

## НАДЕЖНОСТЬ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ И ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

Цыганов В.А.

ФГУ НПП «АЭРОГЕОЛОГИЯ» (vlad@aerogeologia.ru)

Под надежностью системы понимают ее способность сохранять качество при определенных условиях эксплуатации. Рассматривая геолого-поисковые работы с позиций системного подхода, под надежностью геолого-поисковой системы можно понимать ее способность не пропустить минимально-промышленный поисковый объект в конкретных ландшафтно-геологических условиях участка, площади или региона. В публикациях, посвященных эффективности применения различных методов при поисках месторождений полезных ископаемых, случаи пропуска поисковых объектов или не отражения известных скоплений полезного ископаемого в материалах опытно-методических и производственных работ часто не приводятся и системно не анализируются. Тем более не анализируются ошибки субъективного или организационного характера, обуславливающие в ряде случаев реальную возможность пропуска поисковых объектов. В данной работе исследование надежности геолого-поисковых систем построено на анализе явных и возможных ситуаций, приводящих к пропуску поискового объекта, на всех уровнях реализации, как отдельных поисковых методов, так и их комплексов, на специальном изучении и использовании в практике работ ограничений эффективности каждого метода в зависимости от свойств поисковых объектов и изменчивости ландшафтно-геологических условий.

The reliability of a system is understood as its ability to retain a quality under certain conditions of operation. When considering geological exploration from the point of view of a systemic approach, the reliability of a geological prospecting system can be understood as its ability not to miss the least commercial target under the specific topographic-geological conditions of a sector in an area, area proper, or region. Publications on the efficiency of various mineral deposit exploration methods do not often quote or systemically analyse instances of missed exploration targets or unrecorded known concentrations of a mineral in theoretical and practical testing reports. What is even rarer is analysis of subjective or organizational mistakes, which often predetermine good chances of missing exploration targets. The research of geological exploration systems reliability in this book is based on analyzing actual and feasible situations resultant in missed targets at all levels of implementation of both individual exploration methods and complexes thereof, on special research into and practical use of the limitations pertaining to each of the methods depending on the properties of the exploration targets and changeable topographic-geological conditions.

### Введение

**Теория надежности геолого-поисковых систем является** новым научным направлением в прикладной геологической науке, которое в качестве объекта исследований, рассматривает ошибки и отказы, возникающие при проведении геологоразведочных работ. Это, своего рода, теория ошибок в геолого-исследовательских системах, позволяющая изучать ошибки именно в теории, и минимизировать их проявление на практике.

**Теория надежности геолого-поисковых систем позволяет проводить:**

- количественную оценку качества и надежности геолого-поисковых работ, выполненных на различных территориях и на различные полезные ископаемые;
- оценку количества и масштабов необнаруженных месторождений с выделением участков их наиболее вероятного положения и общих ресурсов полезного ископаемого в этих месторождениях;
- выбор технологии работ для обнаружения остаточных месторождений в традиционных районах горной добычи, и в новых районах, ее оптимизацию по результативности и себестоимости;
- выделение вероятных ошибок, связанных с отсутствием знаний по конкретным прикладными проблемами, и разрабатывать программу получения этих знаний;
- выделение вероятных ошибок, связанных с не использованием или ошибочным использованием имеющихся знаний;
- оценку геолого-экономической целесообразности проведения геологических работ, технологической доступности поисковых объектов.

Теория надежности геолого-поисковых систем разработана в ЯНИГП ЦНИГРИ при поддержке и помощи директора предприятия Н.Н. Зинчука, которому автор не устает выражать свою искреннюю благодарность. В проработке многих вопросов теории и практики автор опирался на помощь и советы многих сотрудников названного предприятия, а также геологоразведочных экспедиций, входящих ныне в структуру АК «АЛРОСА» (ЗАО). Всем своим коллегам по проблеме автор весьма и весьма признателен за сотрудничество. Не смотря на достаточный срок, прошедший после разработки основ теории и, именно, применительно к проблемам практики алмазопроисковых работ, автор считает, что актуальность предложенных подходов и решений, за прошедший период, еще более возросла. Поэтому эта работа и предложена для публикации в настоящем сборнике.

## 1. Основные понятия и определения

Применительно к задаче исследования надежности геологических поисков можно называть **геолого-поисковой системой** совокупность конкретных знаний, методов, технологий, технических средств, исполнителей работ, выступающую в виде единой организованной управляемой структуры, имеющей на входе геолого-экономические задачи, ресурсы, а на выходе – конкретные данные о распределении в недрах промышленно-ценных скоплений конкретного минерального сырья. При системном подходе к анализу эффективности геологических поисков очевидным и не требующим доказательств является положение о том, что безотказность геолого-поисковой системы в целом определяется безотказностью работы всех без исключения ее элементов. Это предполагает возможным для анализа эффективности геологоразведочного процесса и его элементов использовать, соответствующим образом адаптированный, понятийный и количественный аппарат теории надежности систем.

Согласно существующему определению под надежностью системы принято понимать ее **способность сохранять качество при определенных условиях эксплуатации на заданный объем работы или заданное время эксплуатации**. При этом под качеством системы или ее элемента обычно понимают *совокупность свойств, позволяющих использовать их по назначению*, а под условиями эксплуатации – определенную *совокупность внешних факторов*. При таком подходе к определениям, очевидно, под качеством геолого-поисковой системы можно понимать ее *способность к непропуску минимально-промышленного поискового объекта, независимо от возможной изменчивости его индикационных параметров и особенностей строения вмещающей ландшафтно-геологической среды*.

Тогда под надежностью геолого-поисковой системы и ее элементов можно понимать их (системы и элементов) *способность сохранять качество, т.е. способность к непропуску минимально-промышленного поискового объекта на заданный объем работ*.

В теории надежности систем основным понятием, определяющим возможность исследования эффективности функционирования системы и ее составляющих, является понятие **отказа** – *такого события, при котором происходит утрата системой или ее элементом свойств, позволяющих использовать их по назначению*. При этом, как правило, сам факт отказа рассматривается как событие очевидное. В нашем случае, т.е. для систем геолого-поисковых и слагающих их элементов, отказ в большинстве случаев не является очевидным событием. Мы можем в результате проведения поисков не обнаружить поисковый объект, фактически существующий на участке, и не узнать об этом.

Следовательно, под **отказом геолого-поисковой системы или ее элемента** можно понимать *любое действительное (т.е. установленное) или возможное (вероятное) событие, которое приводит (привело) или может приводить, в конечном счете, к пропуску на площади работ хотя бы одного минимально-промышленного объекта поисков*.

Так, например, в свете данного определения, при проведении магниторазведочных поисков кимберлитов на площадях распространения пород трапповой формации можно констатировать высокую вероятность отказа этого геофизического метода, независимо от того имеется кимберлитовое тело под траппами или нет.

Для исследования надежности геолого-поисковых систем можно использовать количественные характеристики качества и надежности. Прежде всего, к ним относятся две вероятностные характеристики:

- $p_i$  – *средняя единичная вероятность безотказной работы*, характеризует среднюю вероятность пропуска поискового объекта при единичном испытании, это характеристика качества системы или элемента;
- $P(S)$  – *вероятность безотказной работы системы или ее элемента на весь объем выполняемых поисковых работ*, где  $S$  – площадь поискового участка; эта вероятность пропуска объекта на всей территории исследований.

Первая из этих характеристик широко известна и часто используется в практике работ, либо в виде средней вероятности подсечения объекта поисков, либо – проявления у него тех или иных индикационных свойств, либо в виде средней вероятности его правильной идентификации. Однако эта величина обычно не связывается с количеством реализаций случайного или не случайного процесса, имеющего место в реальной практике работ.

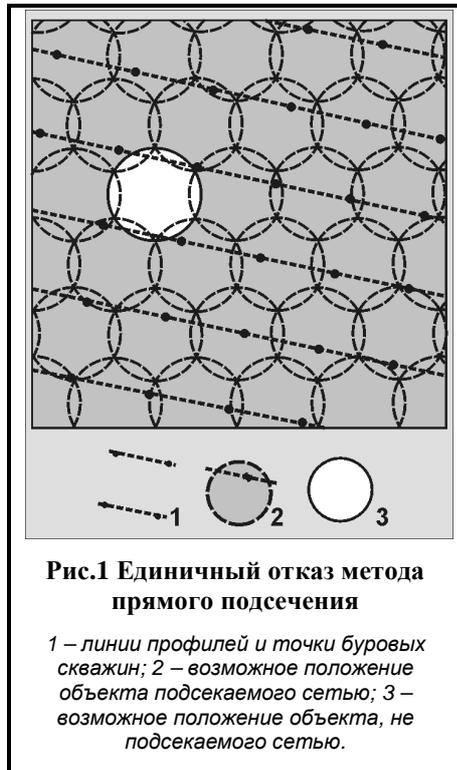
Действительно, примем, что под отказом метода прямого подсечения месторождения горными выработками или буровыми скважинами понимается такое событие, при котором после проведения поисков на участке остается хотя бы одно место, где поисковый объект может уместиться, не будучи при этом подсеченным хотя бы одной точкой наблюдений. Тогда, очевидно, что при значении средней единичной вероятности  $p_i$  отличном от 1,0 (средняя вероятность подсечения объекта заданного размера и формы поисковой сетью с фиксированными параметрами), вероятность  $P(S)$  убывает с увеличением площади поискового участка. Это связано с тем, что вероятность проявления хотя бы один раз любого такого события возрастает при увеличении числа испытаний.

Обозначим в рассматриваемом примере через  $T_{\max}$  – *максимальное количество минимально-промышленных поисковых объектов, которое может разместиться на площади работ при их плот-*

*нейшей упаковке.* Этот параметр можно называть максимально возможным количеством отказов. При округлой форме объекта поисков величина этого параметра равна частному от деления площади участка на площадь сечения поискового объекта с поправкой на взаимоперекрытие объектов при их плотной упаковке. Тогда,

$$P(S) = p_i T_{\max} \quad (1.1)$$

На Рис. 1 приведен пример отказа метода прямого подсечения. Здесь при весьма высоком значении параметра  $p_i$ , т.е. при высокой средней единичной вероятности подсечения, сам факт отказа оказывается возможным благодаря значительной площади участка, т.е. отличному от 1 параметру  $T_{\max}$ .



При несовместимости двух событий (подсечение – пропуск) вероятность пропуска объекта дополняет значение, полученное по формуле 1.1. до единицы.

Кроме этих характеристик, для оценки показателей качества и надежности систем и элементов можно использовать такие параметры как:

- $\lambda$  - средняя интенсивность отказов на единичный объем наработки;
- или
- $\bar{S}$  - средняя наработка на отказ или средняя наработка до первого отказа.

В нашем примере средняя интенсивность отказов характеризует общее количество мест, в которых может разместиться поисковый объект, не будучи подсеченным, на одном км<sup>2</sup>, т.е.:

$$\lambda = \frac{1-p_i}{sk} \quad (1.2),$$

где  $s$  – площадь сечения на поверхности опоискования минимально промышленного поискового объекта в км<sup>2</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий взаимоперекрытие между объектами. При полном заполнении участка ( $k=0,827$ ).

Средняя наработка на отказ равна площади работ, на которой в среднем, после проведения поисков будет иметься одно не опоискованное место, достаточное для размещения одного минимально-промышленного поискового объекта:

$$\bar{S} = \frac{1}{\lambda} = \frac{sk}{1-p_i} \quad (1.3)$$

Приведенная схема оценки количественных характеристик качества и надежности, в отличие от традиционной схемы простых оценок вероятностей подсечения, имеет, на наш взгляд, существенные преимущества. Отметим из них следующие:

1. Для использования рекомендуемых количественных характеристик не требуется предположения о случайности и равновероятности расположения объектов поисков на площади. Такое предположение, часто принимаемое за аксиому при планировании поисковых работ, на наш взгляд, не соответствует действительности, так как расположение объектов поисков всегда конкретно и закономерно, даже в случае, при котором эта закономерность не известна.

2. Проведенный переход от анализа вероятностей подсечения поисковых объектов к анализу отказов, в нашем случае – возможных пропусков, делает правомочным вероятностно-статистический анализ надежности в связи с большими, как правило, значениями максимального количества возможных отказов на участке. По опыту работ параметр  $T_{\max}$  на перспективных участках измеряется значениями в десятки, сотни, а иногда и тысячи единиц.

3. Приведенные характеристики надежности имеют реальное смысловое содержание, достаточно простую интерпретацию и позволяют, в тоже время, проводить оценку надежности весьма сложных геолого-поисковых систем.

