

КОРОТКОВ Юрий Васильевич

**ПОИСК СКРЫТЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИМПУЛЬСНОЙ ИНДУКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ В
АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных
ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена в Институте экологических проблем Севера
Архангельского научного центра Уральского отделения Российской академии
наук (ИЭПС АНЦ УО РАН)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Кутинов Юрий Григорьевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Пахомов Владимир Иванович (РГГРУ)

кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Абрамов Владимир Юрьевич (РУДН)

Ведущая организация: Институт Физики Земли Российской академии
наук (ИФЗ РАН) Москва.

Защита состоится «26» января 2012 года в 13.00 часов на заседании
диссертационного совета Д 212.121.04 при Российском государственном
геологоразведочном университете по адресу 117997, г. Москва, ул. Миклухо-
Маклая, 23, ауд. 533.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГГРУ по адресу г.
Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23.

Автореферат разослан « 24 » декабря 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент



А.И. Бобков

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Алмазоносные кимберлиты, лампроиты и родственные им породы Восточно-Европейской платформы (ВЕР) распространены на северо-западе Российской Федерации в пределах Архангельской области, Кольского полуострова и Карелии. Кроме этого, кимберлиты и лампроиты отмечены в центральной части Финляндии (поле кимберлитов Каави-Куопио и лампроиты Лентиры-Куусамо). В настоящее время Архангельская алмазоносная провинция (ААП) представляет большой практический интерес, являясь второй после Якутии территорией Российской Федерации с разведанными запасами коренных месторождений алмазов. Закрытость большей части территории мощной толщей осадочных отложений и особенности их геологического строения не позволяет использовать традиционные методы поиска (геохимический, шлиховой и мелкообъёмное опробование). По этой причине для поисков кимберлитовых тел в основном используют геофизические методы, и это во многом оправдало себя. Геофизические работы на территории ААП интенсивно проводятся с начала 80-х годов прошлого столетия. Таким способом было открыто большое количество кимберлитовых тел, в том числе два богатых месторождения алмазов, среди которых одно является крупнейшим в мире – это месторождение имени М.В. Ломоносова, промышленное освоение которого началось в 2003 году. Несмотря на все достигнутые успехи на этом направлении в настоящее время наметилась тенденция резкого спада эффективности поисковых работ, что обусловлено снижением интенсивности используемых физических параметров, приближением их к уровню помех, сравнимых с пороговыми ограничениями измерительных возможностей приборов. Изучение уже известных магматических тел в толщах вмещающих осадочных отложений и попытка объяснения процесса их образования, причём для каждого случая отдельно, позволяют сделать вывод, что все магматические проявления – это, в первую очередь, деструктивные неоднородности в сформировавшемся относительно горизонтальном залегании пород. Поэтому предлагается отойти от сложившейся традиции поиска таких тел, основанного только на заверке

наиболее контрастных по магнитным свойствам аномалий к поиску по структурно-тектоническому критерию.

Целью работы являлась разработка технологии поиска кимберлитовых тел на основе выделения и отслеживания структурно-тектонических изменений. В соответствии с этим были поставлены и решались следующие задачи:

1. Провести исследования на известных трубках взрыва для выделения признаков их проявления в электромагнитном поле. Рассмотреть структурные изменения вмещающих пород в пределах зоны влияния кимберлитовых тел.

2. Выполнить измерения разными методами электроразведки и методиками в методах на известных трубках.

3. Провести работы на участках без предварительного бурения и оценить эффективность методов в выявлении и картировании кимберлитовых тел в различных геологических обстановках.

4. Создать электромагнитную модель трубки взрыва, возможных аномалий-помех и установить особенности их отличий.

Защищаемые положения:

1. Разработана новая технология поиска трубообразных тел на основе выделения и отслеживания тектонических структурных нарушений с использованием электроразведочного метода переходных процессов.

2. Составлена геолого-геофизическая модель кимберлитоконтролирующей структуры, которая выражена характерными изменениями проводимости (сопротивления) пород в местах проявления магматизма.

3. Создана модель трубки взрыва на основе изменения проводимости за счёт реструктуризации пород, вызываемой экзоконтактовым воздействием кимберлитовых тел, что может быть эффективно использовано в поисковых работах и при выделении непосредственно самих трубок в толщах осадочных отложений.

Фактический материал. Основанием для подготовки диссертации стал фактический материал, полученный по результатам наземных геофизических исследований, сопоставленный с результатами работ другими методами и различной аппаратуры в методах. В основу диссертации положены

электроразведочные материалы, полученные в рамках поисковых работ, выполнявшихся компанией «АПРОСА-Поморье» на территории Архангельской области по различным кимберлитовым полям, а также опытные работы в алмазоносных провинциях Якутии и на территории Финляндии. В большем своём объёме представляемые работы проводились в порядке личной инициативы, в том числе на незапланированных смежных участках, в период 2002-2009 гг. За это время проведены исследования на 28 известных трубках взрыва, а также на аномальных участках (~500), где затем были выявлены 6 кимберлитовых тел.

Научная новизна.

1. По результатам исследований были определены возможности и перспективы электроразведочных методов в поиске кимберлитовых трубок, при этом установлены критерии их выделения.

2. Созданы геолого-геофизические модели кимберлитовых тел и зон повышенной проницаемости разломов, изучены аномалии-помехи с особенностями их проявления в электромагнитном поле.

3. Кимберлитовые тела контролируются зонами повышенной электропроводности со сквозным проникающим положением по отношению к вмещающим породам. Более того, установлено, что отсутствие таких зон на аномальных (по магнитным свойствам) участках полностью исключает наличие поисковых объектов (их магматическое происхождение).

Практическая значимость. По статистике сегодня для выявления одного магматического тела необходимо заверить более 100 магнитных аномалий, при этом требуется ~50000 м колонкового бурения (~350-400 скважин). Применение электроразведки с использованием структурного критерия, как основного показателя деструктивных изменений, вносимых диатремами, позволяет сократить ненужные затраты на их поиск и способствует открытию новых месторождений алмазов, необходимых для пополнения алмазного фонда страны.

Апробация работы и публикации. Основные результаты исследований обсуждались на конференциях и совещаниях: «Геология алмазов – настоящее и

будущее» (Воронеж, 2005); IV Международном геофизическом научно-практическом семинаре «Применение современных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых» (Санкт-Петербург, 2006); научно-практическом семинаре по теме «Использование электроразведки ЗМПП при поисках коренных месторождений алмазов» (Мирный, 2007); научной конференции «Исследования Российской Арктики: прошлое, настоящее, будущее» (Архангельск 2008); Всероссийской конференции с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» (Архангельск, 2008); XV Всероссийской конференции с международным участием «Геологические опасности» (Архангельск, 2009); XV Геологическом съезде Республики Коми «Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России» (Сыктывкар, 2009). Основные положения работы изложены в 9 научных публикациях: 1 монографии «Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов» (Новосибирск, 2010). 3 статьи в журналах из списка ВАК: «Записки Горного института» Санкт-Петербург, 2008, «Вестник Поморского Университета», Архангельск, 2007 и «Геофизические исследования», Москва, 2011; а также в 5 статьях в материалах конференций.

Объём и структура работы. Диссертация объёмом 155 страниц текста, состоит из введения, четырёх глав и заключения, содержит 72 рисунка и список литературы, включающий 87 наименований.

Благодарности. Автор выражает благодарность всем, кто оказывал помощь и поддержку в проведении исследований и в подготовке работы, в первую очередь своему научному руководителю д.г-м.н. Кутинову Ю.Г. Автор признателен руководству компании «АЛРОСА-Поморье» и лично директору к.г-м.н. Вержаку В.В. за предоставленную возможность проводить исследования в рамках проектных работ на лицензионных площадях компании. Также автор признателен за моральную поддержку д.ф-м.н Александрову П.Н., д.ф-м.н Барсукову П.О., к.т.н. Стогнию Вас.В., к.т.н. Фельдману И.С.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава I

В первой главе представлены краткие сведения по геологии, тектонике и магматизму Архангельской алмазонасной провинции (ААП). Даны характеристики некоторых полей и трубок взрыва Зимнебережного алмазонасного района (ЗАР).

