный проводящие слои с глубиной залегания 38-40 и 180-240 км соответственно. Эти глубины подтверждаются численным моделированием разреза, результаты которого показали

совпадение теоретических и наблюдаемых кривых. Полученные данные были сопоставлены с результатами трёхмерного моделирования литосферы Архангельской провинции [Глазнев, 2003] и тепловым разрезом Балтийского щита [Глазнев, Раевский, Шаров, 1987]. Анализ показал, что геотерма  $400^{\circ}\text{C}$ , которой соответствует кровля литосферного проводящего слоя, находится на глубинах порядка 40 км. В этом же интервале разреза земной коры находится сейсмический волновод, выделенный на серии разрезов ГСЗ-МОВЗ, выполненных на территории Восточно-Европейской платформы. Глубина возможного солидуса мантийных пород, по оценкам В.Н. Глазнева [Глазнев, 2003] составляет 220-240 км и соответствует глубине мантийного проводящего слоя.

### **Научный результат 3**

**Разноранговые объекты кимберлитового магматизма характеризуются определённым сочетанием геоэлектрических неоднородностей, различающихся по сопротивлению, латеральным размерам и глубинности. Провинции располагаются в пределах контуров, ограниченных изолиниями 180-220 км современного положения астеносферы; районы – в контурах региональных неоднородностей высокого сопротивления. А поля и кусты кимберлитовых трубок локализуются в пределах проводящих субвертикальных зон.**

### **Научный результат 4**

**Кимберлитовый магматизм наиболее вероятен в пределах площадей, пространственно сопряжённых с проводящими неоднородностями, расположенными в узлах пересечения рудоконтролирующих и секущих их систем региональных глубинных разломов. При этом контуры неоднородностей второго порядка отвечают площадям, где вероятность обнаружения кимберлитового магматизма наиболее высока.**

Научные результаты 3 и 4 раскрыты в главах 4 и 5 диссертации и обоснованы на фактическом материале, изложенном в главах 2, 3, 4 и 5.

Кроме мантийного и литосферного проводящих слоёв в земной коре и верхней мантии Восточной Сибири выделяются аномальные зоны и области, имеющие различную глубину залегания, размеры и удельное сопротивление. В отличие от фоновой проводимости локализованные неоднородности можно разделить на проводящие и непроводящие. С точки зрения пространственной характеристики: на

региональные -  $(30-100) \cdot 10^3 \text{ км}^2$ , первого -  $(5-30) \cdot 10^3 \text{ км}^2$ , второго -  $(0.5-3) \cdot 10^3 \text{ км}^2$  и третьего -  $(1-10) \cdot 10^3 \text{ км}^2$  порядков.

Образование неоднородностей связано с процессами перераспределения вещества в эпохи предшествующих фаз активизации. Неоднородности высокого сопротивления образуются преимущественно в результате непосредственного внедрения магм в пределы литосферного проводящего слоя. В пределах *проводящих неоднородностей* породы насыщены минералами-проводниками с хорошими электрическими связями, привнос которых осуществлялся по ряду тектонически ослабленных зон и дизъюнктивным нарушениям.

Одним из главных механизмов образования пористо-проницаемых (проводящих) структур является механизм теплового разуплотнения пород [Зарайский, Балашов, 1978, 1981, 1983]. Он заключается в возникновении межзерновых промежутков при нагревании породы и обусловлен неодинаковым тепловым расширением соседних зерен, различающихся по составу или кристаллографической ориентации. Важным следствием теплового разуплотнения горных пород является значительное увеличение их проницаемости, которая напрямую связана с электропроводностью [Brace et al., 1968]. Экспериментально показано, что избыточное тепловое расширение связано с раскрытием микротрещин, локализованных по контактам зерен [Зарайский, Балашов, 1978, 1981, 1983]. Возникновение связанной системы каналов по межзерновым границам повышает возможность экстракции и переноса компонент-примесей в количествах, достаточных для их последующей концентрации и создания электрически связанной системы. На основе численных и физических экспериментов В.М. Шмоновым с соавторами была дана оценка составляющих проницаемости породы – микротрещиной и поровой (которая определяется наличием в породе наиболее мелких трещин и пор) при высоких температурах давлениях [Шмонов, Витовтова, Жариков, 2002]. В результате показано, что под влиянием высоких давлений на породу сокращается связанность трещинных систем и резко снижается проницаемость. Повышение температуры, напротив, приводит к раскрытию уже существующих и образованию новых микротрещин, что приводит к образованию новых флюидопроводящих каналов и повышению проницаемости.

