

Классификация и исследование отказов магнитометрического метода поисков кимберлитов

Цыганов В.А.

ФГУП НПП «Аэрогеология», Москва, vlad@aerogeologia.ru

Для исследования качества и надежности метода при поисках кимберлитов проведен перечень известных действительных или вероятных ситуаций, при которых искомый объект может быть пропущен. Показано, что для магнитометрического метода эти ситуации (отказы метода) могут быть связаны: а) с изменчивостью вещественно-индикационных свойств самих поисковых объектов; б) с неблагоприятными для метода ландшафтно-геологическими обстановками; в) с недостаточными технико-метрологическими характеристиками проводимых полевых наблюдений; г) с различного рода ошибками при проведении геолого-интерпретационных работ; д) с ошибками при проведении полевой заверки горно-буровыми работами перспективных участков и аномалий. Выделение, описание и моделирование конкретных отказов различного классификационного типа, позволяет оценить качество и надежность поисковой технологии, реализованной на конкретных площадях и участках и обосновать специальные технологические решения, повышающие геологическую эффективность работ.

Главными факторами, снижающими эффективность магнитометрического метода поисков кимберлитов оказались: невысокая контрастность по петромагнитным параметрам кимберлитовых тел, особенно с высокой алмазонасностью; наличие на значительных по размерам площадях Якутии перекрывающих, экранирующих, сигнал от трубок, трапповых образований; ограниченность в финансовых ресурсах, выделяемых для горно-буровой заверки локальных аномалий, предположительно кимберлитового типа.

Для обнаружения кимберлитовых тел магнитометрическим методом должны обязательно выполняться следующие пять условий (16):

- а) Петромагнитные характеристики пород, слагающих кимберлитовое тело, должны обеспечивать формирование локальной магнитной аномалии, фиксирование и оконтуривание которой вполне может быть проведено при современном уровне развития магнитометрической аппаратуры, в благоприятных для метода ландшафтно-геологических обстановках;
- б) Ландшафтно-геологическая обстановка территории проведения магнитометрических исследований должна быть достаточно благоприятной для отражения объекта поисков в реально существующем поле на принятой поверхности исследования минимально-контрастной аномалией;
- в) Система реализованных полевых наблюдений (расстояние между профилями, шаг наблюдений по профилю) и точность проведенных измерений должны гарантировать отображение необходимым числом точек минимально-контрастной аномалии от тела в измеренном поле;

- d) Технология геологической и прогнозной интерпретации данных, полученных при полевых геофизических съемок, должна гарантировать выделение измеренной аномалии от кимберлитового тела, включение ее в список кимберлитоперспективных, определение правильного пространственного положения аномалообразующего объекта;
- e) Технология заверки выделенной кимберлитоперспективной магнитной аномалии буровыми скважинами или горными выработками, должна обеспечивать подсечение аномалообразующего объекта и его правильную идентификацию.

Обозначенные условия могут рассматриваться, как специфические функциональные модули поискового метода (в данном случае – магнитометрии): вещественно-индикационный (далее индекс «а»), ландшафтно-геологический («b»), технико-метрологический («с»), геолого-интерпретационный («d») и заверочный («е»). *При невыполнении из приведенного перечня хотя бы одного условия, т.е. при отказе хотя бы в одном из модулей поискового метода, очевидно, что объект поисковых работ пропускается.*

а. ОТКАЗЫ В ВЕЩЕСТВЕННО-ИНДИКАЦИОННОМ МОДУЛЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВ

В эту группу отказов относятся все действительные и возможные ситуации, при которых пропуск магнитометрией кимберлитового тела происходит или может произойти из-за его крайне малой суммарной намагниченности, или точнее **из-за весьма низкого значения магнитного момента тела** - векторной суммы магнитных моментов частиц, из которых тело состоит.

Петромагнитные характеристики кимберлитовых трубок, определяющие интенсивность и морфологические особенности отражения последних в локальной составляющей аномального магнитного поля, зависят от целого ряда факторов, влияющих на повышение и понижение суммарной намагниченности блоков пород, слагающих конкретное тело (фаз, фаций), а также от сорасположения этих блоков в пространстве. Каждый из этих факторов, в зависимости от специфики проявления может оказывать различное по знаку влияние на интенсивность намагничения диатрем, поэтому в случае его положительного влияния на эффективность метода, его можно рассматривать в качестве позитивного, а в случае отрицательного – в качестве негативного. Перечень негативных ситуаций, которые встречаются или могут встречаться в практике поисковых работ, по сути дела и представляет перечень отказов метода в вещественно-индикационном модуле (Таблица 1).

Таблица 1. Перечень вероятных и действительных отказов в вещественно-индикационном модуле магнитометрического метода при поисках кимберлитов

Краткое описание фактора, влияющего на намагниченность кимберлитов	Индекс отказа и его характеристика
<i>Ситуации, обуславливающие возможность отказов, связанные с особенностями строения отдельных разновидностей кимберлитовых пород, слагающих конкретное тело</i>	
Исходные концентрации железа в глубинном кимберлитовом расплаве (флюиде)	a.1. <u>Исходная обедненность расплава (флюида) химическими элементами, входящими в состав ферримагнитных минералов*</u>
Выделение магнетита при серпентинизации оливина с образованием хризотила.	a.2. <u>Низкая степень серпентинизации пород или серпентинизация с образованием лизардита без существенного выделения магнетита.</u>
Присутствие в породе менее контрастных (в сравнении с магнетитом) акцессорных ферримагнитных минералов таких как пикроильменит, хромшпинелид и некоторых других.	a.3. <u>Пониженные концентрации или отсутствие в породе акцессорных ферримагнитных минералов таких как пикроильменит, хромшпинелид и некоторых других; либо их существенная обедненность ферримагнитными миналами.</u>
Участие в строении кимберлитового тела ксеногенного немагнитного материала, «разбавляющего» глубинную составляющую породы, как в кратерной, так и более глубоких фазах или фациях диатремы	a.4. Аномально высокое содержание в фазе, фации, блоке кимберлитовых пород ксеногенного материала, представленного диамагнитными и парамагнитными минералами.
Преобразование ферримагнитных минералов в породе в диа- и парамагнитные наложенными гидротермальными, метасоматическими и корообразовательными процессами	a.5. Уменьшение концентраций и ослабление магнитных свойств для ферримагнитных минералов в результате наложенных гидротермальных, метасоматических и корообразовательных процессов, приводящими, например, к замещению пикроильменита реакционными оболочками.
Влияние Eh среды на образование минералогических форм железа в ряду «оксид-сульфид»	a.6. <u>Замещение магнетита пиритом на различных этапах образования и изменения кимберлитового тела.</u>
Наличие существенной по величине остаточной намагниченности пород обычно для автолитовой, мене – порфировой разновидностей кимберлитов	a.7. Отсутствие или крайне малое распространение в трубке автолитовых и порфировых разновидностей кимберлитов.
Соотношение векторов остаточной и индуцированной составляющих	a.8. Различная (компенсирующая) направленность остаточной и индуцированной намагниченности пород, (за счет инверсии магнитного поля Земли или самообращения намагниченности кимберлитов
<i>Ситуации, обуславливающие возможность отказов, связанные с особенностями сочетания отдельных разновидностей кимберлитовых пород, слагающих конкретное тело</i>	
Значительный диапазон изменчивости размеров кимберлитовых тел в т.ч. и коммерчески -ценных	a.9. <u>Весьма малые размеры площади поперечного сечения конкретного кимберлитового тела, сложенного магнитоактивной разновидностью пород.</u>
Чередование в объеме диатремы	a.10. <u>Весьма малые размеры площади поперечно-</u>

блоков (фаз, фаций) с различными петромагнитными характеристиками	<u>го сечения отдельных магнитоактивных блоков кимберлитовых тел</u>
То же	<u>a.11. Широкое распространение немагнитных разновидностей пород в кратерной части диатремы</u>
То же	<u>a.12. Весьма сложное сочетание магнитоактивных и немагнитных разновидностей кимберлитов, затрудняющих классификацию и количественные оценки аномалий</u>

. * Примечание: В таблице подчеркнуты сплошной линией ситуации, характеризующиеся систематической встречаемостью на практике.