Основные черты геологического строения территории ААП определяются её приуроченностью к зоне сочленения Московской и Мезенской синеклиз и Балтийского щита. Кристаллический фундамент представлен породами архей-нижнепротерозойского возраста, который перекрывают, залегая с угловым и стратиграфическим несогласием, породы верхнепротерозойско-палеозойского комплекса и отложения верхнепалеозойского и кайнозойского возрастов. Породы осадочного чехла в целом представлены кайнозойскими, палеозойскими, вендскими и рифейскими образованиями, их залегание сопровождается стратиграфическими перерывами. Палеозойские породы, представленные терригенными и карбонатными отложениями карбона и перми, развиты не повсеместно, преимущественно на востоке области, и залегают с разрывом на породах венда, перекрыты четвертичными отложениями.

Регион работ по своему географическому положению является уникальной окраинно-материковой геоструктурой с высокой степенью блоковой делимости земной коры, современные границы которой находятся у бортов зоны, переходной от континента к океану в полосе шельфа Белого, Баренцева и Северного морей. Окраинно-материковое положение определяет регион как область максимальных напряжений геодинамических движений литосферы. По данным КМПВ и МТЗ поверхность фундамента имеет ступенчато-клавишное строение, обусловленное чередованием выступов и впадин (грабен) северо-западного простирания, которые разделены разломами [Третьяченко, Вержак и др., 2006]. При этом древние формы рельефа за счет унаследованного развития, как и в других районах Русской платформы, достаточно прямо отражают элементы тектонических структур [Игнатов, Васильев, 2009]. Тектоническая

схема кристаллического фундамента севера Восточно-Европейской платформы (ВЕП) представлена на рис. 1.

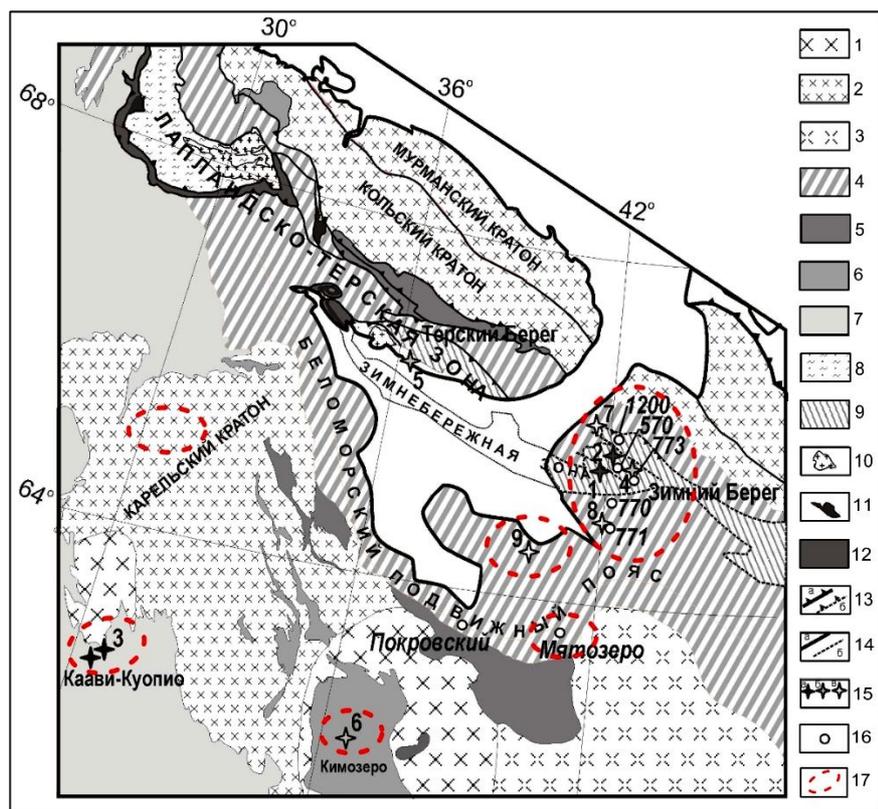


Рис. 1. Тектоническая схема кристаллического фундамента севера ВЕП 2009, составлена группой авторов: Самсонов, Носова, Третьяченко, Ларченко, Ларионова, с использованием данных (Погребницкий, Шимараев и др., 1993; Daly Balagansky и др.,

2001; Kostinen, Stephens и др., 2001)

Условные обозначения: 1-3 -архейские блоки: 1 -мезоархейские, 2 -неоархейские, 3 -неустановленного возраста; 4 -Беломорский подвижный пояс; 5-12 -палеопротерозойские структуры: 8-12 -структурные зоны: Лапландско-Терская и Зимнебережная; 13-14 -тектонические нарушения: 13 -надвиги, 14 -прочие; 15 -проявления (поля) кимберлитового и родственного магматизма; 16 -точки опробования (скважины, их номера, карьеры), 17 -участки проведения исследований.

Элементы дизъюнктивной тектоники северо-восточного простирания менее отчётливо выражены в структуре чехла. В потенциальных геофизических полях они проявляются как сдвиговые по отношению к элементам северо-западного простирания. По электроразведочным данным им соответствуют зоны повышенной проводимости, выделяемые в отложениях платформенного чехла [Прусакова, 2004]. В пределах Зимнебережного района установлена пространственная связь такого типа линеаментов (нарушений) с градиентными зонами в фундаменте, выделенными в качестве разрывных нарушений по

геофизическим данным [Игнатов и др., 2008]. В последнее время этой территории уделяется большое внимание, в связи с обнаружением в её пределах проявлений платформенного магматизма щелочно-ультраосновного состава. Только в одном Зимнебережном районе Архангельской области в 80-е годы прошлого столетия было открыто более 60 трубок и силлов кимберлитов и родственных им пород (пикриты, оливиновые мелилититы, щелочные базальты), которые дали название новой алмазоносной провинции мира - Архангельская провинция (Веричев и др., 1991; Синицын и др., 1992). ААП является одной из самых перспективных, в настоящее время здесь формируется база алмазной индустрии Европейского Севера РФ, но до сих пор она относится к слабо освоенным территориям и характеризуется сложными природно-климатическими условиями.

К настоящему времени широко распространилось представление о геолого-структурной связи магматитов с зонами разломов. Невозможность проникновения магматических расплавов сквозь монолитные толщи горных пород является прямым указанием на существование зон повышенной проницаемости в земной коре. Такие зоны служили магмоводами для кимберлитовых расплавов, в качестве которых могли выступать также трещины скола, отрыва и оперяющие зоны рудоконтролирующих разломов, что подтверждается пространственным размещением трубок на некотором удалении от разломов регионального масштаба. Такого рода нарушения являются относительно небольшими, малоамплитудными по горизонтальной составляющей, и в закрытых районах геологическими визуальными наблюдениями они обычно не диагностируются. Эти нарушения долгое время не выделялись, это обусловлено тем, что кимберлиты локализованы в скрытых оперяющих зонах нарушений мелкого порядка [Игнатов, Васильев, 2009]. Тем не менее, неоднократно отмечались тектонические изменения и ореолы вторичных микроминералов в экзоконтакте некоторых трубок (Эринчек и др., 1997; Соболев и др., 2003; Игнатов, 2006, 2008). Например, на известных объектах в карьерах и в отдельных скважинах наблюдается осветление пород кимберлитов. То есть имеют место признаки древних локальных структур,

которые контролируют положение кимберлитовых трубок, и в этой связи представляется важным изучение палеотектонической позиции трубок и признаков нарушений во вмещающих породах венда [Игнатов, 2006, 2008]. В настоящее время существует возможность техническим путем решать данную проблему, с подбором необходимых технологий и средств измерения. Возможная дифференциация физических свойств вмещающих пород венда по мере приближения к кимберлитам ранее уже устанавливалась и по данным изучения физических параметров пород у трубки Белая (Добрынина, Александров и др., 2004).