Описанные выше определения и характеристики основаны на понимании отказа через понятие "**минимально-промышленный поисковый объект**", т.е. *такой объект, характеристики которого для дан-*

ной территории минимально достаточны для безубыточной эксплуатации. Для перехода к оценкам надежности всего прогнозно-поискового комплекса методов расширим понятие "объект поисковых работ". В настоящей работе, по отношению к большинству рассуждений, справедливыми являются один из двух вариантов определений этого понятия: **общее** и **частное**.

Под **объектом поисковых работ в общем значении термина** здесь понимается естественное, геологическое, локально обособленное, генетически единое образование, имеющее конкретное минерально-сырьевое народнохозяйственное (рыночное) значение, которое при этом:

- сформировалось в процессе закономерного геологического развития территории и отразилось в компонентах вмещающей ландшафтно-геологической среды (поисковые предпосылки и признаки);
- соответствует определенному масштабу изменчивости распределения полезного ископаемого в земной коре, концентрирует в себе в этом масштабе все или основные его запасы и выделяется, в соответствии с этим, на определенной стадии или подстадии геологоразведочного процесса.

Под **объектом поисковых работ в частном значении** термина здесь, по Э.Я.Островскому, понимается любая локализованная в исследуемом пространстве совокупность свойств этого пространства, обладающая необходимым уровнем полезности.

Приведенное **общее** определение характеризует объекты по отношению к главным элементам геологоразведочного процесса – его стадиям и подстадиям (здесь в качестве поисковых объектов выступают отдельные члены иерархического ряда металлогенических или минерагенических таксонов), а **частное** – по отношению к любому поисковому или вспомогательному методу или его модификации, задачей выявления которых являются либо факторы поискового прогнозирования соответствующих таксонов (предпосылки и признаки), либо какие-нибудь другие явления, представляющие интерес для поисковой практики.

На рисунке 2 показана принципиальная схема геологоразведочного процесса на какой-либо тип полезного ископаемого. Здесь перед стадиями геологоразведочного процесса стоят задачи выделения территорий, площадей или участков, перспективных для локализации соответствующего стадии промежуточного поискового объекта. На рисунке они показаны римскими цифрами (I, II, ..., N) Например, при поисках коренных месторождений алмазов – задачи по локализации территорий перспективных на обнаружение кимберлитовых полей (I), затем в их пределах – кустов кимберлитовых тел (II), затем самих кимберлитовых трубок (N).

Внутри стадий локализация каждого минерагенического таксона осуществляется на основе выделения предпосылок и признаков. Так, например, при локализации куста трубок (показано на рисунке) признаками поискового прогнозирования являются ореолы индикаторных минералов кимберлитов и индикаторных химических элементов ( $II_1$ ), а поисковыми предпосылками – зоны активного динамического влияния скрытых разрывных нарушений ( $II_2$ ). Разрывные нарушения в этом случае картируются одним или несколькими поисковыми методами ( $II_1^a, II_1^b, \dots, II_1^k$ ), своими методами обнаруживаются и ореолы.

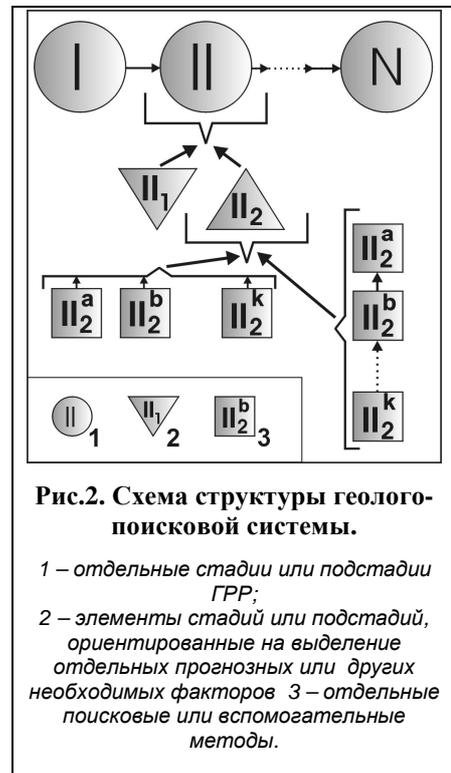
Последние, элементарные методы прогнозно-поискового комплекса могут функционировать параллельно, т.е. независимо один от другого, либо последовательно. В конечном счете, весь прогнозно-поисковый комплекс распадается на элементарные пары типа "**частный поисковый объект – поисковый метод**".

Описанная модель наглядно иллюстрирует принципиальную схему оценки надежности прогнозно-поискового комплекса по типу "от простого к сложному", т.е. от частных поисковых объектов к сложным, а через них – к конечному объекту поисков – промышленно ценному месторождению полезного ископаемого.

В благоприятных ландшафтно-геологических обстановках показанная стадийная схема исследований может нарушаться путем сокращения отдельных стадий процесса с выходом на промежуточные или конечные объекты по т.н. объектам - индикаторам. Последние подразделяются на объекты - индикаторы по размеру или другим индикационным параметрам, объекты - индикаторы по ландшафтно-геологической обстановке, случайные объекты - индикаторы.

Не останавливаясь здесь на описании общего алгоритма свертки характеристик качества и надежности геолого-поисковой системы через оценки этих параметров для ее элементов, рассмотрим далее методику исследования отказов для элементарной пары "объект – метод".

## 2. Отказы геолого-поисковых систем и их элементов



Исследование надежности конкретных геолого-поисковых систем после их подразделения на элементарные пары «поисковый объект – поисковый метод» включает в себя следующие основные операции:

- конкретизация понятия "отказ" для рассматриваемой элементарной пары и составление общего перечня вероятных и действительных отказов с классификацией их по форме и причинам проявления;
- предварительная оценка частоты встречаемости отказов каждого вида в конкретной исследуемой геолого-поисковой технологии применительно к реальным геологическим и ландшафтно-геологическим условиям поисков;
- типизация отказов по частоте встречаемости и влиянию на эффективность поисков;
- проведение исследований каждого отказа с установлением причины его проявления, подбором геологической и математической модели, определением количественных параметров и их изменчивости по площади работ либо в зависимости от других факторов;
- определение характера и количественных характеристик связей между различными видами отказов внутри их отдельных классификационных групп и между группами;
- определение общего алгоритма расчета качества и надежности для исследуемой элементарной пары в зависимости от всех меняющихся по площади участка природных и других факторов;
- составление карты районирования исследуемой территории по надежности опознания на заданный частный объект поисков конкретным методом;
- общий анализ структуры отказов метода с выделением главных направлений, требующих разработки мероприятий по повышению надежности поисков.

Описанная схема работ по выделению, формулированию, исследованию и моделированию конкретных отказов из всего их возможного многообразия, применительно к конкретной геолого-исследовательской задаче и для конкретной территории, и является по своей сути технологической схемой оценки качества и надежности конкретных геолого-поисковых систем. Эта схема обычно приводит к достаточно своеобразным, индивидуальным для задач и районов, технологическим решениям. Однако общие логические принципы построения таких схем для всех подходов и ситуаций оказываются едиными. Эта единственность проявляется в общем, единым для всех ситуаций, принципом классификации отказов, и, как следствие этого, в единых подходах при получении количественных оценок для отказов каждой из классификационных групп, а также в разработке единых подходов к повышению надежности прогнозно-поисковых комплексов.

Проведенный анализ причин возникновения отказов при поисках месторождений полезных ископаемых показал, что кроме отказов связанных с поломками технических средств, которые в настоящей работе не рассматриваются, все остальные отказы отчетливо разделяются на два главных типа. К первому из них относятся ситуации, связанные с неполнотой знаний о поисковом объекте и вмещающей его ландшафтно-геологической среде. Второй тип отказов объединяет ситуации связанные с не использованием, неполным или ошибочным использованием имеющихся знаний на этапах планирования и проведения полевых и аналитических работ, на этапе обработки и интерпретации полевых и аналитических материалов, а также на этапе заверочных работ при проверке прогнозных рекомендаций.

Отмеченное обстоятельство позволяет выделять для каждой элементарной пары "объект-метод" пять основных групп событий (условий) – **пять структурных модулей геологической эффективности**, определяющих безотказность работы любого метода в паре, и которые далее в соответствии с причинами отказов или условиями безотказной работы именованы и обозначаются следующим образом:

- **А – вещественно-индикационный**, по отношению к поисковому методу, используемому в паре, объект поисков должен обладать минимально-аномальным значением соответствующего индикационного параметра, например, для магниторазведки – быть намагниченным, а для шлихо-минералогического метода – содержать индикаторные минералы;
- **В – ландшафтно-геологический**, на фоне вмещающих и перекрывающих пород, компонентов ландшафта на принятой поверхности наблюдений объект поисков должен создавать аномалию, фиксирование которой принципиально возможно при современном уровне измерительной техники или при разумных объемах опробования;
- **С – технико-метрологический**, расположение точек наблюдения на местности и применяемая точность (представительность) наблюдений должны гарантировать подсечение аномалии от объекта необходимым количеством точек (т.е. существующая в реальном поле аномалия должна найти отражение в измеренном поле);
- **Д – геолого-интерпретационный**, измеренная аномалия от поискового объекта должна быть выделена, правильно проинтерпретирована, т.е. отнесена к группе аномалий, требующей заверки, с правильным определением местоположения аномалообразующего объекта
- **Е – заверочный**, применяемая система заверочных работ должна гарантировать вскрытие аномалообразующего объекта.

Очевидно, что при нарушении любого из перечисленных условий поисковый объект пропускается.

Перечисленные группы отказов (модули) универсальны, могут использоваться при исследовании качества и надежности любой элементарной пары "объект – метод". Они и являются основой при классифи-

кации отказов для конкретных пар. Т.е. здесь представляется возможным для каждой такой индивидуальной пары выделять отказы в вещественно-индикационном, ландшафтно-геологическом, технико-метрологическом, геолого-интерпретационном и заверочном модулях геолого-поисковой системы.

Применительно к практике поисков коренных месторождений алмазов и некоторых генетических типов месторождений золота к настоящему времени разработаны детальные классификации отказов практически для всех используемых поисковых методов. Их подробное рассмотрение требует значительного объема текстового материала и выходит за рамки настоящей работы. Пример формы классификации отказов (в несколько сокращенном виде) приводится ниже на примере шлихо-минералогического метода поисков кимберлитов (Таблица 1)

**Таблица 1. Классификация отказов шлихо-минералогического метода поисков кимберлитов по индикаторным минералам (Мало-Ботубинский и Далдыно-Алакитский районы Западной Якутии)**

Наименование модуля (аксиоматическое условие эффективности метода)	<i>Формы проявления и возможные причины отказов</i>
<p><b>А. Вещественно-индикационный</b> (наличие аномальной минералогической продуктивности эродированной части кимберлитового тела по индикаторным минералам с размером зерен более 0,25 мм)</p>	<p><b>Формы проявления отказов:</b></p> <p><i>Несоответствие модели объекта поисков, используемой в практике шлихо-минералогических работ, реальному распределению индикаторных минералов в эродированной части кимберлитового тела, в том числе:</i></p> <p>А.а. По общей минералогической продуктивности эродированной части конкретного кимберлитового тела в отношении индикаторных минералов, используемых при поисках.</p> <p>А.б. По соотношению различных минеральных видов в группе индикаторных минералов кимберлитов.</p> <p>А.в. По соотношению различных гранулометрических классов индикаторных минералов.</p> <p><b>Возможные причины отказов:</b></p> <p>А.1. Весьма малое содержание индикаторных минералов кимберлитов в эродированной части кимберлитовой трубки, обусловленное существенным разубоживанием диатремы ксеногенным материалом (кратерные фации трубок).</p> <p>А.2. То же, обусловленное процессом гипергенного растворения минералов вплоть до полного уничтожения в результате развития корообразовательных процессов на верхней части трубки до ее эрозии.</p> <p>А.3. То же, обусловленное исходной обедненностью кимберлитовой магмы (флюида) типоморфными ассоциациями индикаторных минералов малой и средней глубинности (красный и оранжевый пироп, пикроильменит) .</p> <p>... и т.д. всего 9 возможных причин отказов в первом модуле.</p>
<p><b>В. Ландшафтно-геологический</b> (наличие шлихо-минералогической аномалии от объекта поисков в реально существующей среде по предлагаемому горизонту опосредования в классе с диаметром более 0,25 мм).</p>	<p><b>Формы проявления отказов:</b></p> <p><i>Несоответствие используемой в практике модели строения и развития среды, обуславливающей формирование шлихо-минералогического ореола, реальной ландшафтно- геологической ситуации около конкретного кимберлитового тела, приводящее в конечном счете к:</i></p> <p>В.а. Не выделению шлихо-минералогической аномалии от трубки из-за отсутствия в тяжелой фракции шлихов индикаторных минералов кимберлитов;</p> <p>В.б. Не выделению локальной шлихо-минералогической аномалии на фоне регионального аномального поля;</p> <p>В.в. Принципиальной невозможности правильного определения местоположения аномалообразующего коренного источника (в рамках шлихо-минералогического метода).</p> <p><b>Возможные причины отказов:</b></p> <p><i>I. Явления, обуславливающие эффект статистического экранирования сигнала.</i></p> <p>В.1. Низкая контрастность аномалии от объекта поисков на фоне аномалии от другого кимберлитового тела (известного или неизвестного).</p> <p>В.2. То же , на фоне аномалии от промежуточного коллектора.</p> <p>В.3. Существенная изменчивость содержаний и гранулометрических классов индикаторных минералов в различных литологических типах пород, приводящая к значительному искажению аномального сигнала от объекта поисков.</p> <p>... и т.д. всего пять возможных причин отказов связанных со статистическим экранированием сигнала.</p> <p><i>II. Явления, обуславливающие эффект динамического экранирования сигнала из-за пассивного течения ореолообразующих или в связи с активным течением ореолоразрушающих процессов.</i></p>

Продолжение таблицы на сл. стр.