Прокомментируем вероятность встречи некоторых из перечисленных видов отказов, характеризующиеся систематической встречаемостью на практике.

a.1. Исходная обедненность расплава (флюида) химическими элементами, входящими в

Таблица 2. Коэффициент ранговой корреляции магнитной восприимчивости кимберлитовых тел и содержания в них химических элементов по одному из полей Западной Якутии

Компоненты	Число трубок	Значение коэффициента	Уровень значимости (вероятность ошибки)
TiO₂	32	0,54	0,01
Fe₂O₃	32	0,78	0,001
MgO	32	0,56	0,001
CaO	32	-0,53	0,01
Na₂O	32	-0,43	0,02
K₂O	32	-0,68	0,001
S	31	-0,58	0,001
CO₂	32	-0,54	0,01
П.п.п.	32	0,59	0,001

При расчете коэффициентов использованы данные И.П. Илупина и ПГО «Якутскгеология». Для SiO₂ Al₂O₃ Cr₂O₃ P₂O₅ значимые значения коэффициентов корреляции не установлены

состав ферромагнитных минералов. В таблице 2 приведены значения коэффициентов корреляции средних величин магнитной восприимчивости кимберлитовых трубок для одного из полей Якутии со средними содержаниями в трубках химических элементов. Как следует из приведенных данных магнитная восприимчивость конкретных трубок связана весьма мощной положительной корреляционной связью с содержаниями Fe₂O₃, MgO, П.П.П (H₂O). Следовательно, уже внутри одного поля, при определенных содержаниях этих составляющих могут встречаться магнитные так и немагнитные или слабомагнитные диатремы.

Обозначенная тенденция характерна не только для кимберлитовых тел внутри конкретного поля. Она также просматривается при сравнении средних данных между отдельными полями. Так при среднем содержа-

нии Fe₂O₃, в кимберлитовых телах Мирнинского поля 3,7% их средняя магнитная восприимчивость равна $5,4 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, в то время как для Алакит-Мархинского и Далдынского полей при среднем содержании рассматриваемого оксида 5,5% и 5,7% соответственно, средние значения магнитной восприимчивости равны $16,2 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ и $14,0 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ

Даже в пределах отдельных трубок кимберлитового поля (на примере Далдынского) по материалам ПГО «Якутскгеология» отмечаются весьма значимые различия между фазами внедрения, как по содержаниям Fe_2O_3 , (5,3% - I фаза и 7,2% - II фаза) так и по их магнитной восприимчивостью ($9 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, и $31 \cdot 10^{-3}$ ед. СИ, соответственно).

a.2. Низкая степень серпентинизации пород или серпентинизация с образованием лизардита без существенного выделения магнетита.

Д.И. Саврасовым было показано, что магнитная восприимчивость исследованных им кимберлитовых тел Якутии определяется, главным образом, содержанием пылевидного магнетита. Для таких объектов характерно значительно более низкое, но все же аномальное среднее значение магнитной восприимчивости. По данным (3,4,5) магнетит в кимберлитах содержится преимущественно в пылевидной форме. При этом большинство исследователей указывают на формирование магнетита в породе при серпентинизации оливина с образованием хризотила. На явную связь значений магнитной восприимчивости кимберлитов с серпентинизацией породы указывает и коэффициент корреляции между магнитной восприимчивостью и П.П.П (H_2O) (См. табл.2).

С другой стороны, в (17) показано, что не всегда при серпентинизации происходит выделение магнетита. Так, при замещении исходных минералов секториальным лизардитом магнетит не образуется и, напротив, при хризотилизации происходит очищение силикатов от железа с выделением маггемо-магнетита. Работами (3 и 9) показано, что в кимберлитовых породах Якутии из минералов группы серпентина преобладает именно лизардит с переменной примесью хризотила. Изложенное, позволяет предполагать, что при широком развитии серпентинизации в кимберлитах конечным продуктом процесса был лизардит без выделения значительного количества магнетита. В меньшей мере и достаточно неравномерно происходило, по-видимому, образование хризотила с выделением пылевидного магнетита.

На рисунке № 1 приведены данные по изменчивости средней магнитной восприимчивости кимберлитовых трубок по трем кимберлитовым полям Якутии. Анализ этих данных, с одной стороны, указывает на резкое преобладание в каждом из полей относительно понижено намагниченных диатрем (распределение близкое к экспоненциальному), а, с другой стороны, свидетельствует о наличии типоморфизма кимберлитовых полей по среднему значению рассматриваемого параметра.

Мирнинское поле отличается от других рассматриваемых среднепалеозойских кимберлитовых полей минимумом железистости, и, соответственно, минимумом магнитной восприимчивости. Отметим, что по данным ряда исследователей именно в кимберли-

тах Мало-Ботуобинского района основным носителем магнитных свойств выступает не магнетит, которого для этого здесь крайне мало, а ферримагнитный пикроильменит, реже минералы группы шпинели с существенным содержанием магнитного компонента.

а.3. Пониженные концентрации или отсутствие в породе акцессорных ферримагнитных минералов таких как пикроильменит, хромшпинелид и некоторых других; либо их существенная обедненность ферримагнитными миналами.

В работах, опубликованных за последнее время, показано, что при отсутствии в трубках некоторых районов достаточного количества магнетита среднее значение их намагниченности определяется либо наличием ферримагнитного ильменита, либо минералов группы шпинели с существенным содержанием магнетитового компонента.(7).

Как уже отмечалось для Мирнинского кимберлитового поля резко аномально повышенных концентраций магнетита в трубках не установлено. Не установлено их и в кимберлитах Накынского поля Якутии и в кимберлитах Архангельской области. В этих случаях средняя магнитная восприимчивость пород отдельных полей измеряется десятками и самыми первыми сотнями

$n \cdot 10^{-5}$ ед. СИ и эффективность магнитометрического метода при поисках, если и не «скатывается» к нулю (опыт открытия диатрем в Архангельской области), то в значительной мере определяется уже безотказной работой четырех остальных модулей метода (ландшафтно-геологического, технико-метрологического, геолого-интерпретационного и заверочного).

а.6. Замещение магнетита пиритом на различных этапах образования и изменения кимберлитового тела. По материалам, опубликованным в (4) для кимберлитовых тел Накынского кимберлитового поля (трубки Ботуобинская и Нюрбинская) средние значения магнитной восприимчивости измеряются самыми первыми десятками $n \cdot 10^{-5}$ ед. СИ. Минералы тяжелой фракции здесь представлены зернами пироба, хромшпинелида, альмандина. Связующая масса пород имеет тонкозернистое строение и хлорит-серпентин-карбонатный

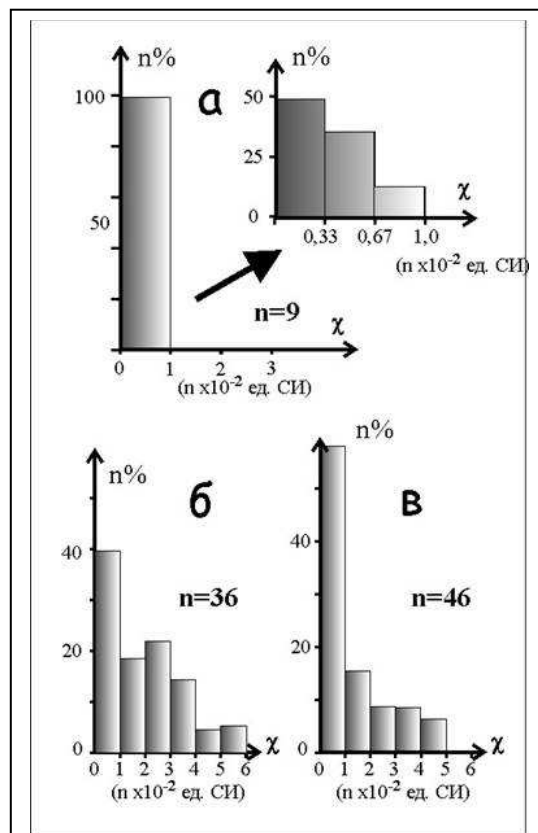


Рис. 1. Характер распределения средних значений магнитной восприимчивости кимберлитовых по трем кимберлитовым полям Якутии (а – Мирнинскому, б - Алакит-Мархинскому, в - Далдынскому)

состав. Из рудных минералов широким развитием в ней пользуется только пирит. Среднее содержание Fe_2O_3 , в трубке Ботубинская около 4,2 – 4,7%, в трубке Нюрбинская – 4,5-5,9%.

Отметим, что в таблице №2 (см. выше) между содержанием серы в кимберлитах и их магнитной восприимчивостью показана вполне значимая обратная корреляционная связь. Т.е. слабомагнитные кимберлиты характеризуются повышенными концентрациями серы вообще и сульфидов, в частности.