Глава 2

В главе 2 рассмотрено положение дел на сегодняшний день в алмазопромышленной отрасли, роль геофизических методов в ходе этих работ, и представлена технология поиска магматических тел на основе выделения и отслеживания тектонических нарушений. Составлена физико-геологическая модель (ФГМ) объектов поиска и возможных помех. Разделы 2.1 и 2.2 посвящены обоснованию первого защищаемого положения диссертации: *«Разработана новая технология поиска трубообразных тел на основе выделения и отслеживания тектонических структурных нарушений с использованием электроразведочного метода переходных процессов».*

В поиске кимберлитовых тел Архангельской алмазодобывающей провинции (ААП) в настоящее время используется сформировавшийся комплекс работ, который в своём методическом исполнении не отличается от комплекса, используемого во всём мире. В то же время известен целый ряд прецедентов в Архангельской и Якутской провинциях, где кимберлитовые тела были обнаружены не по сложившимся определённым понятиям, как это характерно для многих известных трубок, а вышли за рамки выбранных критериев. Отсюда возникает необходимость определения иных закономерностей проявления кимберлитовых тел возможно более универсальных и менее зависимых от физических свойств пород. Для поиска кимберлитовых тел предлагается технология ведения работ на основе выделения и картирования элементов структурных нарушений (структурный критерий) сопровождавших

магматические процессы. В пределах таких нарушений горные породы подвержены реологическим, физическим, петрографическим и структурным преобразованиям. Характерным для них является повышенная трещиноватость, наличие интенсивного дробления, изменение физических параметров, в частности сопротивлений пород, диэлектрической проницаемости, магнитной восприимчивости [Кутинов, Чистова, 2004]. Разломы (рудовмещающие зоны) имеют свои отличительные характеристики от основного фона вмещающих пород, прежде всего - это вертикальные «структуры». По таким каналам (зонам), в отличие от ненарушенных участков, осуществляется усиленная инфильтрация газовых и жидкостных флюидов, что затем находит своё продолжение в перекрывающих толщах, и это можно объяснить на основе теории перкуляции (просачивания) флюидов в земной коре. С увеличением содержания флюидов в зонах нарушений меняется плотность и повышается электропроводность пород (рис. 2).

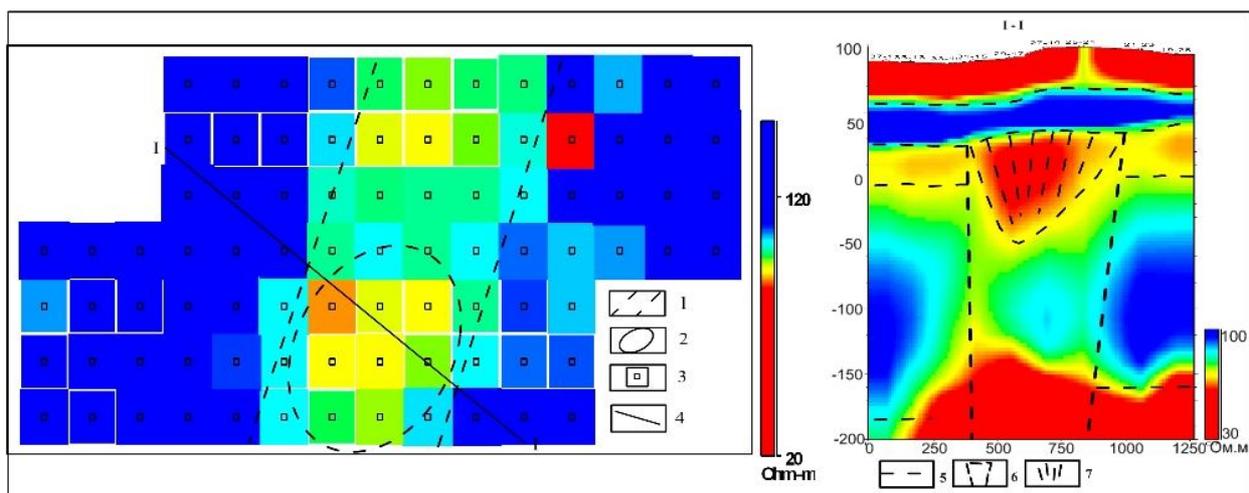


Рис. 2. Геоэлектрический срез в интервале глубин 140-160 м и вертикальный разрез по данным измерений МПП (TEM-FAST)

Условные обозначения: 1 -линейная аномальная зона по проводимости, 2 - локальный изометричной формы проводник, 3 -измерительная петля 100×100 м с отметкой центра, 4 -линия геоэлектрического разреза, 5 -границы выделяемых слоёв; 6 -контуры трубки взрыва. 7 -вертикальная трещиноватость.

Эти и многие другие обстоятельства обеспечивают принципиальную возможность распознавания подобных структур геофизическими методами. На геоэлектрических «срезах», представляющих площадное распределение $\rho_k(t)$

они проявляются линейными и узколокализованными относительно основных геологических структур проводящими зонами (рис.3).

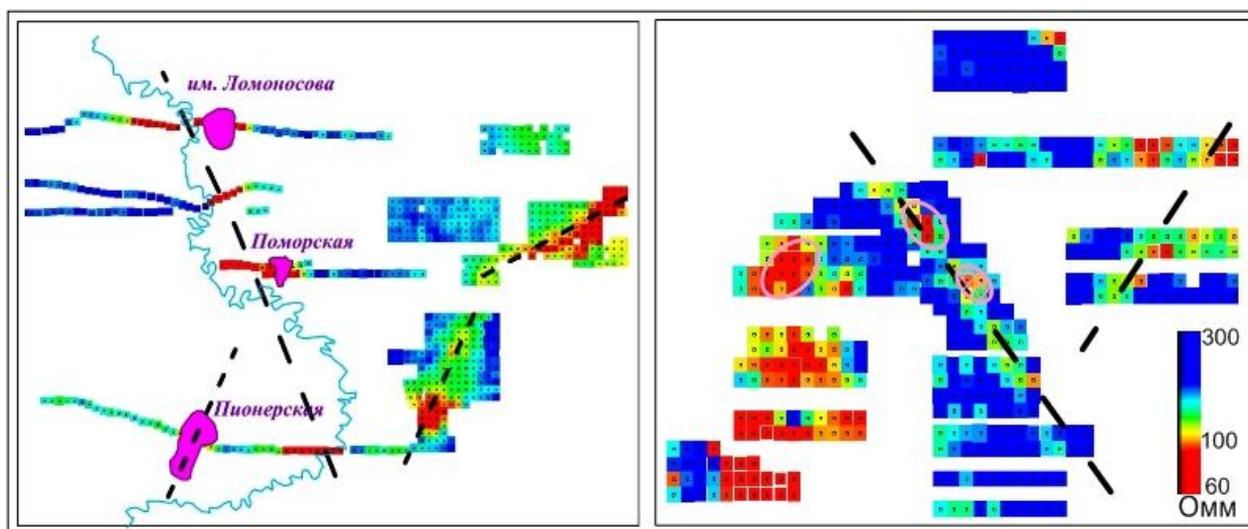


Рис. 3 Схемы геоэлектрических «срезов» площадок, объединяющих несколько участков с проявлением линейных структур (TEM-FAST)

