

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИНСТИТУТ  
ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ  
(ФГБУ «ЦНИГРИ»)



Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1, Москва, 117545  
Тел./факс: (495) 313-18-18;  
E-mail: tsnigri@tsnigri.ru; http://www.tsnigri.ru  
ОГРН 1187746427230 ИНН 7726429427 КПП 772601001

«УТВЕРЖДАЮ»  
Директор ФГБУ «ЦНИГРИ»  
кандидат геолого-минералогических наук  
А.И. Черных  
«06» \_\_\_\_\_ 2022 г.



### Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Кушнарера Петра Ивановича  
«НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РАЗВЕДАННОСТИ  
ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ», представленную на соискание ученой степени доктора  
геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 - геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых, минерагения.

Целью представленной работы является разработка методов количественной оценки разведанности запасов коренных золоторудных месторождений с учетом сложности их геологического строения. В настоящее время эта проблема не имеет удовлетворительного решения ни в отечественной, ни в зарубежной практике изучения месторождений твердых полезных ископаемых.

Оценка разведанности запасов в практике работы ГКЗ РФ осуществляется на основе аналогий или расчетом неоднозначно определенных показателей. За рубежом эту задачу решают главным образом Компетентные Персоны, являющие членами признанных международных сообществ, на основе опыта самой этой Персоны. Применяемый метод экспертных оценок допускает большую долю субъективизма при установлении категории запасов, что, в свою очередь, приводит к возникновению разных точек зрения о разведанности одного и того же месторождения, спорных ситуаций. Отсутствие единообразных подходов к оценке разведанности запасов месторождений предопределяет **актуальность** диссертационной работы П.И. Кушнарера.

Соискатель справедливо отмечает, что задачи оценки разведанности запасов тесно связаны с изучением свойств месторождений, определяющих сложность их геологического строения, с вопросами обоснования геометрии разведочной сети и квалификацией запасов на основе количественных показателей или критериев.

В работе предложены новые подходы к количественной оценке сложности геологического строения месторождений. В число классификационных признаков включены масштаб объектов, их морфологический тип и степень изменчивости содержаний компонентов, вычисляемая по пробам или композитам. Новым шагом в изучении морфологии рудных образований является использование положений фрактальной геометрии. Диссертантом рассмотрены и другие аспекты применения этого математического аппарата при изучении месторождений.

На основе проведенных исследований соискатель теоретически обосновал и предложил оригинальный метод аналитического расчета параметров разведочной сети, применение которого возможно уже на ранних стадиях геологоразведочных работ. Разработаны также новые приемы оценки ошибок геометризации в условиях ограниченной информации о морфологии рудных тел.

С учетом опыта разведки и требований промышленности для золоторудных месторождений установлены предельные значения критериев разведанности для запасов разных категорий; определена зависимость значений критериев от экономических рисков освоения объектов. Разработаны принципы количественной квалификации запасов в отдельных подсчетных блоках.

Эти позиции определяют *научную новизну* представленной работы.

В основу диссертации положены результаты личных исследований автора, которые он проводил на протяжении более 40 лет в качестве исполнителя полевых и камеральных геологоразведочных работ и в качестве эксперта ГКЗ. В основу решения задач, рассматриваемых в диссертации, положены фактические данные по геологическому строению, разведке и отработке свыше 80 известных и востребованных горнодобывающей промышленностью золоторудных месторождений России (Урал, Сибирь, Дальний Восток), Узбекистана и ряда других стран; при решении отдельных вопросов данной работы, привлекалась информация также по месторождениям меди, молибдена, урана, редких земель и россыпного золота. Следует особо отметить использование соискателем опыта изучения рудных объектов за рубежом по данным публичной отчетности.

Таким образом, выводы и положения диссертации обоснованы *большим объемом фактического материала*.

Проведенные исследования сопровождаются анализом и обобщением практического опыта оценки месторождений, расчетами статистических и геостатистических характеристик

объектов, определением ошибок геометризации, анализом результатов сопоставления данных разведки и эксплуатации, расчетами по разрежению разведочной сети, оценкой размерности объектов на основе положений фрактальной геометрии. Статистические и геостатистические исследования с разной степенью детальности проведены практически на всех месторождениях, изучаемых в диссертации. Исследование ошибки геометризации и оценка погрешностей посредством разрежения разведочной сети проводились на обрабатываемых объектах или на объектах, имеющих участки детализации, на этих же объектах проводились исследования нового направления в области морфологической характеристики – фрактальной размерности рудных объектов.