Наименование модуля (аксиоматическое условие эффективности метода)	<b>Формы проявления и возможные причины отказов</b>
	<p>V.10 Непосредственное захоронение кимберлитового тела осадками пелитовой, алевроитовой и мелкопесчаной размерности, образовавшихся в условиях пониженной гидродинамической активности среды.</p> <p>...</p> <p>V.15. Деформация палеорельефа, смещение ореола, отторжение верхней части объекта в результате механического воздействия более поздних магматических процессов (трапповая тектоника) .</p> <p>... и т.д. всего 20 возможных причин отказов во втором модуле.</p>
<p><b>С. Техно-метрологический</b> (получение в результате опробования исследуемого горизонта достаточного количества шлихо-минералогических данных об ореоле для последующего прогнозирования местоположения коренного источника).</p>	<p style="text-align: center;"><b>Формы проявления отказов:</b></p> <p><i>Неподсечение реально существующего в среде шлихо-минералогического ореола применяемой системой наблюдений, опробования и анализа, в том числе из-за:</i></p> <p>С.а. Непопадания в контур ореола достаточного количества точек наблюдения в плане; С.б. Неподсечения ореола в вертикальном разрезе точки наблюдения; С.в. Не обнаружения всего количества индикаторных минералов кимберлитов прямого сноса в пробах, отобранных из ореола.</p> <p style="text-align: center;"><b>Возможные причины отказов:</b></p> <p>С.1. Редкая проектная сеть буровых скважин. С.2. Несоответствие системы сорасположения точек наблюдения реальным морфологическим особенностям строения конкретного ореола. С.3. Расположение точек наблюдения на местности без учета микрофациальных и геоморфологических особенностей строения и залегания горизонта опробования. ... С.6. Отсутствие в технологической схеме опробования процедур повторного отбора проб из точек наблюдений, затрудняющее количественную оценку воспроизводимости результатов опробования. ... С.9. Проведение бурения по представительному горизонту с невыполнением требований о проходке укороченными рейсами. ... С.18. Ошибки в описаниях шлихов при определении степени сохранности индикаторных минералов. ... и т.д. всего 22 возможных причин отказов в третьем модуле.</p>
<p><b>D. Геолого-интерпретационный</b> (выделение подсеченной шлихо-минералогической аномалии, ее отнесение к группе кимберлитоперспективных; правильное определение границ участка, рекомендованного под вскрытие коренного объекта).</p>	<p style="text-align: center;"><b>Форма проявления отказов:</b></p> <p>D.a. Не выделение на этапе первичной обработки данных шлихо-минералогической аномалии, соответствующей реальному неизвестному поисковому объекту; D.б. Отнесение на этапе классификации выделенной аномалии от реально существующего тела, к группе бесперспективных или малоперспективных аномалий; D.в. Не включение в контур перспективного участка, выделенного под заверку, фактического местоположения коренного источника..</p> <p style="text-align: center;"><b>Возможные причины отказов:</b></p> <p>всего 24 возможных причины отказов в четвертом модуле.</p>
<p><b>Е. Заверочный</b> (подсечение аномалообразующего объекта горной выработкой или буровой скважиной, правильная идентификация).</p>	<p style="text-align: center;"><b>Формы проявления отказов:</b></p> <p>Не обнаружение кимберлитового тела на участке работ, выделенном в качестве перспективного по результатам шлихо-минералогического метода.</p> <p style="text-align: center;"><b>Возможные причины отказов:</b></p> <p>Е.1. Использование малонадежной сети заверочных скважин или выработок при попытке подсечения кимберлитового тела. Е.2. То же, из-за ошибок переноса проекта поисковой сети на местность. Е.3. Неподсечение поискового объекта из-за недостаточной переуглубки скважин или выработок в кимберлитовмещающие породы. Е.4. Вскрытие выработкой или скважиной трудно диагностируемой разновидности кимберлитов или "плавающего" рифа вмещающих пород. Е.5. Аварии в скважинах, низкий выход керна и прочие осознанные и неосознанные отказы, возможные в процессе проведения горных и буровых работ, не отраженные в отчетной документации.</p>

Приведенный пример классификации отказов по формам проявления и возможным причинам иллюстрирует лишь начальную часть анализа надежности поисковых методов. Далее на основе такой классификации осуществляется оценка реальной частоты встречаемости описанных ситуаций и масштабов их влияния на эффективность геолого-поисковых работ. Для этого используется два подхода. При первом для соответствующих оценок привлекаются эксперты по конкретным поисковым методам и по конкретным территориям. При втором, оценка отмеченных характеристик проводится на примере эталонных участков или объектов. В результате таких оценок все отказы подразделяются на следующие основные группы:

- 1) отказы, обусловленные ситуациями, систематически встречающимися на исследуемой площади, в существенной мере снижающие эффективность поисков в регионе;
- 2) отказы, обусловленные ситуациями, эпизодически встречающимися, снижающими эффективность поисков на отдельных участках, но практически не определяющие эффективность поисков по региону в целом;
- 3) отказы, частота встречаемости которых не установлена.

Для первой группы отказов далее разрабатываются специальные методы изучения и минимизации их влияния. Для второй группы отказов разрабатываются рекомендации по их учету в конкретных обстоятельствах. Третья группа отказов выделяется в качестве задач для изучения научно-исследовательскими, тематическими или опытно-методическими коллективами.

Кроме подразделения отказов по структурным модулям эффективности методов, события, приводящие к пропуску объекта, могут подразделяться по времени установления: на отказы, установленные или предполагаемые до проведения работ, в процессе проведения исследований, после завершения поисков.

Выполненные исследования отказов поисковых методов, используемых в практике работ на алмазы и некоторые другие полезные ископаемые позволили выделить наиболее типичные ситуации, систематически встречающиеся на практике и характеризующиеся существенным влиянием на эффективность геолого-поисковых работ. Кратко рассмотрим помодульно эти ситуации на примере методов, направленных на обнаружение коренных месторождений алмазов.

### 2.1. Отказы в вещественно-индикационном модуле (А)

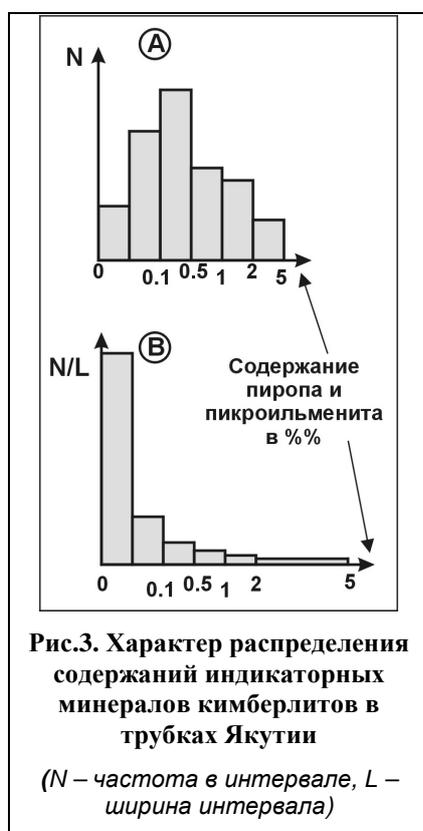
Проведенное исследование отказов вещественно-индикационного модуля поисковых методов свидетельствует о том, что нарушение соответствия между фактическими

индикационными параметрами поисковых объектов и их моделями, используемыми на практике, в основном происходит по двум причинам. К первой из них относится абсолютизация средних значений индикационных параметров объектов без учета всего диапазона и вида их изменчивости. Второй причиной отказов является перенос средних индикационных характеристик, определенных для объектов уже обнаруженных при поисках в конкретных районах, на объекты, которые в этом же районе только предполагается дополнительно обнаружить.

Примером отказов, обусловленных первой причиной, может служить анализ вещественно-индикационного модуля для шлихо-минералогического метода поисков коренных месторождений алмазов (Рис.3.). Эффективность метода поисков коренных месторождений территории этим методом прямо зависит от возможной изменчивости концентраций индикаторных минералов (ИМК) в кимберлитовых трубках. На рисунке 3А приведена гистограмма (по Харькову А.Д.), характеризующая изменчивость концентраций ИМК в трубках на некоторых кимберлитовых полях Якутии. Казалось бы, что анализ этой кривой свидетельствует о весьма ограниченном количестве кимберлитовых тел с пониженной концентрацией индикаторных минералов.

Однако вид приведенной кривой получен при нарастающей ширине интервала группирования, который в значительной степени искажает естественный вид распределения данных

На рисунке 3В исходный график перестроен путем деления частоты в интервале на ширину интервала группирования. Как видно из рисунка, среди кимберлитов преобладают трубки с небольшими концентрациями минералов.



Такой вывод из анализа статистических данных позволяет сформулировать проблему перед геологическими исследованиями: обязательна ли весьма высокая концентрация ИМК для промышленных месторождений алмазов. Для ответа на это вопрос отметим, что по данным А.Д. Харькова в кимберлитах Якутской провинции выделяется шесть парагенетических ассоциаций минера-

лов глубинного этапа формирования, различающихся по минеральному составу, химизму минералов и РТ-условиям образования.

По количественному содержанию индикаторных минералов в кимберлитах выделяемые ассоциации отчетливо делятся на две группы, которые условно можно именовать как **поисковую** и **оценочную**. При этом для первой типично наличие пикроильменита и пироба – оранжевого, красного и отчасти фиолетового, их концентрации составляют первые проценты и десятые доли процента. Для второй типичны хромпироп, хромит и хромдиопсид, их концентрации, как правило, на два и более порядка меньше, чем концентрации ИМК первой группы. История развития алмазопоисковых работ в провинции свидетельствует о том, что практически все кимберлитовые тела, обнаруженные шлихо-минералогическим методом, открыты с использованием в качестве индикаторных минералов ассоциации первой (поисковой) группы, Концентрации ИМК второй группы используются для оценок потенциальной алмазности обнаруженных тел.

По материалам И.П.Илупина различия в содержаниях минералов поисковой ассоциации в кимберлитах на порядок и более различаются внутри отдельных кимберлитовых полей, сближенных групп (кустов) трубок и даже внутри одного кимберлитового тела, в зависимости от фазы внедрения. Эти данные, а также предполагаемый различный уровень глубинности формирования рассматриваемых ассоциаций в разрезе мантии Земли, виды и масштабы неоднородностей верхней мантии и их изменчивость в пределах провинции, различия в динамике прорыва алмазоносного вещества к поверхности Земли – все это в целом не противоречит предположению о необязательности наличия резко аномальных концентраций индикаторных минералов поисковой группы в кимберлитах или близких к ним по генезису алмазоносных породах.

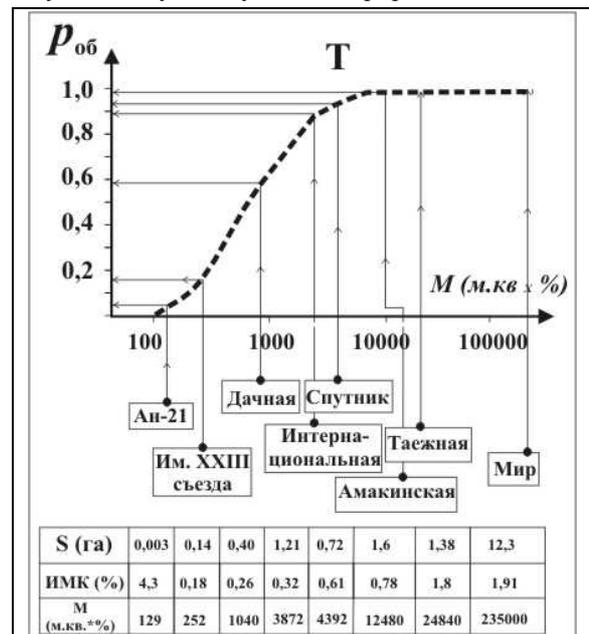
Этот вывод подтверждается данными по алмазоносным трубкам Якутии (Айхал, Интернациональная, Ботуобинская, Нюрбинская), Архангельской области и Австралии (месторождение Аргайл).

