

## Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов

Р. С. Контарович, В.А. Цыганов

Практика использования геофизических методов для поисков месторождений алмазов приближается к полувековому юбилею. Сотни кимберлитовых тел в России и тысячи - в мире были обнаружены при помощи геофизики. Значительные успехи и длительность применения позволяют провести анализ доступных данных, увидеть успехи геофизических технологий, выделить и изучить недостатки и ошибки, и на фоне этого - постараться увидеть завтрашний день поисковой геофизики на алмазы - алмазопоисковые геофизические технологии 21 века.

### А. Накынский прецедент

Вот уже несколько лет в геологии алмазных месторождений известно новое - Накынское (или Средне-Мархинское) кимберлитовое поле (Якутия). Его первая трубка была обнаружена практически случайно при проведении обзорных буровых работ по сети 20 км на 2 км. Вторая кимберлитовая трубка была обнаружена недалеко от первой при проведении заверки слабоконтрастной магнитной аномалии, связанной с траппами во вмещающих породах, т.е. также практически случайно. Уже в 1999 году рядом с первыми двумя трубками обнаружена еще одна. Ее вскрыла буровая скважина при бурении по сети 400х400 м на беззрудность в зоне вероятных промышленных построек.

Все эти трубки характеризуются весьма высокими концентрациями алмазов высокого качества и все они не выделились в изученных геофизических полях достаточно контрастными аномалиями. При этом важно учитывать, что за последние годы компанией «АЛРОСА» на рассматриваемой территории были проведены современные высокоточные магнитная и электромагнитная съемки, выделенные аномалии проверены бурением с отрицательным результатом для поисков алмазов. Следовательно, локальные аномалии от кимберлитовых тел, либо небыли выделены, либо небыли рекомендованы к заверочному бурению.

Приведенные данные позволяют говорить о Накынском феномене, т.е. о наличии кимберлитового поля с весьма ценными всеми кимберлитовыми телами, но с весьма неотчетливыми отражениями (или не отражениями) этих тел в материалах современных геофизических съемок. Представляется важным проанализировать природу этого феномена и рассмотреть его значение для практики использования геофизических методов при поисках коммерчески ценных месторождений алмазов. Следует получить ответы на следующие три вопроса:

- 1. Является ли Накынский феномен таким исключением из правила о высокой эффективности современных геофизических технологий для поисков коренных месторождений алмазов, которым можно пренебречь?*
- 2. Если этим исключением пренебречь нельзя, то каковы вероятные масштабы проявленности высокоалмазоносного магматизма, образования которого практически не отражаются в изучаемых геофизических полях ?*
- 3. Если эти масштабы окажутся значимыми, то какие могут быть оптимальные технологии для поисков месторождений подобного типа: высоко алмазоносных и весьма слабоконтрастных?*

Для ответа на поставленные вопросы рассмотрим некоторые теоретические предпосылки и примеры из практики алмазопоисковых работ в Якутии. Прежде всего постараемся оценить хорошо ли мы знаем индикационные свойства алмазоносных и высоко алмазоносных кимберлитов. Для этого рассмотрим результаты решения задачи о неслучайной выборке [3].

## Б. Задача о неслучайной выборке

Пусть на территории кимберлитового поля до проведения поисковых работ имеется некоторая генеральная совокупность кимберлитовых тел - т.е. она фактически существует и не зависит от нас или способа возможного обнаружения. При этом известно, что намагниченность трубок в хорошо изученных кимберлитовых полях описывается статистическим законом близким к экспоненциальному (Рис.1) - сильно магнитные трубки относительно редки, а слабомагнитные - весьма часты. Форма такого распределения одинакова для всех хорошо изученных полей кимберлитов, а среднее значение - главный параметр экспоненциального распределения - для каждого поля индивидуален.

Пусть поисковые работы в пределах этого поля проводятся магнитометрическим методом. Очевидно, что все высокомагнитные трубки при прочих благоприятных условиях будут обнаружены, а весьма слабо магнитные - частично или в основном - пропущены. В этом случае эффективность работы метода может быть оценена при помощи вероятностных характеристик поискового фильтра. Здесь по горизонтальной оси показана изменчивость намагниченности для конкретных трубок, а по вертикальной оси - вероятность их обнаружения при помощи магнитометрии при некоторой конкретной точности измерений и конкретной поисковой сети.