Проводящие неоднородности, образованные в результате этих процессов, имеют в плане изометричную форму и относятся к неоднородностям первого и более высоких порядков. Другой механизм

образования пористо-проницаемых структур действует в литосфере над бортовыми частями энергогенерирующих образований. Здесь как правило, развиваются региональные линейные проводящие области, (ширина которых может достигать более 100 км), где горизонтальная составляющая теплового потока и вектор температур соизмерим с вертикальным. В зонах больших градиентов возникают избыточные горизонтальные напряжения и избыточные горизонтальные давления, превышающие литостатические в этом направлении.

В настоящее время многими ведущими петрологами [Киссин, 2009; Сафонов, 2002 и др.] субвертикальные проводящие неоднородности, (приуроченные к зонам глубинных разломов) и субгоризонтальный слой повышенной электропроводности (литосферный), рассматриваются как элементы флюидной системы. В области их пересечения осуществляется миграция восходящих флюидов и проводящий литосферный слой может играть роль реактора, где развиваются процессы рудо – и нефтеобразования [Сафонов, 2002]. В таких очагах может происходить экстрагирование рудообразующих компонентов из вмещающих пород и в ходе их дальнейшей эволюции образовываться крупные и мелкие месторождения [Киссин, 2009]. Так же отмечено, что параметры слоя являются свидетельством флюидного и теплового режима регионов.

В связи с этим интересно рассмотреть результаты анализа закономерностей размещения полезных ископаемых в основных рудных районах Восточной Сибири относительно структурного положения мантийного и литосферного проводящих слоев и геоэлектрических неоднородностей, *которые показали, что провинции, районы, крупные узлы и месторождения полезных ископаемых закономерно сопряжены с геоэлектрическими неоднородностями различного класса и ранга в определённых сочетаниях для различных полезных ископаемых.*

Так, например, железорудная провинция расположена в пределах площади, ограниченной изолиниями 100-120 и 180-200 км современного положения поверхности астеносферы. Большая её часть характеризуется региональной зоной повышенной электропроводности в верхней части разреза земной коры, площадью более 150 тыс. кв. км. В пределах проницаемой зоны выделены проводящие неоднородности более высоких порядков, к которым приурочены основные месторождения и рудопроявления Ангарской железорудной провинции.

Саяно-Байкальская металлогеническая провинция расположена в центральной части одноимённой астенолинзы. Рудные районы

провинции пространственно сопряжены с проводящими неоднородностями первого порядка, а месторождения и проявления золота сконцентрированы преимущественно в пределах неоднородностей более высоких порядков.

Сибирская кимберлитовая провинция располагается в пределах наиболее «холодных» блоков Сибирского кратона. Согласно анализу карты гравитационных аномалий в редукции Фая, полученных по спутниковым данным [Andersen, Knudsen, 1998; Andersen et al., 2003; Витте и др., 2009] провинция пространственно тяготеет к Ангаро-Вилуйской зоне растяжения, выраженной полосой региональных минимумов силы тяжести северо-восточного простирания, а также крупной зоне растяжения северо-западного простирания. С зонами растяжения литосферы, трассируемыми системами региональных рифтогенных разломов, связано образование крупных магматических провинций Сибирского кратона: трапповой, щелочно-ультраосновной и кимберлитовой.

