

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кушнарёва Петра Ивановича «Научно-методические основы количественной оценки разведанности золоторудных месторождений», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых; минерагения.

Целевым назначением исследований явилось создание научно обоснованной системы количественных определений сложности геологического строения золоторудных месторождений, оптимальных параметров разведочной сети, квалификации запасов и других их свойств, в совокупности обеспечивающих достоверную оценку степени разведанности объектов – основного фактор принятия решений по планированию геологоразведочных и добычных работ. Научно-методические основы, разработанные П.И. Кушнарёвым, являются весьма актуальными в настоящее время, когда происходит активное развитие цифровизации и количественных оценок в описании природных объектов и технологических процессов. В геологоразведке при состоявшейся глобализации минерально-сырьевой базы остро необходим общепринятый инструментарий для объективной оценки месторождений и запасов минерального сырья. На решение этой проблемы в определенной мере направлена разработанная диссертантом система количественной оценки разведанности золоторудных месторождений, которая в принципе может быть пригодна и для объектов других полезных ископаемых.

Автореферат диссертации содержит 6 глав, основные из которых посвящены доказательству четырех защищаемых положений: первое – количественной оценке сложности геологического строения месторождений, второе – определению параметров оптимальной разведочной сети, третье – рассмотрению фактических стандартных погрешностей оценки содержания золота в подсчетных блоках и ошибок геометризации запасов, четвертое – квалификации запасов в блоках с позиции точности оценок содержания. Доказательную часть автореферата диссертант предварил главами с характеристикой состояния вопроса, достоинств и недостатков существующих методов оценки объектов. В этой части работы Кушнарёв П.И. проявил себя как крупный знаток и специалист в области геолого-экономического анализа минерального сырья, он осуществил оценку десятков золоторудных месторождений, результаты которой использованы в определенной мере в рассматриваемой диссертации.

Защищаемые положения работы органично связаны друг с другом, образуя единую систему количественной оценки разведанности месторождений. В связи с этим ниже будут последовательно рассмотрены все четыре защищаемых положения, что должно обеспечить содержательную целостность отзыва.

Для достоверной оценки сложности геологического строения месторождений автор в своем *первом защищаемом положении* предлагает в качестве классификационных признаков рассматривать масштаб объекта и проектную производительность предприятия, морфологический тип оруденения и фрактальную размерность D , а также изменчивость содержаний золота в подсчетных блоках.

Учитывая возможность изменения запасов за счет прироста или требований промышленности предлагается группировку по масштабам месторождений заменить проектной производительностью, выделив группы от 15 млн т в год, соответствующих категории крупных объектов, до 0,5 т в год, отвечающих мелким объектам. Подобный подход позволяет анализировать сложность геологического строения и для отдельных частей месторождений, отличающихся индивидуальными особенностями и требующих иных подходов к разведке и освоению запасов.

Морфологическую типизацию объектов предлагается осуществлять на основе фрактальной размерности элементов площади рудных образований в плане, разрезе или в проекции, с количественным определением величины D , устанавливаемой путем многократного наложения квадратной сетки на рудный контур и последующей математической обработки результатов замеров. Очевидно, что для различных типов объектов величина D должна быть различной. Диссертантом в результате обработки данных более 30 золоторудных объектов, принадлежащих различным морфологическим типам, установлено, что наибольшей величиной D обладают штокверковые и жилообразные месторождения. Рецензент считает, что разработанный способ фрактальной размерности применительно к морфологической типизации объектов является весьма важным научным и практическим достижением Кушнарёва П.И. Этот способ дает возможность количественно спрогнозировать морфологические типы и размеры ожидаемого оруденения на ранних стадиях ГРП, когда при редкой сети скважин морфология рудных тел представляется упрощенной.

Другим фактором, определяющим сложность объекта, является информация об изменчивости средних содержаний в блоках. В автореферате показано, что на большинстве изученных месторождений распределение средних содержаний золота не соответствует нормальному закону. Во многом это связано с участием в выборках проб различной длины. Для получения достоверных результатов диссертантом рекомендовано использование проб равной длины или приведение (композитирование) равновеликих интервалов опробования к одному номиналу.

Важным достижением диссертационной работы в области оценки сложности геологического строения объектов является новый подход к выбору объекта. При существующем положении в случае устойчивости морфологических и других параметров

оруденения на 70% запасов, объектом оценки на единой основе является все месторождение. Аналитическими исследованиями диссертанта аргументированно показано, что на многих объектах выделяются крупные блоки с отличными от основной части запасов морфологическими и другими свойствами, требующими для достоверной оценки индивидуального подхода для выбора разведочной сети.

Таким образом, по мнению рецензента, научно обоснованные разработки диссертанта вносят существенный вклад в решение проблемы оценки сложности геологического строения и соответствующее защищаемое положение является безусловно доказанным.