Завершая рассмотрение группы отказов вещественно-индикационного модуля, связанных с пониженными концентрациями в кимберлитах ферромагнитных минералов, как с весьма высокими значениями петромагнитных составляющих (магнетит), так и с умеренными значениями этих параметров (пикроильменит, хромшпинелид), представляется возможным констатировать, что *высокие значения концентраций этих минеральных видов, и, соответственно, повышенная намагниченность трубок не являются обязательными, устойчивыми характеристиками кимберлитовых тел.*

В этой связи представляется важным оценить корреляционную связь петромагнитных характеристик трубок с их алмазоносностью. На рисунке 2 приведены результаты исследования методом факторного анализа данных по вещественно-индикационным свойствам кимберлитовых тел из главных алмазоносных полей Якутии. Сформулируем основные выводы (в контексте статьи) следующие из приведенного на рисунке графика.

1. Первым главным фактором, определяющим изменчивость петрохимического состава кимберлитов изученных полей Якутии является отношение двух сумм породообразующих химических компонентов. В числителе это сумма MgO , SiO_2 , H_2O , в знаменателе - CaO , CO_2 . Также с увеличением этого параметра в трубках возрастают концентрации ряда микроэлементов – B , Zn , Cr , Ni и уменьшаются для Li и Va . Трубки с повышенным значением первого фактора отличаются и повышенным значением электрического сопротивления, т.е. как правило, не могут выделяться на фоне вмещающих пород аномалиями повышенной электропроводности. Рассматривая связь первого фактора с алмазоносностью легко видеть ее отсутствие:

2. Вторым главным фактором, определяющим дополнительную, несвязанную с первым, изменчивость химизма исследованных диатрем является суммарная концентрация железа и титана. С этим фактором положительно, практически линейно (функционально) связаны петромагнитные параметры диатрем, концентрации пикроильменита (находки хромшпинелида здесь статистически не представительны).

С этим же фактором отмечается увеличение содержаний в трубках ряда химических микроэлементов (см. Рис.2). Но и с повышением роли второго фактора при фиксированном значении первого, связано снижение алмазности трубок. Т.е. при прочих равных (значение первого фактора) повышение железистости и титанистости диатрем, и как следствие – повышение значений их петромагнитных параметров – приводит к снижению относительной доли алмазных трубок в поисковых выборках.

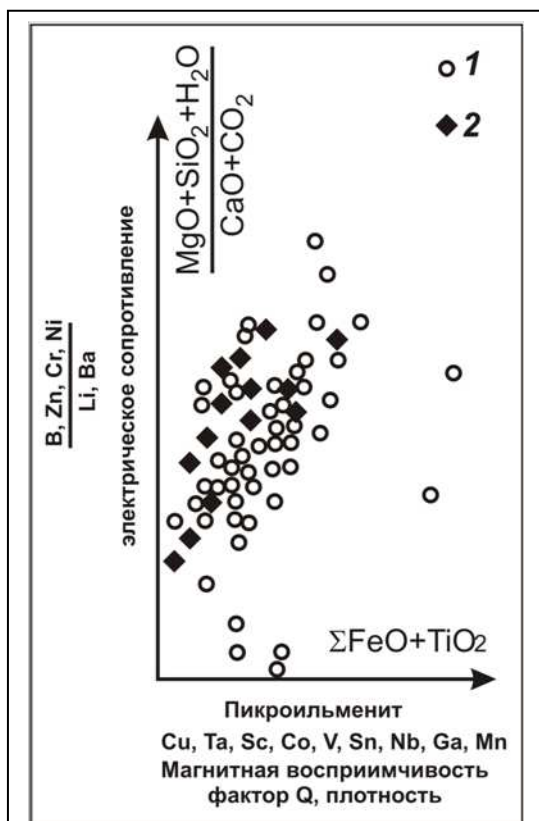


Рис. 2. Главные факторы, определяющие изменчивость петрохимических характеристик кимберлитов Якутии и связь с ними индикационных свойств диатрем (1- не алмазные и убого алмазные трубки или отдельные фазы; 2 – то же промышленно- или около промышленно алмазные)

Следовательно, в среднем, чем выше железистость, титанистость и намагниченность трубок, то тем в среднем ниже их алмазность.

Опубликованные данные (4) по Накынскому кимберлитовому полю (самому богатому в мире по удельной алмазности), свидетельствуют, что здесь средняя величина петромагнитных характеристик на порядок ниже, чем в Мирнинском поле и его трубки магниторазведкой не выделяются (8).

Однако, известно, и что более половины кимберлитовых трубок Якутии и практически все кимберлиты Архангельской области открыты при помощи магнитометрии, а, с другой стороны, уникальные по алмазопродуктивности все диатремы Накынского поля в магнитном поле не выделяются; крайне низкий уровень и размер локальной магнитной аномалии (14 нТл .на земле – 1 точка) был зафиксирован в Мирнинском поле над его самой богатой по содержанию алмазов на тонну трубкой Интернациональная.

Описанные обстоятельства позволяют считать, что среди алмазных кимберлитовых полей, при обратной связи «намагниченность - алмазность» вполне могут присутствовать повышенно алмазные диатремы, не выделяющиеся при современных технологических приемах проведения и интерпретации данных магнитометрических съемок. В частности об этом свидетельствуют многочисленные ореолы (более десятка) индикаторных минералов кимберлитов (вплоть до ореолов обломков кимберлитовых пород) в

Описанные обстоятельства позволяют считать, что среди алмазных кимберлитовых полей, при обратной связи «намагниченность - алмазность» вполне могут присутствовать повышенно алмазные диатремы, не выделяющиеся при современных технологических приемах проведения и интерпретации данных магнитометрических съемок. В частности об этом свидетельствуют многочисленные ореолы (более десятка) индикаторных минералов кимберлитов (вплоть до ореолов обломков кимберлитовых пород) в

Описанные обстоятельства позволяют считать, что среди алмазных кимберлитовых полей, при обратной связи «намагниченность - алмазность» вполне могут присутствовать повышенно алмазные диатремы, не выделяющиеся при современных технологических приемах проведения и интерпретации данных магнитометрических съемок. В частности об этом свидетельствуют многочисленные ореолы (более десятка) индикаторных минералов кимберлитов (вплоть до ореолов обломков кимберлитовых пород) в

Мало-Ботуобинском районе вообще, и в Мирнинском кимберлитовом поле в частности. Имеются даже промышленные россыпи алмазов (лог Глубокий), которые по сей день не получили привязки к коренному источнику.

Исследование отказов любого из модулей поискового метода не является самоцелью. Задачей этого исследования является не только выявление «слабых мест», но и попытка найти какие-либо решения, минимизирующие влияние этих отказов на эффективность поисковой практики.

На рисунке 3 приведен график, иллюстрирующий связь алмазности кимберлитовых тел промышленно алмазоносных полей Якутии с содержанием в этих трубках серы. Все данные по сере здесь даны по материалам Иосифа Петровича Илупина, частично опубликованных в открытой печати, а частично переданных автору настоящей статьи в рабочем порядке.

Данные, приведенные на графике хорошо укладываются в намечаемые выше в рамках настоящей статьи тенденции:

- Между магнитной восприимчивостью кимберлитов и содержаниями в них серы установлена статистически значимая обратная корреляционная связь (см. табл. 2);
- Между намагниченностью кимберлитов и содержанием в них алмазов также намечается обратная корреляция (см. рис. 2);
- Между содержанием алмазов в трубках и содержанием в них серы (Рис.3.) отчетливо просматривается положительная корреляция.