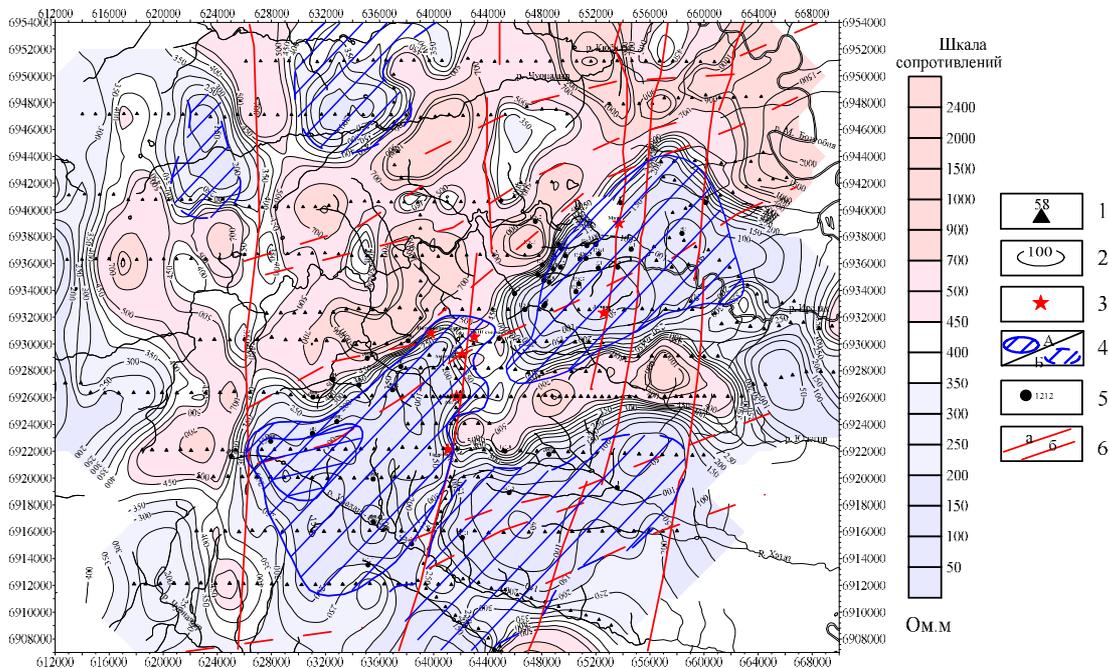
В пределах Сибирской кимберлитовой провинции выделяются четыре алмазоносные субпровинции: Якутская, Присаянская, Байкитская и Ангаро-Тунгусская [Егоров, Барышев и др., 2008]. По данным региональных магнитотеллурических исследований, в пределах Сибирской кимберлитовой провинции выделены закономерно сочетающиеся геоэлектрические неоднородности различного сопротивления. Наибольшие размеры имеет Мирнинская неоднородность высокого сопротивления, которая располагается в западной части Малоботуобинского кимберлитового района на территории Магано-Вилуйского террейна. Здесь сопротивление верхней коры в интервале глубин 3-10 км не превышает 300 Ом.м. Начиная с глубин порядка 10 км, сопротивление возрастает до значений, превышающих 4000 Ом.м. Магано-Вилуйский террейн является составной частью древнего Сибирского кратона, породы которого сформировались около 3 млрд. лет назад и претерпели метаморфизм в гранулитовой фации на рубеже 2,7 млрд. лет. На протяжении всей дальнейшей эволюции кора существенных преобразований не испытывала. Приуроченность кимберлитов к таким областям объясняется правилом Клиффорда, в соответствии с которым алмазоносные кимберлиты располагаются в пределах древних кратонов, не подвергавшихся существенной тектономагматической активизации на протяжении последующих посткимберлитовых этапов развития.

В контурах неоднородностей высокого сопротивления выделены субвертикальные проводящие зоны, пространственно сопряжённые с кимберлитовыми полями.

Важной составляющей поисков проявлений кимберлитового магматизма являются факторы структурного контроля размещения кимберлитовых полей, особенно зон глубинных разломов. Наличие отдельных проницаемых зон для объяснения пространственного размещения кимберлитового магматизма недостаточно. Необходимым условием для обеспечения «сквозной» мантийно-коровой проницаемости являются области пересечения или совмещения проницаемых зон. В этом случае возникает субвертикальная проницаемая область, обеспечивающая корово-мантийное взаимодействие и формирование благоприятных условий для размещения кимберлитовых районов и полей [Кутинов, Чистова, 2007]. В этом плане особый интерес представляют проводящие геоэлектрические неоднородности, расположенные в узлах пересечения зон глубинных разломов, выявленные в пределах кимберлитовых районов Сибирской и Архангельской кимберлитовых провинций.

В *Малоботуобинском районе* Якутской кимберлитовой провинции такие неоднородности выявлены в области пересечения Вилюйско-Мархинской и Укугутской систем разломов [Поспеева, 2004, 2008]. В контурах первых трёх располагается Мирнинское кимберлитовое поле. Первая неоднородность (I) с глубиной залегания верхней кромки 20 км и сопротивлением 80-100 Ом.м ранжируется на неоднородность более высокого порядка – I<sup>1</sup> с глубиной залегания 10 км и сопротивлением 30 Ом.м. На ее восточном фланге, вдоль Западного разлома расположены кимберлитовые трубки Амакинская, Интернациональная, имени XXIII съезда КПСС, Таёжная, а также жилы АН-21 и Южная (рис. 1.).

Параметры второй неоднородности соизмеримы с параметрами первой. В её пределах располагаются кимберлитовые трубки Мир и Дачная. Третья, выделена в районе среднего течения реки Хатат. Она характеризуется более высокой глубиной залегания верхней кромки (15 км) и более низкими значениями удельного сопротивления (30 Ом.м). Центральный разлом рассекает неоднородность и определяет её конфигурацию. На севере исследованного района намечаются ещё две неоднородности (IV и V), расположенные в междуречье рек Кюеллэх и Чуоналыр симметрично по обе стороны Буордахского разлома.



1 - пункты МТ-зондирования; 2 - изолинии удельного сопротивления в Ом·м; 3 - кимберлитовые трубки; 4 - проводящие геоэлектрические неоднородности: А - достоверные, Б - предполагаемые; 5 - скважины глубокого бурения и их номера; 6 - (а) - проекции разломов Вил'юско-архинской системы разломов, (б) - проекции разрывных нарушений У кугутской системы разломов

Рис.1. Схема распределения удельного сопротивления на глубине 30 км в Малотубоубинском алмазоносном районе

На продолжении Виллойско-Мархинской зоны, в области её пересечения со Среднемархинской тектонической зоной, выявлена ещё одна проводящая зона. В её пределах расположено Накынское кимберлитовое поле *Средне-Мархинского района*.

