

# РЕГИОНАЛЬНАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Цыганов В.А.<sup>(1)</sup>, Егоров А.Ю.<sup>(1)</sup>, Шишков А.Ю.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> - ФГУ НПП «АЭРОГЕОЛОГИЯ» ([vlad@aerogeologia.ru](mailto:vlad@aerogeologia.ru));

<sup>(2)</sup> - «КАРЕЛНЕДРА» ([geolog@karelia.ru](mailto:geolog@karelia.ru))

## Аннотация

Для повышения инвестиционной привлекательности и снижения рисков на ранних стадиях геологоразведочного процесса, а также для осуществления государственного контроля за недропользованием, предлагается создать для территории РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ компьютерную экспертную систему риск-менеджмента. При помощи такой системы могут выделяться и исследоваться РИСКИ ПРОПУСКА ПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ и РИСКИ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗЛИШНИМ РАСХОДОВАНИЕМ СРЕДСТВ на малоперспективных или технологически недоступных площадях и участках.

В основу компьютерной системы риск-менеджмента положен теоретический, методический и математический аппарат ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ГЕОЛОГО-ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ, прошедший успешную апробацию на ряде видов полезных ископаемых в разных регионах страны. Входящими и исходящими форматами для работ системы будут данные типовых ГИС, что позволит легко использовать ее на всех уровнях, связанных с государственным регулированием недропользования и в частных компаниях. После завершения подготовительного этапа компьютерная система сможет функционировать в режим мониторинга для всех масштабов работ и стадий ГРП.

## 1. Риск-менеджмент – как основа планирования ГРП в условиях рыночной экономики

Среди главных этапов геологоразведочного процесса (съемка - поиски – оценка – разведка) наиболее рисковыми являются поиски. Поисковые работы обычно проводятся на территориях, размер которых в тысячи раз превышает размеры конечных объектов поисков. При этом, главным требованием к

*Риск выражает вероятность наступления какого-либо неблагоприятного события умноженную на ущерб от его последствий.*

*Успешный риск-менеджмент является важнейшим условием конкурентоспособности и надежности любого предприятия или банка.*

*Главная задача риск-менеджмента состоит в выявлении и предотвращении возможных неблагоприятных событий, нахождении путей минимизации их последствий, создании методологий управления.*

<http://www.bankclub.ru/seminar-article.htm>

ним является обеспечение на всей изучаемой площади одинаково высокого качества проводимых исследований, гарантирующего непропуск промышленно-ценного месторождения. Любое событие, ведущее к потере качества, является рисковым для конечного результата. Оно может приводить либо к пропуску поискового объекта (риск 1 рода), либо к излишнему расходованию средств (риск 2 рода).

РИСКИ ПЕРВОГО РОДА в общем случае можно связывать с ОТКАЗАМИ геолого-поисковых систем, т.е. с любыми событиями, приводящими к пропуску промышленно-ценных месторождений. Проведенный анализ причин возникновения таких отказов при поисках месторождений полезных ископаемых (Цыганов, 1994) показал, что они отчетливо разделяются на два главных типа. Это отказы, связанные с недостатком знаний о вещественно-индикационных свойствах поисковых объектов и вмещающей их ландшафтно-геологической среды, а также отказы, обусловленные неполным или ошибочным использованием имеющихся знаний на различных этапах работ.

РИСКИ ВТОРОГО РОДА подразделяются на три основные группы. Первая из них связывается с проведением работ на территориях, где поисковые объекты отсутствуют. Обычно при выборе таких площадей и участков существенным оказывается влияние иллюзий, ложных стереотипов и заблуждений. Вторая группа рисков здесь связывается с отсутствием на выбранной площади коммерчески ценных объектов, при наличии рудопроявлений и точек минерализации. И, наконец, еще одна группа рисков второго рода имеет место на территориях с исключительно сложными природными (ландшафтно-геологическими) условиями ведения поисковых работ. В этих случаях даже при наличии на площадях коммерчески ценных объектов, поисковые работы могут растянуться на десятилетия и не привести к положительному результату.