У электроразведки для выявления таких деструктивных нарушений имеется большой диапазон методических возможностей и здесь важно выбрать ту методику, которая могла бы это делать наилучшим образом. С этой целью на полигоне «Трубка Белая» и ряде других известных трубок были выполнены работы различными геофизическими методами с использованием нескольких технологических разработок, по результатам которых выбран метод на основе использования аппаратуры TEM-FAST-48НРС. В ходе опытных работ на известных трубках взрыва и при заверке локальных магнитных аномалий было установлено правило, заключающееся в том, что в стадии заверки очень важно с помощью наземных электроразведочных измерений получить подтверждение о принадлежности их к линейным проводящим (сквозным по отношению к геологическим структурам) зонам. Поэтому во главу поиска предлагается ставить выделение и отслеживание разрывных тектонических нарушений с последующим рассмотрением в их рамках локальных неоднородностей, которыми могут быть также слабые магнитные аномалии [Коротков, 2005]. Дальнейшая детализация этих участков позволяет получить необходимую информацию для определения природы данного аномального проявления. Кимберлитовые тела контролируются зонами повышенной электропроводности

(рис. 3). Эти зоны по отношению к вмещающим породам имеют сквозное проникающее положение. Более того, установлено, что отсутствие таких зон на аномальных (по магнитным свойствам) участках исключает наличие тел магматического происхождения (рис. 4).

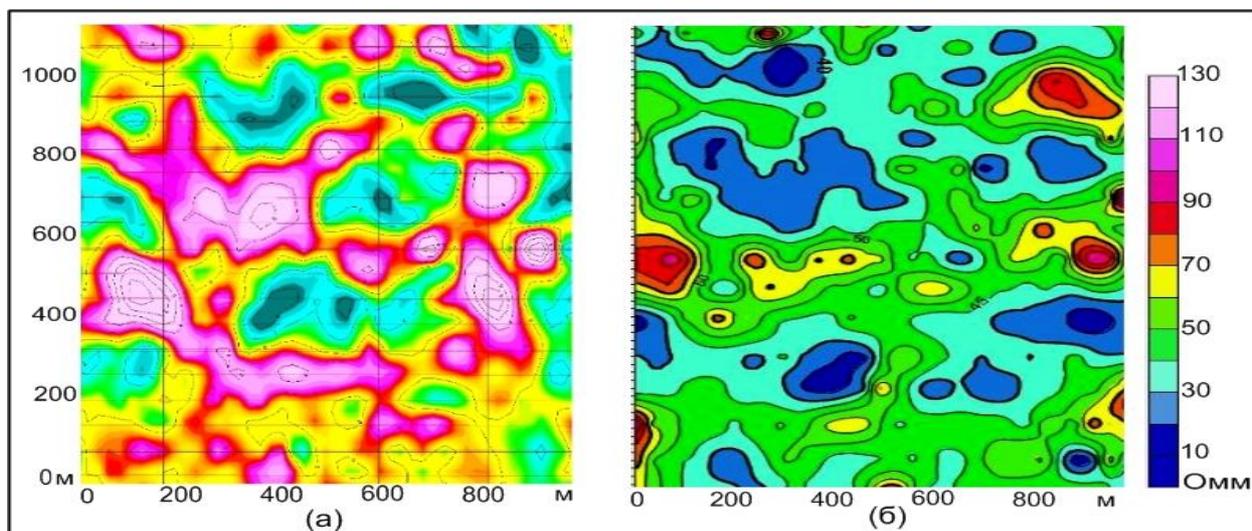


Рис. 4 Локальное магнитное поле (а) и площадное распределение $\rho_k(t)$ на условно перспективной площадке

На рис. 4 приведён пример, где по площадному распределению $\rho_k(t)$ (б) из-за отсутствия линейных проводящих зон можно сделать заключение о бесперспективности магнитных аномалий (а). Таких магнитных аномалий по данным аэромагнитной съёмки (масштаба 1:10000 и 1:5000) выделяется очень много. В геологическом отношении большинство из них наблюдается в депрессиях дочетвертичного рельефа, в первую очередь, в древних палеодолинах, морских и озерных котловинах, выполненных различными генетическими и литологическими разностями четвертичных отложений, что можно хорошо наблюдать на геоэлектрических разрезах (рис. 5).

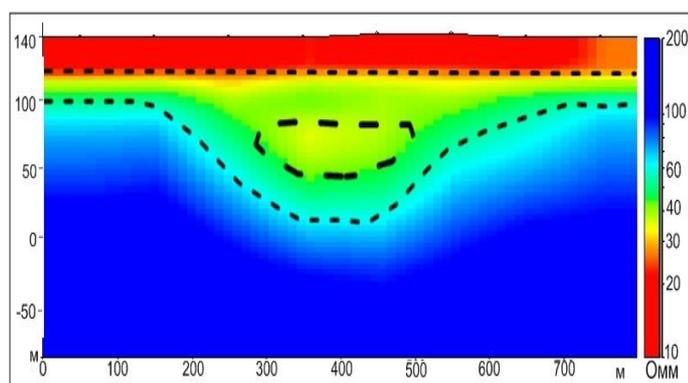


Рис. 5 Разрез $\rho_k(h)$ по данным МПП через магнитную аномалию, вызванную четвертичными отложениями в депрессии дочетвертичного рельефа

Высокая чувствительность аппаратуры TEM-FAST-48НРС к вертикальным неоднородностям позволяет наблюдать слабые проявления тектонических нарушений в экзоконтакте рудореализации магматизма, свойственные только этим процессам.

В разделе 2.3 дано обоснование второго защищаемого положения: *«Составлена геолого-геофизическая модель кимберлитоконтролирующей структуры, которая выражена характерными изменениями проводимости (сопротивления) пород в местах проявления магматизма».*

При поиске непосредственно самих кимберлитовых тел или их проявлений важна верхняя часть осадочного чехла ~300-350 м. В пределах этого интервала всю толщу пород можно представить в виде обобщённой литолого-физической модели, состоящей в основном из трёх слоёв, где породы различаются по значениям кажущегося сопротивления (ρ_k). Верхней частью этой модели является перекрывающая толща, затем комплекс вмещающих пород и подстилающие, обычно относительно низкоомные по сопротивлению породы, что позволяет рассматривать их в качестве маркирующего горизонта для электроразведочных МПП работ. В этой модели наибольший интерес представляют вмещающие породы промежуточного слоя, к которому относятся вендские отложения (Vzl). В целом рассматриваемая толща пород представляет собой мощный весьма пластичный массив со слабой цементацией, что приводит к существенному сглаживанию и «залечиванию» всех неровностей в ней и под ней. Тем не менее, как показывает практика, эта толща, а также перекрывающие породы, являясь слабо дислоцированными и практически горизонтально залегающими, наследуют черты глубинных разломов [Кутинов, Чистова, 2004]. Во вновь образованных отложениях осадочных пород такие зоны над разломами остаются наиболее доступными для проникновения газовых потоков из глубин и влаги с дневной поверхности. Перекрывающие толщи над разломом, тем более над его активной зоной, имеют характерные структурные изменения, которые можно наблюдать по результатам электроразведочных работ на самом раннем временном интервале в «наносекундном» диапазоне измерений. Такой временной интервал измерений

доступен для георадиолокационных методов. Результаты опытно-методических работ, выполненных в июне 2008 г георадаром «ГРОТ-12» сотрудниками ЦГЭМИ ИФЗ РАН Александровым П.Н., Волкомирской Л.Б, позволяют это наблюдать на радарограммах (рис. 6).

