

Отзыв

официального оппонента Макарова Владимира Александровича
на диссертационную работу Кушнарёва 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 месторождений твердых полезных ископаемых, минерагения».

Работа посвящена проблеме оценки разведанности запасов, которая в настоящее время продолжает оставаться до конца не решенной, как для золоторудных, так и для других типов месторождений твердых полезных ископаемых. В существующей российской практике геологоразведочных работ при оценке категорийности запасов зачастую возникают разногласия, обусловленные субъективностью оценок экспертов и специалистов. Такое же положение характерно и для зарубежной практики изучения месторождений. Адекватная оценка разведанности месторождений определяет оптимальные параметры разведочной сети и, соответственно, стоимость геологоразведочных работ, а также минимизирует риски неподтверждения запасов. В этой связи, актуальность и своевременность представленной работы не вызывает сомнений.

Целью исследований являлось разработка методов количественной оценки разведанности запасов золоторудных месторождений с учетом сложности их строения. В работе определены основные задачи и использованы современные методы их решения.

Научные разработки автора посвящены следующим взаимосвязанным направлениям:

- количественное описание сложности геологического строения;
- методика обоснования геометрии разведочной сети;
- критерии разведанности и их предельные значения для запасов разных категорий;
- квалификация запасов на количественной основе.

Для оценки сложности строения обоснованы классификационные признаки, включая показатели изменчивости и масштаб объектов. Описание морфологии рудных тел впервые предложено проводить на основе положений фрактальной геометрии. Даны аналитические выражения, описывающие связь показателей формы с ошибками геометризации и шагом разведочной сети.

Обоснована процедура аналитического расчета параметров разведочной сети. Показано, что важную роль в ней играет производительность горнорудного предприятия и изменчивость содержаний компонента по пробам или композитам.

Определены критерии разведанности запасов золоторудных месторождений, доказана их связь с параметрами разведочной сети, показателями изменчивости свойств и морфологическими характеристиками оруденения. Установлены предельные значения критериев разведанности для запасов разных категорий; определено их влияние на экономические риски освоения объектов. Разработаны принципы количественной квалификации запасов в отдельных подсчетных блоках.

Достижения соискателя по отмеченным направлениям соответствуют требованиям научной новизны.

В основу решения поставленных задач положены фактические данные по значительному количеству золоторудных объектов разных масштабов и различных морфологических типов. Автор лично принимал участие в подготовке ТЭО и подсчете запасов большого числа известных российских месторождений: Наталкинское, Дегдекан, Чертово Корыто, Каральвеем, Павлик, Бамское, Нежданенское, Боголюбовское, Кючус, Дращное, Сргеевское, Светлинское, объекты Куранахского рудного поля. По многим месторождениям соискателем, как экспертом ГКЗ, даны заключения; информация по ним также использовалась при подготовке диссертации.

Большое внимание при выполнении работы уделено анализу данных публичной отчетности по зарубежным золоторудным объектам, что позволило проводить сопоставление российских и зарубежных подходов к оценке их изученности.

В целом, выводы автора обоснованы большим объемом фактического материала.

Практическая значимость представленной работы определяется:

- рекомендациями по определению морфологических характеристик оруденения, в том числе по оценке фрактальной размерности;
- обоснованием подходов по изучению изменчивости содержаний компонентов на основе статистического и геостатистического анализа,
- разработкой процедуры расчета геометрии разведочной сети, а также приемов интерпретации данных ее разрежения;
- типизацией золоторудных месторождений для целей оценки и разведки.

Диссертационная работа содержит введение, 6 глав и заключение.

К защите предлагаются четыре научных положения которые сформулированы в соответствующих главах работы.

Первая и вторая главы диссертации содержат основные понятия, положения и сопоставления по теме исследований. В них представлены обзоры по принципам классификации запасов, а также определения свойств природных объектов. Данный раздел имеет самостоятельную ценность. В нем в сжатом виде дан обзор существующих в мировой практике методов и подходов к оценке изменчивости параметров месторождений, рассмотрены геостатистические методы и основы блочного моделирования.

В тексте второй и третьей главы диссертации, которые посвящены изучению сложности геологического строения золоторудных объектов обосновывается первое защищаемое научное положение.

1. При количественной оценке сложности геологического строения золоторудных месторождений необходимо и достаточно рассматривать в качестве классификационных признаков масштаб изучаемых объектов, морфологию рудных скоплений, включая определение типа и фрактальной размерности, и изменчивость содержаний в пробах равной длины или в композитах.

Оценка сложности строения может проводиться для месторождения в целом или для его частей, различающихся условиями отработки, особенностями морфологии и характеристиками изменчивости оруденения.

При доказательстве его соискатель отмечает важную роль классификации для обоснования параметров разведочной сети. Вместе с тем, он убедительно показывает, что принятые для оценки сложности классификационные признаки являются, во многом, несостоятельными.