Все полученные данные, а также результаты их интерпретации в диссертации представлены в табличной форме (33 табл.), показаны на схемах, диаграммах и графиках (94 рис.). Текст диссертации общим объемом 193 стр. написан профессиональным языком, состоит из Введения, шести глав, Заключения и списка литературы (139 наименований).

В результате обобщения обширного и представительного фактического материала автором сформулированы 4 основных защищаемых тезисных положения.

*В первом положении* отражено то, что для количественной оценки сложности геологического строения золоторудных месторождений или их частей необходимо рассматривать обобщенно 3 классификационных признака: масштаб объекта, морфологию рудных скоплений, изменчивость содержаний полезного компонента в пробах равной длины. Автор полагает, что данный набор признаков является достаточным, т.е. нет необходимости рассматривать какие-либо другие признаки с целью надежного установления сложности геологического строения объекта.

В диссертации в гл. 1 и 2 изложены базовые принципы изучения месторождений, отражающие то, что главными факторами, влияющими на оценку разведанности объекта, является его индивидуальные природные свойства, система замеров и анализа этих свойств, методики изучения и описания свойств объектов. В качестве наиболее важных свойств рудных образований выделяются масштаб, изменчивость содержания полезного компонента и изменчивость формы, они позволяют полноценно описать сложность геологического строения. Система замеров (разведочная сеть и обработка данных опробования) выделяется в отдельную категорию работ по изучению месторождений (отдельно от технологических, горнотехнических и др. исследований), которая оказывает непосредственное влияние на представления о сложности геол. строения объекта. Далее, в гл. 2 и 3, подробно рассмотрены особенности используемых при подсчете запасов свойств объектов, принципов и механизмов оценки сложности геологического строения и отнесения месторождения к одной из групп. В диссертации выполнен критический анализ и наглядно показаны существенные недостатки 4-х действующих в настоящее время при подсчете запасов количественных показателей

описания сложности геологического строения объектов. Каждый из них характеризуется либо неопределенностью выборки данных, либо зависимостью от самой выборки, либо искажает характеристики рудных образований относительно структуры запасов. Выводы автора обоснованы, обсуждаемое положение дел в целом известно в геологической среде специалистов, однако никто до сих пор не предлагал достойной альтернативы.

Первый признак предлагаемый автором - масштаб объекта. Его можно оценивать через размер годовой производительности предприятия по добыче руды. По величине годовой производительности соискатель выделяет 4 группы и это взято за основу градации месторождений по сложности геологического строения. Доводы автора понятны и обоснованы, связь между годовой производительностью предприятия и масштабом месторождения очевидна. Поскольку система выборочных замеров сама характеризуется определенным масштабом, то чем больше масштаб рудных образований, тем больше надежность и определенность их оконтуривания, что само по себе говорит об увлечении разведанности и уменьшении сложности строения. Учет масштаба изучаемого объекта - это ключевой фактор, сейчас при квалификации запасов он реально не учитывается, что представляется очевидным упущением действующих методических документов.

Второй признак - выделение морфологических типов для квалификации запасов уже действует в настоящее время, однако, предлагаемые автором 5 типов коррелируют с предложенной градацией месторождений по масштабу и предопределяются качественными переходами нового показателя – фрактальной размерности рудных объектов.

Фрактальная размерность – инструмент, позволяющий количественно описывать сложные контуры рудных образований, производить сравнение разных морфологических типов и группировать их для целей проектирования геологоразведочных работ. Действительно, идеи фрактальной (или дробной) размерности имеют долгую историю в математике и уже сравнительно давно используются в других областях науки и техники, например, в сфере дистанционного зондирования Земли, однако, в области изучения геологического строения объектов земной коры, в том числе месторождений, можно сказать, никогда не использовались. Поскольку фрактальная дробность, в принципе, является одним из фундаментальных свойств природных объектов, а геологические объекты относятся в определенной степени к стохастическим системам и обладают свойствами самоподобных множеств, к ним может быть применен аппарат фрактальной геометрии. Основная цель этого применения – объективно охарактеризовать сложность строения рудных тел в виде цифрового результата, а практическое использование состоит в возможности прогноза интересующих показателей. Предложенный автором аппарат расчета фрактальной размерности является комплексом математических описаний, результаты применения которого могут быть воспроизведены любым пользователем, что и является доказательством

объективности и научного подхода. На примере нескольких десятков месторождений и их участков расчеты позволили автору установить зависимость Фрактальной размерности от морфологического типа объектов, для оценки сложности геологического строения и проектирования ГРП предложить пороговые значения. Помимо описания формы рудных тел в работе показаны перспективные аспекты изучения других свойств месторождений с применением теории фракталов (запасов, ср. содержания, кондиций). Кроме золоторудных месторождений, с точки зрения фрактальной геометрии рассмотрены также особенности алмазоносных трубок, в части взаимозависимости концентраций алмазов разной крупности.