Очевидно, что выявление подобного типа событий (от-

*В ТНГС под ОТКАЗОМ геолого-поисковой системы или ее элемента понимается любое установленное или вероятное событие, которое приводит, привело или может привести к пропуску на площади работ хотя бы одного экономически ценного поискового объекта.*

казов – рисков), их изучение, классификация, моделирование, разработка технологических приемов устранения или минимизации влияния, представляет важнейший практический интерес. Принято (<http://www.bankclub.ru/seminar-article.htm>) определить четыре цели, соответствующие четырем эволюционным стадиям развития процесса управления рисками:

- Оценка рисков в целях определения, насколько общая позиция предприятия, подверженного риску, соответствует его капиталу.
- Определение лимитов на риски для бизнес-направлений (например, при проведении поисков на нескольких участках) с тем, чтобы гарантировать, что общая позиция компании, подверженная риску, соответствует ее капиталу.

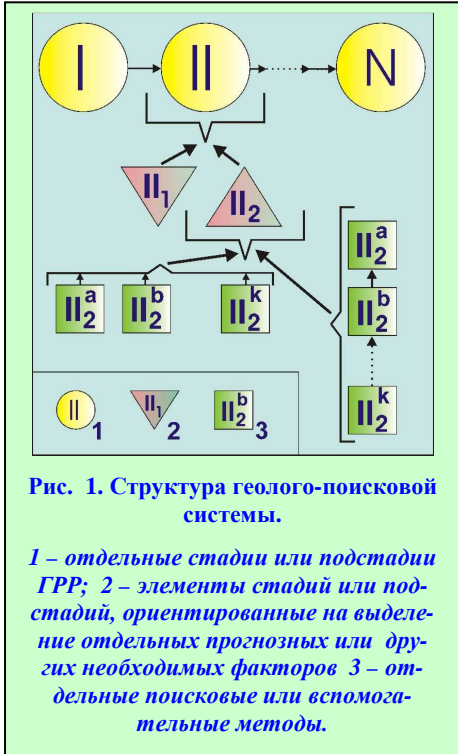


Рис. 1. Структура геолого-поисковой системы.

*1 – отдельные стадии или подстадии ГРР; 2 – элементы стадий или подстадий, ориентированные на выделение отдельных прогнозных или других необходимых факторов 3 – отдельные поисковые или вспомогательные методы.*

- Возможность топ-менеджмента компании оценить эффективность деятельности каждого бизнес-направления с учетом риска (*risk-adjusted performance measurement*).
- Возможность топ-менеджмента эффективно управлять капиталом компании, влияя как на капитал в целом, так и на распределение капитала по бизнес направлениям (*capital allocation*).

## 2. Теория надежности геолого-поисковых систем, как основа риск-менеджмента при поисках месторождений

Теория надежности геолого-поисковых систем (далее ТНГС) оказалась первой и пока единственной теорией ошибок в поисковой геологии, позволяющей изучать ошибки именно в теории, а не делать их на практике. Выявление, моделирование и минимизация финансовых рисков, связанных с методикой поисков месторождений, основанные на исследованиях планируемых или проведенных работ с позиций ТНГС является новым научным направлением, которое в качестве объекта исследований, выбрало ошибки и отказы, возникающие при проведении геологоразведочных работ.

Кроме конечных объектов поисковых работ в ТНГС выделяются промежуточные и частные объекты поисков. Под **промежуточными объектами поисков** здесь понимаются разномасштабные иерархические геологические структуры, ансамбли, перспективные для локализации нескольких конечных поисковых объектов – рудный район, рудный узел, рудное поле и др., а под **частными объектами** – специфические особенности геологического строения территории, определяющие локализацию (поисковые предпосылки – стратиграфические, петрологические и др.), либо отражающие сам факт локализации (поисковые признаки) конечных и промежуточных поисковых объектов.

В конечном счете, любая геолого-поисковая система на основе природной иерархии поисковых объектов разделяется на элементарные составляющие: «ОБЪЕКТ – МЕТОД» (Рис.1.), для каждой из которых проводится исследование качества и надежности, а затем уже осуществляются интегральные оценки, строятся карты оценки надежности по территориям, прикидываются остаточные ресурсы и разрабатываются эффективные технологии их реализации.