Обнаруженные трубки можно называть **неслучайной выборкой**, а пропущенные - **остаточной совокупностью**. На рисунке 1 показана неслучайная выборка и остаточная совокупность для экспоненциального распределения индикационного параметра. Анализ рисунка позволяет сделать следующие выводы:

- Распределение петромагнитных характеристик в неслучайной выборке, т.е. для обнаруженных объектов, вполне удовлетворительно описывается логнормальным законом. И относительная доля слабомагнитных трубок здесь весьма существенно ниже, чем в генеральной совокупности.
- Распределение петромагнитных характеристик остаточной совокупности, т.е. трубок не обнаруженных при проведенных поисках, описывается законом близким к экспоненциальному с резким и весьма существенным преобладанием слабомагнитных диаметров.

Основным же выводом из рассмотренного примера является вывод о неприменимости характеристик индикационных свойств известных, обнаруженных поисковых объектов или их некоторых пространственных групп (кустов, полей), к тем телам, кустам и полям, которые не обнаружены и являются объектами новых поисковых работ на ранее опосредованных территориях.

На рисунке № 2 по материалам Д.И. Саврасова [2] приведены данные, иллюстрирующие изменчивость средних характеристик намагниченности кимберлитов для 15 изученных (без Накынского) кимберлитовых полей Якутии. Видно, что характер гистограммы имеет отчетливый логнормальный вид, т.е. слабомагнитные и высокомагнитные поля встречаются достаточно редко.

В свете решения задачи о неслучайной выборке это обстоятельство позволяет **рассматривать обнаруженные кимберлитовые поля в Якутии в качестве неслучайной выборки из всей генеральной совокупности полей в регионе**. И, соответственно, предполагать наличие остаточ-

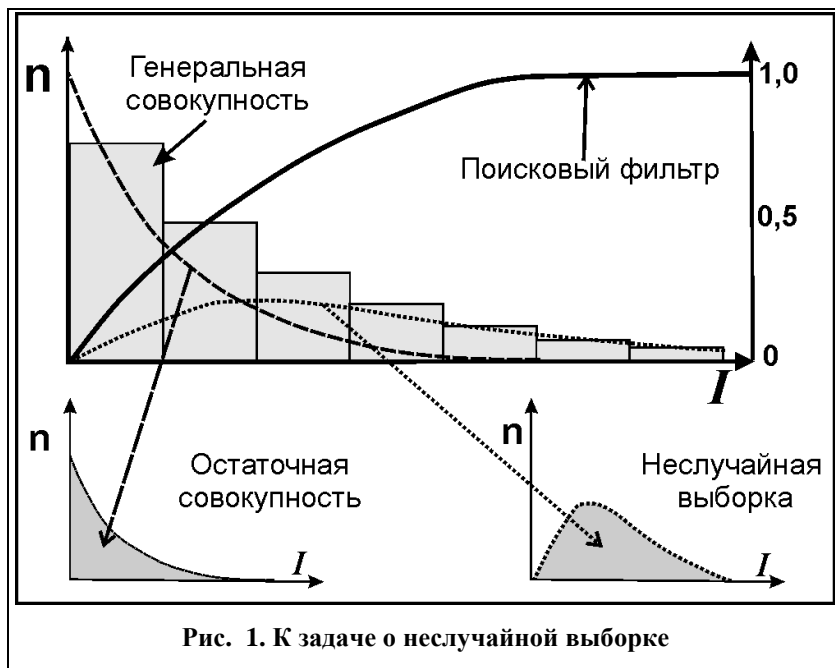
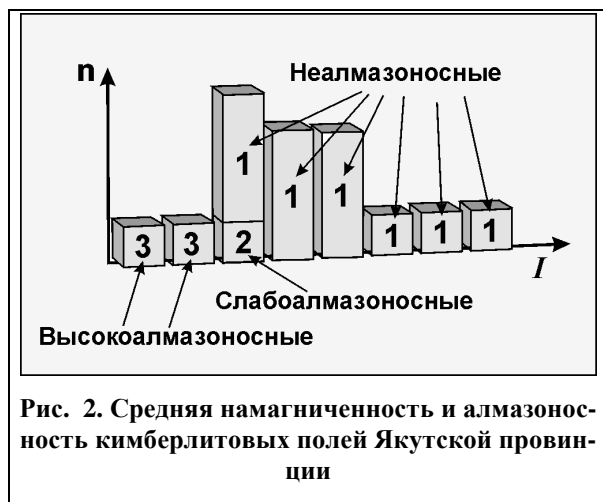


Рис. 1. К задаче о неслучайной выборке

ной совокупности полей из слабо намагниченных диатрем, систематически пропускаемых при поисках.