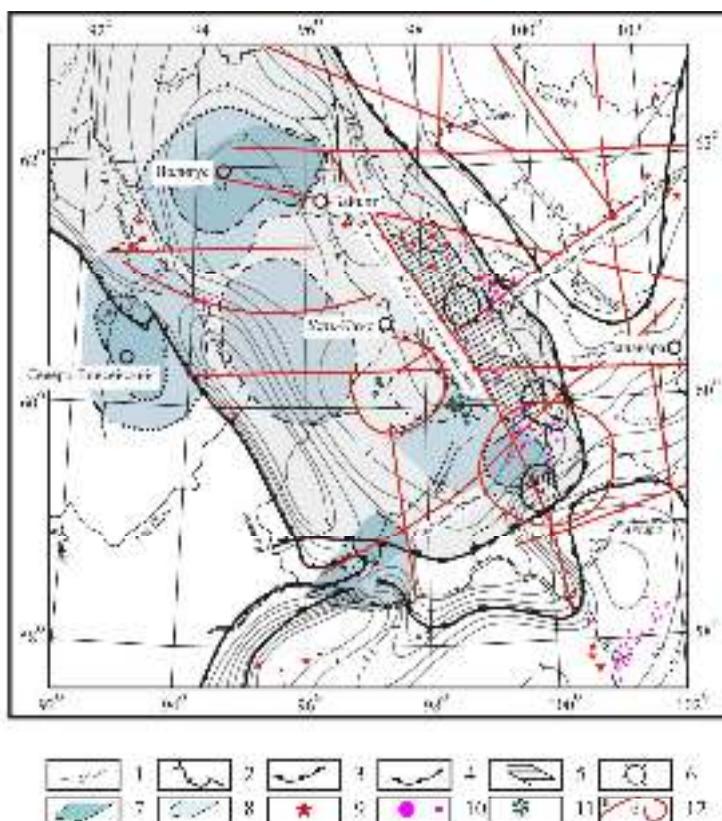
На площади *Далдыно-Алакитского района* породы кимберлитовой формации концентрируются в виде кустов, цепочек тел, формируя два пространственно сближенных поля – Алакит-Мархинское и Далдынское. Размещение этих кимберлитовых полей определяется сложной системой разнонаправленных глубинных рифтогенных разломов, в частности, Далдыно-Оленекской и Виллойско-Котуйской. Это находит отражение в геоэлектрическом разрезе. Неоднородности в обоих полях имеют сложное строение. Неоднородность, в пределах которой располагается *Алакит-Мархинское поле*, представляет собой зону шириной более 50 км, с чередованием участков относительно повышенного и пониженного сопротивления. В пределах последних располагаются кусты кимберлитовых трубок поля.

*Далдынское кимберлитовое поле* находится в пределах двух проводящих зон, разделенных высокоомным блоком коры. Каждая из которых ранжируется на неоднородности более высокого порядка, имеющих явно выраженный наклон боковых границ. К ним приурочены кусты кимберлитовых трубок Далдынского поля.

Таким образом, для кимберлитовых районов ЯАП устанавливаются следующие факторы, контролирующие проявления кимберлитового магматизма:

- глубинные системы рифтогенных разломов и области их пересечения в пределах высокоомного блока земной коры;
- проводящие проницаемые зоны, расположенные в узлах пересечения глубинных разломов.

Эти факторы можно рассматривать как критерии прогнозной оценки алмазоперспективных площадей не только Якутской провинции, но и других, потенциально перспективных территорий Сибирского кратона. Так, в юго-западной части Сибирской платформы к таким площадям относится территория *Тычанского алмазозонного района Байкитской кимберлитовой субпровинции* (рис. 2).



1 - значения поверхности долейбрийских метаморфизмовых пород в мТ; 2 - граница Сибирской платформы (границы  $P_1$ ); 3 - контуры каимберлитовой провинции; 4 - контуры мезозойской провинции; 5 - граница Козьмо-Курдальской зоны; 6 - местонахождение: 1-Чадобашское, 2-Туркестанское, 3-Хитовское, 4-Шуньское; 7 - поле выщелачивания неоморфизмов первого порядка; 8 - поле выщелачивания неоморфизмов второго порядка; 9 - местонахождение; 10 - каимберлит; 11 - местонахождение; 12 -  $\alpha$ -зона глубинных разломов; б - массивные контуры (геологическая карта СССР, м.б. 1:2500 000, 1980)

Рис. 2. Результаты магнитотеллурических исследований в Байкитской кимберлитовой субпровинции