Следовательно, **высокоалмазные, но немагнитные или слабомагнитные кимберлитовые тела характеризуются повышенными концентрациями серы.**

Сделанный вывод применительно к практике поисковых работ на алмазы в первую очередь требует уточнения по минералогическим формам серы в алмазоносных кимберлитах, он требует уточнения по изотопии серы в промышленных и непромышленных трубках, он требует существенно большей статистики с выходом за пределы якутских алмазоносных полей (13). Однако, к сожалению, геохимия, изотопия серы в кимберлитах

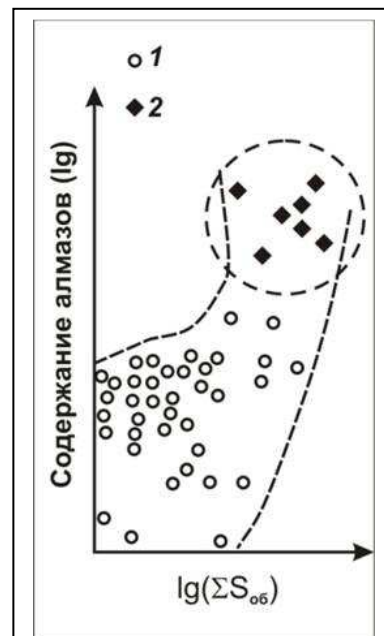


Рис. 3. К оценке корреляции содержаний серы и алмазов в промышленно-алмазоносных полях Якутии ((1- не алмазоносные и убого алмазоносные трубки или отдельные фазы; 2 – то же промышленно- или около промышленно алмазо-

изучены совершенно недостаточно, очень слабо изучена и минералогия содержащих серу минералов кимберлитов.

Ну, с другой стороны, в пользу сульфидного аспекта поисковых немагнитных или слабوماгнитных кимберлитовых тел повышенной алмазоносности геофизическим методом вызванной поляризации имеются следующие весьма веские аргументы:

1. Выше со ссылкой на (4) уже упоминалось о факте широкого распространения пирита в связующей массе кимберлитовых пород одного из самых богатых по продуктивности Накынского поля Якутии. По устному сообщению главного геолога компании «АЛРОСА» тяжелая фракция этих трубок в цехе доводки на обогатительной фабрике представлена в основном алмазами и пиритом. В работах В.К. Гаранина и Г.В. Кудрявцевой (1.2) имеются многочисленные ссылки на включения сульфидов в самих алмазах и других минералах кимберлитов.

2. По сообщению бывшего главного геофизика Иреляхской геофизической (ныне Ботуобинской) экспедиции ПГО «Якутскгеология» Б.С. Парасотки в начале 80-х годов опытно-методические работы методом вызванной поляризации проводились на трубках Мирнинского поля. В результате весьма контрастный аномальный эффект был получен от трубки Интернациональная (наиболее продуктивное тело в поле); менее контрастный – от трубки Мир (средняя продуктивность); малоконтрастный от трубки Таежная (0,3 карата/тонну); не было выделено аномалии от трубки Амакинская (0,01 карата/тонну). Несмотря на эти результаты метод ВП не был включен в типовой прогнозно-поисковый комплекс, т.к. «не выделял все кимберлитовые тела», а также выделял достаточное количество аномалий не связанных с кимберлитами, классификация которых была невозможна по измерительным возможностям аппаратуры того времени..

3. В 1995 году автором настоящей статьи были организованы и проведены опытно-методические работы методом ВП на кимберлитовых телах Далдыно-Алаakitского района Якутии. Работы проводились лучшей на то время аппаратурой ВП производства компании Zongle Engineering (США), специалистами этой компании при финансовой и методической поддержке компании RTZ Minig & Exploration (Англия). С российской стороны участвовали специалисты компании АЛРОСА. Исследования выполнялись в модификации CR-IP (комплексного сопротивления - вызванной поляризации) для изучения истинной поляризации кимберлитов и вмещающих пород. В результате проведенного исследования оказалось, что аномалии вызванной поляризации при измерениях с дневной поверхности методом CR-IP получены для всех алмазоносных объектов (трубка Краснопресненская, алмазоносные фазы трубок Сытыканская и Дальняя), для не промышленных объектов аномалии не установлены. Также удалось установить, особые спектральные характе-

ристики сигнала вызванной поляризации, по которым алмазоносные кимберлиты отличаются от других поляризующихся объектов, установленных при исследованиях;

Завершая рассмотрение отказов магнитометрического метода при поисках алмазоносных кимберлитов в вещественно-индикационном модуле, связанных с пониженной намагниченностью отдельных составляющих компонентов трубок, представляется возможным констатировать *ограниченность метода в отношении трубок повышенной алмазоносности и возможность замены его на современные технологические решения на основе метода вызванной поляризации.*

Сделанный вывод казалось бы, противоречит имеющемуся историческому опыту алмазопроисковых работ, в соответствии с которым известно, что от трубок Мир, Удачная и ряда других алмазных «монстров» в наблюдаемом магнитном поле фиксируются аномалии, измеряемые даже в воздухе десятками и даже первыми сотнями нТл. И это действительно так и это весьма крупные по размерам трубки, но содержания алмазов в них в разы уступает небольшим и слабомагнитным диатремам, таким как Интернациональная, Айхал, Ботуобинская, Нюрбинская. Однако, в своей докторской диссертации Е.В. Францесон давно показала, что главная алмазоносная фаза (наиболее глубинная (?)) в промышленных месторождениях относительно ограничена по объему, она маложелезистая и слабомагнитная. Но она может формировать, как самостоятельные геологические тела – небольшие и высокоалмазоносные; и она может «смешиваться» с иными по глубинному уровню продуцентами мантийного магматизма (в нашем случае более железистыми и менее алмазоносными), приводя, в конечном счете к прорыву на поверхность больших контаминированных масс глубинного материала, в той или иной мере усрелненных по свойствам и алмазоносности.

Тогда следующим аспектом исследования отказов при поисках магнитометрическим методом становятся отказы, связанные с внутренней неоднородностью в строении диатрем, различным пространственным сорасположением магнитных и немагнитных фаз, с общей морфологией самого кимберлитового тела.

А.12. Весьма сложное сочетание магнитоактивных и немагнитных разновидностей

□ кимберлитов, затрудняющих классификацию и количественные оценки аномалий

Традиционно (10 и др.), при выделении, классификации и количественной оценке локальных магнитных аномалий, рекомендуемых в качестве перспективных на обнаружение кимберлитовых тел, рассматриваются аномалии т.н. «трубочного типа». Главной особенностью предполагаемых источников этих аномалий является значительная протяженность на глубину при небольшой площади сечения на горизонтальной поверхности. При этом наиболее характерным типом источника здесь принимается вертикальный цилиндр. В левой части рисунка 4 приведен модельный вид такой аномалии, главным параметром которой (при стандартизированной морфологии) обычно рассматривается интенсивность в эпицентре ΔT_{\max} . Ширина аномалии обычно принимается близкой к диаметру поискового объекта (цилиндра-трубки).

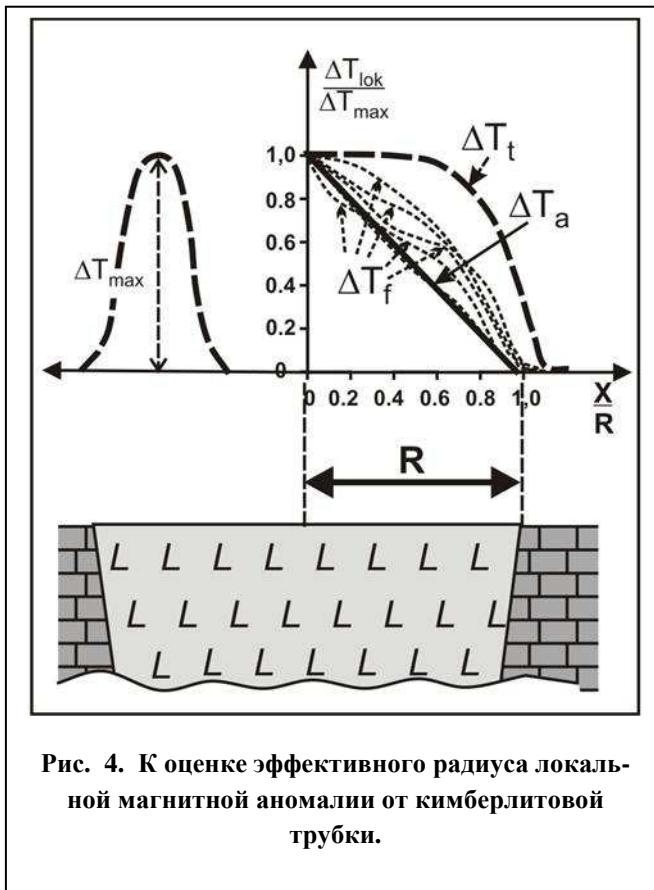


Рис. 4. К оценке эффективного радиуса локальной магнитной аномалии от кимберлитовой трубки.