Третий признак - изменчивость содержаний полезного компонента, является 3-ей составляющей комплекса признаков, позволяющих определить группу сложности месторождения. Автором предлагается ввести 4 градации по конкретным пороговым показателям коэффициента вариации содержаний компонента в пробах длиной 1 м. Предлагаемые пороговые значения отличаются от используемых согласно действующих Методических рекомендаций ГКЗ. Целесообразность выделения новых пороговых значений обосновывается автором на основе опыта разведки ряда золоторудных месторождений разных масштабов и морфологических типов и наглядно продемонстрирована в гл. 4 диссертации. Поскольку основной смысл расчета изменчивости содержаний полезного компонента (ПК) заключается в определении погрешности оценки этого среднего содержания в запасах, автор безусловно прав в том, что эта процедура должна быть адекватна структуре запасов месторождения, т.е. игнорировать распределение запасов по мощности рудных образований неправомерно, это исправляется предложенной автором методикой.

*Предложение. В работе следовало бы дать пояснения по вопросу определения дисперсии признака при наличии выдающихся (ураганных) содержаний полезного компонента.*

**Второе положение** гласит, что для выбора параметров разведочной сети необходимо заведомо определить требуемую точность оценки запасов, но не месторождения, а типового блока, сопоставимого по размеру с годовой или квартальной производительностью предприятия по добыче руды. Точность оценки запасов главным образом устанавливается погрешностью определения среднего содержания ПК и ошибкой геометризации (ОГ). Для слабоизученных объектов возможно использование аналитических выражений, установленных в диссертационной работе. В обоснование защищаемого положения в гл. 4 диссертации приведены теоретические основы и подходы к обоснованию плотности разведочных сетей. Плотность сети выделена, как основной фактор, определяющий разведанность объекта и детальность характеристики свойств месторождения. Проведена

систематизация существующих методов обоснования плотности сети, обобщены известные предельные значения точности (или погрешности) оценки среднего содержания ПК и ОГ для разных категорий запасов, отмечено, что в известных методах практически полностью отсутствуют обоснования по определению собственно объекта изучения. Изложена теория эмпирических и аналитических методов оценки точности признака и ОГ, отражены их преимущества и недостатки, связь с параметрами сети и морфологией рудных образований; представлены аналитические выражения, отражающие эту связь. По результатам расчетов, проведенных в работе, показано, что параметры сети наиболее чувствительны к уровню изменчивости содержаний ПК в пробах.

Автором предложена концепция обоснования геометрии разведочной сети, учитывающая масштаб объекта изучения и несколько направлений обоснования: с позиций оценки погрешности запасов, методом разрежения сети, оценкой фрактальной размерности, использованием вариограмм изменчивости содержаний ПК и индикаторов. Приведены аналитические выражения и номограммы, готовые к практическому использованию. Применение методик продемонстрировано в диссертации на практических примерах с расчетами конкретных показателей, проиллюстрированных в таблицах и на схемах.

Предложенные автором аналитические способы оценки точности запасов и ОГ убедительно подтверждаются эмпирическими расчетами, проведенными на многочисленных месторождениях. Расчеты проводятся по отношению к блоку объемом равном годовой производительности предприятия, что позволяет убрать неопределенность результатов существующей методики разрежения сети, связанную с разнообразием исходных данных, размерами участков детализации, объемом недр, на который должны распространяться результаты исследований, обеспечивает однообразие расчетов и возможность объективного сравнения объектов.

Второе защищаемое положение посвящено обновлениям в методике обоснования разведочной сети - предложенное в диссертации количественное обоснование разведочной сети является прозрачным, понятным и однозначно интерпретируемым. Эти качества позволяют осуществлять объективную оценку и выбор параметров разведочных сетей на разных стадиях геологоразведочного процесса, в том числе – ранних, а также возможность сравнения для разных геолого-промышленных типов месторождений. В меньшей степени способ подвержен опыту геолога, чем существующие в настоящее время способы.