*Под КАЧЕСТВОМ геолого-поисковой системы или ее элементов понимается их способность к непуску поисковых объектов, а под их НАДЕЖНОСТЬЮ - способность сохранять качество на заданный объем работы, или, способность к непуску поисковых объектов в пределах исследуемой территории.*

*К группе отказов в ВЕЩЕСТВЕННО-ИНДИКАЦИОННОМ МОДУЛЕ относятся такие возможные и действительные ситуации, при которых пропуск поискового объекта происходит из-за отсутствия у него явно выраженного, соответствующего поисковому методу или технологии аномального индикационного свойства.*

Исследование качества и надежности для элементарных пар «объект-метод» включает в себя следующие операции:

- 1) выделение всех вероятных отказов в паре с подразделением их на группы (модули геологической эффективности);
- 2) типизация выделенных отказов по возможной частоте встречаемости и влиянию на эффективность поисков;
- 3) подбор методик количественной оценки вероятностей отказов в высокой частотой встречаемости и существенным влиянием на эффективность поисковых работ. Изучение и картирование факторов влияющих на вероятностные оценки;

4) построение карт результатов оценки надежности поисков для конкретной пары: «объект-метод».

Всего для каждой пары «объект – метод» в ТНГС выделяется пять условий (модулей геологической эффективности), при выполнении которых поисковый объект обнаруживается, а при невыполнении хотя бы одного – пропускается (Рис. 2).

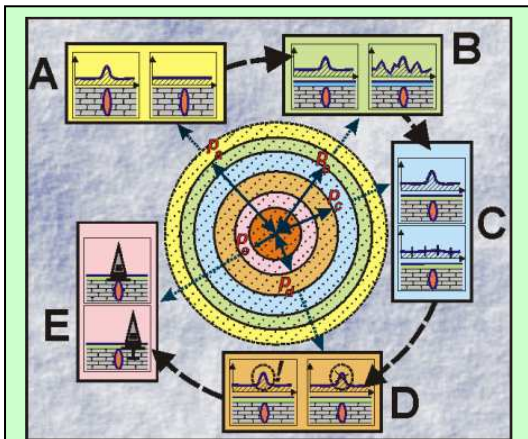


Рис. 2. Общая модель оценки качества и надежности поисковых методов на основе логической диаграммы Эйлера

**А** - 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** - 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** - 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** - 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** - применяемая система заверочных работ (либо переход на следующую стадию исследований) должна гарантировать вскрытие аномалообразующего объекта.

Выделенные группы рисков-отказов являются универсальными для любых пар «поисковый объект – поисковый метод», для комплекса поисковых объектов и для поисковых объектов любого иерархического уровня (рудное поле, узел, группа рудных тел, единичное рудное тело и пр.). Они позволяют расчленять сложные геолого-поисковые системы на элементарные пары «объект-метод» (см. Рис.1.) с оценкой для каждой из них вероятностных характеристик риска – отказа.

Для исследования уровней рисков систем площадных поисковых работ используются количественные характеристики качества и надежности. При этом под КАЧЕСТВОМ здесь понимается некий средний параметр, который характеризует принципиальную возможность системы удовлетворять некоторому требованию не зависимо от объема выполняемой работы, в то время как под НАДЕЖНОСТЬЮ обычно понимают способность сохранять качество на заданный объем работы.

Количественным критерием качества выступает средняя вероятность безотказной работы  $[p_i]$  или средняя вероятность подсечения заданного объекта. Количественной характеристикой надежности является вероятность безотказной работы системы

на весь объем выполняемых поисковых работ -  $[P(S)]$ , где  $[S]$ , площадь поискового участка.

В результате полученных помодульных характеристик качества может быть определена обобщенная характеристика качества ( $p_{a-e}$ ) или надежности поискового метода или технологии, реализованного или проектируемого для конкретной площади для обнаружения конкретного объекта, как произведение условных вероятностей (см. Рис.2.):

$$P_{a-e} = P_a P_b P_c P_d P_e$$

В конечном счете, использование количественных оценок

Отказы второго - ЛАНДШАФТНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ поисковых методов, происходят из-за неблагоприятного воздействия на условия поисков компонентов вмещающей ландшафтно-геологической среды. Это отказы, связанные с экранированием компонентами среды сигнала от поискового объекта.