На этом же рисунке условными цифровыми индексами обозначен средний уровень алмазности известных кимберлитовых полей. И из приведенного графика видно, что средняя намагниченность по полям находится в отчетливой обратной корреляции со средним уровнем их промышленной алмазности.



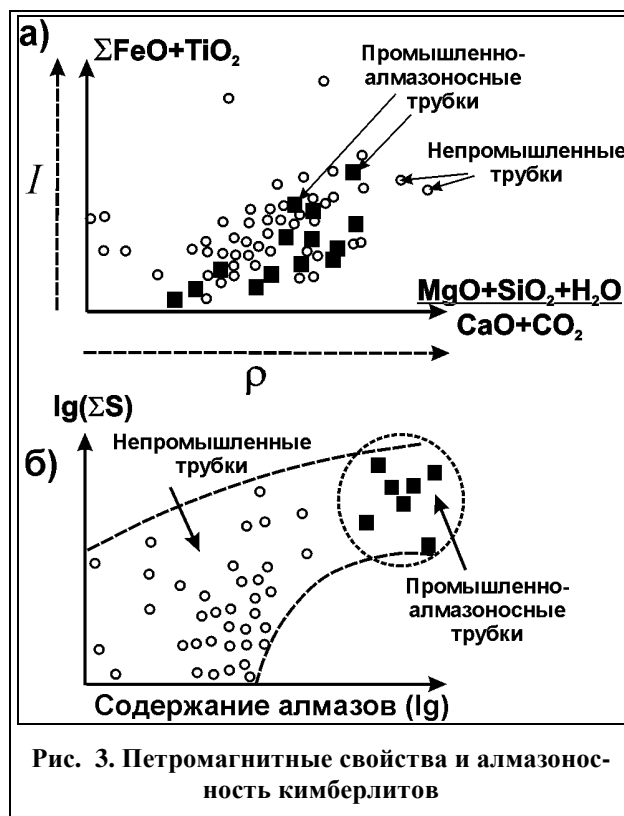
Приведенные данные, на наш взгляд, вполне достаточны для перевода описанных выше фактов для Накынского кимберлитового поля из категории феномена, в категорию прецедента. Т.е. эти данные позволяют утверждать, что **высокоалмазные и мало контрастные кимберлиты Накынского поля являются типичными представителями остаточной совокупности кимберлитовых трубок (полей), представляющих наибольший практический интерес для алмазодобывающей промышленности при крайне низкой эффективности их поисков традиционными геофизическими технологиями.**

Аналогичным образом могут быть рассмотрены данные о изменчивости концентраций в трубках пирропа, ильменита и других индикаторных минералов. Выводы из этих данных практически аналогичны полученным для петромагнитных характеристик трубок [4].

Приведенных данных представляется достаточно для ответа на первый и второй из поставленных выше вопросов. Эти ответы могут быть сформулированы следующим образом:

1. *Накынский прецедент не согласуется с правилом о высокой эффективности традиционных, хотя и современных геофизических технологий для поисков коммерчески ценных коренных месторождений алмазов (магнитометрия). Накынский прецедент разрушает это правило. Накынский прецедент четко, уверенно и практически однозначно свидетельствует о весьма низкой эффективности традиционной технологии магнитометрических поисков для обнаружения трубок и полей Накынского типа, т.е. весьма и весьма алмазных.*

2. *На примере Якутской кимберлитовой провинции можно утверждать, что кимберлитовые поля Накынского типа относятся к остаточной совокупности поисковых объектов, систематически пропускаемой при традиционных поисках. При этом для этой совокупности относительная доля общего количества коммерчески алмазных полей, кустов и трубок резко превышает долю ценных объектов в неслучайной выборке по магнитным свойствам из контрастных поисковых объектов.*