Второе защищаемое положение посвящено новым подходам к обоснованию разведочной сети. Предложения предусматривают использование оценок погрешностей запасов и оценок ошибок геометризации, а также применение метода разрежения и использования вариограмм. Обоснование параметров сети с позиций погрешностей оценки запасов включает ряд мероприятий: определение производительности предприятия, оценку вариабельности содержаний, расчет оптимального числа проб на рудный объем, соответствующий производительности рудника и др. Параметры сети вычисляются с учетом результатов перечисленных операций и коэффициентов анизотропии свойств объектов. Рекомендации по усовершенствованию метода разрешения включают оценку ошибки при определении параметров объекта, необходимость использования всех вариантов наложения сети, вычисление относительного стандартного отклонения по результатам разрежения. Оценка ошибок геометризации с использованием фрактальной геометрии требует следующих исходных данных: значения меры Хаусдорфа D для изучаемого объекта и параметров плотной сети, необходимой для надежного оконтуривания рудного блока на стадии отработки. Фрактальная размерность D оценивается по аналогии на основе определения морфологического типа объекта. Величина ошибки геометризации может рассчитываться разными способами, учитывающими шаг сети и средние размеры объекта по заданному направлению. Оценка ошибок геометризации с использованием вариограмм предусматривает определение средних размеров рудных тел по простиранию или падению и вычисление ошибок по рекомендованным формулам с участием шага сети и размеров объектов по определенному направлению. Рассмотренные методы обоснования параметров разведочной сети замечаний не вызывают и позволяют считать второе защищаемое положение доказанным.

Для доказательства *третьего защищаемого положения*, содержащего анализ фактических стандартных погрешностей оценки содержаний золота для категории запасов С, диссертантом обработаны соответствующие материалы большого числа отечественных и зарубежных месторождений. Анализ данных российских объектов проводился применительно к блокам годовой производительности предприятий, условно

сгруппированные следующим образом: более 5 млн т/год, 1 - 5 млн т/год и менее 1 млн т/год. Для запасов С фактические погрешности в усредненных величинах составила: для крупных месторождений – 10 %, для средних – 11 %, для мелких – 18,5 %. В результате определилась отчетливая тенденция роста фактических погрешностей оценки средних содержаний А и от крупных к мелким объектам. Также подобная закономерность была получена при анализе данных по зарубежным месторождениям. Установленные величины погрешностей для объектов различного масштаба (или годовой производительности) по мнению диссертанта можно считать допустимыми при планировании ГРР ранних стадий, с чем в принципе согласен и рецензент. В соответствии с этим в диссертации для базовых запасов категории С₁ допустимый уровень погрешностей не должен превышать: для уникальных и крупных объектов – 10 %, для средних – 12,5 %, для мелких – 15 %.

При оценке разведанности месторождений на основе ошибок геометризации автор учитывал несколько факторов, в том числе экономические риски разработки объектов, влияние критериев разведанности на их оценку и некоторые другие. Для достоверного выбора параметров разведочной сети им была проведена большая работа по типизации золоторудных месторождений. Проведена группировка объектов по масштабам и годовой производительности, морфологическим типам, показателям фрактальной размерности D и коэффициентам вариации по пробам. Используя типизацию применительно к изучаемому месторождению, возможно определить главное – размер и конфигурацию ячейки разведочной сети. При этом ошибка геометризации объектов для базовой категории запасов С₁ будет варьировать в пределах 30 - 50 %. Учитывая весомую результативность научно-поисковых и аналитических исследований, а также вытекающие практические рекомендации, тезисное положение следует считать доказанным.

Решение диссертанта о разработке количественной основы квалификации запасов, отраженное в **четвертом тезисном положении**, продиктовано неудовлетворительностью выделения категорий с использованием качественного подхода – метода экспертных оценок. Предлагаемый автором количественный подход предусматривает анализ изменчивости содержания золота и определение погрешностей с учетом количества проб в подсчетных блоках. Для решения этой задачи автором диссертационной работы проанализированы данные по 15 блокам С₂ одного среднего по масштабу золоторудного месторождения, включая: запасы блока, площадь на 1 пробу, погрешность на год производства и другие параметры. Коэффициент вариации содержаний и производительность (235 и 3 тыс. т, соответственно) оставались неизменными для всех подсчетных блоков. Расчеты показали, что только четыре блока имеют погрешность оценки запасов более порогового значения 10% и, соответственно, они остаются в категории С₂; остальные блоки характеризуются меньшими величинами этого показателя и могут быть

отнесены к категории С₁. Полученные результаты определяют возможность геолого-экономической оценки на количественной основе рассматриваемого месторождения при разработке разведочных кондиций и в целом дают возможность считать защищаемое положение доказанным.

В заключении, судя по автореферату, следует отметить очень высокий уровень рассмотренной диссертационной работы Кушнарера П.И. как в научном, так и в практическом отношении. Разработанные автором принципы количественной оценки разведанности месторождений и методические решения должны явиться основой для создания соответствующих рекомендаций и руководств не только для золоторудных, но и для объектов других твердых полезных ископаемых. Необходимо указать на излишне большой объем текста, посвященный рассмотрению состояния вопросов геолого-экономической оценки месторождений и их разведанности.

В целом автореферат в полном объеме отражает содержание проведенных исследований и доказательства защищаемых положений. Рецензент считает рассмотренную работу Кушнарера П.И. соответствующую требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, а ее автора Кушнарера П.И. – достойным присуждения искомой степени.

Сведения о рецензенте: Петров Владислав Александрович, директор ИГЕМ РАН, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

119017 Москва, Старомонетный пер., д. 35, Тел. (499)230-8249, Факс (495)951-1587

Я, Петров Владислав Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.2.364.02 и их дальнейшую обработку.

04 октября 2022 г.

Подпись руки *Петров*
удостоверяется.
Заведующий канцелярией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук МИНОБРНАУКИ России