Отказы третьего, ТЕХНИКО-МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ поисковых методов происходят из-за несоответствия параметров поисковой сети (или точности наблюдений (или представительности опробования) реальным размерам и контрастности проявления поисковых объектов.

К отказам четвертого, ГЕОЛОГО-ИНТЕРПРЕТАЦИОННОГО, модуля поисковых методов отнесены ситуации, при которых пропуск поискового объекта становится возможным при истолковании полевых данных из-за ошибок в процедурах геофизической, общей геологической и прогнозной интерпретации.

позволяет построить обобщенную карту качества и надежности опосредования любых территорий на любые полезные ископаемые:

- с выделением площадей и участков, характеризующихся высоким уровнем технологического риска (вероятностью пропуска поисковых объектов)
- определением главных факторов, определяющих этот риск, отдельно по приведенным выше группам;
- определением основных технологических приемов минимизации риска (резервирования) или критериев прекращения дальнейших работ из-за «технологической недоступности» поисковых объектов.

### ***Понятие о резервировании малонадежных элементов геолого-поисковых систем***

Выделение отказов для поисковых методов и прогнозно-поисковых комплексов предполагает разработку таких мероприятий, технологических схем и отдельных приемов, которые либо позволяют 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.

***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 систем и их элементов можно объединить в одну группу операций - РЕЗЕРВИРОВАНИЕ МАЛОНАДЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.***

*Пятым модулем, определяющим надежность геолого-поисковых работ, является ЗАВЕРОЧНЫЙ. К его отказам отнесены возможные и действительные ситуации, обуславливающие пропуск поискового объекта из-за его неподчинения при проверке прогнозных рекомендаций.*

В основу классификации приемов и способов резервирования для повышения надежности геолого-поисковых систем положена классификация отказов по

модулям, рассмотренную выше. При этом резервирование называется **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 резервирование 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 приемов разработаны способы количественной оценки соответствующих надежностных параметров (Цыганов, 1994). Для каждого из пяти модулей существуют свои специфические приемы резервирования.

#### ***ТНГС позволяет проводить:***

- количественную оценку качества и надежности любых геолого-поисковых работ и их рисков, выполненных на любых территориях и на любые полезные ископаемые;
- выбор технологии работ для обнаружения остаточных месторождений в традиционных районах горной добычи, ее оптимизацию по

*А.А.Никитин (доктор г.-м.н., МГРИ): “Именно количественная оценка надежности геосистем и их отдельных элементов представляет чрезвычайно актуальную проблему геологоразведки, определяющую развитие исследований на десятилетия вперед. Практическое значение положений трудно переоценить, поскольку рецензент уверен в дальнейшем их использовании многими коллективами геологов-геофизиков в самых различных регионах России и за рубежом”.*

*И.Ф. Мизачев (доктор г.-м.н., директор ЦНИГРИ): “...теперь мы имеем по крайней мере целостную методологию оптимального проведения геологоразведочных, в первую очередь, поисковых и поисково - оценочных работ”.*

*Г.В. Ручкин (доктор г.-м.н., ЦНИГРИ): “... мы имеем дело с неординарной пионерской работой, которая задает вообще тон в таком подходе к оценке надежности геолого-поисковых систем, вообще поисковой геологии, для всех полезных ископаемых”.*

ре-  
зультативности и себестоимости;

- выбор оптимизированной технологии для проведения геолого-поисковых работ в новых районах;
- выделение вероятных ошибок, связанных с отсутствием знаний по конкретным прикладными проблемам, 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.

**ТНГС прошла апробацию** и приблизила поиски к положительным геологическим результатам в различных районах, на различные полезные ископаемые, в т. ч.: **по алмазам** в Якутии, Архангельской области, Бразилии, Северо-Восточных территориях Канады; **по золоту** Магаданской области Южной и Восточной Якутии; **по полиметаллам** Казахстана; **бокситам** Урала. Работы на основе ТНГС получили **только положительные отзывы и заключения** в МПР РФ, ГК Республики Саха по геологии и недропользованию, в “Севергеолкоме, АК “Алмазы России – Саха, АО РК “Алмаззолото”; ЦНИГРИ, РГГРУ, ВСЕГЕИ, МГУ им. М.В.Ломоносова, СПГУ, ИМиП Сибирского отделения РАН, ВостСибНИИ-ИГГиМСе, ЯИГН Сибирского отделения РАН.