На рисунке 3 вверху приведены данные, иллюстрирующие корреляционные связи между главными компонентами, определяющими вещественный состав кимберлитов Якутии, алмазонасностью трубок и их основными петрофизическими параметрами (намагниченность, электропроводность). Здесь отчетливо видно, что для промышленно алмазонасных диаметров характерным является повышенная магнизиальность и пониженная железистость. А это оказывается практически эквивалентным повышенным сопротивлениям ( $\square$ ) и пониженной намагниченности ( $I$ ). Оказывается неслучайным и тот факт, что все кимберлитовые тела в Якутии, обнаруженные электроразведочными методами оказались практически не алмазонасными с другой стороны, для промышленных месторождений отмечается повышенная концентрация серы. Т.е. важной особенностью ценных объектов, которая подтвердилась и при дальнейшем исследовании кимберлитов Накынского поля, оказалась повышенная насыщенность трубок сульфидами.

Эти и другие [4] данные позволили построить петрофизическую модель кимберлитовых трубок Якутии повышенной алмазонасности (Таблица 1.).

Таблица 1. Петрофизические свойства промышленно-алмазонасных трубок Якутии

Наименование параметра	Единица измерения	Значения параметра		
		от	до	наиболее вероятные
Аномальная магнитная восприимчивость	$n \cdot 10^{-5}$ ед.СИ	20	200	50-75
Фактор Кенигсбергера	-	0,1	2	0,3
Знак остаточного намагничения	-	+	-	+
Плотность	г/см <sup>3</sup>	2,2	2,9	?
Электрическое сопротивление	омм	700-800	3000-5000	1000 - 2000
Поляризуемость	%	2	8	3-4

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы:

1. Алмазонасные кимберлитовые трубки характеризуются устойчивыми, но весьма и весьма слабо повышенными значениями аномальной магнитной восприимчивости, которая может проявляться в наблюдаемых магнитных полях аномалиями интенсивностью в среднем не более первых нТл. (Такие аномалии обычно выделяются на площадях аэрогеофизических поисков алмазов в количествах, измеряемых тысячами и десятками тысяч штук. По материалам наземных съемок такие аномалии обычно подавлены шумом от поверхностных геологических неоднородностей).

2. Алмазонасные кимберлитовые трубки обладают устойчивым повышенным параметром вызванной поляризации.

## В. Опыт применения геофизических методов

Практика применения геофизических методов при поисках алмазов в Якутии, исключая магнитометрию, отчетливо может быть разделена для каждого из них на два этапа. В течении первого методы использовались на больших площадях с попытками выделения аномалий от трубок. После, как правило безрезультатного завершения первого этапа, метод либо исключался из перечня обязательных поисковых, либо находил другое место в общем цикле геофизических работ на алмазы.

**Электромагнитные методы** применялись в модификациях: наземная электроразведка на постоянном и переменном токах, вызванная поляризация, межскважинное радиоволновое просвечивание, аэроэлектроразведка. В таблице 2 даны краткие результаты применения этих модификаций.

Таблица 2. Результаты применения электроразведочных методов при поисках месторождений алмазов

Методы и модификации	Результаты первого этапа	Результаты второго этапа
Наземное профилирование на	Выделены первые сотни ано-	Постоянно используется как

постоянном и переменном токе, МПП	малый проводимости, значительная часть проверена бурением, обнаружены единичные трубки, все не алмазоносные.	элемент поискового комплекса методов на трубки. Также выделены линейные зоны аномальной проводимости, вмещающие трубки.
Метод вызванной поляризации	Выполнены только методические работы на известных трубках, на всех алмазоносных получены аномальные эффекты, на не алмазоносных - отсутствие эффектов.	Метод исключен из поискового комплекса; в настоящее время после опытных работ на трубках предполагается включение метода в поисковый комплекс.
Межскважинное радиоволновое просвечивания,	Используется для поисков погребенных трубок; выделено несколько десятков аномалий проводимости, большая часть проверена бурением, обнаружено 7 новых кимберлитовых тел - все не алмазоносные; опытные работы на известных алмазоносных трубках не показали контрастного эффекта.	также выделены линейные зоны аномальной проводимости вмещающие трубки, в т.ч. и в пределах Накынского поля.
Дипольное индуктивное профилирование в аэроварианте	Опытные работы на известных трубках не позволили получить устойчивых аномальных характеристик.	Выделены линейные зоны аномальной проводимости, вмещающие все кимберлитовые тела.