Следующей причиной отказов первого модуля поисковых методов является перенос средних характеристик индикационных параметров объектов, уже обнаруженных в районах, на объекты, которые обнаружить только предстоит. Отказы этого типа имеют особое значение при поисках в районах действующих горнодобывающих предприятий.

Кратко, их сущность заключается в том, что средние характеристики обнаруженных объектов не соответствуют средним характеристикам их генеральной совокупности существующей в природе, а тем более остаточной совокупности объектов, которую необходимо обнаружить. Это связано с тем, что выборка из известных объектов не является случайной, так как вероятность обнаружения объектов является функцией контрастности их индикационных свойств. Следовательно, для суждения об остаточной совокупности объектов и их индикационных свойствах необходимо иметь, помимо данных о не случайной выборке, данные о функции усечения генеральной совокупности.

Проведено исследование методом количественного моделирования характера влияния функции усечения генеральной совокупности на характеристики неслучайной выборки и остаточной совокупности. При этом было показано, что обычно функция усечения генеральной совокупности, описывающая вероятность обнаружения объектов в зависимости от уровня контрастности их индикационных свойств, имеет вид кривой состоящей из трех фрагментов: левого, центрального и правого (рис.4).

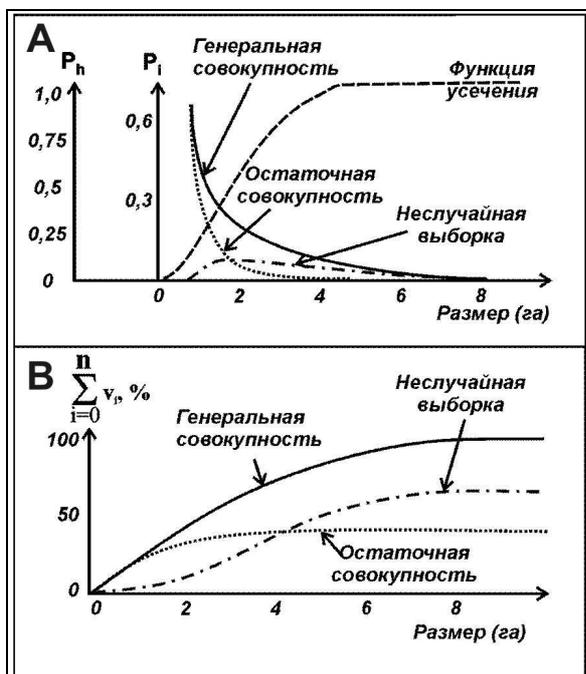
Для левого фрагмента графика, от нулевой интенсивности индикационного параметра до его интенсивности, соответствующей теоретическому порогу обнаружения объекта при стечении всех благоприятных условий, вероятность обнаружения минимальна и практически равна нулю. В ряде случаев эта часть графика может отсутствовать. Центральный фрагмент графика – от теоретического порога обнаружения объекта до технического порога (последний характеризует значение индикационного параметра, начиная с которого реально на практике обнаруживаются практически все поисковые объекты) – описывает возрастание вероятности обнаружения от 0 до 1.0. Правая часть графика охватывает интервал изменчивости индикационных свойств, для которых вероятность обнаружения практически равна 1.0.



**Рис. 4. Номограмма для оценки вероятности безотказной работы первого модуля шлихо-минералогического метода ( $P_{об}$ ) применительно к условиям Мирнинского кимберлитового поля в зависимости от минералогической продуктивности кимберлитов (M).**

При моделировании с генеральной совокупностью экспоненциального вида получен вывод, что неслучайная выборка практически для всех случаев неполного опознания территории имеет отчетливое логарифмически-нормальное распределение индикационного параметра.

Проиллюстрируем этот вывод на примере. На рисунке 5 приведен пример оценки (с использованием технологий теории надежности) генеральной и остаточной совокупностей по опубликованным Г.С. Вахромеевым данным по кимберлитовым телам одного из районов Сибири. Здесь показаны графики, характеризующие:



**Рис. 5. Пример оценки остаточных прогнозных ресурсов по неслучайной выборке и функции усечения генеральной совокупности.**

*А – оценка объектов в остаточной совокупности через неслучайную выборку и функцию усечения генеральной совокупности; В – оценка объемов горной массы кимберлитовых пород в остаточной совокупности*

➤ распределение известных кимберлитовых тел по площади сечения (неслучайная выборка по индикационному параметру – размеру кимберлитовых тел);

➤ вероятность подсечения объектов магниторазведкой в зависимости от площади сечения тела на поверхности эрозионного среза, т.е. частный вид функции усечения генеральной совокупности;

➤ определенный по первым двум графикам вид распределения генеральной совокупности и вид распределения остаточной совокупности.

В результате пересчета полученных данных на объем горной массы кимберлитов выяснилось, что в указанном районе может быть еще обнаружено до 35% запасов, о которых до этого и не подозревалось. При этом из приведенных данных видно, что основная часть этих запасов локализуется в телах с размером до 4 условных единиц, в то время как распределение размеров в неслучайной выборке по своим средним параметрам значительно выше. Из приведенных данных также видно близкое к логнормальному распределение объектов по размеру в неслучайной выборке и близкое к экспоненциальному – распределение объектов в генеральной совокупности.

Изучение характера распределения для кимберлитов основных индикационных свойств, проведенное по хорошо изученным полям Западной Якутии, показало, что большинство этих характеристик описывается

четкими зависимостями экспоненциального вида. Этот вывод может использоваться для предварительной оценки территорий на полную опознания: при получении графиков распределения индикационных параметров, отличных от экспоненциального вида в сторону симметричного распределения можно предполагать возможность обнаружения новых объектов.

Приведенные рассуждения и примеры позволяют сделать вывод о необходимости специального исследования случайности выборок и специального анализа для определения индикационных характеристик остаточной совокупности объектов. Последнюю, после исключения объектов с параметрами меньшими, чем минимально промышленные, можно называть поисковой совокупностью для конкретного района.

Статистические данные по поисковой совокупности позволяют оценить надежностные характеристики модуля **A** для конкретных поисковых методов и обосновать необходимость и направления повышения его надежности.

## 2.2. Отказы в ландшафтно-геологическом модуле (В)

Проведенные исследования отказов модуля **B** поисковых методов, т.е. ситуаций, при которых пропуск поискового объекта, обладающего достаточно высоким значением индикационного параметра, происходит из-за неблагоприятного воздействия на условия поисков компонентов вмещающей ландшафтно-геологической среды, показало, что может быть выделено три основных группы действительных или возможных событий, приводящих к ситуации отказа. Это отказы, связанные со статистическим, физическим и динамическим экранированием полезного сигнала.

Первые из них, т.е. отказы статистического экранирования, объединяют *ситуации, при которых не обнаружение объекта возможно из-за высокого уровня вариации фонового поля*. Это, например, имеет место при поисках кимберлитовых тел магниторазведкой на площадях распространения траппов. Для второй группы, т.е. для отказов физического экранирования, *пропуск объектов обуславливается нали-*

чем физического экрана между объектом и поверхностью исследований, как, например, горизонты высоко электропроводящих пород между дневной поверхностью и поверхностью, на которой предполагается аномальный эффект от поискового объекта. И, наконец, третья группа отказов модуля – **отказы динамического экранирования** – объединяет *ситуации, при которых аномалия от объекта уничтожена, либо разобщена с ним в результате протекания процессов формирования и изменения компонентов вещающей ландшафтно-геологической среды*. Примеры ситуаций третьей группы широко распространены в Западной Якутии, когда трапповые образования непосредственно залегают на породах, вмещающих кимберлиты, с уничтожением в процессе их внедрения шлихо-минералогических ореолов от трубок в верхнепалеозойских отложениях. Очевидно, что рассмотренные варианты экранирования являются крайними случаями. В реальной же практике работ возможны их различные сочетания.

Исследование надежности опоискования конкретной перспективной территории определенным комплексом поисковых методов на заданную поисковую совокупность объектов невозможно осуществить без детальной разработки, на основе классификации отказов второго модуля, по каждому из методов легенды для карты ландшафтно-геологических условий поисков применительно к конкретному масштабу работ. Только составление такой карты, в конечном счете, может позволить получить достоверные данные об изменчивости количественных характеристик надежности второго модуля по площади исследований.

Однако, в существующих инструкциях (за исключением инструкции по геохимическим поискам) требования к составлению подобных карт на каждой стадии поисков отсутствуют, либо не полны. В то же время, как показывает опыт работы, детальное исследование факторов, определяющих экранирование аномалий от поисковых объектов, не только позволяет проводить оценку полноты опоискования территорий, т.е., по сути дела, констатировать факты отказов на исследуемой площади для соответствующих методов, но и существенно увеличить эффективность последних. Подбор количественных или качественных моделей отказов позволяет получить карту районирования территории по надежности опоискования в отношении отказов модуля **В**.

### 2.3. Отказы в технико-метрологическом модуле (С)

К отказам модуля С поисковых методов отнесены ситуации, при которых пропуск объектов поисков происходит или может происходить, даже при наличии в реальном исследуемом поле достаточно контрастной аномалии от объекта, но из-за *несоответствия параметров поисковой сети и точности наблюдений (или представительности опробования) реальным размерам и контрастности соответствующих аномалий*.

При анализе отказов этой группы, прежде всего, необходимо остановиться на отказах, обусловленных несоответствием между геометрическими параметрами аномалий или объектов, с одной стороны, а с другой – плотностью и конфигурацией поисковой сети. Возможны две причины такого несоответствия. Первая – морфологическая сложность строения объектов и недооценка их минимальных размеров, заложенная в проекте поисковых работ; вторая – не учитываемые отклонения от проекта, возникающими в ходе проведения поисков.

На рисунке 6 приведены реальные формы сечения кимберлитовых тел на поверхности эрозионного среза. Из рисунка следует, что реальные объекты по своей морфологии обычно существенно отличаются от простых геометрических фигур в виде круга или эллипса, на основании которых обычно осуществляется расчет поисковых сетей. Это отличие обуславливает явную возможность пропуска сложно построенных поисковых объектов, что имеет весьма существенное значение в районах действующих добывающих предприятий. Отмеченное несоответствие широко распространено в практике геолого-поисковых работ. Его устранение, а соответственно и повышение надежности модуля может быть осуществлено переходом от планирования сетей через эквивалентные правильные фигуры к планированию через выделение регулярных составляющих формы поисковых объектов, т.е. с использованием в расчетах параметров вписанных геометрических фигур. Разработаны соответствующие методики расчета сетей через регулярные составляющие формы поисковых объектов, гарантирующие подсечение объекта любой формы.

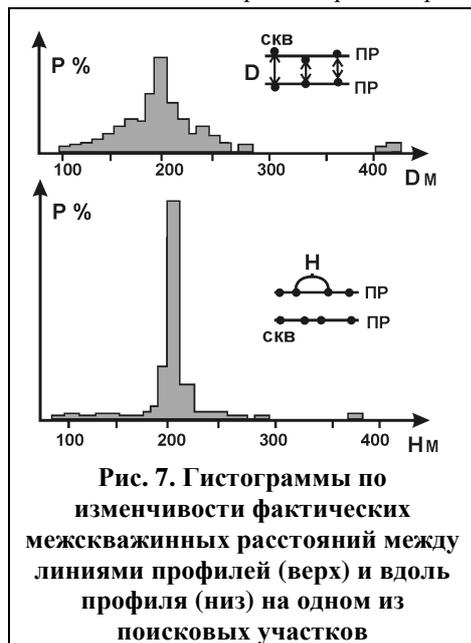
На рисунке 7 приведены гистограммы, характеризующие отличие фактических межскважинных расстояний от проектных на одном из поисковых участков. Проведенное исследование отказов этого вида позво-



**Рис. 6. Варианты различной аппроксимации сечения кимберлитовых тел в плане эллипсом (а), кругом (б).**

1 – реальный контур кимберлитового тела; 2 – описанные правильные фигуры; 3 – правильные фигуры эквивалентные площади реальных тел; 4 – вписанные правильные фигуры; (K – коэффициент, равный отношению площади вписанной фигуры к фактической площади сечения трубки)

лило разработать специальную номограмму, по которой требования к точности переноса проекта поисковой сети на местность обосновываются через площадь участка, размеры поискового объекта и задаваемую вероятность безотказной работы рассматриваемого модуля. Эта же номограмма может использоваться и для решения обратной задачи по оценке вероятности безотказной работы третьего модуля.