Однако, как показал простой анализ имеющихся данных по разведанным кимберлитовым телам, они практически никогда не имеют форму цилиндра. В самом простом случае (11) эти объекты имеют морфологию усеченного конуса со средним углом между образующей и горизонтальной поверхностью в 82-84°. Но самое главное это то, что практически никогда намагниченность кимберлитовых тел не бывает однородной по всему объему.

Ранее (14,15) при исследовании надежности магнитометрического метода поисков кимберлитов для Мало-Ботубинского района, нами были собраны статистические данные по особенностям отражения в магнитном поле реальных кимберлитовых тел в сравнении с теоретическим видом магнитных аномалий трубчатого типа.

На рисунке 4 (правая часть) эти данные приведены в обобщенном виде ΔT_f и в сравнении с теоретическим видом кривой ΔT_t . Для каждой фактически измеренной аномалии от трубки было проведено сечение через эпицентр. Далее, значение поля в эпицентре было принято за единицу, а остальные значения показаны на рисунке в долях от максимального. То же было проведено и с размерами аномалий по пересечению. За единицу

был принят радиус кимберлитового тела и для каждой точки графика удаление от эпицентра оценивалось в долях этой единицы.

Сравнивая приведенные данные можно увидеть между ними принципиальное различие. Оно заключается в том, для теоретической кривой сечение аномалии по ее близкому к максимальному значению (уровень 0,6 или 0,8 от максимума) практически совпадает с сечением кимберлитового тела. Т.е. площадь аномалии в области околосимаксимальных значений близка к площади кимберлитового тела. Анализируя же фактические данные по спаду интенсивностей аномалий при удалении от эпицентра, можно для ситуации “худшего случая” принять зависимость линейного типа, “интенсивность сигнала - радиус аномального контура” которая показана на рисунке толстой линией ΔT_a . Аналитически эта зависимость может быть записана следующими уравнением:

$$R_{ан} = R_{об} \left(1 - \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T_{max}} \right) \quad [1]$$

где $R_{ан}$ - радиус аномалии, выделяемой при полученной точности съемки и характерной для района работ амплитуды помех, $R_{об}$ - радиус объекта поисков, ΔT_{min} - уровень локальной составляющей поля, по которому проводится оконтуривание аномалии, ΔT_{max} - интенсивность локальной составляющей поля в эпицентре аномалии над трубкой. Так, например, если аномалия в эпицентре имеет интенсивность в 25 нТл, а ее оконтуривание проводится по изолинии 10 нТл, то радиус аномалии будет составлять 0,6 от радиуса поискового объекта, а площадь сечения в сравнении с трубкой уменьшится почти в три раза.

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что **площадь сечения локальной магнитной аномалии от кимберлитовой трубки существенно отличается от площади сечения последней на поверхности эрозионного среза и зависит от соотношения интенсивности аномалии в эпицентре и минимального уровня, с которого выделяется аномалия.** Этот вывод особенно важен для трубок, кимберлиты которых слабо намагничены, и должен учитываться при проектировании. Основным методом предотвращения отказов этого типа является уменьшение расстояния между маршрутами и точками наблюдения, а также специальные технологии обработки и интерпретации данных, направленные на выделение полезного сигнала на фоне помех.

в. ОТКАЗЫ В ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ МОДУЛЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПОИСКАХ КИМБЕРЛИТОВ

К этой группе отказов в любой паре «объект – метод» отнесены любые реальные и возможные ситуации, при которых пропуск поискового объекта, даже обладающего

некоторым измеримым уровнем контрастности индикационного параметра, происходит или может происходить **из-за неблагоприятной ландшафтно-геологической обстановке на участке его залегания.** Применительно к магнитометрическому методу поисков кимберлитов эти отказы перечислены в таблице 3.

Таблица 3. Перечень вероятных и действительных отказов в ландшафтно-геологическом модуле магнитометрического метода при поисках кимберлитов

<i>Краткое описание фактора, определяющего ландшафтно-геологическую обстановку</i>	<i>Индекс отказа и его характеристика</i>
<i>Явления, обуславливающие эффект статистического экранирования сигнала от поискового объекта</i>	
Наличие в перекрывающем разрезе высокомагнитных магматических образований, как правило, силлов, реже другой формы тел трапповой формации	<p>b.1. Аномально высокая дифференциация локальной составляющей аномального магнитного поля, обусловленная существенной изменчивостью морфологических особенностей кровли сила под влиянием современных и древних эрозионных процессов</p> <p>b.2. То же обусловленная <u>существенной изменчивостью морфологии подошвы сила, связанная с протектонической трещиноватостью*</u>.</p> <p>b.3. То же обусловленная существенной изменчивостью петромагнитных характеристик сила в связи с процессами кристаллизационной дифференциации.</p> <p>b.4. То же обусловленная существенной изменчивостью геолого- петромагнитных особенностей строения <u>верхней части трапповых интрузий (зоны дезинтеграции, глыбовых элювиально-делювиальных развалов, локальные участки аккумуляции магнитоактивных минералов траппов, высвободившихся при выветривании и т.д.)</u>.- для наземных магнитных съемок.</p>
Наличие в перекрывающем разрезе средне- и слабомагнитных осадочных образований.	<p>b.5. Малоконтрастная, но высокочастотная дифференциация локальной составляющей аномального магнитного поля, обусловленная <u>существенной фациальной изменчивостью осадочных пород, особенно континентального генезиса – для наземных магнитных съемок.</u></p> <p>b.6. То же, обусловленная существенной изменчивостью геолого-петромагнитных особенностей строения верхней части осадочных толщ в зоне современного и древнего корообразования.</p>
Наличие во вмещающих кимберлиты породах других достаточно контрастных аномальных источников.	b.7. Суперпозиция аномальных эффектов от кимберлитового тела и магнитоактивных пород, залегающих в зоне активного динамического влияния кимберлитов-вмещающих разломов (дайки траппов среднепалеозойского возраста, кальцит-магнетитовые брекчии и т.д.).
<i>Явления, обуславливающие эффект физического экранирования сигнала от поискового объекта</i>	
Наличие в пределах поискового участка захороняющих трубки пород значительной мощности	b.8. <u>Существенное ослабление сигнала от поискового объекта с ростом мощности захороняющих образований</u>

. * Примечание: В таблице подчеркнуты сплошной линией ситуации, характеризующиеся систематической встречаемостью на практике.

Прокомментируем некоторые из наиболее характерных отказов в ландшафтно-геологическом модуле для магнитометрического метода.

b.2. Аномально высокая дифференциация локальной составляющей аномального магнитного поля, обусловленная существенной изменчивостью морфологии подошвы силла, связанная с прототектонической трещиноватостью.

Обобщение существующих материалов геологических съемок (ПГО «Якутск-геология» и проведение собственных исследований (14,15) позволило выделить три типа поисковых обстановки применительно к проведению алмазописковых работ на площадях распространения трапповых комплексов. Первая из них, наиболее сложная, широко распространена в зонах крупных тектонических нарушений, по которым происходило внедрение трапповой магмы в осадочный чехол - **ахтарандинский тип поисковой обстановки**. Для этого типа характерны внушительные мощности интрузий (сотни и многие сотни метров), широкий диапазон продуктов кристаллизационной дифференциации, значительная весьма неупорядоченная изменчивость магнитной восприимчивости и остаточного намагничивания пород, весьма разнообразная ориентация вектора остаточного намагничивания. В таких обстановках магнитометрия не может решать поисковую задачу. Вторая поисковая обстановка развита на территориях, распространения существенных по мощности (многие десятки и самые первые сотни метров) дифференцированных интрузий преимущественно пластовой морфологии – силлов. Такие разрезы широко распространены на территории Алакит-Мархинского кимберлитового поля, что позволяет далее говорить о соответствующей **айхальской поисковой обстановке**. Значительная мощность трапповых интрузий, приводит здесь также к отчетливой проявленности следов кристаллизационной дифференциации пород, но здесь изменчивость петромагнитных параметров вполне закономерна по разрезу силлов, а вектор остаточного намагничивания достаточно устойчив по ориентации. В этих условиях на небольших по размеру площадях и с использованием данных параметрического бурения возможно моделирование магнитного поля от образования - помехи (траппового тела) с последующей редукцией наблюдаемого поля () и выделением перспективной локальной аномалии.

Наименее сложная для моделирования ситуация характерна для площадей распространения траппов в радиусе нескольких десятков километров от г. Мирный - **мирнинская поисковая обстановка**.