Таким образом можно констатировать, что при высокой точности наблюдений и оптимизированных параметрах съемок метод (кроме модификации ВП) позволяет выделять преимущественно не алмазоносные трубки. С другой стороны, все эти же модификации уверенно выделяют линейные кимберлитовмещающие тектонические нарушения [3] Последнее зафиксировано и проведении работ в Архангельской области. Модификация ВП на опытной стадии применения позволила выделить все изученные (8 трубок) коммерчески алмазоносные кимберлиты.

**Гравиметрический метод** поисков использовался в различных масштабах. Как метод прямых поисков трубок из-за низкой производительности использовался ограничено и чаще по сравнению с редкой сети. Обнаружена одна трубка (Славутич в Алакит-Мархинском поле). Трубка не алмазоносна. В результате применения метода в среднем и мелком масштабах после соответствующей обработки выделены кимберлитовмещающие тектонические нарушения, субизометричные аномалии совпадающие с границами кимберлитовых полей.

**Сейсморазведочный метод** использовался для выделения кимберлитовых трубок на закрытых территориях. Проведенные опытные работы на известных телах показали, что трубки могут выделяться в слоистой среде вмещающих пород специфическими аномалиями. Метод был реализован практически на всей территории Мирнинского кимберлитового поля. В результате на изученной площади было выделено два типа аномальных объектов:

1. Аномалии “трубочного типа” в пределах участков с ненарушенным залеганием вмещающих пород. Все эти аномалии были вскрыты бурением и ни одна из них не оказалась кимберлитовой трубкой.

2. Линейные зоны тектонических нарушений, выделение аномалий “трубочного типа” в которых оказалось невозможным. Эти зоны совпадали в т.ч. и с известными кимберлитовмещающими структурами. Но фактически сейсморазведочным методом они оказались непоискованными. Здесь сказались отсутствие технологии выделения аномалий “трубочного типа” в зонах тектонических нарушений. Но, с другой стороны, этим методом удалось изучить кимберлитовмещающие тектонические нарушения и откартировать их по территории кимберлитового поля. Важно

подчеркнуть, что именно эти кимберлитовые вмещающие структуры были выделены ранее по данным наземной и аэро- электроразведочных съемок.

Весьма интересной оказалась практика использования **аэрогамма-спектрометрического метода**. Первые опытные работы в благоприятных ландшафтно-геологических обстановках показали, что многие кимберлитовые тела выделяются на фоне вмещающих пород повышенными концентрациями тория и пониженными калия. Попытки вскрыть бурением несколько подобного типа радиогеохимических аномалий не принесли положительных результатов. От метода решили отказаться. Однако новые проведенные съемки на эталонных полях и их геологическая интерпретация, выполненная по ландшафтно-геохимическому алгоритму показали, что методом картируются не сами трубки, а их вторичные геохимические ореолы. Оказалось понятным, почему бурение проведенное в эпицентре ореолов не привело к положительным результатам. Выполненные по новой технологии опытные работы в пределах Мирнинского кимберлитового поля позволили получить карты радиогеохимических ореолов практически идентичные картам распределения ореолов индикаторных минералов от кимберлитов. При этом первые были получены за один сезон аэроработ, а предыдущие - за несколько десятилетий бурения и проходки горных выработок.