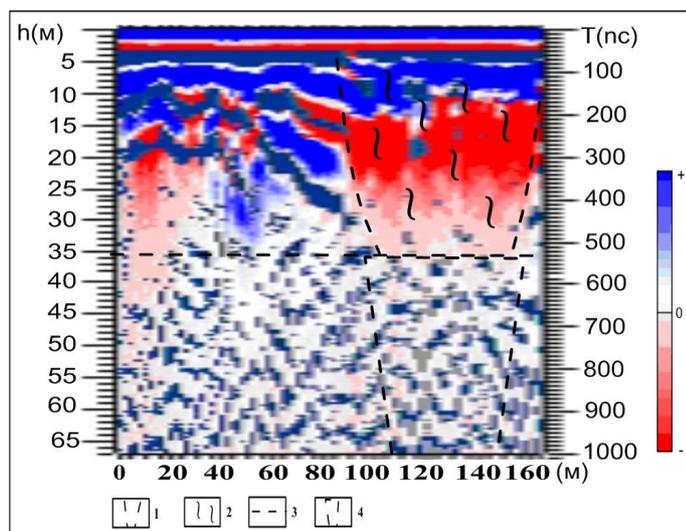


Рис. 6 Радарограмма по результатам георадиолокационных измерений на трубке Белая (Волкомирская, 2008)

Условные обозначения: 1 - границы разрушения, 2 - деструктивные изменения с вертикальной трещиноватостью, 3 - кровля вендских отложений, 4 -

контуры кимберлитовой трубки.

На рис. 6 хорошо видно, что в толще перекрывающих отложений над разломом нарушается корреляция по проводимости линейного залегания слоёв. В интервале отметок 90-160 по профилю проводимость больше, и это в данном случае наблюдается от поверхности до глубины 30-35 м, что соответствует мощности перекрывающих отложений. Эта зона в точности совпадает с «надтрубочным» пространством, трассируя неоднородность по толще перекрывающих отложений. Таким образом, в какой-то степени обозначилось местоположение трубки или направление распространения рудовмещающего нарушения, что подтверждают результаты по другим профилям и на других объектах (тр. Кольцовская).

В ходе проведённых исследований МПП на большом количестве известных трубок было установлено, что кимберлитовые тела на геоэлектрических разрезах выделяются по вертикальным локального плана проводникам электрического тока, особенно в зоне контакта с вмещающими породами. То есть реально существуют околотрубочные изменения, отличительной особенностью которых является радиальная и вертикальная зональность трещин (рис. 7). Эти нарушения можно назвать зоной динамического влияния

интрузии (ЗДВИ) на вмещающие породы. Участки разломов в местах внедрения кимберлитовых тел и на некотором удалении отличаются от основной структурной фактуры разлома.

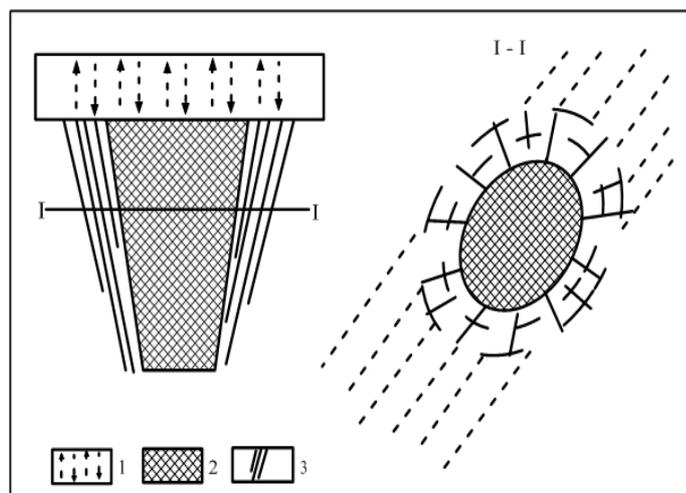


Рис. 7. Схематическая модель трубки взрыва в разрезе и в плане (срез) по линии I-I.

Условные обозначения: 1 - перекрывающий массив осадочных пород с зоной проникновения, 2 - кимберлитовое тело, 3 - система трещин.

Внедрение магматического флюида оказывает воздействие на окружающие породы, вызывая реструктуризацию и оживление некоторого фрагмента разлома. Такого рода структурные изменения вполне могут стать одним из основных критериев для опознавания места внедрения магмы. Присутствие жидкой фазы воды (в том числе и минерализованной), свободно перемещающейся или рыхлосвязанной под действием инфильтрационных процессов по сообщающейся системе тектонических трещин (Ерофеев, Вахромеев и др., 2006), обозначит их, сформировав особый режим электрического сопротивления горных пород в пределах этих зон. Наличие ЗДВИ (даже очень слабой) для многих трубок становится «визитной карточкой», по которой бывает только и возможно определить их местоположение, так как отдельные разности пород в составе трубок взрыва литологически сходны с вмещающими породами и обладают близкими с ними петрофизическими свойствами. Изучение многих трубок и околотрубочного пространства на объектах Мирнинского и Накынского алмазоносных полей в западной Якутии, а также в Архангельской области, показало отсутствие во вмещающих породах значительных минералого-геохимических ореолов, непосредственно связанных с кимберлитами (Игнатов и др., 2006, 2008, Эринчек и др., 1997). Видимое отсутствие таких отличий или их слабое проявление камуфлирует трубочные объекты, тем самым создавая определённые

трудности при поисках. Поэтому не все геофизические методы и методические разработки в методах могут выделять такие объекты. На рис. 8 приводятся примеры геоэлектрических разрезов, выполненных двумя разными приборами в одном и том же методе (МПП).

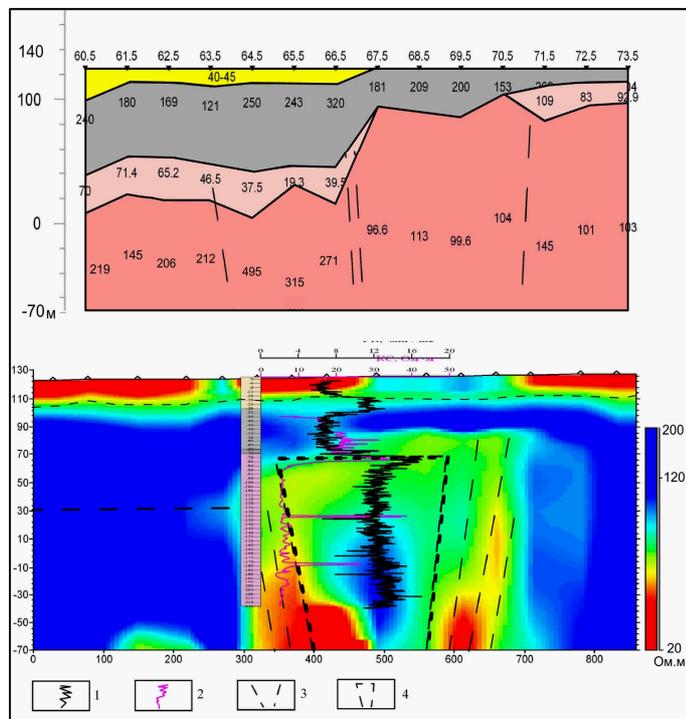


Рис. 8. Вертикальные геоэлектрические разрезы МПП по результатам измерений аппаратурой Цикл-5 (верхний) и TEM-FAST 48НРС (нижний) с расстановками 50×50 м

Условные обозначения: 1-2 каротажные кривые: 1 -кривая ГК, 2 -кривая КС; 3 -зоны повышенной трещиноватости и контактные (переходные) зоны, 4 -примерный контур кимберлитового тела.

Измерения выполнены с одинаковой расстановкой, но разной технологией исполнения и обработки материала (тр. Рождественская). При сравнении этих двух разрезов можно сделать вывод, что для решения определённых задач необходимо подбирать технологию, максимально приближенную к условиям их решения, и нужен хороший измерительный инструмент, который мог бы фиксировать слабые структурные изменения в разрезах. Но это всего лишь одна сторона вопроса, его технологическая часть, где всё зависит от того, насколько совершенно средство измерения и как удачно оно подобрано к условиям разреза. Существует еще и другая сторона, которая не менее важна в поиске трубок. На рис. 9 представлен пример, где обработка одних и тех же данных выполнена разными специалистами. Рисунки (а), (б), (в) и (г) это результат количественной обработки (инверсии), где (а) и (г) один и тот же срез, (в) - геоэлектрический разрез по линии А-А и выполнены они одним человеком, а геоэлектрический срез ρ_k на рисунке (б) другим. Как видно из сравнения, различия здесь заметны, соответственно в этом случае это означает, что

результаты будут интерпретироваться по-разному. Формализованный подход здесь недопустим, так как это может привести к утрате на разрезе (карте) важных структурных особенностей, находящих отражение на исходных геофизических данных.