Трапповые силлы на этой территории относительно маломощны (десятки, редко до 100 м), без явных признаков кристаллизационной дифференциации, устойчивы (в масштабе соизмеримым с аэросъемками) по



Рис. 5. Пространственно-геометрическая модель фрагмента силла траппов типичная для мирнинской поисковой обстановки (1 – линия выхода подошвы силла, 2 – линии прототрещиноватости, 3 изохоры силла) и секущая его линия маршрута аэромагнитной съемки

Ботубинского района. Это обстоятельство позволило рассматривать выделенные малоамплитудные трещины, как внутреннюю прототектоническую трещиноватость силлов.

Проведенное вычисление аномального магнитного поля в точки реального аэромаршрута (на Рис. 5 – маршрут 114) от трехмерной модели силла при постоянных значениях петромагнитных характеристик позволило получить (Рис.6) весьма близкую конфигурацию графиков для фактически измеренного поля (линия 1 на рисунке) и поля от построенной модели (линия 2). Раздельный учет вклада в дифференциацию поля изменчивости подошвы тела (линия 3) и его современной эрозионной поверхности (линия 4) отчетливо показывает, что главным фактором здесь является первый.

Таким образом, проведенные исследо-

штабе соизмеримым с аэросъемками) по петрофизическим свойствам. Проведенное для этой ситуации исследование факторов, определяющих дифференциацию магнитного поля над траппами в материалах аэрогеофизической съемки (геологическое картирование, петрофизические исследования) позволили установить широкое распространение нескольких систем трещиноватости (Рис.5). Амплитуда смещений по этим трещинам измеряется самыми первыми метрами и резко затухает во вмещающих породах. Позднее оказалось, что ориентировка направлений этих систем практически одинакова для всей восточной части Мало-

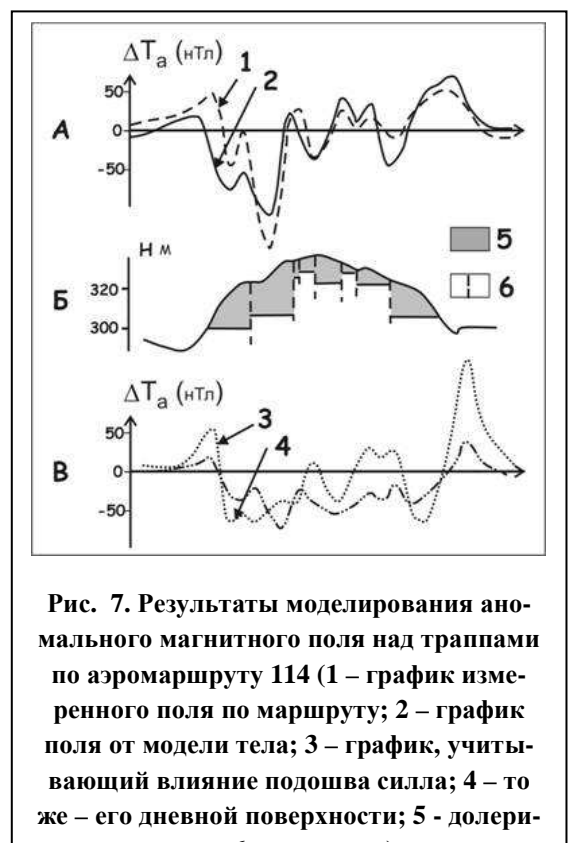


Рис. 7. Результаты моделирования аномального магнитного поля над траппами по аэромаршруту 114 (1 – график измеренного поля по маршруту; 2 – график поля от модели тела; 3 – график, учитывающий влияние подошва силла; 4 – то же – его дневной поверхности; 5 – долериты)

вания не только выявили основную причину дифференциации магнитного поля на высотах аэромагнитной съемки для территорий развития мирнинской, да и айхальской поисковых обстановок – наличие прототектонической делимости в силлах с небольшими вертикальными амплитудами в подошве (первые десятки метров), но и позволили наметить технологию редукции магнитных полей на площадях распространения траппов с выделением остаточных перспективных аномалий. При заверке одной такой аномалии недалеко от Мирного бурением была вскрыта кальцит-магнетитовая брекчия.

b.5. Малоконтрастная, но высокочастотная дифференциация локальной составляющей аномального магнитного поля, обусловленная существенной фациальной изменчивостью осадочных пород, особенно континентального генезиса – для наземных магнитных съемок. Отмеченная выше низкая магнитная восприимчивость особо ценных кимберлитовых тел (десятки $n \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) на фоне вмещающих карбонатных пород (единицы $n \cdot 10^{-5}$ ед. СИ), обуславливает возможность отражения таких трубок малоконтрастными аномалиями интенсивностью в единицы – самые первые десятки нТл. В этом случае особо важными факторами становятся состав и фациальная изменчивость осадочных комплексов пород, захороняющих кимберлитовые тела. В таблице № 4 на примере Мало-Ботуобинского района приведены основные характеристики локальной составляющей магнитного поля, полученные по результатам обработки данных наземных магнитных съемок.

Таблица 4. Ландшафтно-геологические обстановки центральной части Мало-Ботуобинского района и характер дифференциации локальной составляющей магнитного поля .

Ландшафтно-геологические обстановки	Закон распределения вариаций	Антилогарифм среднего логарифмов (нТл)	Стандартный множитель	Минимально-аномальный уровень для 99,86% (нТл)- ΔT_{min}
Элювиально-автономные, реже транс-элювиальные ландшафты на площадях приповерхностного залегания нижнепалеозойских образований	Лог-норм.	1.78	1.68	8.4
Транс-элювиальные ландшафты на площадях приповерхностного залегания верхнепалеозойских пород по обрамлению трапповых массивов	Лог-норм.	3.7	1.86	23.8
Элювиально-автономные и транс-элювиальные ландшафты на площадях	Лог-норм.	2.1	1.75	11.2

приповерхностного залегания пород оруктахской свиты				
То же на площадях приповерхностного залегания пород вакунайкинской свиты	Лог-норм.	1.92	1.64	8.5
Субаквальные и супераквальные ландшафты на площадях развития четвертичных отложений аллювиального и пролювиального генезиса	Лог-норм.	3.0	1.88	20.0

С учетом приведенной выше формулы (см. [1], легко видеть, что эффективные размеры малоконтрастных аномалий на фоне помех резко уменьшаются и для подсечения требуют применения сверхдетальных поисковых сеток. В отдельных случаях такие аномалии могут полностью перекрываться помехой.

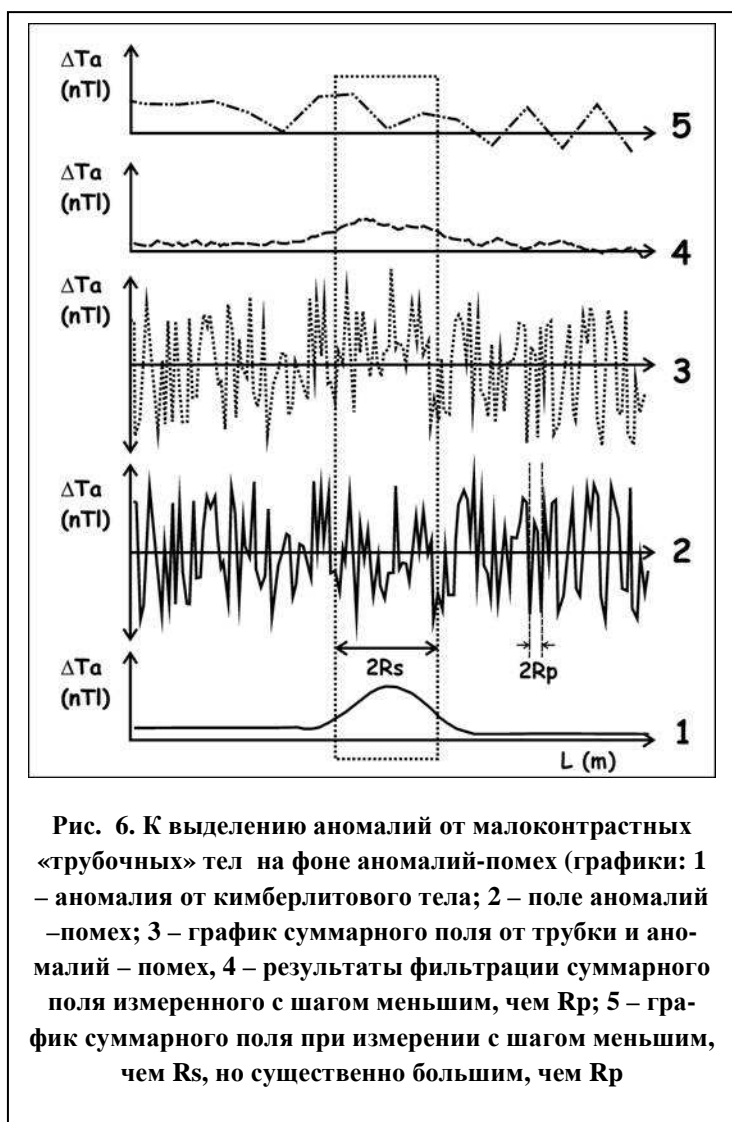
Для изучения значений радиуса автокорреляции (полуширины) аномалий – помех в различных ландшафтно-геологических обстановках проведены специальные практические непрерывные наблюдения по линиям профилей (с шагом 1 м). В результате оказалось, что значение этого параметра (R_p) измеряются обычно первыми метрами при средней ширине аномалии- помехи от 3 м (при наличии в разрезе обломков долеритов) до 5-7 метров (в других обстановках).