В настоящее время в соответствии с Государственным заказом работы по разработке региональной компьютерной экспертной системы риск-менеджмента по направлениями и технологиями поисков месторождений полезных ископаемых осуществляются ФГУНПП «Аэрогеология» **для территории севера Урала в зоне проектируемой железной дороги Ивдель-Лабитнанги**, подготовлено и находится в стадии согласования техническое задание о проведении аналогичных работ **на нефть для территории Республики Татарстан.**

### **3. О программе работ по созданию для территории Республики Карелия региональной компьютерной экспертной системы риск-менеджмента по направлениями и технологиями поисков месторождений полезных ископаемых**

Главным условием эффективного применения ТНГС для оценки и менеджмента финансовыми рисками при проведении поисковых работ на различные полезные ископаемые являются использование современных полных, системных, относительно непротиворечивых фактов, знаний и технологий, которые включают в себя:

А) **Фактические материалы по конкретным, исследуемым районам:** общие физико-географические и экономические сведения; комплект данных о геологическом строении территории; его геофизических и геохимических полях; данные о минералогическом опробовании коренных и рыхлых геологических образований; данные о минерации исследуемой территории, наличии месторождений, проявлений, точек минерализации, фактических данных по описанию и опробованию рудных объектов, с результатами опробования, с петрофизическими, геохимическими и минералогическими характеристиками.

Б) Необходимые **факты и рабочие гипотезы по конкретным геолого-промышленным типам** месторождений, поиски которых проводятся в исследуемом районе, на основе исследований подобных объектов в этом и других регионах:

- Данные о морфологических характеристиках рудных тел, их вещественном составе, зависимости морфологии от структуры и состава вмещающих пород;
- Знания о вещественно-индикационных характеристиках поисковых объектов различного иерархического уровня, формах отражения этих характеристик в геофизических, петрографических, минералогических, геохимических полях;
- Знания о статических, динамических и ретроспективных закономерностях пространственного размещения поисковых объектов различного иерархического уровня, и также формах отражения этих закономерностей в геофизических, петрографических, минералогических, геохимических полях;
- Знания о формах экранирования сигнала от поисковых объектов в различных типах полей в зависимости от конкретной ландшафтно-геологической обстановки.

В) Существующие на сегодня наиболее эффективные технологии работы с первичными геологическими данными **применительно к задачам монометодной, общей геологической и целевой (прогнозной) интерпретации:**

- Для обработки, геофизической и геологической интерпретации материалов геофизических, геохимических съемок, минералогического опробования различными методами и в различных модификациях;
- То же для дешифрирования материалов дистанционных фото и других видов съемок;

**А.Н.Роков, В.В.Аристов (доктора г.-м.н., МГРИ):** “Позволяет оценивать вопрос об эффективности поисков месторождений с совершенно новых позиций, а именно на основе рассмотрения надежности применения поисковых методов с точки зрения системного анализа причин обнаружения месторождений полезных ископаемых, на что раньше не только не обращалось внимания, но подобный анализ рассматривался в качестве попыток дискредитации геологической науки”

**Государственный комитет Республики Саха (Якутия):** “Методологическое значение разработок в высшей степени не поддается оценке, т.к. их полное внедрение в практику работ знаменует собой переход на качественно новый уровень планирования, организации и ведения геологоразведочных работ».

- Алгоритмы и программы пространственного анализа разного рода данных для выделения закономерностей локализации объектов поисковых работ, в зависимости от внешних, входящих геологических факторов.

**Макрос** (от англ. *macros*, ед.ч. — *macro*) - **программный объект**, при обработке «развёртывающийся» в последовательность действий и/или команд. Корректный перевод термина с английского — «макрокоманда».