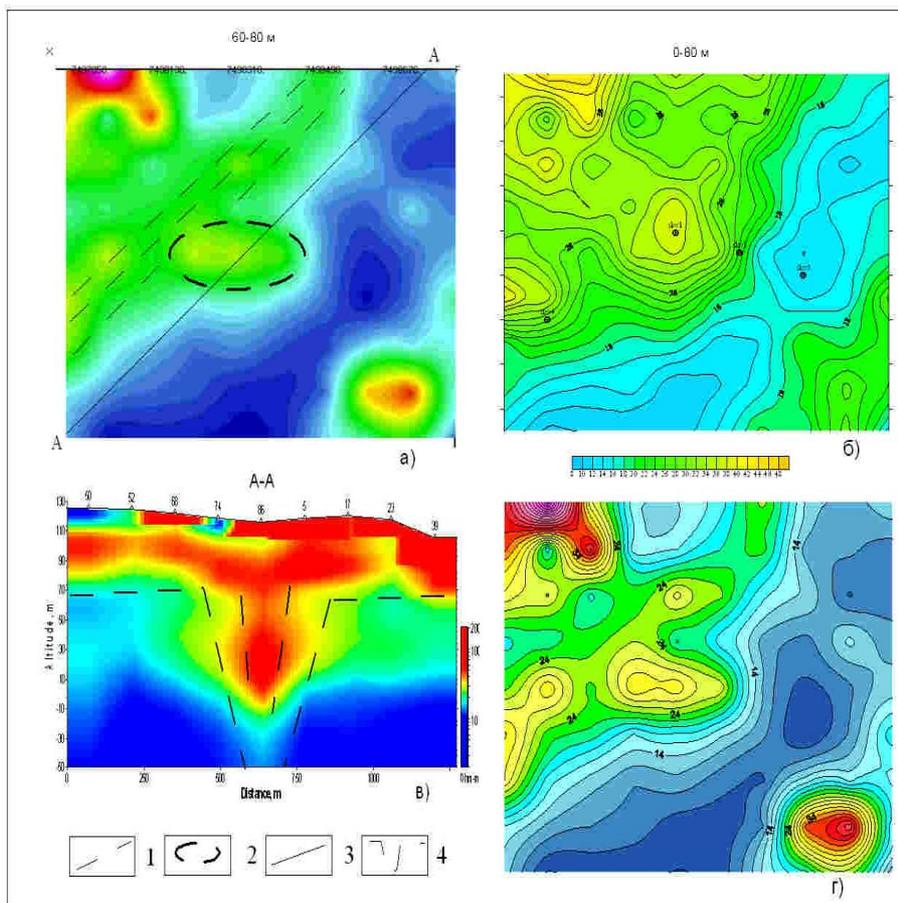


Рис. 9. Карты изолиний ρ_k на интервале глубин до 80 м и вертикальный геоэлектрический разрез, по результатам разных обработчиков

Условные обозначения: 1 - направление линейного тектонического нарушения, 2 - контур локальной аномалии, соответствующий интрузивному телу, 3 - линия разреза, 4 - вертикальный проводник.

Некоторые операции инверсии при формировании максимально приближенной к среде модели, требуют дифференцированного подхода к различным по сложности участкам геологического строения. От того, насколько полно и правильно организована (выбрана) модель, зависит корректность решения поставленной задачи и качество получаемых результатов. Во многих случаях для успешного выполнения инверсий может быть использована любая априорная информация, и в первую очередь геологические сведения о разрезе по району работ.

В данной главе наряду с определением модельного образа зон, контролирующей трубки взрыва приводятся примеры различных вариантов выявленных аномальных отклонений от помехообразующих объектов в осадочных толщах пород.

Глава 3

В главе 3 приводится обоснование методики измерений и обработки полевого материала, а также описание программного обеспечения этих видов работ. Кратко изложены особенности методического исполнения работ, приведены технические характеристики аппаратного средства и основные характеристики применяемых теоретических основ программного обеспечения с целью обоснования разрешающих возможностей выбранной технологии.

Для поиска кимберлитовых трубок взрыва в нашем случае выбор методики электроразведочных работ был сделан на примере многочисленных пробного характера сравнительных измерений до выполнения основных производственных работ и с учётом результатов всех ранее выполненных наблюдений. В то же время надо отметить, что с последующим исполнением работ продолжает накапливаться информация, и часто очень важная для разработки наиболее совершенного способа выделения интрузивных тел, поэтому при необходимости могут вноситься корректировки в методику. То есть становится очевидным, что лучше всего поиск проводить не по эмпирическому (сравнение с каким-то эталонным аналогом) принципу, а по более свободному пути, когда любое отклонение в разрезе отслеживается и рассматривается его возможное происхождение.

Процесс и методику измерения необходимо подстраивать или менять в ходе изучения конкретной аномалии по направлению отслеживания максимального градиента нарушенности (изменения) среды. В настоящее время это вполне возможно делать на перспективных и сложных с геологической точки зрения участках, подключая к этому детальное изучение с уже более широким комплексом необходимых мероприятий в процессе приёма и обработки полевого материала.

Технология на основе применения аппаратуры TEM-FAST 48НРС хорошо локализует слабо проявленные вертикальные неоднородности и наилучшим образом подходит для выделения непосредственно самих трубок взрыва.

Глава 4

В главе 4 изложены результаты практических измерений, на основе которых проводится доказательство третьего защищаемого положения: *«Создана электромагнитная модель трубки взрыва на основе изменения проводимости за счёт реструктуризации пород, вызываемой экзоконтактовым воздействием кимберлитовых тел, что эффективно может быть использовано в поисковых работах и при выделении непосредственно самих трубок в осадочных породах».*

В ходе детализации магнитных аномалий с использованием наземной электроразведки получаемый материал несёт в себе гораздо больший объём информации, чем реализуется в настоящее время на практике. Обработка и интерпретация этого материала в целевом направлении может быть успешно реализована для выявления рудоконтролирующих зон разломов и непосредственно самих кимберлитовых тел. По распределению сопротивления в толщах пород можно определять неоднородности различного характера. Вертикальный градиент удельного электрического сопротивления (проводимости) даёт информацию о послойной дифференциации пород, а горизонтальный - о локальных изменениях в слое. Для кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции и некоторых других алмазоносных регионов основным отличительным свойством может стать дифференциация по электрическому сопротивлению в одних случаях самих интрузивных тел, а в других проявлений их воздействий на вмещающие породы окружающей среды. При этом нужно учитывать, что кимберлитовое тело - это изотропный геоэлектрический объект в анизотропных горизонтально-слоистых вмещающих породах, перекрытых анизотропными горизонтально-слоистыми породами [Абрамов, Голубев и др., 2006]. Околотрубочные изменения электрического сопротивления пород в зоне шириной в два-три диаметра диаметры присутствуют у многих трубок, и потому это может являться одним из признаков их проявления и заслуживает особого внимания при поисках [Стогний, Коротков, 2010]. В Архангельском алмазоносном регионе это

подтверждается практическими результатами на всех опробованных ранее известных кимберлитовых телах и на многочисленных аномальных объектах.