**Рис. 7. Гистограммы по изменчивости фактических межскважинных расстояний между линиями профилей (верх) и вдоль профиля (низ) на одном из поисковых участков**

Для перехода к анализу отказов модуля С, обусловленных несоответствием между необходимой и фактической точностью или воспроизводимостью наблюдений, можно констатировать, что используемые в практике геолого-поисковых работ методы с рассматриваемых позиций могут быть разделены на три группы: количественные, полуколичественные и качественные.

Для первых из них, т.е. для количественных методов, воспроизводимость результатов измерений легко определяется из контрольных операций, а соответственно, и весьма просто оцениваются количественные характеристики надежности модуля.

Для второй группы методов, результаты которых обычно используются в количественном виде, но без исследования воспроизводимости данных, примером может служить шлих-минералогический метод. Его реализация на практике включает операции по отбору пробы, ее промывке, делению на фракции и минералогическому анализу фракций. Ни одна из этих операций практически не исследуется или недостаточно полно исследуется на воспроизводимость результатов. В то же время, имеется несколько публикаций о весьма значительных вариациях результатов этих операций в зависимости от целого ряда различных факторов.

Из этого представляется очевидным, что анализ надежности модуля С рассматриваемых методов прежде всего предполагает разработку и широкое внедрение в практику системы контрольных процедур для каждой из операций, составляющих метод, а уже затем оценку количественных показателей его надежности.

Третья группа поисковых методов, основанная на качественном описании результатов наблюдений, является важнейшей в геолого-поисковых работах. Необходимо отметить, что качественный характер описаний здесь не является недостатком этих методов, а в значительной степени обусловлен невозможностью и нецелесообразностью сведения всего качественного многообразия элементов геологического строения территории или обнажения к простым количественным характеристикам. Однако, важнейшим недостатком сегодняшнего проведения исследований указанными методами является отсутствие каких-либо сведений о воспроизводимости результатов.

Интересно отметить, что практика использования положений инженерной психологии при анализе надежности систем типа "человек – техника" свидетельствует о целесообразности специальных инженерно-психологических исследований даже таких простых операций, как считывание прибора или управление механизмами, с выработкой решений о такой конструкции прибора или механизма, при которой вероятность безотказной работы оператора максимальна.

В то же время, для геолого-поисковых систем, относимых к сложным исследовательским системам типа "человек – природа", считывание геологической информации с керна скважин, стенок или забоев обнажений является задачей, на наш взгляд, не менее ответственной и несоизмеримо более сложной. В нашей отрасли пока не известны случаи подобных исследований с составлением инженерно-психологического паспорта неявно выраженных руд или поисковых признаков. Предварительный же анализ геологических исследований с указанных позиций, проведенный в ходе выполнения настоящей работы, свидетельствует о возможности широкого распространения отказов, связанных с деятельностью человека, которые кроме очевидных причин, в значительной степени обусловлены причинами, требующими специального психологического и социологического анализа.

Проведенные и проводимые исследования проблем качества и надежности геолого-поисковых работ применительно к практике работ на алмазы и другие полезные ископаемые показали, что в значительной мере безотказность поисков определяется потенциальной способностью, подготовленностью, заинтересованностью и свободой в принятии решений каждого исполнителя работ (документатора, интерпретатора, администратора, учителя и др.). Существующие методические рекомендации, инструкции, директивные документы обычно ориентированы на исполнителя работ, существенно идеализированного как по возможности адекватного выполнения директивного алгоритма, так и по способности принятия решений в трудно формализуемых ситуациях.

При анализе надежности поисковых работ было выделено три группы причин, обуславливающих отклонения от идеализированного исследователя и, соответственно, обуславливающих реальность пропусков поисковых объектов:

При анализе надежности поисковых работ было выделено три группы причин, обуславливающих отклонения от идеализированного исследователя и, соответственно, обуславливающих реальность пропусков поисковых объектов:

1. Неспособность исполнителя работ к устойчивой безотказной работе, обусловленная недостаточным уровнем профессиональной подготовки, опытом работы, несоответствием между психическим типом личности и типом решаемой геологической задачи. Анализ специфики работ, выполняемых в процессе поисков документатором, интерпретатором и, отчасти, администратором (выполняет функцию принятия решения и организации его выполнения), свидетельствует о достаточной распространенности ошибок, связанных с переносом стереотипных решений предшествующих задач на задачи, вновь решаемые.

Широко распространено явление "старения" элементов системы, связанных с деятельностью конкретного исполнителя или группы исполнителей. Развито спонтанное колебание внимания из-за продолжительного отсутствия положительной поисковой информации. Весьма часто исполнители работ, обычно неосознанно, в своей практике существенно абсолютизируют контрастность индикационных свойств поисковых объектов или недооценивают сложность влияния компонентов среды, даже при наличии соответствующих данных в специальной литературе. Последнее является проявлением специфического стабилизационного механизма личности – психологической защиты.

Имеют место многочисленные попытки решения задач, поставленных некорректно и фактически не решаемых. Из-за отсутствия опыта открытий и ограниченности наблюдений у многих исполнителей часто отсутствует чувственно-зрительный образ поисковых объектов или других геологических явлений, определяющих эффективность прогнозирования (например, внутреннее строение разрывных нарушений, географические обстановки, экстраполированные в прошлое и т.д.).

2. Внешние и внутренние внегеологические факторы, обуславливающие не заинтересованность исполнителя в безотказной работе (вплоть до заинтересованности в противоположном). В основном, влияние этой группы факторов определяется несовпадением мотивов (совокупностей условий, вызывающих активность субъекта и определяющих ее направленность) деятельности отдельных личностей с общей целью геолого-поисковых исследований и частными задачами, решаемыми в рамках отдельных элементов геолого-поисковой системы.

Хорошо известный затратный механизм в организации геологических поисков, отсутствие у значительной части исполнителей (особенно технических профессий) какой-либо заинтересованности в качестве решения задач – порождает поток осознанных и неосознанных отказов на многих этапах исследований, весьма часто приводит к потере исполнителями квалификации, порождает невосприимчивость производственных геологических организаций к методическим, аппаратурно-техническим и другим разработкам исследовательских коллективов.

3. Внешние внегеологические факторы, обуславливающие невозможность принятия правильного решения или осуществления адекватного поступка при потенциальной способности исполнителя к безотказной работе и заинтересованности в положительных результатах труда.

Сюда относятся, прежде всего, часто встречаемые противоречия между материалами, определяющими методику проведения поисковых работ и инструктивными документами, регламентирующими деятельность геологических организаций; противоречия между содержанием геологической задачи, ее обеспеченностью необходимым фактическим материалом и сроками работ, директивно установленными для ее "окончательного" решения, при фиксированном уровне ассигнований и ограниченности в различного рода ресурсах.

В результате инертности организационных структур, определяющих разделение труда между различными группами исполнителей, имеют место многочисленные примеры использования малоэффективных в геологическом и экономическом отношениях технологических процессов там, где уже разработаны и апробированы передовые технологии. Отмеченные противоречия в существенной мере оказывают влияние на конкретных исполнителей работ, лишая их возможности свободного принятия решений, основанных только на логике исследовательского процесса в рамках исследовательской системы "человек-природа".

Возвращаясь к общей группировке отказов модуля С, связанных с низкой точностью наблюдений, можно констатировать наличие соответствующего математического аппарата для анализа надежности количественных методов, возможность его применения для методов полуколичественных и очевидную целесообразность для методов качественных.

## **2.4. Отказы в геолого-интерпретационном модуле (D)**

К отказам модуля D поисковых методов отнесены реальные и возможные ситуации пропуска поискового объекта, зафиксированного в исследуемом поле или полях метрически-достоверной аномалией, из-за ошибок в процедурах выделения, классификации, количественной оценки аномалий и собственно прогнозирования по наблюдаемым данным. Аномалии от объекта в таких случаях либо отбраковываются, либо местоположение аномалообразующего объекта определяется ошибочно.

Не останавливаясь подробно на анализе структуры отказов этого типа, отметим лишь, что в большинстве случаев последние возникают из-за нарушения требования адекватности между реальной, всегда конкретной геологической и экономической ситуацией на конкретном поисковом участке или площади и ис-

пользуемой схемой интерпретации и прогнозирования, основанной часто на усредненных и даже абстрактных критериях принятия решения.

Так, например, при использовании статистических методов выделения аномалий на фоне помех весьма часто используются критерии, основанные на предположении о равенстве априорных вероятностей. Фактически же для любого поискового участка эти величины не равны, а всегда конкретны и могут использоваться в расчетах, принципиально меняя пороги принятия решений.

Также весьма существенной ошибкой, приводящей к отказу модуля, является абсолютизация точности прогнозирования поисковых объектов. Для методов, у которых поисковый объект связан с создаваемой им аномалией, детерминировано, т.е. преимущественно для геофизических методов, вероятность таких отказов невелика. Но для методов с вероятностно-статистической связью такие ошибки, по-видимому, достаточно распространены.

Широкое внедрение в практику прогнозирования математических методов и ЭВМ не всегда приводит к существенному улучшению показателей качества и надежности модуля. Этот факт обусловлен тем, что известные алгоритмы машинного прогнозирования недостаточно учитывают качественное специфическое разнообразие геологических явлений различного порядка и форм отражения этих явлений в исследуемых полях. Обычно такие алгоритмы акцентированы на внешних, статических сторонах природных процессов, обуславливающих конкретное местоположение поисковых объектов и особенности воздействия объектов на окружающую среду (поисковые предпосылки и признаки), а также особенности влияния последней на экранирование форм отражения прогнозных факторов. Эти алгоритмы малоэффективны из-за их ориентировки не на содержательную часть исследуемых явлений, а на комбинации внешних характеристик или, другими словами, на "комбинации ощущений".

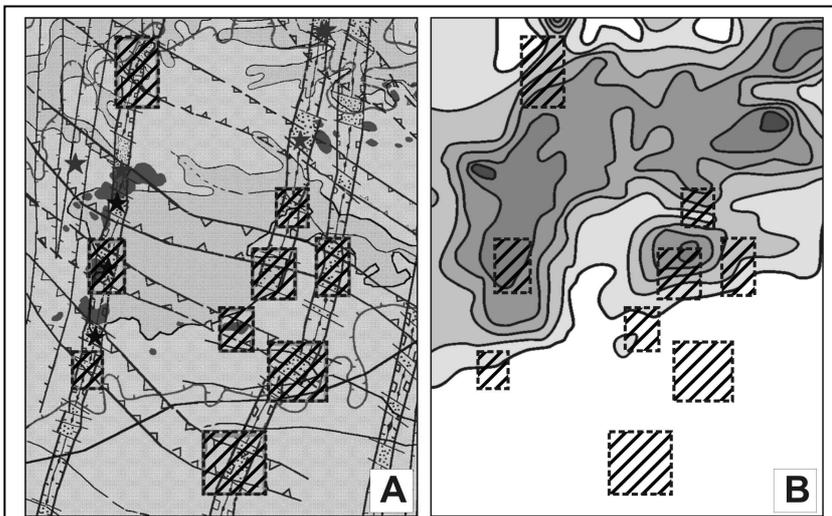
Проведение классификации и исследование структуры отказов модуля **D** позволяет, прежде всего, оценить соответствие алгоритма, используемого при интерпретации и прогнозировании, фактическому уровню знаний о проблеме, конкретном районе или участке. Последнее, в свою очередь, обуславливает возможность количественной оценки надежности всего алгоритма, выделения в нем наименее надежных элементов и разработку приемов их резервирования.

## 2.5 Отказы в заверочном модуле (E)

Модулем **E**, также определяющим надежность геолого-поисковых работ, является заверочный. К его отказам отнесены возможные и действительные ситуации, обуславливающие пропуск поискового объекта из-за его неподсечения при проверке прогнозных рекомендаций (Рис.8).

Для поисковых методов, характеризующихся детерминированным типом пространственной связи "аномалия - объект", исследование надежных характеристик модуля не вызывает существенных затруднений. В данном случае среднее значение единичной вероятности его безотказной работы может быть оценено из соотношения количества аномалий с достоверно установленной геологической природой к общему количеству аномалий, рекомендованных для заверки. При наличии зависимости между интенсивностью аномалий и вероятностью их принадлежности к поисковым объектам, надежные характеристики могут быть определены в соответствии с этой зависимостью.