Здесь выделяется проводящая зона, расположенная в области пересечения глубинных разломов северо-западного и северо-восточного простирания. Большепитско-Кислоканская северо-восточного простирания контролирует районы с установленной алмазонасностью и трассируется как продолжение Далдыно-Оленекской зоны Якутской субпровинции. Ангаро-Сользаводская зона разломов контролирует расположение взрывчатых пород алмазонасных участков Чадобецкого района. В зоне сочленения Байкитской антеклизы с Енисейским кряжем, в пределах прогнозируемой Енисейской кимберлитовой провинции [Курганьков, Кузьмин, 2008], выделена ещё одна зона пониженного сопротивления (рис. 2). Она приурочена к узлу пересечения Анкиновской зоны глубинных разломов и оперяющих их глубинных разломов субширотного простирания. Неоднородность пространственно сопряжена с прогнозируемым здесь Вельминским кимберлитовым полем [Курганьков, Кузьмин, 2008].

Перспективы Присяянской кимберлитовой субпровинции, по мнению большинства исследователей связанные с Урикско-Туманшетской интракратонной мобильной зоной (УТМЗ) [Секерин, Меньшагин, Егоров, 1995, 2001], можно расширить за счёт территории Тулуно-Тайшетского Присяянья. Здесь в пределах Нижнеудинского валообразного поднятия выделены Нижнеудинская и Удинская проводящие неоднородности, объединенные в Присяянскую неоднородность первого порядка. Она расположена в области пересечения глубинных разломов субширотного и юго-восточного простираний.

Связь структурных факторов с проявлениями кимберлитового магматизма четко прослеживается и в Зимнебережном кимберлитовом районе Архангельской алмазонасной провинции. В региональном структурном плане район приурочен к узлу пересечения пояса высокой проницаемости северо-западного простирания (Зимнегорский авлакогена) с поперечной структурой повышенной проницаемости северо-восточной ориентировки (Балтийско-Мезенская зона) [Кутинов, Чистова, 2007].

Выявленные здесь проводящие неоднородности, вытянутые цепочкой вдоль Северо-Двинской системы разломов, по существу, объединяются в две зоны пониженного сопротивления – западную и восточную (рис. 3).

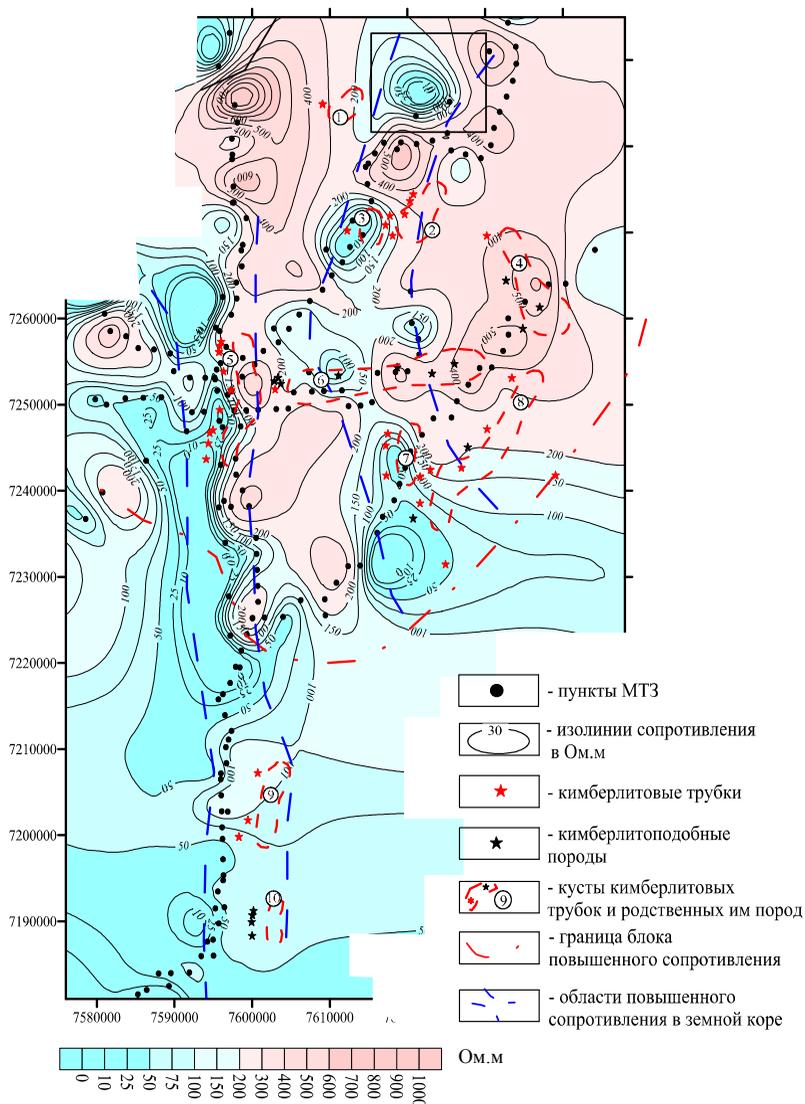


Рис. 3. Схема распределения удельного сопротивления на глубине 30 км в Зимнебережном алмазоносном районе