Краткий обзор опыта применения геофизических методов при поисках месторождений алмазов на приведенных и других примерах позволяет сделать следующие **основные выводы**:

*1. Принципиально, особенно в условиях опытно-методических работ в благоприятных ландшафтно-геологических обстановках, те или иные аномальные эффекты в зоне кимберлитовых трубок могут быть намечены по большинству геофизических методов. Однако, ни один из этих методов не гарантирует с необходимой вероятностью (надежностью) непроникновение всех кимберлитовых тел. Тем более тел с высоким коммерческим уровнем алмазоносности. И мало того. Существуют методы и модификации которые при практикуемом подходе отбирают из генеральной совокупности трубок только такие, которые в среднем характеризуются резко пониженной алмазоносностью.*

*2. Практически в каждом из использованных методов удалось выделить те или иные особенности региональной структуры измеренных полей, которые в той или иной форме указывают на закономерности размещения трубок (поисковые предпосылки), или на признаки трубок вблизи аномальных эффектов по методам (поисковые признаки).*

#### **Г. Оптимальные технологии обнаружения высокоценных малоконтрастных коренных месторождений алмазов.**

Приведенные данные позволяют сформулировать и проиллюстрировать ответ на третий вопрос, обозначенный выше при описании Накынского прецедента, т.е. на вопрос о том, каковы могут быть оптимальные технологии для поисков месторождений, высоко алмазоносных и весьма слабоконтрастных.

Низкая контрастность отражения алмазоносных трубок в геофизических полях безусловно свидетельствует о необходимости проведения высокоточных работ. Это, **первое, требование** очевидно и в настоящее время выполняется для большинства методов.

Однако, низкий порог минимальной аномальности автоматически приводит к выделению сотен и тысяч аномалий, фактически удовлетворяющих формальному условию выделения. Исследование такого количества подобных сигналов требует громадных финансовых ресурсов и времени. Именно финансовые и временные ограничения требуют, чтобы количество выделенных аномалий измерялось десятками, а в лучшем случае единицами. И, именно **финансовые ограничения повышают тот минимальный порог интенсивности, с которого выделяются аномалии для дальнейших исследований, а вовсе не низкая точность измерительных средств.**

Тогда **вторым требованием** к рассматриваемой технологии, является требование о возможности *такого отделения из всех измеренных аномальных эффектов перспективных аномалий, которое бы не приводило к необходимости повышения минимально-аномального уровня.*

Не будем останавливаться на известных процедурах исследования и классификации аномалий, основанных на формальных признаках объектов типа кимберлитовых тел (деконволюция

Эйлера и другие). Эти подходы хороши, как правило, для достаточно интенсивных аномалий, имеют свои плюсы и минусы. Не будем рассматривать и возможность получения аномальных эффектов от трубок путем использования нескольких методов. Приведенные выше данные показывают, что по крайней мере применительно к условиям России это неэффективно и ведет к большим финансовым потерям [4]

Для удовлетворения второго требования 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.

Специальное изучение схемы стадийной технологии применительно к поискам коренных месторождений алмазов позволило наметить подход, который сводится к последовательному выделению следующих промежуточных поисковых объектов, а точнее площадей и участков, перспективных на их обнаружение. Это кимберлитовое поле. Внутри его вероятного обрамления это куст кимберлитовых трубок. В пределах территории вероятного куста это локальные перспективные участки и геофизические аномалии. И, только в конце - это кимберлитовые трубки. Тогда, установленные и описанные выше, аномальные эффекты геофизических полей, указывающие на закономерности распределения полей, кустов, участков и трубок, отражающие специфику внутренней организации поисковых объектов и являются главными факторами того алгоритма, который позволяет выполнить задачу локализации. Важно подчеркнуть, что многие перспективные территории, изученные ранее геофизическими и другими методами не требуют новых работ. На этих территориях только необходимо провести соответствующую новую обработку и интерпретацию данных.

В общем виде и схематично реализация стадийной технологии поисков проводится по следующей схеме.

**На первой стадии** анализ имеющихся материалов мелкомасштабных съемок на территориях размером в десятки тысяч км. кв. с целью выделения площадей перспективных на обнаружение кимберлитовых полей размеров в сотни- первые тысячи км. кв. Методы: аэромагнитометрия, гравиметрия, аэрогамма-спектрометрия. Предпосылки выделения - региональные аномалии специальных трансформант магнитного и гравитационного полей [2]. Признаки выделения - результаты ландшафтно-геологической редукции мелкомасштабных аэрогамма-спектрометрических данных. (Рис. 4).