Во многих программных продуктах при включении макроса автоматически выполняется заданная для каждого макроса последовательность действий — нажатия на клавиши, выбор пунктов меню и т.д. Предоставляется интерфейс для записи новых и перезаписи существующих макросов.

Г) Специальные алгоритмы и ПО выявления, анализа, районирования территорий применительно к **риск-менеджменту геолого-поисковых технологий** на основе теории надежности геолого-поисковых систем:

Д) Специальные алгоритмы и ПО технологий **имитационного моделирования геолого-поисковых работ** с оценкой вероятностей риска отказов и стоимостных параметров для различных технологий с целью оптимизации планируемых работ по надежностным и стоимостным характеристикам.

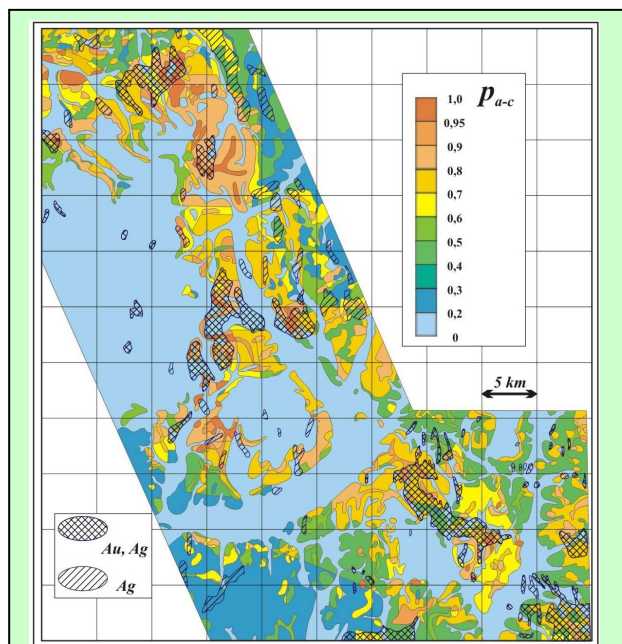
**Основные геологические задачи работ по созданию региональной экспертной системы** можно перечислить

примерно в следующей последовательности:

- Получение и ввод в компьютер необходимых графических материалов по территории Республики Карелия.
- Разработка применительно к району работ и перспективным видам минерального сырья иерархических рядов промежуточных поисковых объектов с их подразделением по масштабам необходимых исследований и стадиям ГРР.
- Разработка макросов для выделения промежуточных объектов поисков, необходимых алгоритмов и программного обеспечения.
- Оценка качества и надежности прогнозно-поисковых моделей и результатов прогнозирования для разных стадий ГРР, разработка необходимых алгоритмов и программного обеспечения..
- Разработка новых перспективных проектных решений по видам, направлениям и технологиям проведения геолого-поисковых работ
- Разработка макросов для выбора новых перспективных проектных решений.
- Подготовка электронной версии результатов проведения разномасштабных оценок качества и надежности геолого-поисковых работ в регионе для осуществления дальнейших оценок в режиме мониторинга.

#### Ожидаемые геологические результаты

Ожидается, что в результате выполнения работ по программе будет создана компьютерная экспертная система риск-менеджмента для установления, моделирования и минимизации финансовых рисков, связанных с технологиями поисков месторождений. Эта система должна позволить оптимизировать технологию подготовки площадей и участков к лицензированию, минимизировать, с одной стороны, вероятность рисков, связанных с ошибками в технологиях проведения геолого-поисковых работ и пропусками поисковых объектов (риски 1 рода), а, с другой стороны, затраты на проведение ГРР.



**Рис. 3. Карта частичной оценки надежности опосредования района деятельности Карамкенского ГОК'а (вероятность  $P_{a-c}$ ) и вторичные геохимические ореолы по Au-Ag и Ag.**

#### Основная литература

1. *Цыганов В. А., Егоров А.Ю., Ставский А.П. Восстановление и расширение минерально-сырьевой базы действующих добывающих предприятий. «Минеральные ресурсы России», 2005, №5 с. 8-22.*
2. *Цыганов В.А. Надежность геолого-поисковых систем. М."Недра"1994. 484 с.*

*Опубликовано в журнале: «Вестник золотопромышленника», 2006 г.*