В западной зоне выделяются три проводящие зоны. Самая северная из них сопряжена с узлом пересечения Северо-Двинской системы с Падунским грабеном. Вторая с глубиной залегания 17-20 км и сопротивлением менее 50 Ом.м пространственно совмещена с Золотицким кустом кимберлитовых трубок и раскрывается в северо-западном направлении. Третья соответствует Ижемскому полю оливиновых мелилититов. Трубка имени Гриба, Шочинский и Ключевой кусты кимберлитовых трубок и родственных им пород приурочены к локализованным проводящим неоднородностям, составляющим восточную зону (рис. 3). Глубина залегания их верхних кромок здесь 20 км, а сопротивление около 80 Ом.м. Проводящие неоднородности восточной зоны располагаются в пределах Зимнебережной высокоомной неоднородности, в пределах которой удельное электрическое сопротивление составляет 500-1000 Ом.м, при среднем сопротивлении пород фундамента 150-200 Ом.м [Поспеева, 2008]. Этот блок земной коры является наиболее стабильным, сохранившимся от интенсивной фанерозойской активизации [Божко, Прусакова, 2007].

Ещё один потенциально алмазоносный район Восточно-Европейской платформы расположен в пределах Карело-Финской кимберлитовой субпровинции. В геоэлектрическом разрезе исследованного района выделяется крупная область высокого сопротивления, ограниченная с обеих сторон субвертикальными проводящими зонами. В её центральной части в интервале разреза 15-35 км фиксируется глубинный объект, сопротивление которого составляет около 300 Ом.м [Поспеева, Витте, 2011]. Он совпадает с выявленной здесь крупной положительной магнитной аномалией [Крутиховская, Кливиденко и др., 1983], связанной с наличием в разрезе земной коры сильно магнитных образований, возможно имеющих связь с процессами магмогенерации и формирования ультрамафит-мафитовых щелочных интрузивных комплексов. [Глебовицкий, Седова, Конопелько, 2005]. Породы, входящие в состав этих комплексов, характеризуются не только высокой намагничённостью (3,8 А/м), но и очень высокими значениями удельного электрического сопротивления, максимальные значения которого (300 Ом.м) характерны для уровня мантийно-корового взаимодействия.

По комплексу геолого-геофизических данных исследованный район относится к площадям перспективным на обнаружение

кимберлитового магматизма. Он располагается в пределах высокоинтенсивной положительной региональной аномалии

магнитного поля, а также гравитационной аномалии близкой по знаку к Кимозерской, в пределах которой выявлено единственное в Карелии месторождение алмазов. Анализ геофизических данных показывает, что Кимозерский ареал кимберлитового магматизма и исследованный район, принадлежат единой крупной тектонической зоне, ограниченной глубинными (мантийными) разломами северо-западного простирания и осложнённые разломами меридионального простирания.

Таким образом, проницаемые проводящие неоднородности, расположенные в узлах пересечения основных рудоконтролирующих и секущих их зон разломов, могли быть использованы кимберлитовой магмой для проникновения в высшие горизонты разреза земной коры.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Проблема поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых в настоящее время может успешно решаться лишь на основе синтеза геолого-петрологических, тектонических и геофизических данных. Именно такой подход был осуществлён в диссертационной работе. Использование наряду с анализом результатов магнитотеллурического зондирования также других геолого-геофизических методов, позволило автору провести глубокий анализ строения и эволюции земной коры для целей выделения алмазоносных провинций, полей и кустов кимберлитовых тел. Многоплановость и сложность проблемы, различный уровень изученности предположительно алмазоносных объектов, обусловили разную глубину проработки отдельных вопросов и дискуссионность некоторых выводов. Особенно это касается вопросов эволюции земной коры в связи с проблемой алмазоносности.

2. Ввиду сложности поставленной задачи автором была разработана методика интерпретации данных МТЗ для условий кимберлитовых районов. В частности, для каждого кимберлитового района составлены унифицированные схемы геоэлектрических разрезов осадочного чехла, позволившие выделить основные типы геоэлектрических структур, искажающих поперечную составляющую магнитотеллурического поля. Целесообразность использования одномерной инверсии продольных кривых связана с особенностями

строения земной коры кимберлитовых провинций, а именно высоким её сопротивлением и сложным характером распределения в ней проводящих неоднородностей, являющихся объектом изучения. По результатам 2D и 3D моделирования составлены специальные номограммы, позволяющие определять параметры объектов с высокой проводимостью. Для построения «нормальных» разрезов для регионов с различной термодинамической активностью были использованы петрологические и геотермические модели, а также данные о составе и условиях образования глубинных комплексов. Анализ этой огромной информации открывает новые возможности для более глубокой разработки проблемы строения и эволюции земной коры кимберлитовых провинций и позволяет расширить возможности интерпретации магнитотеллурических данных.