**На второй стадии** работ материалы среднемасштабных исследований анализируются в пределах территорий перспективных на обнаружение полей трубок. Цель - участки перспективные на обнаружение кустов кимберлитовых тел (первые сотни км. кв.). Методы: аэроэлектроразведка, аэрогамма-спектрометрия, аэромагниторазведка. Предпосылки (критерии) выделения - мало контрастные зоны активного динамического влияния кимберлитоконтролирующих разрывных нарушений (магниторазведка, электроразведка - специальные трансформанты полей). Признаки выделения - специализированные радиогеохимические ореолы кустов трубок в современных и древних осадочных коллекторах; отдельные локальные аномалии магнитного поля и электропроводности от наиболее контрастных трубок - объектов-индикаторов кустов (см. рис. 4).

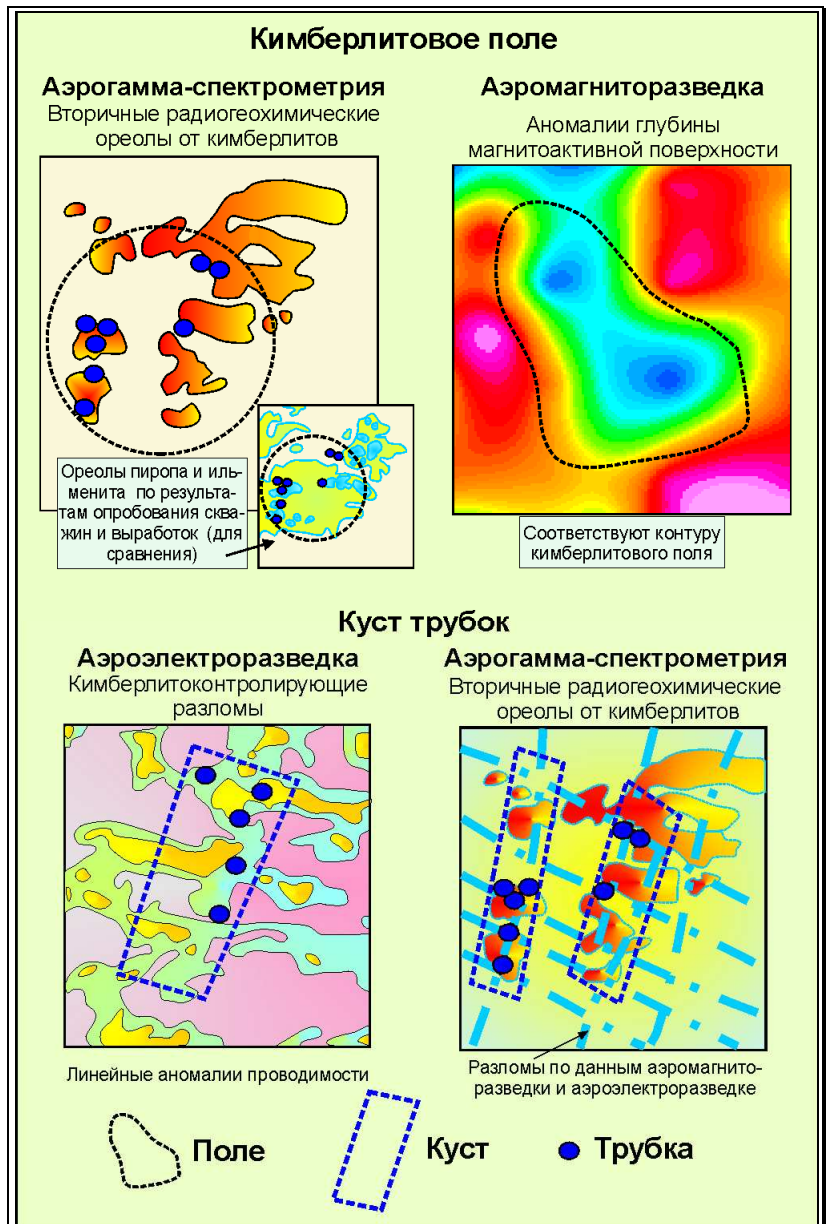
**На третьей стадии** работ анализируются материалы или проводятся высокоточные, прецизионные аэросъемки комплексом методов масштаба 1:10 000 - 1: 5 000 с точностью привязки наблюдений на местности 2-3 м, наземные работы методом вызванной поляризации. Предпосылки (критерии) выделения - внутренние структуры тектонических нарушений. Признаки - локальные магнитные аномалии, аномалии ВП, электропроводности, радиогеохимические ореолы. Специальные трансформации с целью подавления шумов. В конечном счете на этой стадии объектами поисков становятся не только аномалии, но и локальные перспективные участки, выделяемые по комплексу предпосылок и признаков.