Как видно из полученных значений и сравнения их с параметрами аномалий от кимберлитовых тел (см. рис.4 при R от 50 до 500 м), **радиус автокорреляции аномалий-помех практически всегда во много раз меньше, чем радиус автокорреляции аномалий от трубок.** Природа этого соотношения вполне очевидна, она определяется различными глубинами залегания трубок и перекрывающих их отложений, а также различным характером распределения в них магнитных минералов.

Проведенное исследование природы рассматриваемого отказа позволяет предложить весьма эффективную полевую технологию магнитометрической съемки минимизирующую вероятность отказа метода. Она заключается в том, что шаг наблюдений по профилю следует уменьшить до размера, позволяющего описать все поле помех по профилю полностью. Действительно, на рисунке 8 приведен модельный пример, в котором показаны: 1- аномалия от трубки шириной $2R_s$; 2 – поле помех с шириной $2R_p$ (при этом $R_p \gg R_s$); 3 – график суммарного поля от трубки и аномалий – помех, 4 – результаты фильтрации суммарного поля измеренного с шагом меньшим, чем R_p ; 5 – график суммарного поля при измерении с шагом меньшим, чем R_s , но существенно большим, чем R_p .

Как видно из сопоставляемых данных из результатов проведенных наблюдений при весьма малом шаге (график «3») вполне удастся выделить аномалию от трубки (график «4»). При величине же шага наблюдений, ориентированном только на подсечение тела (график«5») Никак шансов на выделение поискового объекта не остается. В рассмот-

ренном примере уровень амплитуды помех принят явно большим, чем интенсивность аномалии от трубки.



литоперспективных магнитных аномалий.

с-d. ОТКАЗЫ В ТЕХНИКО-МЕТРОЛОГИЧЕСКОМ И ГЕОЛОГО-ИНТЕРПРЕТАЦИОННОМ МОДУЛЯХ

К первой из перечисленных группе отказов – отказов в **технико-метрологическом модуле** относятся все действительные и возможные ситуации при которых пропуск объекта поисков даже при его достаточной суммарной намагниченности и в относительно благоприятной ландшафтно-геологической обстановке происходит или может произойти **из-за редкой сети или низкой точности наблюдений**. Ранее отказы этой группы были одними из главных факторов, определяющих качество и надежность работ методом на алмазы. Однако, в настоящее время, благодаря успехам в геофизиче-

Предлагаемая технология не могла быть использована несколько десятилетий назад – пик применения площадной наземной магнитометрии на кимберлиты. Каждое измерение в то время требовало значительных затрат труда, да и точность измерений была ограничена.

Но, современные наземные магнитометры, кардинально отличаются от магнитометров предыдущего поколения по точности и производительности измерений. Современные полевые магнитометры позволяют проводить высокоточные измерения непрерывно по линии профиля, а цифровая форма накопления информации, в свою очередь, весьма упрощает процесс последующего выделения кимбер-

ском и геодезическом приборостроении, вероятность многих из них практически сведена к нулю.

Практически единственным вероятным отказом здесь является возможность неподсечения поискового объекта минимально-промышленного значения из-за его небольших размеров или специфической морфологии. Эта проблема является общей для многих поисковых методов и рассмотрена нами ранее (16). Там же приведены рекомендации по построению систем наблюдений предельно минимизирующих вероятность такого отказа.

К отказам **в геолого-интерпретационном модуле** магнитометрии при поисках месторождений алмазов отнесены все действительные и возможные ситуации при которых пропуск объекта поисков уже зафиксированного в результатах полевых геофизических наблюдений происходит или может произойти на этапах интерпретации этих данных и прогнозирования.

Как правило такие отказы могут проявляться в виде:

- невыделения аномалий от поискового объекта на этапе первичной обработки данных;
- отнесения выделенной аномалии от поискового объекта на этапе классификации к группе аномалий малоперспективных или бесперспективных на кимберлиты;
- ошибок в определении местоположения аномалообразующего объекта.

Существует достаточно большая группа причин, приводящая к отказам метода в геолого-интерпретационном модуле. В таблице №5 приведены наиболее типичные из них и подчеркнуты те, которые, на наш взгляд, имеют наиболее актуальное значение в настоящее время.

Таблица 5. Перечень вероятных и действительных отказов в геолого-интерпретационном модуле магнитометрического метода при поисках кимберлитов

<i>Наименование этапа интерпретационных работ</i>	<i>Индекс отказа и его характеристика</i>
Этап выделения всех локальных аномалий в измеренном поле, удовлетворяющих критериям минимальной аномальности	d.1. Несоответствие минимального уровня контрастности выделенных аномалий реальным характеристикам воспроизводимости результатов наблюдений, обуславливающее возможность пропусков малоконтрастных объектов.
	d.2. Применение статистических приемов выделения и классификации аномалий с использованием несоответствующих действительности значений априорных вероятностей принадлежности сигнала объекту или помехе и предполагаемых цен "ложной тревоги" и "пропуска" поисковых объектов (12).
	d.3. Невыделение локальных отрицательных аномалий, обуславливающее возможность пропуска трубок с обратным намагничением.
Этап классификации аномалий при сопоставлении с априорными данными	d.4. Отказ в одном из модулей других методов исследований, результаты которых используются для классификации локальных магнитных аномалий.

Этап классификации аномалий по перспективности на обнаружение кимберлитовых тел	<u>d.5.</u> Априорные ограничения на основе директивных внегеологических соображений, предъявляемые к количеству и местоположению аномалий, выделяемых под заверку в качестве кимберлитоперспективных.
Этап разработки проекта по заверке выделенной аномалии горно-буровыми работами	<u>d.6.</u> Смещение аномалии относительно центра поискового объекта при косом намагничении.
	<u>d.7.</u> Ошибки в оконтуривании аномалии, обусловленные различным намагничением отдельных частей поискового объекта.
	<u>d.8.</u> Ошибки в определении глубины залегания верхней кромки объекта, связанные с количественными расчетами.

Из перечисленных отказов большинство достаточно полно освещены в литературе (Тархов) или очевидны по смыслу. Кратко остановимся только на одном из них.

d.5. Априорные ограничения на основе директивных внегеологических соображений, предъявляемые к количеству и местоположению аномалий, выделяемых под заверку в качестве кимберлитоперспективных.

Известная тенденция к снижению интенсивности выделяемых локальных аномалий от предполагаемых трубок, по сравнению с аномалиями контрастными, практически автоматически приводит к значительному увеличению общего количества выделяемых аномалий, увеличению в этом количестве доли «ложных аномалий», т.е. не связанных с кимберлитами. Такая «результативность» поисков иногда вызывает субъективное желание уменьшить любыми путями число выделяемых аномалий под горно-буровые работы, иногда это желание вызвано ограниченностью объемов горно-буровых работ. Тогда в угоду этому желанию или ограниченности в возможностях из списка рекомендуемых под заверку исключается достаточное большое количество аномалий, часто под самыми случайными предлогами (малая контрастность, наличие или отсутствие, например кольцевых структур, космических линеаментов и пр.). В большинстве подобных ситуаций риск пропуска при прогнозной классификации всех минимально-контрастных аномалий без горно-буровых работ остается достаточно большим.