Для поисковых методов с вероятностно-статистической пространственной связью "аномалия - объект" оценка надежности этого модуля выглядит иначе. В этом случае целесообразно выделить двух способов заверки: попытки непосредственного вскрытия поискового объекта системой горных выработок или буровых скважин и заверки рекомендаций одного метода другим или переходом с одной стадии работ на другую.



**Рис. 8. Пример оценки надежности заверочного модуля шлихо-минералогического метода горно-буровыми работами (А – прогнозная карта с выделением перспективных участков; В – те же участки на фоне карты-изолиний вероятности безотказной работы пятого модуля)**

Оценка надежности первого варианта заверочных работ достаточно проста при известных геометрических характеристиках регулярной составляющей минимально-промышленного поискового объекта (см. Рис.8). Здесь, в зависимости от размеров объекта, могут быть выделены области, характеризующиеся практически гарантированной безотказной работой модуля, области возможных массовых отказов и области вероятных единичных отказов. В соответствии с приведенной картой указанный район можно считать практически не опосредованным на средние, мелкие и очень мелкие объекты.

Второй вариант заверочных работ предполагает необходимым помодульный анализ надежности характеристик метода, используемого при заверке, или комплекса методов, применяемых на следующей стадии или подстадии работ.

Проведенное исследование основных причин отказов заверочных работ при использовании стадийной технологии геологоразведочного процесса показало, что главной из них является нарушение соответствия между: с одной стороны, реальными иерархическими и изоморфными рядами поисковых объектов и, с другой стороны, используемыми в практике требованиями к содержанию отдельных стадий поисков и их масштабами. Отмеченное несоответствие обуславливается нечеткостью и расплывчатостью формулировок задач перед стадиями, отсутствием конкретных предметных формулировок поисковых объектов для каждой из них. Все это вместе взятое создает реальные предпосылки к попыткам либо вписания в одну стадию исследований нескольких естественных членов иерархического ряда, либо к выделению для стадии поискового объекта, представляющего из себя обособленный из реальной совокупности какой-нибудь из факторов прогноза.

Примером последнего может служить используемая до последнего времени, а местами и ныне, схема стадийности алмазописковых работ, основанная, по сути дела, на последовательной детализации шлихо-минералогических ореолов рассеяния кимберлитовых минералов.

### **3. Резервирование элементов геолого-поисковых систем с целью повышения их надежности**

Проведенное выделение отказов для поисковых методов и прогнозно-поисковых комплексов предполагает разработку таких мероприятий, технологических схем и отдельных приемов, которые либо позволят полностью исключить возможность соответствующих отказов, либо, по крайней мере, в значительной степени минимизировать вероятность их проявления. Система таких мероприятий, очевидно, должна существенно увеличить надежность и геологическую эффективность поисков.

В практике геолого-поисковых работ широко распространены приемы комплексирования различных поисковых и вспомогательных методов.

При этом использование нескольких методов или нескольких модификаций одного метода обычно предпринимается для решения как задачи повышения вероятности правильной идентификации аномалий от поисковых объектов, так и для решения задачи повышения вероятности отображения объекта поисков в системе наблюдений хотя бы одним методом.

С другой стороны, из практики проведения поисков широко известны следующие частные приемы повышения надежности:

- детализация электроразведочных аномалий, выявленных в результате электропрофилирования, методами электроразведки;
- локализация аномалий, выявленных при помощи аэромагнитной съемки, наземной магниторазведкой;
- проведение дополнительного бурения или опробования в точках, в которых по материалам рядовых работ получены аномальные характеристики;
- использование специальных систем заземления электродов при проведении электроразведочных работ в неблагоприятных для измерения уровнях;
- бурение параметрических скважин для проведения интерпретации геофизических данных;
- разработка мероприятий по повышению выхода ядра, предупреждения и ликвидации аварий в скважинах,
- и т.д. и т.п.

С позиций теории надежности систем все методические приемы, мероприятия и технологические схемы выполнения работ, включая и комплексирование методов, направленные, в конечном счете, на повышение надежности конкретных систем и их элементов можно объединить в одну группу операций – **резервирование малонадежных элементов**.

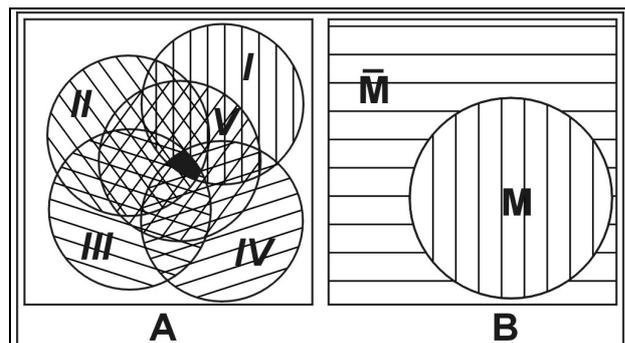
В основу классификации приемов и способов резервирования для повышения надежности геолого-поисковых систем представляется целесообразным положить классификацию отказов рассмотренную выше. При этом будем называть **резервированием внутренним**, если оно *осуществляется в рамках основного поискового метода*, **внешним**, если *резервирование предполагает замену одного метода на другой*. Внешнее резервирование может быть **общим**, если *один метод полностью заменяется другим*, или **раздельным**, если *вспомогательный метод используется для повышения надежности только одного из модулей основного метода*. В зависимости от времени установления отказа основного метода резервирова-

ние также подразделяется на **постоянное и замещением**. Первое из них используется в ситуациях, когда отказ основного метода вероятен, но точно не определен, второе – в ситуациях, при которых отказ установлен либо в ходе работ, либо после их окончания.

Для каждого из перечисленных подходов к резервированию разработаны способы количественной оценки соответствующих параметров качества и надежности. А для каждого из пяти модулей существуют свои специфические приемы резервирования.

Методика резервирования малонадежных элементов геолого-поисковых систем в **ВЕЩЕСТВЕННО-ИНДИКАЦИОННОМ МОДУЛЕ (А)** определяется, главным образом, статистическими и вещественно-генетическими связями между индикационными свойствами поисковых объектов.

На рисунке 9А при помощи диаграммы Венна иллюстрируется общий случай резервирования поискового комплекса в первом модуле **по способу объединения**. Здесь условно вся генеральная совокупность



**Рис.9. Геометрическая иллюстрация при помощи диаграмм Венна резервирования вещественно-индикационного модуля по способу объединения (А) и способу дополнения (В).**

поисковых объектов на некоторой территории показана в виде совокупности условных точек, составляющих площадь квадрата. Т.е. каждая точка квадрата – это конкретный поисковый объект.

Пусть, например, часть точек соответствует поисковым объектам, обладающим повышенным каким-то индикационным свойством (свойство I). Эти точки условно объединены на рисунке окружностью с индексом «I». Тогда вероятность отражения всей генеральной совокупности в данных поискового метода, ориентированного на это индикационное свойство, может быть оценена через отношение площади первого круга к площади квадрата.

Представим далее, что аномальным индикационным свойством «II» обладает также часть объектов из генеральной совокупности. При этом какие-

то из них обладают и повышенными значениями первого параметра, а часть не обладают. На рассматриваемом рисунке объекты совокупности «II» объединены в круг с соответствующим индексом. Из рисунка видно, что первый и второй круги частично перекрываются между собой, т.е. часть объектов из генеральной совокупности, характеризуется аномальными характеристиками для двух рассмотренных параметров.

Аналогичным способом на рисунке обозначены объекты с аномальными индикационными свойствами «III», «IV» и «V». Важно, что для ситуации, изображенной на рисунке, проявление разных индикационных свойств не связаны между собой какой-либо функциональной или значимой корреляционной связью. Т.е. формирование у поискового объекта одного аномального индикационного свойства не зависит явным образом от формирования других. Подобные ситуации весьма часто встречаются в реальной практике, в т. ч. при поисках месторождений алмазов.

Тогда, очевидно, при выделении аномалий по каждому из поисковых методов, основанных на соответствующих методу индикационных свойствах, вероятность отражения генеральной совокупности объектов существенно возрастает. Т.е. возвращаясь к рисунку, видно, что общая (суммарная) площадь, занимаемая на нем всеми пятью кругами достаточно велика, а ее отношение к площади квадрата (вероятность отображения объекта хотя бы одним, любым из пяти методов) существенно превышает отношение это отношение для единичных кругов.

В реальной же практике корреляция между проявлением у поисковых объектов различных индикационных свойств обычно не исследуются. Весьма часто имеют место ситуации, при которых аномалии, выделенные на площади работ одним поисковым методом (как правило, экспрессным и относительно дешевым) «разбраковываются» с применением другого или третьего. При этом условием отнесения к перспективным считается наличие совпадающих в пространстве аномалий сразу по нескольким методам. Как видно, из рисунка 9А, такими свойствами обладают поисковые объекты, расположенные в области пересечения всех пяти кругов (показана на рисунке черным цветом). Отношение площади этой фигуры к площади квадрата минимально.

На рисунке 9 В, также при помощи диаграммы Венна, иллюстрируется **резервирование по способу дополнения**. Этот способ основывается на индикационных свойствах поисковых объектов, контрастность проявления которых связана обратной корреляционной связью. В этом случае вероятность отражения объекта хотя бы одним методом в комплексе из двух методов в наиболее простом случае равна сумме двух единичных вероятностей.

В качестве примера внешнего резервирования по способу дополнения можно привести данные по содержанию в кимберлитах серы и магнитной восприимчивости этих пород. Обратная корреляционная связь между этими параметрами свидетельствует, по-видимому, о влиянии режима сера - кислород на минераль-

ную форму железа в некоторых разновидностях кимберлитов и позволяет предполагать эффективность метода вызванной поляризации при поисках слабомагнитных диатрем.

Имеются и описаны также другие примеры резервирования методов по способам объединения и дополнения, разработаны методика количественной оценки результатов резервирования, принципы построения высоконадежных поисковых комплексов с малой вероятностью отказа в вещественно-индикационном модуле.

Резервирование малонадежных элементов отдельных поисковых методов или комплекса методов в **ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ МОДУЛЕ (В)** может быть проведено с использованием нескольких поисковых методов или их модификаций, основанных на индикационных параметрах, связанных в объекте положительной корреляционной связью, в отличие от компонентов вмещающей среды.

На рисунке 10 при помощи диаграмм Венна иллюстрируется логический смысл этого приема резервирования, названного **резервированием по способу пересечения**. Здесь вся совокупность точек, составляющих поисковый участок, показана в виде площади квадрата. Та часть точек, которая соответствует поисковым объектам, показана в виде центрального круга (серого цвета). Другими кругами показаны совокупности точек на площади, обладающих аномальными значениями различных индикационных свойств. Очевидно, что при наличии корреляционных связей в объекте и их отсутствии во вмещающей среде удастся обнаружить большую часть поисковых объектов (рис.10.А – черная заливка). При невыполнении этого условия (рис.10.В) возможна ситуация, когда по совокупности аномалий объекты вообще не будут обнаружены.

Примером такого типа резервирования является использование мультипликативных и аддитивных показателей в практике геохимических поисков.

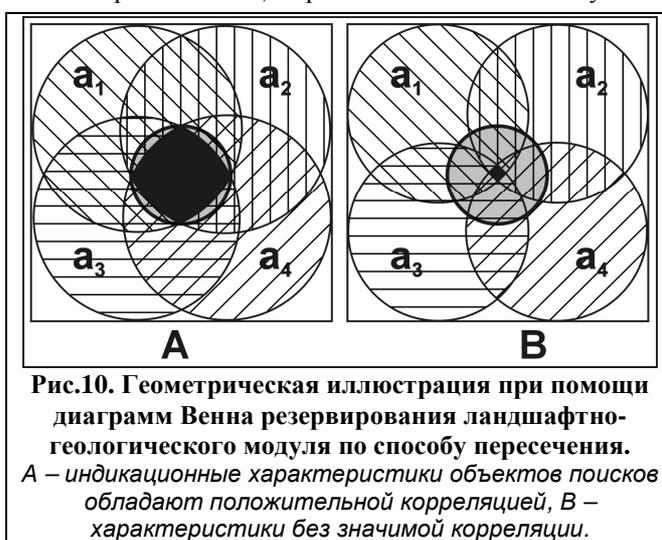
Резервирование модуля **В** поискового метода может быть также внешним с применением соответствующего виду возможного отказа вспомогательного метода. Так, например, применение метода объемного моделирования магнитного поля на площадях распространения пород трапповой формации позволило разработать методику геологической редукции сложно дифференцированного магнитного поля с выделением остаточных аномалий. При этом интенсивность выделяемых перспективных на алмазоносные трубки аномалий оказалась существенно ниже, чем вариации фонового поля на площадях распространения траппов.