Используя импульсные методы электроразведки с учётом соответствующих методических наработок для обнаружения и отслеживания в нашем случае кимберлитоконтролирующих зон (разрывных нарушений), можно наблюдать их в плане на плоскости и на вертикальном разрезе (рис. 10).

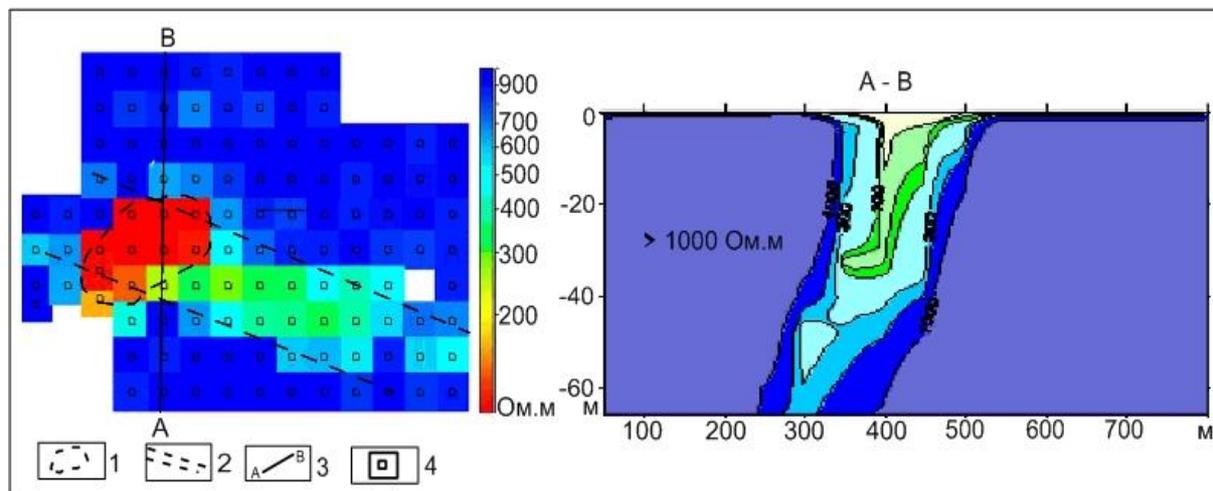


Рис. 10. Геоэлектрические срез и разрез 1D инверсия через локальный проводник (трубка взрыва) по линии А-В по данным измерений методом МПП (расстановка 50×50 м)

Условные обозначения: 1 - локальный проводник электрического тока, 2 - линейная зона относительно пониженного сопротивления, 3 - линия вертикального геоэлектрического разреза, 4 - прямоугольная петля 50×50 м с отметкой центра.

Схемы площадного распределения кажущегося сопротивления (ρ_k) для различных глубин (срезы) позволяют отобразить линейные структуры (рис. 2, 3, 9, 10). На таких срезах ρ_k просматриваются вытянутые проводящие зоны, иногда в виде отдельных фрагментов, укладываемых в одну линию и маркирующих тем самым разрывное нарушение. Это помогает отслеживать тектонические нарушения, а так же различные локального характера изменения внутри них, причиной которых могут быть кимберлитовые тела или другие объекты. При определении глубинного происхождения таких зон особое значение приобретают вертикальные разрезы ρ_k , которые дают наглядную

информацию о геолого-структурном состоянии определённых толщ горных пород и более точно возможное местоположение этих объектов, а также их форму залегания. На геоэлектрическом разрезе (рис. 10) хорошо видно наклонное положение трубки (подтверждено бурением) и то, что в пределах относительно проводящей субвертикальной зоны имеется локальный проводник ($\rho_k < 100$ Ом·м) в виде конуса, или воронки, являющийся также результатом повышенной обводнённости по системе трещин в верхней части кимберлитовой трубки. Конусовидные воронки хорошо отслеживаются по данным электроразведочных работ МПП. Такие аномальные проявления на геоэлектрических разрезах в основном не являются причинно-следственным фактором присутствия кратерной части у трубок взрыва, и поэтому могут проявляться и в тех случаях, когда кратерная часть эродирована (рис. 11).

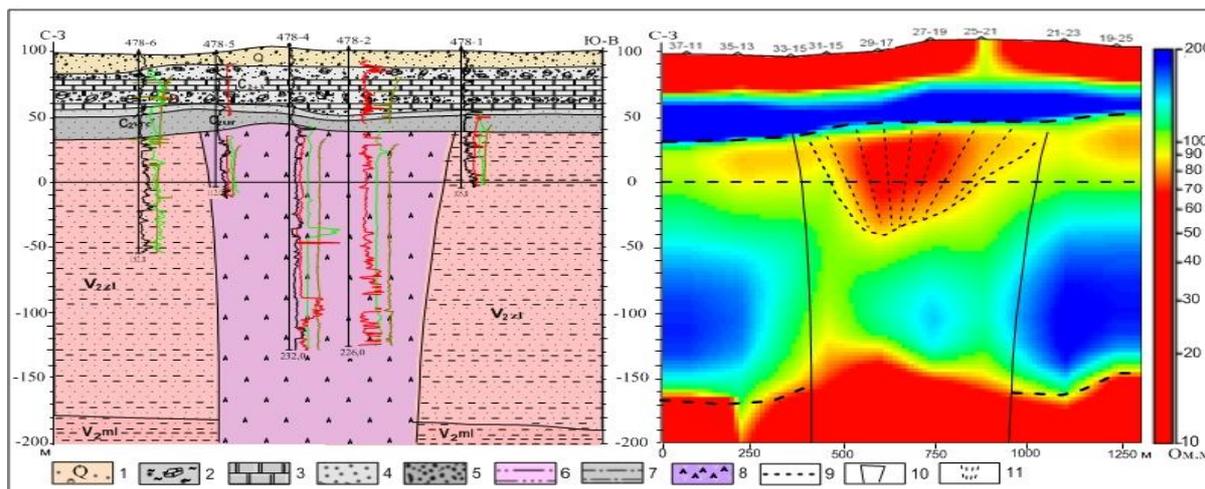


Рис. 11. Геологический (по данным «АЛРОСА-Поморье») и геоэлектрический разрезы по линии I-I (трубка № 478)

Условные обозначения: 1 -пески четвертичного возраста; 2 -обломки карбонатных пород; 3 -доломит среднего и верхнего карбона; 4 -песчаники коричневатого-серого цвета урзугской свиты среднего карбона; 5 -серо-зелёные песчаники нижнего карбона; 6 -аргиллиты вендского возраста; 7 -алевролиты; 8 -магматические породы; 9 -геоэлектрические границы; 10 -контуры трубки; 11 -вертикальные трещины.

Основной причиной повышения проводимости в верхней части трубки может быть наличие усиленной системы контракционных трещин, трещин усыхания, возникающих при остывании магматической массы вследствие

сокращения объёма пород при диагенезе осадков [Милашев, 1997]. В то же время сохранившиеся кратерные части у трубок несколько упрощают задачу их распознавания среди других объектов. Для многих известных трубок с возрастом поздний девон - ранний карбон (Кононова и др., 2007, Ларченко и др., 2005) раннекаменноугольная эрозия в районе была незначительной, на что указывают сохранившиеся кратерные фации [Богатиков и др., 1999, Кутинов, Чистова, 2004, Третьяченко, 2008]. Работы в направлении отслеживания структурных изменений открывают возможность изучать трубки взрыва со сложным строением, имеющих несколько стадий формирования (рис. 12).