*Третье положение* определяет, что для запасов кат. С1, которая выбрана в качестве «базовой», применительно к блокам, сопоставимым с объемами годовой производительности предприятия по добыче руды, уровень относительных стандартных погрешностей оценки

содержаний полезного компонента должен находиться в пределах 10-15 %, а ОГ – в пределах 30-50 %.

Обоснование третьего положения построено на анализе существующих требований к изученности запасов рудных и минеральных ресурсов месторождений, по результатам которого рассматривается 3 способа решения проблемы выбора пороговых значений 2-х главных известных критериев разведанности: погрешности оценки содержания ПК и ОГ. Объясняется разный вес влияния критериев разведанности на экономическую эффективность освоения месторождений в зависимости от способа разработки.

Первый способ заключается в обобщении накопленного опыта квалификации запасов и расчетом фактических значений критериев на основе обновленных методик, охарактеризованных в диссертации в предыдущем защищаемом положении. Автор использует исходные данные по ряду золоторудных объектов, которые были получены при проведении подсчета запасов, из протоколов ГКЗ РФ и из публичных отчетов о запасах, составленных иностранными аудиторами. Результаты расчетов представлены в таблицах 5.2-5.4 диссертации по крупным, средним и мелким месторождениям (более 40 отечественных, более 20 зарубежных золоторудных месторождений и 14 месторождений урана). Фактическая погрешность оценки средних содержаний для запасов кат. С<sub>1</sub> колеблется от 9.7 % для крупных до 18.3 % для мелких объектов – установлена тенденция уменьшения погрешности с увеличением масштаба месторождений.

*Предложение. С наличием такой тенденции можно согласиться. Вместе с тем, соискателю предлагается более подробно обосновать причины ее появления.*

Второй способ – использование оценки ОГ. Как и для первого способа автор провел обобщение накопленного опыта и выполнил свои расчеты с использованием как эмпирических, так и аналитических подходов на обрабатываемых золоторудных месторождениях (15 отечественных и ряд зарубежных) с привлечением наиболее детальной информации – сопровождающей эксплуатационной разведки. В каждом случае изучалось 4-5 вариантов разрежения сети. Выводы автора относительно порогового уровня ОГ корреспондируются с выводами других отечественных и зарубежных исследователей и составляют для подавляющего большинства объектов для запасов кат. С<sub>1</sub> не более 30 %, при этом результаты эмпирических расчетов коррелируют с результатами аналитических, подтверждая правомерность последних.

Третий способ – экономический. Суть его заключается в оценке допустимых погрешностей запасов и содержаний ПК на основе оценки вероятности безубыточной работы предприятия за определенный период времени при предположении о том, что систематические погрешности отсутствуют, в связи с чем возможно использовать для этого критерий Стьюдента. Подобные теории оценки рисков недропользования другими

исследователями рассматривались и приводится, например, в работах Шаклейна С.В., Роговой Т.Б. (2009, Кемерово – [87] в списке литературы диссертации). Важным выводом является то, что вероятность безубыточной работы – это управляемый фактор и он может регулироваться недропользователем путем увеличения разведанности запасов, т.е. сгущением сети. Согласно выводам автора способ применим для определения параметров сети опережающей эксплоразведки.

*Предложение. Следует заметить, что влияние экономического фактора на величину допустимой погрешности рассматривается автором, скорее, в постановочном плане; конкретными примерами по месторождениям он не иллюстрируется. Предлагается уделить этому вопросу большее влияние в дальнейших исследованиях.*

С целью определения параметров разведочной сети в диссертации предложена типизация золоторудных месторождений с учетом допустимых значений критериев. Следует согласиться с автором, что существующие в настоящее время рекомендации по выбору размеров шага разведочной сети и методов разведки опираются во многом на опыт советского времени, не учитывают возможный уровень погрешности содержаний компонента, ошибок геометризации, масштаб объектов, способ разработки, базируются на неоднозначно интерпретируемых количественных показателях оценки сложности геологического строения. Предлагаемая автором типизация устраняет эти недостатки, а также дополнительно учитывает различие объектов в сложности строения через фрактальную размерность и морфологический тип оруденения. Основным параметром новой типизации является не размеры ячейки по направлениям, а ее площадь, поскольку размеры должны устанавливаться с учетом индивидуальных свойств анизотропии распределения полезного компонента. Представленная в табл. 5.10 диссертации зависимость площади ячейки от группировки месторождений по запасам руды на основе годовой производительности, морфологического типа, Фрактальной размерности и коэффициента вариации по пробам длиной 1 м, составлена на основе прямых расчетов и с использованием аналитических номограмм, подтвержденных эмпирическими исследованиями на нескольких десятках месторождений. Структура Типизации абсолютно логична. Особую ценность представляет то, что определение положения объекта в ее пределах производится на основе параметров, значения которых можно понимать и достаточно уверенно определять уже на ранних стадиях геологоразведочных работ, и не по аналогии, а на основе количественных объективных расчетов, методика которых изложена и обоснована в диссертации.