Резервирование элементов, методов, поисковых комплексов в отношении отказов **ТЕХНИКО-МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ (С)** применительно к количественным и полуколичественным методам не требует специальных пояснений. Разработаны и описаны методики и алгоритмы построения поисковых сетей, гарантирующих подсечение объектов простых и сложных конфигураций. Описаны приемы повышения надежности работ для полуколичественных методов.

Применительно к качественным методам документации повышение надежности поисков может быть достигнуто путем специального **геолого-психологического исследования конкретной поисковой технологии**. В результате, в системе работ могут быть вычленены основные элементы, функционирование которых в значительной степени определяется личностными качествами исполнителя.

Для каждого такого элемента может быть составлен своего рода **геолого-психологический паспорт**, содержащий в себе, с одной стороны требования к исполнителю (по уровню и специализации образования, по необходимому уровню специальной практики, психическим особенностям личности), а с другой стороны, необходимую форму организации "рабочего места" по внешним условиям (освещенность, температура воздуха), по обеспеченности аппаратурными, лабораторно-аналитическим, компьютерными и другими средствами, по оптимальным режимам выполнения работы, не допускающим перегрузку или другой дискомфорт для исполнителя.

Эффективными для повышения надежности поисков могут оказаться специальные приемы подбора исполнителей (профессиональное и психологическое тестирование), подготовки (создание и развитие у исполнителей адекватных чувственно-зрительных образов поисковых объектов, компонентов ландшафтно-геологической среды и др.) и поддержания у них высокой безотказной работоспособности. Для решения последней группы задач представляется весьма эффективным разработку специализированных имитационных геолого-поисковых игр, адаптированных к условиям поисков на конкретной территории.



При разработке приемов резервирования **ГЕОЛОГО-ИНТЕРПРЕТАЦИОННОГО МОДУЛЯ (D)** целесообразно учитывать степень сложности решаемых интерпретационных задач. По своей исследовательской сложности геологические задачи, возникающие при проведении поисковых работ, можно условно разделить на три группы: **простые, сложные и весьма сложные**.

Будем относить любые задачи к группе **простых**, если *для них существуют четкие однозначные алгоритмы решения, которые описаны в соответствующих инструкциях или руководствах, доступных для восприятия специалистами среднего уровня профессиональной подготовки и с минимальным практическим опытом*.

Будем называть геологические задачи **сложными**, если *для их решения разработаны только общие принципы, а конкретный исследовательский алгоритм обычно разрабатывается исследователем на основе этих принципов для каждой задачи индивидуально. При этом отмеченные принципы обычно описаны в соответствующих монографиях, статьях, научно-исследовательских отчетах, методических рекомендациях*. Для адекватного решения сложных геологических задач, восприятия и использования методической литературы необходим высокий уровень профессиональной подготовки и значительный практический опыт.

К категории геологических задач **весьма сложных** можно относить задачи *близкие к сложным, но отличающиеся от них явным недостатком фактических данных и знаний для адекватного решения*. В этом случае решение таких задач доступно только особо одаренным специалистам с богатейшим теоретическим и практическим опытом.

Разработанные и описанные количественные характеристики применимы преимущественно для анализа качества и надежности работы исследователя при решении простых задач и в меньшей степени задач сложных.

Рассматривая варианты повышения надежности решения интерпретационных и прогнозных задач, отметим, что высокая вероятность безотказной работы здесь достигается благодаря использованию следующих основных методических приемов.

Прежде всего, система свертки разнообразной геолого-геофизической и минералого-геохимической информации должна основываться на учете качественного разнообразия геологических явлений и форм их отображения в исследуемых полях, учитывать иерархию природных геологических систем и строиться на основе **логического правила о соподчинении понятий**, с включением в анализ ретроспективного и динамического (по Ю.А. Косыгину) аспектов. В результате, вся используемая при построении прогноза исходная информация должна быть сведена к трем основным группам факторов с их картографическим отображением по площади: поисковым предпосылкам, поисковым признакам, ландшафтно-геологическим условиям проведения работ.

При этом разработка легенды для карты условий поисков должна предполагать возможность оценки надежности выделения каждого из факторов поискового прогнозирования.

Вторым условием повышения надежности рассматриваемого модуля является **разработка альтернативных вариантов прогноза**. Здесь подразумевается, что в тех звеньях алгоритма интерпретации и прогнозирования, в которых однозначное решение недостаточно надежно, целесообразно использование нескольких его вариантов, составляющих в целом практически полную группу возможных событий. Важно отметить, что необходимость альтернативного прогнозирования вытекает не только из ограниченности конкретных знаний по проблеме, но и из возможного многообразия статических форм отображения единого динамического процесса рудообразования.

И, наконец, третьим условием повышения надежности интерпретации и прогноза является **использование принципа непрерывности** в этих операциях. Кроме естественной и очевидной одной стороны этого принципа, заключающейся в непрерывной коррекции результатов интерпретации и прогноза в соответствии с новыми поступающими данными, здесь имеется и вторая сторона. Ее сущность – в разработке и реализации на основе классификации отказов четвертого модуля: конкретной целенаправленной системы научно-исследовательских, опытно-методических и опытно-производственных работ, ориентированных на повышение надежностных характеристик всех элементов этих операций.

Таким образом, анализ надежности геолого-интерпретационного модуля поисковых методов и прогнозно-поисковых комплексов, проводимый на основе классификации и исследования его возможных и действительных отказов, позволяет разделить элементы, составляющие алгоритмы названных процедур на достаточно надежные и ненадежные. На основе первых, т.е. надежных элементов, и с резервированием вторых, очевидно, может быть построена система непрерывного и альтернативного прогнозирования, наиболее адекватная реальным условиям состояния изученности проблемы и конкретной территории проведения поисков. Работы исследовательской и методической направленности, выступающие в такой системе как обязательные составляющие, гарантируют устойчивость системы по отношению к ее цели и изменчивость в соответствии с изменчивостью внешних условий.

Резервирование **ЗАВЕРОЧНОГО МОДУЛЯ (E)** для поисковых методов с детерминированной связью "аномалия - объект" не требует дополнительных обсуждений при заверке аномалий горно-буровыми

работами. В этом случае система заверки должна основываться на разработке геометрической схемы расположения скважин или выработок, гарантирующей подсечение аномалообразующего объекта, разработке требований по глубине бурения и системам исследования в скважинах, включающих и геофизические методы, гарантирующих вскрытие объекта и его однозначную идентификацию. Для наиболее сложных случаев система заверочных работ должна обеспечивать необходимые данные для решения прямых задач и сравнения вычисленных аномальных эффектов от вскрытых аномалообразующих объектов с характеристиками аномалий, полученными при проведении полевых работ.

Для аномалий с пространственной вероятностной связью с объектом при небольших размерах выделяемых перспективных участков целесообразен также переход к методу прямого подсечения с расчетом сетей по соответствующим алгоритмам на минимально-промышленные поисковые объекты.

В случае значительных размеров выделяемых перспективных территорий, как правило, необходимым оказывается переход на более детальные стадии геологоразведочного процесса с разработкой для них соответствующих высоконадежных технологий.

#### 4. Количественная оценка надежности геолого-поисковых систем и их элементов

Познавательный, в значительной степени исследовательский характер геологоразведочного процесса при существенной неопределенности в знаниях о строении земных недр принципиально отличает геолого-поисковые системы от систем технических. И главное отличие между ними заключается в невозможности для многих реальных ситуаций получения абсолютно достоверных количественных характеристик каждого элемента, слагающего геолого-поисковую систему. Тем не менее, планирование геологических поисков предполагает необходимым определение методики работ, параметров поисковых сетей, представительности опробования и т.д., основанных на конкретных количественных расчетах или оценках

Все это в целом, а именно: невозможность абсолютных решений, с одной стороны, и необходимость решений, приближенных к абсолютным, с другой стороны, позволяет использовать для количественной оценки надежности геолого-поисковых систем **итерационные методы решения** задачи, т.е. **методы приближенного решения, основанные на последовательном приближении к конечному результату путем многократного применения вычислительной процедуры**. При этом исходными данными для каждой последующей процедуры должны являться результаты предыдущих процедур, – а в нашем случае – апробация предыдущего решения на практике. Следствием этого процесса, очевидно, будет некоторая последовательность решений, которая при выполнении определенных условий сходится к решению задачи, т.е. имеется возможность получения приближения, сколь угодно мало отличающегося от истинного решения.

В свете изложенного целесообразно выделять **три основных этапа** оценки надежности для каждой площади или региона, полагая, что для каждого из них многие исходные данные и результаты оценок будут более и более уточняться. Условно выделяемые этапы можно назвать **подготовительным, текущим и завершающим**.

Основной задачей **подготовительного** этапа проведения исследований является *адаптация теории надежности геологических поисков к практике работ в конкретном регионе и на конкретное полезное ископаемое*. Этот этап включает в себя, прежде всего, системный анализ имеющихся данных по району с указанных позиций, проведение специальных исследований по получению дополнительных характеристик элементов, слагающих конкретную геолого-поисковую систему. В результате работ этого этапа может быть составлена технологическая схема оценки надежности производственных геолого-поисковых работ и сформулированы задачи перед тематическими, опытно-методическими и научно-исследовательскими работами, решение которых направлено на повышение устойчивости прогнозно-поисковых комплексов.

Оценка надежности поисков, осуществляемая на **текущем** этапе, предполагает *соответствующие количественные расчеты при проектировании производственных исследований, при их проведении, при составлении отчетов*.

**Завершающий** этап оценок целесообразно осуществлять при завершении поисков по конкретному региону, району или участку. При этом необходимо учитывать, что завершающий этап, как таковой, может рассматриваться лишь относительно некоторой исходной концептуальной схемы, определенной модели постановки и решения проблем, т.е. *по отношению к определенной парадигме, объединяющей геологические и экономические знания на конкретное время*.

Внутри отмеченных этапов, в зависимости от полноты используемых данных, целесообразно выделение **прикидочного, ориентировочного и окончательного** видов оценки надежности. Первый из них может использоваться, например, при формулировании геологического задания, второй – при составлении проекта или программы на производство работ и последний – при написании отчета.

Рассмотрим **СХЕМУ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ПРОСТОГО (НЕ РЕЗЕРВИРОВАННОГО) ПОИСКОВОГО МЕТОДА**. На рисунке 11 при помощи логической диаграммы Эйлера иллюстрируется схема такой оценки применительно к параметрам качества. Она иллюстри-

рует способ свертки помодульных характеристик качества в общую характеристику качества конкретного поискового метода.

Пусть на некоторой площади, где проводятся поисковые работы, имеется достаточно большое количество поисковых объектов. На рисунке 11 все они условно образуют совокупность точек в пределах внешней окружности, показанной в центральной части рисунка, т. е. каждая точка внутри этого круга – поисковый объект.

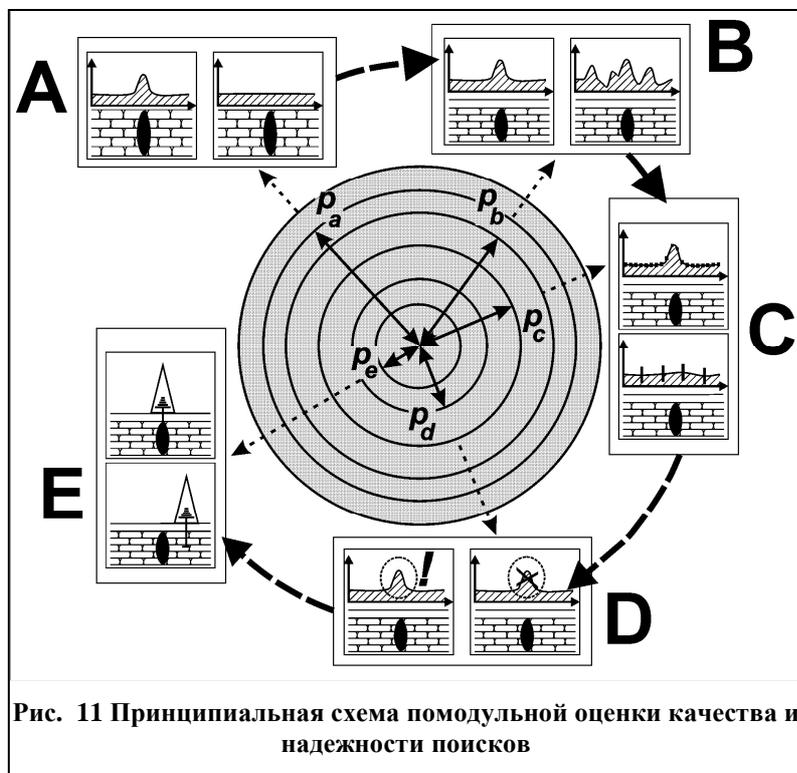


Рис. 11 Принципиальная схема помодульной оценки качества и надежности поисков

Пусть часть этих объектов обладает повышенной контрастностью индикационного свойства, интенсивность которого достаточна для обнаружения объектов соответствующим поисковым методом в наиболее благоприятных для поисков ландшафтно-геологических и прочих условиях. Другая же часть объектов пусть такой интенсивностью параметра не обладает. На врезке к рисунку с индексом «А» обозначены оба из названных случаев.

