

ВИМС  **VIMS**

ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC-RESEARCH INSTITUTE OF MINERAL RESOURCES
NAMED AFTER N.M.FEDOROVSKY
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION

№ 408/17 от 14.03 2022 г.
на № _____ от _____ 2022 г.
на вх. № _____ от _____ 2022 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Генеральный директор ФГБУ «ВИМС»
О.В.Казанов



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Абзалова Марата Зайнутдиновича по теме:
«Современные принципы организации и методология
геологоразведочных работ при освоении горно-рудных проектов и их последующей
эксплуатации (прикладная рудничная геология)»,
представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,
минералогия»

Представленная на рецензию диссертационная работа оформлена в виде научного доклада, который обобщает многолетний опыт работы автора по теме диссертации. Ее главной задачей является объективная оценка промышленных запасов минеральных ресурсов для последующей эффективной эксплуатации месторождений. Основные положения диссертации отражены в статьях и в фундаментальной монографии Abzalov M.Z. Applied Mining Geology. Springer, 2016. 448 p. Возможность представления работы в виде научного доклада сомнений не вызывает.

Актуальность темы исследования определяется необходимостью модернизации устаревшей методологической базы и подходов к организации проведения геологоразведочных работ.

Факторами, определяющими необходимость такой модернизации, по мнению соискателя являются:

119017, Москва, Старомонетный пер., 31
Тел. (495) 951-50-43, Факс (495) 951-50-43.
Эл. почта vims@vims-geo.ru
Веб-сайт: www.vims-geo.ru

31, Staromonetny per., Moscow, 119017 Russia
Tel. (495) 951-50-43, Fax (495) 951-50-43.
E-mail vims@vims-geo.ru
Web site: www.vims-geo.ru

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ УТУУТУК ИДИМАДЕР
АКАДЕМИЯСЫНЫҢ ГЕОЛОГИЯ ЖАНА СЕЙСМОЛОГИЯ
ИНСТИТУТЫНА КАРАШТУ ДИССЕРТАЦИЯЛЫК КЕНЕШ
ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ ПРИ ИНСТИТУТЕ
ГЕОЛОГИИ И СЕЙСМОЛОГИИ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
№ 113
14, 03 2022 г.

- удорожание геологоразведочных работ в связи с тенденцией освоения глубокозалегающих объектов и объектов, расположенных в удаленных труднодоступных условиях;

- глобализация сырьевых рынков и возрастание в мире конкуренции;

- доступность компьютерных технологий, повышающих возможности оперативной обработки данных и проведения 3-D моделирования;

- неоправданное существующее разнообразие нормативно-правовых систем оценок сырьевых ресурсов, имеющих существенные различия в методических подходах к разработке горнорудных проектов и к определению категорий запасов.

Решение этих вопросов, по мнению автора, заключается в создании новой методологической базы и формировании методики подсчета запасов на базе нелинейной геостатистики. Это позволит выбирать по объективным критериям схемы проведения геологоразведочных работ, количественно оценивать риски освоения объектов, классифицировать запасы, выбирать оптимальные буровые сети и схемы опробования рудных тел.

Эти вопросы освещены в монографии и цикле статей автора. Предлагаемые решения актуальны как для государственных компаний и организаций, так и для транснациональных корпораций.

Цель работы заключается в создании новой системы математических методов для сбора и обработки геологоразведочных данных. Ее методологической основой стали методы нелинейной геостатистики и вероятностные стохастические модели.

Объектом исследований служат месторождения полиметаллов, железных руд, меди, золота, никеля, урана, бокситов, минеральных песков (Ti-Zn россыпей) и алмазов.

Предметом исследований являются геологические риски в горнодобывающей индустрии, непосредственно зависящие от достоверной оценки сырьевых ресурсов.

Основные задачи исследований. Общей фундаментальной задачей работ автора было создание комплексной методики оценки и классификации запасов месторождения.

В рамках ее решения проведены исследования по нескольким направлениям:

- разработка методов контроля качества опробования, позволяющего выбирать оптимальные схемы пробоподготовки и решать вопросы оценки представительности крупно-объемной технологической пробы;

- разработка вероятностных моделей для оконтуривания рудных тел в 3-х мерном пространстве;

- создание новой методики подсчета запасов на базе нелинейной геостатистики, реализованной автором в методе LUC (Localised Uniform Conditioning);

- разработка методов классификации запасов, учитывающих риски при данных схемах отработки месторождений и норму прибыли. Метод может быть предложен для применения в единой международной системе классификации запасов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. При широких буровых сетях с большими расстояниями между разведочными скважинами, классические статистические методы неприемлемы для оценок распределения полезного ископаемого в блоках. Автор разработал метод LUC (Localised Uniform Conditioning), позволяющий, используя математический аппарат нелинейной геостатистики, рассчитывать распределение полезного компонента в небольшие блоки, не нарушая статистических отношений между дисперсией случайной переменной и размером блоков (по геостатистическому принципу «volume-variance relationship»).
2. Предложенный параметр CV % является универсальной мерой оценки качества опробования, позволяющей оценивать и сопоставить влияние геологических факторов и техники опробования на воспроизводимость результатов проб и на этой основе выбирать оптимальные соотношения между сетью опробования и методикой пробоподготовки.
3. Предложенная геостатистическая методика оконтуривания рудных тел в 3-х мерном пространстве использует индикаторные вариограммы для построения вероятностных 3-х мерных моделей.
4. Предложена новая методика классификации запасов, основанная на вероятностной оценке допустимого риска. За допустимую ошибку принимается разница между подсчитанным средним содержанием полезного компонента и экономически минимально допустимым его содержанием. Вероятность ошибки рассчитывается, используя стохастические методы геостатистики.
5. Автором разработаны новые критерии оценки пригодности крупно-объемных проб для технологических испытаний. По новой методике необходимо оценить статистические параметры распределения полезных компонентов и вредных примесей в руде, которые далее воспроизводятся в технологической пробе. Статистический анализ пробы необходимо проводить с учетом соотношения «дисперсия-объем» (volume-variance relationships). При отборе технологической пробы учитывается также пространственное распределение отобранных проб. Крупно-объемная проба считается представительной и пригодна для технологических испытаний, если она удовлетворяет двум вышеобозначенным критериям.