Ранее (8), было показано, что для уменьшения числа «ложных аномалий» на больших по размерам поисковых площадях существует только один путь-это последовательное и обоснованное сокращение площадей на которых ведутся поиски. Именно последовательное и обоснованное. Такие технологии принято называть стадийными технологиями поисков. Применительно к месторождениям алмазов последовательность промежуточных для стадий поисковых объектов «кимберлитовое поле» - «куст трубок» - «трубка» была давно описана и предложена в замену т.н. «сокращенной» схемы поисков (6). Совсем недавно, используя этот подход и уточненную модель куста кимберлитовых тру-

бок специалистами ЦНИГРИ были открыты трубки КЗб и К8 на территории Архангельской области.

е. ОТКАЗЫ В ЗАВЕРОЧНОМ МОДУЛЕ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОИСКОВ КИМБЕРЛИТОВ

К отказам **заверочного модуля** в рассматриваемом случае относятся все действительные и возможные ситуации, при которых пропуск объекта поисков даже при его отражении в измеренном поле и при наличии рекомендаций под заверку горно-буровыми работами происходит или может произойти, либо **из-за низкого качества заверочных исследований, либо попросту из-за непроведения этих работ на выделенном аномальном объекте.**

Не смотря на кажущийся нонсенс с выделением отказов обозначенной группы - зачем проводить магнитометрию на алмазы, если не заверять или плохо заверять выделенные аномалии - она часто пользуются наибольшим распространением в практике поисковых работ. Здесь достаточно привести пример, что из двух тысяч локальных аномалий, выделенных и рекомендованных к заверке за полувековой период работ одной из алмазопроисловых экспедиций в Якутии, только 30% оказались удовлетворительно исследованы на завершающем этапе работ. Для них была проведена доказательная идентификация аномалообразующего объекта и единицы, из которых оказались кимберлитовыми телами. Для остальных аномалий геологическая природа либо не определялась, либо аномалообразующий объект не был вскрыт, либо работы проводились без капаметрии образцов или керна и без специального каротажа скважин.

Современная передовая отечественная и зарубежная практика поисков кимберлитовых тел магнитометрическим методом предполагает необходимым выполнение следующей последовательности работ при заверке локальных аномалий:

- Детализация выделенной на профиле аномалии серией параллельных и секущих профилей, достаточной для уверенного оконтуривания аномалии и определения ее эпицентра;
- Проведение количественного моделирования путем решения обратной задачи магнитометрии и построением 3D модели аномалообразующего источника;
- Проведение буровых работ серий скважин через вероятное местоположение аномалообразующего источника с выходом в фоновую область и с переуглубкой, обеспечивающей изучение объекта не измененного гипергенными процессами на необходимую для дальнейшего моделирования глубину;

- Проведение ГИС по скважинам и отбор образцов для изучения петромагнитных характеристик;
- Построение петромагнитной модели по изученному скважинами пространству с решением прямой задачи магниторазведки;
- Сопоставление локальной составляющей аномального магнитного поля, измеренного с поверхности с аномальным полем, полученным при решении прямой задачи;
- Принятие решения о окончании или продолжении заверочных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Более половины из 1200 кимберлитовых тел Якутии и практически все (около 100) кимберлитовые тела Архангельской области обнаружены при помощи магнитометрии. Однако, не смотря на этот факт, проведенные и кратко описанные выше исследования по анализу качества и надежности магнитометрического метода при поисках кимберлитов позволили обнаружить целый ряд вероятных и действительных ситуаций, при которых коренные месторождения алмазов им пропускаются или могут пропускаться.

Прежде всего, оказалась, что повышенная намагниченность кимберлитовых тел, а тем более, аномально высокая намагниченность не является генетически неотъемлемым свойством алмазоносной породы в, первую очередь породы повышенно алмазоносной. Этот тезис прекрасно подтверждается феноменом Накынского (Средне-Мархинского) кимберлитового поля, высокоалмазоносные объекты которого не нашли отражения в материалах современных магнитных съемок. Далее удалось обозначить неблагоприятные ландшафтно-геологические обстановки применения метода, которые включили в себя не только выделяемые и ранее области развития траппов, но и значительные области перекрытия вероятных тел верхнепалеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими образованиями. Значительный потенциал не обнаруженных объектов, по-видимому, кроется в ошибках на этапе интерпретаций данных и особенно заверки аномалий.

С другой стороны, проведенное исследование проблемы именно с позиций теории надежности систем, именно с позиции выделения и классификации и исследования причин вероятных и действительных отказов, позволило наметить, а местами и обосновать элементы новой технологии поисков промышленных месторождений в современных условиях. Так для поисков высокоалмазоносных, но слабомагнитных объектов показана возможная эффективность непрерывных магнитометрических наблюдений по линиям профилей, с последующей классификаций по перспективности, выделенных на фоне помех локальных аномалий, с использованием метода вызванной поляризации. Это пред-

ставляется важным для поисков высокоалмазоносных слабомагнитных объектов, как в районах действующих алмазодобывающих предприятий, так и на новых площадях.

Для повышения эффективности метода на площадях распространения траппов определены основные параметры, определяющие дифференциацию магнитного поля, и предложены приемы моделирования для выделения аномалий от трубок на фоне такого рода помех.

Описывая результаты проделанной работы, на настоящем этапе, вряд ли возможно утверждать, что в ней обозначены все «слабые стороны» магнитометрического метода и для всех из них найдены или намечены конструктивные позитивные решения для поисков месторождений алмазов. В этой связи, хотелось бы привлечь своих коллег геологов и геофизиков – алмазников к публикации в научной печати, как положительных, так и отрицательных примеров из истории поисков месторождений алмазов с разбором ситуаций на основе предложенных выше модулей геологической эффективности поисковых методов: вещественно-индикационного, ландшафтно-геологического, технико-метрологического, геолого-интерпретационного и заверочного.

Литература

- 1) Гаранин В.К., Крот А.Н., Кудрявцева Г.П. Сульфидные включения в минералах из кимберлитов. Часть 1 и2. М: Из-во МГУ, 1988, 48с.,176 с.
- 2) Гаранин В. К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М. Из-во МГУ, 1991, 240с.
- 3) Зинчук Н.Н., Постмагматические минералы кимберлитов. М. Недрa 2000. 538 с.
- 4) Зинчук Н. Н., Бондаренко А. Т., Гарат М.Н Петрофизика кимберлитов и вмещающих пород. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 695 с.
- 5) Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францессон Е.В. Геохимия кимберлитов М.: Недрa, 1978. 350 с.
- 6) Кривцов А.И. Методологические основы локального прогноза рудных месторождений. Советская геология. 1987, № 9, с.12-19
- 7) Кудрявцева Г.П. Ферримагнетизм природных оксидов. – М.: Недрa, 1088. – 232 с.: ил..
- 8) Контарович Р.С., Цыганов. В.А. Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов. «Геофизика», – 2000. – № 4 – С. 52-57
- 9) Маршинцев . В.К. Вертикальная неоднородность кимберлитовых тел Як:утии. - Новосибирск: Наука, 1986. 240 с.

- 10) Миков Б.Д. Гравиразведка и магниторазведка при поисках объектов трубчатой формы. – М. Недра, 1985. – 92 с.
- 11) Милашев В.А Трубки взрыва. - Л.: Недра, 1984. 268с.
- 12) Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. - М.: Недра, 1986. 341 с.
- 13) Рождественская В.А, Рудерман Е.Н., Цыганов В.А О сульфидном аспекте поисков кимберлитовых тел // Изв. вузов. Сер. Геология и разведка. 1985. - № 12. - С. 36-41.
- 14) Цыганов В.А, Могилевский В.Е. К вопросу о геологических причинах дифференциации аномального магнитного поля на площадях распространения траппов // Трапповый магматизм Сибирской платформы в связи с тектоникой и поисками полезных ископаемых. - Красноярск, 1983. -С. 198-200.
- 15) Цыганов В.А; Могилевский В.Е. Куликов. Н.Ф. Возможности аэромагнитной съемки при поисках кимберлитовых тел на площадях распространения траппов. в сб."Новые разработки по созданию эффективных методов рудной геофизики" Труды ЦНИГРИ вып. 222, М. 1988, с. 92-97.
- .16) Цыганов В.А. Надежность геолого-поисковых систем. - М.: Недра, 1994. – 299 с.: ил.
- 17) Штейнберг Д.С. Чащухин И.С. Серпентинизация ультрабазитов. Академия наук СССР институт геологии и геохимии М. Наука 1977 г. 312 с. ил. .

В печати.