В этом случае **средняя единичная вероятность  $p_a$  безотказной работы вещественно-индикационного модуля А**, т.е. вероятность событий, что любой случайный поисковый объект будет обладать в названных условиях достаточно повышенным уровнем индикационного параметра **равна отношению площади круга с меньшим радиусом к площади круга с большим радиусом**. В каждом конкретном случае отношение этих площадей будет ин-

дивидуальным, вычисляемым на основе решения задачи о неслучайной выборке и генеральной совокупности или другими способами.

На рисунке 12 схематично показан пример оценки характеристики качества модуля А для магнитометрического метода поисков кимберлитов в одном из районов Якутии.

Здесь в верхней части рисунка приведен график эмпирической функции кумулятивной кривой распределения значений магнитной восприимчивости кимберлитов для этого района. В нижней части показана номограмма, позволяющая определить интенсивность локальной магнитной аномалии в эпицентре при соответствующей намагниченности трубки и при ее соответствующих размерах. Для рассматриваемого примера площадь минимально-промышленного объекта составляет 2,5 га или диаметр 180 м. Такой объект создает аномалию интенсивностью 10 нТл при намагничении равном значению на абсциссе в точке А. Следовательно, точка А разделяет всю совокупность объектов на две части: практически немагнитные и достаточно магнитные для обнаружения методом. Как видно из рисунка, доля первых составляет 0,04, вторых- 0,96. Последнее значение и характеризует среднюю единичную вероятность безотказной работы модуля А метода в условиях конкретной территории.

Т.е. в данном случае, при построении реальной диаграммы Эйлера площадь первой внутренней окружности может быть показана, как составляющая 96% от площади внешнего круга.

Возвращаясь к диаграмме Эйлера рассмотрим модель определения вероятности  $p_b$ . Пусть теперь из объектов, обладающих повышенным уровнем индикационного параметра (круг с радиусом  $p_a$ ), одна часть в реальной ландшафтно-геологической ситуации может создавать достаточные по контрастности аномалии (левая часть врезки с индексом «В»), обнаружение которых возможно при благоприятном сорасположении аномалии и точек наблюдения (круг с радиусом  $p_b$ ). Аномалии же от другой части объектов (правая часть на врезке) экранируются компонентами вмещающей ландшафтно-геологической среды. На диаграмме Эйлера таким объектам соответствует кольцо, ограниченное окружностями с радиусами  $p_a$  и  $p_b$ .

В этом случае **вероятность  $p_b$  безотказной работы ландшафтно- геологического модуля В поискового метода**, т.е. вероятность события, что любой из объектов, обладающий повышенным индикационным параметром, отразится достаточно контрастной аномалией в реальной ландшафтно-геологической среде со специфическим набором для нее факторов экранирования сигнала, **равна отношению площадей меньшего круга к большему из рассматриваемой пары.**

Из приведенного рассуждения видно, что вероятность  $p_b$  для модуля В является условной вероятностью и вычисляется, если имеет место первое событие, т.е. только для части объектов поисков, обладающих повышенным уровнем индикационного параметра.

Аналогичным образом, как условные вероятности, вычисляются средние единичные вероятности для остальных модулей.

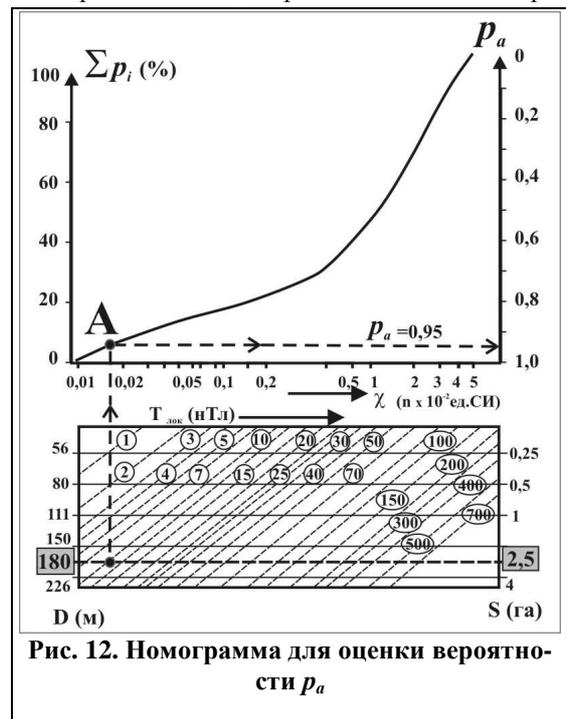
При этом в наиболее простом случае значение этого параметра для модуля С равно вероятности подсечения объекта или аномалии от него системой наблюдений. Для модуля D значение вероятности равно отношению количества аномалий, переданных под заверку, к их общему количеству, формально удовлетворяющим условия аномальности для рассматриваемого метода. Для модуля E средняя единичная вероятность безотказной работы определяется из соотношения количества аномалий, заверка которых выполнена удовлетворительно, к их общему количеству, рекомендованному для проведения заверочных работ

В результате из полученных помодульных характеристик качества может быть определена обобщенная характеристика качества поискового метода, реализованного или проектируемого для конкретной площади:

$$P_{a-e} = P_a \times P_b \times P_c \times P_d \times P_e \quad (1.4)$$

Переход от единичных вероятностных оценок качества к количественным характеристикам надежности, зависящим от объема реализаций, т.е. от  $T_{max}$ , для каждого из пяти модулей различен. Для модуля А максимальное количество отказов оценивается через объем поисковой совокупности, для модуля В – через ее часть, обладающую повышенными значениями индикационного параметра. Для модуля С эта величина определяется из соотношения площади поискового участка и размера объекта поисков, для модуля D – через общее количество аномалий, выделяемых на площади, а для модуля E – через их часть, рекомендованную для заверки.

В результате, вероятность безотказной работы метода или комплекса методов, зависящая от объема наработки, определяется через произведение соответствующих помодульных вероятностей. Здесь, также как и в других случаях, для получения гарантированных результатов целесообразно использовать значения вероятностей с учетом их доверительных интервалов.



## Заключение

Рассматривая надежный подход при исследовании геологической эффективности геолого-поисковой системы, выше и в других публикациях, по возможности максимально строго, мы попытались провести "красной нитью" всего одно положение:

**в результате осуществления комплекса геолого-поисковых работ в пределах перспективного участка или площади должны быть обнаружены практически все месторождения полезных ископаемых, представляющие реальную ценность для хозяйства в условиях данного геолого-промышленного района.**

Само это положение вполне очевидно, лежит в основе проектирования любого комплекса геолого-поисковых работ и не требует каких-либо доказательств. Однако, в процессе исследования факторов, определяющих полноту его осуществления в конкретных условиях, и в результате попытки адаптации некоторых положений теории надежности систем к практике геологических поисков оказалось, что в целом ряде случаев, если не в большинстве из них, отмеченное положение не выполняется, по крайней мере, достаточно строго.

## Основные публикации по теории надежности геолого-поисковых систем

- Оценка надежности опосредования частично закрытых районов аэрогамма-спектрометрическим методом. "Сов. геология" 1983, N 9, с.109-114. авт. Цыганов В.А.
- Оценка надежности геолого-поисковых работ в районах действующих горнодобывающих предприятий. "Сов. геология" 1987, N 1, с.3- 15. авт. Цыганов В.А., Нарсеев В.А.
- Оценка надежности геолого-поисковых систем (на примере Западной Якутии) В серии "Прогнозно-поисковые комплексы" вып. XX. М. Из-во ЦНИГРИ, 1987, 86 с. авт. Цыганов В.А.
- О проблеме оценки генеральной совокупности по неслучайным выборкам (на примере индикационных характеристик кимберлитов) ДАН СССР, 1988, том 301, N 3, с. 672-677. авт. Цыганов В.А., Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П.
- Элементы методики анализа и повышения надежности поисковых методов и целевых прогнозно-поисковых комплексов. М. Из-во ЦНИГРИ 1989, 56 с. авт. Цыганов В.А., Зинчук Н.Н.
- Методика и результаты оценки надежности геолого-поисковых работ на объектах Якутской алмазоносной провинции В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы". г. Иркутск, 1990.с.141-148. авт. Цыганов В.А.
- Оценка геологической эффективности поисковых работ с позиций теории надежности систем. "Сов. геология" 1990, N 9, с.3-11. авт. Цыганов В.А.
- Оценка надежности прогнозно-поисковых комплексов и пути развития освоения новых районов. В сб. "Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири" Иркутск 1990, с.83-86. авт. Цыганов В.А. Зинчук Н.Н.
- Методика оценки остаточных прогнозных ресурсов в районах действующих предприятий алмазодобывающей промышленности Западной Якутии и Архангельской области В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы". г. Иркутск, 1990.с.149-151 авт. Цыганов В.А., Белов А.В., Крючков А.И., Лелюх М.И.
- Результаты классификации и исследования отказов шлихо-минералогического метода поисков кимберлитов (закрытые территории Западной Якутии). В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы" . г. Иркутск, 1990. с. 200-202. авт. Цыганов В.А. Афанасьев В.П.
- Оценка надежности прогнозно-поисковых комплексов и пути развития освоения новых районов. В сб. "Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири" Иркутск1990, с.83-86. авт. Цыганов В.А., Зинчук Н.Н.
- Результаты классификации и исследования отказов метода прямого подсечения при поисках кимберлитов. В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы". г. Иркутск, 1990. с. 235-238. авт. Цыганов В.А., Клопотова Л.В., Лелюх М.И.
- Результаты классификации и исследования отказов магнитометрического метода поисков кимберлитов В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы". г. Иркутск, 1990. с. 205-207. авт. Цыганов В.А., Романов Н.Н., Герасимчук А.В.
- Психологические и социологические проблемы качества и надежности алмазопроисковых работ на примере исследований в Западной Якутии. В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы" . г. Иркутск, 1990. с. 210-214. авт. Цыганов В.А.
- Результаты классификации и исследования отказов гравиметрического метода поисков кимберлитов (закрытые территории Западной Якутии). В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы". г. Иркутск, 1990. с. 207-210. авт. Романов Н.Н. Цыганов В.А., Герасимчук А.В.
- Результаты классификации и исследования отказов геохимического метода поисков кимберлитов по околотрубочным ореолам рассеяния. В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы" . г. Иркутск, 1990. с. 203-205. авт. Цыганов В.А., Заиченко М.В., Боровкова Т.В.
- Методика оценки остаточных прогнозных ресурсов в районах действующих предприятий алмазодобывающей промышленности Западной Якутии и Архангельской области В сб. "Основные направления повышения эффективности и качества геологоразведочных работ на алмазы". г. Иркутск, 1990.с.149-151 авт. Цыганов В.А., Белов А.В., Крючков А.И., Лелюх М.И.
- Поисковое прогнозирование кимберлитовых полей в Якутской алмазоносной провинции (опыт исследования надежности прогнозных рекомендаций) Тр. ЦНИГРИ, вып. 250, 1991, с. 42-56 . авт. Цыганов В.А., Клименко Н.Ф., Полторацкая О.Л., Дукрэт Ю.А.
- НАДЕЖНОСТЬ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ. М."Недра"1994. 484 с. авт. Цыганов В.А.

- Направления восстановления минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий России (теоретические, экономические и методические аспекты) "Отечественная геология" 1997, N 3. авт. Цыганов В.А.
- Проблемы и перспективы развития геофизических технологий при поисках коренных месторождений алмазов. «Геофизика», 2001, N 9. . авт. Контарович Р.С., Цыганов. В.А.
- Некоторые психологические аспекты визуального восприятия картографической информации при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. в сб. Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. - Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. с.597-602 авт. Цыганов В.А.
- Остаточные прогнозные ресурсы районов действующих алмазодобывающих предприятий Якутии и основные проблемы их промышленного освоения. В сб. Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. - Воронеж: Воронежский государственный университет, 2003. с 553-558. авт. Цыганов В.А.