Следующей стадией работ становятся заверочные и оценочные работы на локальных участках и аномалиях с задачей доизучения или выделения аномалий от трубок и их дальнейшей классификацией по вероятной связи с коммерчески ценным месторождением.

Описанная технология может быть охарактеризована как высоко экспрессная, достаточно надежная, предельно наукоемкая, и минимизированная по затратам. Такую технологию, естественно включив в нее необходимые геологические исследования можно называть целевой геолого- геофизической технологией на алмазы. При этом под целевой геолого - геофизической технологией здесь мы понимаем:

- а) целевой выбор необходимой этапности (стадийности) работ, геофизических методов и модификаций, точности наблюдений, масштабов и высот съемок для различных этапов;
- б) целевую методику обработки и представления информации, набор дополнительных необходимых данных;
- в) целевую технологическую схему общей и прогнозной интерпретации полученной информации.

Область целесообразного применения этой технологии: как территории изученных ранее алмазоносных полей, так и проблемные территории, где россыпные месторождения алмазов не обнаружили связи с известными коренными источниками.



**Рис. 4. Предпосылки и признаки промежуточных поисковых объектов по результатам аэрогеофизических съемок (Якутия, Архангельская обл.)**



## **Выводы**

1. Можно предполагать, что особо ценные месторождения алмазов, характеризующиеся, как правило, резко пониженными значениями основных индикационных петрофизических параметров, систематически пропускаются при поисках геофизическими методами, ориентированными, главным образом, на выделение локальных аномалий от трубок. Эти месторождения представляют собой необнаруженную на сегодня остаточную совокупность промышленно-ценных поисковых объектов, образующих как целые кимберлитовые поля, так отдельные кусты трубок и единичные трубки в пределах известных полей. Можно утверждать, что месторождения такого типа являются главными объектами поисковых работ в настоящее время и в будущем.

2. Эффективные технологии обнаружения подобных месторождений наряду с требованиями к высокой точности проводимых измерений должны основываться на таких процедурах селекции перспективных аномальных объектов, которые не связаны с повышением минимально-аномального уровня, а полностью основаны на знаниях о закономерностях размещения месторождений алмазов и формах отражения этих закономерностей в геофизических полях. При этом в основу такой технологии должны быть положены знания о иерархическом ряде промежуточных поисковых объектов, характерных признаках каждого члена ряда и закономерностях их размещения. Типовые модели для такого ряда разработаны и в значительной степени могут быть реализованы на основе аэрогеофизических методов.

3. Современные тенденции развития поисковых методов, опирающиеся на наиболее продвинутое наукоемкие технологии, позволяют утверждать, что основу алмазопроисковых работ в ближайшее время составят целевые геолого-аэрогеофизические технологии на алмазы. Их экспрессность, в совокупности с объективностью и большой емкостью получаемой информации позволяют реализовывать максимальную надежность и эффективность работ как в пределах уже известных алмазоносных территорий, так и в новых алмазоперспективных регионах.

## Список литературы

1. Саврасов Д.И. Слабомагнитные кимберлитовые тела и предпосылки их обнаружения магнито-разведкой. В сб. «Применение геофизических методов при поисках кимберлитовых тел в Якутской провинции. Якутск. Якутское книжное изд-во. 1976. с. 87-96.
2. Цыганов В.А., Клименко Н.Ф., Полторацкая О.Л., Дукардт Ю.А. Поисковое прогнозирование кимберлитовых полей в Якутской алмазоносной провинции (опыт исследования надежности прогнозных рекомендаций). Труды ЦНИГРИ, вып. 250, 1991, с. 43-55.
3. Цыганов В.А. Надежность геолого-поисковых систем. - М. Недра, 1994. - 299 с.: ил.
4. Цыганов В.А. Методические и экономические аспекты воспроизводства минерально-сырьевой базы горнодобывающих предприятий России. // Отечественная геология, 1997, № 3. с. 16- 22.

*Опубликовано:*

*Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов. // «Геофизика» 2001 г.*