В качестве одного из признаков, предлагаемых диссертантом, рассматривается масштаб объекта. Для его выражения используется фактическая или ожидаемая производительность горного предприятия. Этот подход является новым в классификации; по мнению соискателя он определяет единые принципы для оценки масштабов месторождений разных видов твердых полезных ископаемых. Для характеристики морфологии рудных тел предлагается использовать фрактальную размерность, которая в значительной мере связана с морфологическим типом оруденения.

Соискателем показано, что общепринятый прием оценки вариаций содержаний по разведочным пересечениям является ошибочным и не позволяет использовать результаты расчетов при обосновании геометрии разведочной сети. Для исправления этого положения рекомендовано оценивать изменчивость по пробам равной длины или по композитам. Обращено внимание на возможность отдельной оценки сложности строения по отдельным частям месторождения.

К обоснованию данного положения у оппонента имеются некоторые вопросы (замечания):

1. Соискатель считает, что основными недостатками таких показателей как коэффициент рудоносности (K_p) и показатель сложности (q) является их зависимость от параметров созданной сети, вследствие чего их объективное определение становится невозможным. Фрактальная размерность, определенная на разных стадиях разведанности месторождения тоже будет зависеть от параметров сети. Чем она радикально будет отличаться от первых двух показателей?
2. Для определения фрактальной размерности месторождений предлагается использование планов, разрезов, продольных проекций т. е. определять ее в 2D. При современном развитии объемного моделирования рудных тел месторождений почему этого не сделать в 3D в виде отдельного модуля в ГГИС, который бы позволял прослеживать изменения данного показателя по мере увеличения плотности сети и служить дополнительным показателем сложности объекта ?
3. На взгляд оппонента , годовая производительность предприятия вряд ли может быть более точным мерилем масштаба объекта, чем размеры и величина запасов, поскольку является всего лишь производной от них. К тому же, данный показатель несет большое количество осложняющих факторов: горно-технических, экономических, экологических и т.п.

Несмотря на высказанные замечания первое защищаемое положение является доказанным.

Второе защищаемое положение раскрывается в 4-ой главе работы, посвященной методам обоснования разведочной сети:

Параметры разведочной сети должны обеспечивать достижение заданной точности оценки запасов и на надежность их геометризации. Точность оценки средних содержаний относится к количеству руды, сопоставимому с годовой/квартальной производительностью предприятия. Она вычисляется через дисперсию случайной составляющей изменчивости, определяемой на основе статистических и геостатистических исследований.

Оценку ошибок геометризации, особенно на ранних стадиях геологоразведочных работ, предлагается проводить с применением аналитических выражений, использующих данные геостатистического анализа и показатели фрактальной размерности объектов.

На основе анализа состояния данной проблемы автор приходит к выводу, что общепринятые принципы количественного обоснования разведочной сети в настоящее время не разработаны. В работе рассмотрены показатели – критерии разведанности, на основе которых можно решать поставленную задачу. В их числе: погрешность оценки среднего и ошибки геометризации.

Погрешность оценки среднего содержания полезного компонента предлагается относить к объему недр, сопоставимому с годовой или квартальной производительностью горного предприятия. Величина погрешности вычисляется через дисперсию содержаний, определяемую по пробам или по композитам. Характеристики изменчивости устанавливаются на основе статистических и геостатистических исследований. Предложенный алгоритм расчета параметров сети возможно использовать даже при небольшом объеме исходной информации по объекту. Соискателем для решения данной задачи предложена также процедура интерпретации данных разрежения разведочной сети.

Ошибки геометризации рассматривались как инструмент обоснования шага сети достаточно давно, однако их применение сдерживалось отсутствием на ранних стадиях геологоразведочных работ участков детализации. Соискателем предложены способы аналитического определения этого показателя с привлечением фрактальной размерности объекта, а также характеристик индикаторных вариограмм.

Предлог «на» во втором предложении сформулированного положения, очевидно, является досадной опечаткой

Второе защищаемое положение следует считать доказанным.

Третьему защищаемому положению посвящена глава 5 диссертации, в которой исследуются критерии разведанности и их предельные/допустимые значения для запасов разных категорий: *Проведенными исследованиями впервые установлено, что фактический уровень относительных стандартных погрешностей оценки содержаний для категории C_1 применительно к блокам, сопоставимым с объемами годовой производительности, и находится в пределах 10 % - 15 %, что можно считать допустимым для планирования ГРР на ранних стадиях. Значения этого критерия для конкретных объектов могут корректироваться также в зависимости от масштаба и уровня экономических рисков их освоения.*

Фактические значения ошибок геометризации золоторудных месторождений для запасов категории C_1 составляют 30 % - 50 %, что соответствует их уровню для других типов месторождений. Эти лимиты предлагается принять для количественной оценки разведанности запасов данной категории.

Можно отметить, что до настоящего времени допустимые погрешности оценки запасов и объемы недр, к которым они применяются, в методических документах не были установлены.