3. В результате исследований показано, что региональная структура распределения электропроводности в разрезах кимберлитовых районов Сибирской и Архангельской кимберлитовых провинций осложнена обширными областями повышенного сопротивления на коровом и мантийном уровнях. Таковыми являются Мирнинская, Мунская и Зимнебережная неоднородности высокого сопротивления. По данным геолого-петрологических исследований наиболее вероятным источником подобных аномалий являются продукты кристаллизации на этих глубинных уровнях магматических расплавов (базитового и гипербазитового составов). В их пределах выделены субвертикальные проводящие зоны, в ряде случаев ранжирующиеся на неоднородности более высоких порядков. Они располагаются выше корового проводящего слоя, в узлах пересечения рудоконтролирующих систем глубинных разломов, и могут являться транспортными путями для проникновения кимберлитовой магмы в верхние горизонты разреза земной коры.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. **Поспеева Е.В.** Результаты глубинных магнитотеллурических исследований в Якутской алмазонасной провинции [Текст] / **Е.В. Поспеева**, В.И. Поспеев // Обеспечение научно-технического прогресса геофизических исследований в Восточной Сибири. – Иркутск: 1987. – С. 107-116.

7. **Поспеева Е.В.** Математическое моделирование при решении прямой задачи ГМТЗ в условиях Малоботуобинского алмазонасного района [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Геология и геофизика. – 1988. – № 9. – С. 106-109.

2. **Поспеева Е.В.** Моделирование Далдыно-Алакитского кимберлитового района [Текст] / **Е.В. Поспеева**, О.Н. Кильдюшевская // Ускорение научно-технического прогресса при геофизических исследованиях в Восточной Сибири. – Иркутск, 1989. - С. 59-64.

3. Алакшин А.М. Глубинное строение и геодинамика Саяно-Байкальской горной области и сопредельных регионов [Текст] / А.М. Алакшин, С.В. Лысак, Б.М. Письменный, А.В. Поспеев, **Е.В. Поспеева** // Глубинное строение территории СССР. – М.: Наука. - 1991. – С. 88-106.

4. **Поспеева Е.В.** Предварительные результаты ГМТЗ в Тычанском алмазонасном районе [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Вопросы алмазонасности юго-запада Сибирской платформы. Красноярск. - 1992. - С. 35-43.

5. **Поспеева Е.В.** Глубинное строение литосферы южной части Якутской кимберлитовой провинции по данным МТЗ и МОВ-ОГТ [Текст] / **Е.В. Поспеева**, Я.Я. Биезайс, Е.И. Борис, Ю.А. Дукарт, Л.В. Максимкина // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. – Воронеж, 2001. - С. 323-328.

6. **Поспеева Е.В.** Глубинное строение юга Восточной Сибири по результатам магнитотеллурических зондирований [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Проблемы прогнозирования поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Воронеж. - 2003. - С. 266-331.

7. **Поспеева Е.В.** Магнитотеллурические исследования при поисках алмазов [Текст] / **Е.В. Поспеева**, А.В. Манаков, В.А. Матросов // Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях. – Томск, 2003. - С. 231-235.

8. Сараев А.К. Особенности проявления кимберлитовмещающего разлома в Накыном поле по данным АМТЗ / А.К. Сараев, М.И. Пертель, А.Б. Никифоров, М.Н. Гарат, А.В. Манаков, В.М. Жандалинов, **Е.В. Поспеева** // Проблемы прогнозирования поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. – Воронеж, 2003. - С. 539-543.

9. **Поспеева Е.В.** Магнитотеллурические исследования в Малоботуобинском районе в связи с проблемой прогнозирования коренных месторождений [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Вопросы методики прогнозирования и поисков коренных месторождений. – Якутск, 2004. - С. 225-231.

10. **Поспеева Е.В.** Геоэлектрические неоднородности земной коры в связи с кимберлитовым магматизмом юга Якутской алмазонасной провинции [Текст] / **Е.В. Поспеева**, А.В. Манаков, В.А. Матросов // Вестник Воронежского государственного университета. - 2004. - № 1. - С. 137-147.

11. Манаков А.В. Магнитотеллурические зондирования при поисках алмазов в западной Якутии [Текст] / А.В. Манаков, **Е.В. Поспеева**, В.А. Матросов, А.К. Сараев, Д.А. Алексеев // Геология алмазов – настоящее и будущее. Воронежский государственный университет. - 2005. - С. 1429-1449.