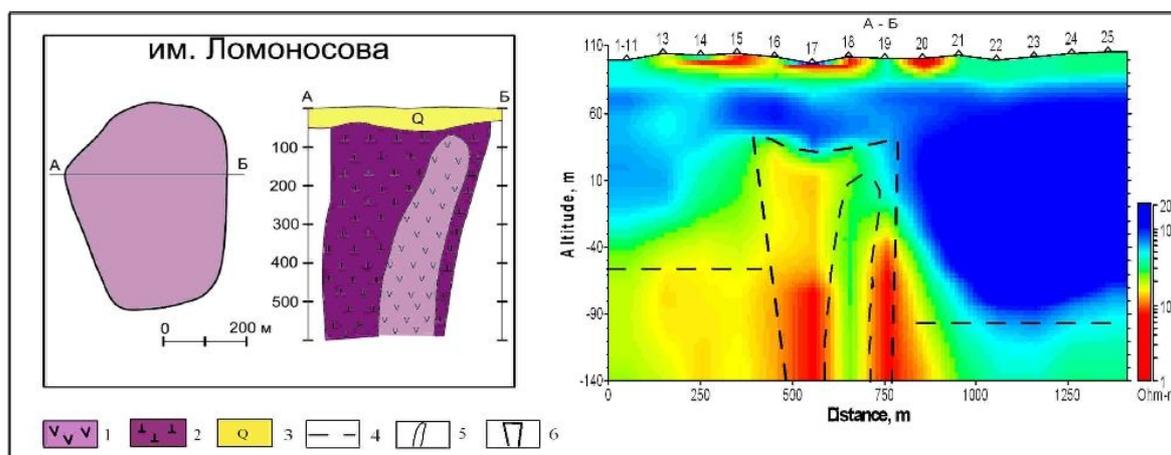


Рис. 12 Схема геологического строения (а) (Вержак, Гаранин, 2005) и вертикальный геоэлектрический разрез (б) вдоль линии А-Б (Коротков, 2005) (трубка им. М.В. Ломоносова - две стадии формирования)

Условные обозначения: 1 - лито-кристаллокластические туффзитовые брекчии (туфо и ксенотуфобрекчии) I-ой фазы внедрения; 2 - автолитовые туффзитовые брекчии II-ой фазы внедрения; 3 - перекрывающие четвертичные отложения; 4 - геоэлектрические границы; 5 - контакты брекчии I-й фазы внедрения; 6 - контуры трубки взрыва.

Использование структурного критерия в поиске кимберлитовых трубок взрыва в сложившейся ситуации будет эффективнее других направлений и поспособствует выделению возможно пропускаемых немагнитных или очень слабомагнитных тел. В этом случае расширяются границы поиска, вводя исследования в область с возможно немагнитными характеристиками магматического материала, составляющего трубки взрыва, сейчас это становится всё более актуальным. Полученные результаты в полной мере дают

основание полагать, что дифференциация по сопротивлению как трубок взрыва, так и зон их влияния на окружающие породы относительно вмещающего фона, является одной из фундаментальных предпосылок успешного применения электроразведки при поиске и выделении таких таксонов, как кимберлитовые тела. В работе приводится много практических примеров, которые позволяют классифицировать трубки по электропроводности на три типа:

1. Хорошо проводящие относительно вмещающих пород. Например: трубка им. Ломоносова (рис. 12), Пионерская, Поморская, № 17 (Финляндия) и др.

2. Слабо проводящие. Трубки, которые по проводимости отличаются от вмещающих пород примерно на 20-30%. В большинстве случаев пониженное сопротивление наблюдается в верхней кратерной части трубок и ближе к контактовой зоне со стенками разлома. Например: тр. Белая, 478 (рис. 2, 8, 11).

3. Непроводящие. Кимберлитовые тела, которые могут быть выделены по деструктивным изменениям во вмещающих и перекрывающих породах в экзоконтакте. Сопротивления пород «заполнителя» интрузии здесь могут быть близкими по значению с основным фоном вмещающих пород. Примером являются тр. Рождественская (рис. 8), 495а и др.

По результатам исследований кимберлитовых тел, открытых в последнее время, становится очевидным, что в настоящее время и в дальнейшем нам предстоит иметь дело с последними двумя типами.

Заключение

В настоящей работе многочисленными результатами измерений были установлены характерные признаки, позволяющие выделять элементы проявления тектонических нарушений в толще осадочных пород. Интерпретация наблюдаемых индуцированных электромагнитных полей позволяет определять пространственные характеристики этих объектов, уточнять их структурно-тектоническую приуроченность. На примере исследований ряда известных кимберлитовых тел была установлена связь их с тектоническими нарушениями по характерному линейного плана изменению проводимости в пределах этих нарушений. Проведён целый ряд мероприятий с подбором необходимой методики и аппаратуры, позволяющей выделять и

отслеживать такие отклонения. Оработана технология поиска магматических тел на основе выделения и отслеживания тектонических нарушений. Сформирована поисковая модель кимберлитоконтролирующих структур, включающая в себя характерные изменения проводимости (сопротивления) пород в местах проявления магматизма. Рассмотрены некоторые аномальные отклонения от возможных помех. В ходе исследований было установлено, что анализ различного рода аномальных отклонений по распределению кажущегося электрического сопротивления в плане и на вертикальных разрезах (в совместном их рассмотрении) позволяет различать элементы небольших по размерам тектонических нарушений в толще осадочных отложений. Структурный критерий может быть успешно применён для выделения и отслеживания зон рудовмещающих тектонических нарушений и при определении местоположения самих кимберлитовых тел в толщах осадочных пород закрытых районов. На основе предлагаемой технологии поиска было изучено большое количество магнитных аномалий (более 500), большая часть из которых (90-95%) была забракована, что затем подтвердилось заверочным бурением. Остаточный процент (10-5%), отводимый на перспективные аномалии под заверку бурением, может быть еще ближе к истине, всё зависит от того, насколько качественно оработаны аномалии в отношении необходимого объёма выполняемых работ.

Основные публикации по теме диссертации

Монографии

1. Стогний Вас.В., **Коротков Ю.В.** Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. Новосибирск: Издательство «Малотиражная типография 2D». Новосибирск, 2010. 121 стр.

В изданиях по перечню ВАК

2. Коротков Ю.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Возможности электроразведки при поисках кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции. //Вестник Поморского Университета. Сер. Естественные и точные науки. Архангельск, 2007, № 2.(12). С. 26-34.

3. Коротков Ю.В. Результаты электроразведочных работ при поисках объектов трубчатого типа в районах Архангельской области // Записки Горного института. СПб, 2008. Т.176. с.142-145.

4. Коротков Ю.В. К вопросу о выделении и отслеживании разрывных нарушений по характерным изменениям проводимости в толщах осадочных отложений // Геофизические исследования. М., 2011. Т. 12. № 14. С. 81-92

в других изданиях

5. Коротков Ю.В. О возможностях электроразведочных методов при поисках объектов трубчатого типа в закрытых районах. // Геология алмазов – настоящее и будущее. Воронеж, 2005. С. 1394-1397.

6. Коротков Ю.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. К вопросу разбраковки перспективных геофизических аномалий при поисках кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции // Исследования Российской Арктики: прошлое, настоящее, будущее. Матер. научн. конф. Архангельск: АЦ РГО, 2008. С. 108-114.

7. Коротков Ю.В. Использование метода переходных процессов при поиске неоднородностей трубчатого типа в условиях Архангельской области // Северные территории России: проблемы и перспективы развития. Всероссийская конф. с межд. участием. 23-26 июня 2008: [Электронный ресурс]. – Электронные, текстовые, граф. данные. - Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2008. – 1. электрон. оптич. диск (CD-ROM).

8. Коротков Ю.В., Кутинов Ю. Г., Чистова З.Б. Возможности импульсной электроразведки (аппаратура TEM-FAST 48HPS) при поисках кимберлитовых тел в геологических условиях Архангельской алмазоносной провинции // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России. Матер. XV Геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2009. Т. II. С. 194-196.

9. Коротков Ю.В. Применение метода переходных процессов (технология TEM-FAST) для изучения таликовых зон в Архангельской области // Геологические опасности. Матер. XV всерос. конфер. с междунар. участием. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2009. С. 241-244.