**В четвертом положении** определяется то, что квалификация запасов проводится через изучение локальных участков, а не месторождения в целом, и требует введения поправок для показателей изменчивости, учитывающих отличия этих локальных участков от



объема годовой, полугодовой или квартальной производительности предприятия по добыче руды, а также корректируется с учетом величины ОГ.

Охарактеризован отечественный и зарубежный опыт квалификации запасов, отмечены недостатки, в том числе то, что квалификация запасов через использование блочного моделирования, которая распространена за рубежом, не может, быть адекватно использована на ранних стадиях геологического изучения. Проведена оценка эффективности различных подходов к квалификации запасов на конкретных объектах, обобщение и анализ сопоставимости подходов важен с позиций гармонизации стандартов отечественной и зарубежной отчетности, это, в свою очередь, имеет большое значение для вопросов банковского кредитования реализации проектов ГРР и добычи.

Предлагаемый автором подход предусматривает учет нескольких параметров, в том числе, равномерность разведочной сети, число проб, степень изменчивости геологоразведочных параметров, пространственную изменчивость, морфологические особенности участков рудных тел. Разведочные блоки различаются количеством запасов в них, поэтому прямое сравнение погрешностей является некорректным и требует их приведения к одному знаменателю – к запасам, соответствующим годовой производительности предприятия путем умножением на поправочный коэффициент. В диссертации на примере месторождения типа минерализованных зон продемонстрирована методика расчета квалификационных признаков, предусмотрена корректировка квалификации с использованием оценки ОГ, в том числе, на основе вариограмм, построенных по индикаторам. Методика готова к практическому применению.

*В целом к диссертационной работе* принципиальных замечаний нет. Намеченные задачи исследования решены. Высокая степень обоснованности и достоверности научных положений, заключений и выводов соискателя подтверждается многочисленными докладами на конференциях разного уровня, публикацией статей в рецензируемых журналах из списка ВАК. Подобный уровень апробации не позволяет сомневаться в достоверности авторских разработок. Диссертация своим содержанием обосновывает защищаемые положения.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

*Научная и практическая ценность диссертации* заключается в том, что соискатель предложил и обосновал на примере многих десятков золоторудных месторождений новую методику оценки сложности геологического строения месторождения и квалификации запасов по категориям разведанности. Методика основана на количественных расчетах погрешностей геологоразведочных параметрах, мало зависима от квалификации геолога (в разумных рамках), что делает ее объективной, воспроизводимой и проверяемой. Внедрение данной методики в российскую систему подсчета запасов будет способствовать получению

надежных сведений о недрах и воспроизводству минерально-сырьевой базы при оптимизации затрат на геологоразведочные работы. Разработки соискателя реализованы в предложенной им типизации золоторудных месторождений для целей разведки.

Совокупность разработанных и обоснованных соискателем теоретических положений можно квалифицировать как крупное научное достижение в области системы изучения и оценки месторождений. Выполненные исследования, обобщение накопленного отечественного и зарубежного опыта, разработанные практические методики, способы и рекомендации имеют важное хозяйственное значение – это научная основа для организации объективного количественного подхода при классификации запасов полезных ископаемых.

Материалы диссертации целесообразно опубликовать в виде монографии и использовать в среде недропользователей, организаций, предприятий, связанных с поисками, оценкой и разведкой месторождений, а также в учебных заведениях геологоразведочного профиля.

Диссертационная работа отвечает всем требованиям пп. 9-14 раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор – Кушнарев Петр Иванович, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 -геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Отзыв на диссертацию П.И. Кушнарева обсужден на заседании НМС отдела геолого-экономической оценки месторождений и апробации прогнозных ресурсов ФГБУ «ЦНИГРИ», протокол № 3 от 03 октября 2022 г., и принят в качестве официального отзыва ведущей организации.

Научный руководитель  
ФГБУ «ЦНИГРИ», доктор геол.-мин. наук

А.И. Иванов

Заведующий Отделением МСБ  
ФГБУ «ЦНИГРИ», кандидат геол.-мин. наук

Д.А. Куликов