12. Манаков А.В. Применение метода магнитотеллурических зондирований в алмазопроисловых работах / А.В. Манаков, **Е.В. Поспеева**, В.А. Матросов, А.К. Сараев, Д.А. Алексеев // Записки Горного института. Санкт-Петербург. - 2005. - Т. 162. - С. 45-49.

13. **Поспеева Е.В.** Магнитотеллурические исследования в Зимнебережном алмазонасном районе при прогнозировании коренных месторождений алмазов [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Наука и образование (Якутский государственный университет им. М.К. Амосова). - 2006. - № 2. - С. 27-38.

14. **Поспеева Е.В.** Методическое пособие по применению магнитотеллурических зондирований при среднемасштабных алмазопроисловых работах [Текст] / **Е.В. Поспеева**. – Мирный, 2006. – 75 с.

15. **Поспеева Е.В.** Тектоносфера Восточной Сибири по данным глубинных электромагнитных зондирований [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Глубинный магматизм его источники и проблема плюмов. – Иркутск, 2006. - С. 241-262.

16. Бессмертный С.Ф. Изучение особенностей строения консолидированной коры Далдыно-Алакитского района по данным региональной сейсморазведки МОВ-ОГТ и электроразведки МТЗ [Текст] / С.Ф. Бессмертный, **Е.В. Поспеева**, О.И. Овчинникова // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. Якутск, Издательство ЯНЦ СО РАН. - 2008. - С. 55-62.

17. **Поспеева Е.В.** Литосферные геоэлектрические неоднородности как один из критериев кимберлитоперспективных площадей [Текст] / **Е.В. Поспеева** // Геофизика. - 2008. - № 5. - С. 51-57.

18. **Pospeyeva E.V.** Application of Medium-Scale Magnetotelluric Sounding to Identify Deep Criteria for Promising Areas for Kimberlitic Exploration [Текст] / **E.V. Pospeyeva** // Tikhookeanskaya Geologia. - 2008. - V. 2. - N 3. - P. 18-32.

19. Неvedрова Н.Н. Комплексная интерпретация данных электромагнитных исследований с естественным и контролируемым источником в сейсмоактивных районах (на примере Горного Алтая) [Текст] / Н.Н. Неvedрова, **Е.В. Поспеева** // Геофизический журнал. Институт геофизики НАН Украины. - 2009. - Т. 31. - № 4. - С. 142-158.

20. Неvedрова Н.Н. Интерпретация данных электромагнитных методов в сейсмоактивных районах (на примере Чуйской впадины Горного Алтая) [Текст] / Н.Н. Неvedрова, **Е.В. Поспеева**, А.М. Санчаа // Физика Земли. - 2011. - № 1. - С. 63-75.

21. **Поспеева Е.В.** Особенности строения земной коры Беломорского и частично Карельского блоков по данным магнитотеллурических зондирований [Текст] / **Е.В. Поспеева**, Л.В. Витте // Геофизика. - 2011. - № 3. - С. 64-72.

22. Эпов М.И. Геоэлектрическое строение земной коры Чуйской впадины Горного Алтая на основе комплексной интерпретации данных электромагнитных методов с контролируемым и естественным источником (МТЗ, ЗС) [Текст] / М.И. Эпов, Н.Н. Неvedрова, **Е.В. Поспеева**, А.М. Санчаа, В.В. Потапов // Динамика физических полей Земли. – М.: Светоч Плюс, 2011. – С. 31-53.

23. Оленченко В.В. Распространение толщи мерзлых пород в Чуйской впадине (Горный Алтай) по данным электромагнитных зондирований / В.В. Оленченко О.Н. Кожевников, Е.Ю. Антонов, **Е.В. Поспеева**, В.В. Потапов, А.Н. Шенин, С.М. Стефаненко // Криосфера Земли.- 2011. - Т. 15. - № 1. - С. 15-22.

24. Эпов М.И. Особенности состава и строения земной коры краевой части Сибирского кратона (в зоне влияния рифтогенных процессов) по данным магнитотеллурических зондирований [Текст] / М.И. Эпов, **Е.В. Поспеева**, Л.В. Витте // Геология и геофизика. - 2012. - Т. 53. - № 3. - С. 380-399.

25. Семинский К.Ж. Межблоковые зоны северо-западного плеча Байкальского рифта: результаты комплексных геолого-геофизических исследований по профилю п. Баяндай – м. Крестовский / К.Ж. Семинский, О.Н. Кожевников, А.В. Черемных, **Е.В. Поспеева**, А.А. Бобров, В.В. Оленченко, М.А. Тугарина, В.В. Потапов, Ю.П. Бурзунова // Геология и геофизика. - 2012. - Т. 53. - № 2. - С. 250-269.

Технический редактор Е.В.Бекренёва

---

Подписано в печать 30.10.2012

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

Печ.л. 2,0. Тираж 130. Зак. № 81

---

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3