Соискателем на основе предложенного алгоритма, включающего учет производительности горнодобывающего предприятия, проведены исследования по определению фактических значений точности для запасов категории C_1 на золоторудных месторождениях, прошедших апробацию в ГКЗ. Аналогичные расчеты проведены для зарубежных месторождений золота и урана, разведанных до категории indicated.

По результатам исследований было установлено, что фактические относительные погрешности оценки содержания золота по объектам меняются от первых процентов до 33%. При разделении объектов по масштабу устанавливается снижение погрешностей для крупных- уникальных и их повышение для мелких. С учетом этой зависимости внесено предложение по использованию допустимых относительных погрешностей для запасов разных категорий. Автор отмечает сходство ресурсов категории indicated и запасов категории C_1 по величине данного критерия.

Аналогичным образом для обрабатываемых месторождений исследованы фактические значения ошибок геометризации при шаге сети, соответствующем категории C_1 . Установлено, что для сечений/разрезов они не превышают 50%, а для проекций и планов - 30%. Подобный предельный уровень ошибок геометризации устанавливался ранее для месторождений других видов минерального сырья.

На основе полученных результатов и предложений по оценке сложности строения объектов предложена типизация золоторудных месторождений для целей геологоразведочных работ. Типизация ориентирована на определение площади ячейки разведочной сети для категории C_1 , которую соискатель рассматривает как базовую; относительно нее достаточно просто определяются параметры сети для запасов категории В и C_2 . В предложенной типизации наиболее чувствительными к параметрам сети характеристиками являются масштаб объектов и уровень изменчивости содержания компонента по пробам или композитам.

Третье защищаемое научное положение следует считать полностью доказанным.

Четвертое научное положение раскрывается в 6-ой главе диссертационной работы. Оно логично вытекает из содержания представленных ранее материалов и касается квалификации запасов по конкретным подсчетным блокам. *Квалификация запасов в подсчетных блоках золоторудных месторождений с позиции точности оценки средних содержаний требует изучения изменчивости на локальных участках и введения поправок, учитывающих различие в запасах блока с рудными объемами недр,*

сопоставимыми с годовой, полугодовой или квартальной производительностью предприятия.

Квалификация запасов по блокам корректируется с учетом величины ошибок геометризации, определяемых по характеристикам вариограмм индикаторов или другими методами.

В основу расчетов принимается изменчивость содержаний в изучаемом объеме недр и число проб, которые его характеризуют. Предусмотрено введение поправок за различие запасов в блоке и запасов, отрабатываемых за год. Дополнительным условием квалификации запасов является величина ошибок геометризации. Эффективность предложенного подхода иллюстрируется на конкретном примере, а также доказывается сравнением квалификации запасов/ресурсов на одном из зарубежных объектов.

В качестве замечания к данному разделу можно отметить ограниченность представленных примеров и ситуаций. Кроме того, при обсуждении квалификации запасов предполагается наличие в пределах подсчетного блока равномерной разведочной сети, что в действительности соблюдается достаточно редко.

Четвертое защищаемое положение, не смотря на замечания, также следует считать доказанным.

В целом, следует отметить, что в представленной Кушнаревым П.И. работе на основании выполненных исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых предлагает целостную концепцию оценки разведанности запасов на основе количественных показателей. Это имеет важное хозяйственное значения для развития минерально-сырьевой базы страны. За последние 30 лет представленное исследование одно из наиболее весомых работ в Российской Федерации посвященных методике разведке месторождений и квалификации разведанных запасов базирующаяся на современных методах и подходах, включая геостатистический анализ, блочное моделирование, а также положения фрактальной геометрии. В работе глубоко изучены и сопоставлены с российскими приемы и методы изучения золоторудных месторождений за рубежом. Эта особенность работы позволяет решать вопросы гармонизации отечественных и зарубежных стандартов отчетности.

Выводы и положения работы имеют большое практическое значение и должны использоваться как методические указания при изучении золоторудных и других видов месторождений, а также войти в учебные курсы по разведке и геолого-экономической оценке месторождений твердых полезных ископаемых при подготовке студентов геологических специальностей

Основные положения и результаты работы широко апробированы - докладывались на международных форумах, тематических семинарах, конференциях и изложены в 28 работах, опубликованных в рецензируемых журналах, перечень которых рекомендован ВАК Минобрнауки РФ. Автореферат отвечает содержанию диссертации.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что представленная работа по научному уровню соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук. Автор ее, Кушнарев Петр Иванович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10. «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Официальный оппонент,

Д. г.-м. н., профессор, заведующий кафедрой Геологии месторождений

и методики разведки ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный

университет» , 660025, Красноярск,

пр. им газеты Красноярский рабочий , 95

Тел. +7 9048905921

e-mail: vmakarov@sfu-kras.ru

ФГАОУ ВО СФУ
Подпись Макаров / В.А. Макаров
Делопроизводитель « 05 » (подпись)

Дата 5.10.2022