Научная новизна работы. Результаты исследований соискателя представляют собой новые, ранее не известные разработки.

Впервые показано, что с помощью метода LUC можно рассчитывать распределение запасов по небольшим селективно обрабатываемым блокам, размер которых слишком мал в сравнении с размерами буровой сети.

Автор одним из первых предложил методику оконтуривания рудных тел в 3-D виде, используя вероятностную оценку геостатистических индикаторов.

Новым подходом является использование критерия CV % (эффекта самородков) для количественного сопоставления геологических и лабораторных факторов.

Соискателем разработана процедура, которая является новым шагом в системе количественных критериев классификации запасов. Впервые было предложено оценивать допустимый уровень погрешности подсчета запасов относительно нормы прибыли.

Разработанные Соискателем критерии отбора крупно-объемных проб позволяют более точно оценить представительность пробы для технологических испытаний.

Новаторскими являются и другие разработки автора, изложенные в его монографии (Abzalov M.Z. Applied Mining Geology. Modern Approaches in Solid Earth Sciences 12/ M.Z. Abzalov. – Berlin: Springer, 2016. 448 p.) и в серии статей.

Практическая значимость работы определяется применением разработок автора для решения текущих задач деятельности горнорудных компаний. Метод LUC включен в компьютерную программу «Isatis» и широко используется в горной индустрии.

Метод расчетов качества опробования, использующий параметр CV %, в короткие сроки нашел широкое применение в горной индустрии Австралии и за ее пределами.

Методология классификации запасов имеет перспективы использования при взаимном согласовании различных систем публичной отчетности. Оптимизация параметров разведочной сети позволяет сократить расходы на проведение геологоразведочных работ. Эта методология была успешно применена для освоения запасов уранового месторождения в Иордании.

Экономическая значимость полученных результатов. Система методов соискателя позволяет объективно оценивать риски горных проектов и сократить затраты на геологоразведочные работы за счет оптимизации буровой сети и методики опробования проектов.

Апробация результатов исследования определяется публикациями автора, которые включают монографию (Abzalov M.Z. Applied Mining Geology. Modern Approaches in Solid Earth Sciences 12/ M.Z. Abzalov. – Berlin: Springer, 2016. 448 p.) и около 80 научных работ, из которых 50 статей непосредственно посвящены теме диссертации. Были опубликованы в рейтинговых международных журналах, Economic Geology, Mathematical Geology и др. Монография была премирована журналом «Choice» как Выдающаяся Научная Работа. Статьи

по теме диссертации. Основные положения диссертации неоднократно докладывались на международных конференциях, симпозиумах и конгрессах.

Положения диссертации следует считать апробированными.

Структура и объем диссертации. В основу диссертации легли публикации в виде 50 статей и монографии объемом 448 стр. Научный доклад по теме диссертации состоит из общей характеристики работы (вводная часть), семи глав и выводов. Объем доклада содержит 68 страниц текста, включая таблицы и иллюстрации.

Библиография содержит 22 наименования. Список опубликованных работ по теме диссертации содержит 11 наименований.

В первой главе автор приводит обзор истории развития и применения математических методов, применяемых при геологоразведочных работах, справедливо отмечая важный вклад многочисленных исследователей из многих стран мира. Одновременно, автор отмечает, что большинство работ датируются 50-70 годами прошлого века и заметно устарели.

Во второй главе «Типы месторождений», автор описывает месторождения, по которым собирался материал для его методических разработок и проводилась их опытная апробация. Автор работал на многих типах месторождений, включая золоторудные месторождения гидротермального типа, урановые месторождения песчаникового типа, месторождения железистых кварцитов, бокситов и месторождения титана прибрежно-морских россыпей, а также месторождения алмазоносных кимберлитовых трубок, медно-никелевые месторождения, медно-порфиновые объекты и месторождениями типа Олимпик-Дам.

В заключении этой главы автор, ссылаясь на разнообразие геологических типов месторождений из различных регионов мира, делает вывод, что комплекс разработанных им методов имеет универсальный характер. Рецензенты согласны, что комплекс методов автора не является узкоспециализированным по типам сырья и вполне может рассматриваться как методологическая основа современной Прикладной Рудничной Геологии.

В третьей главе, посвященной «Контролю за качеством данных (QAQC)», предлагается использовать разработанные автором методы для определения ошибок опробования. Основное внимание уделено разработанному им критерию CV%. В основе метода лежит использование данных основных анализов и анализов дубликатов. Автор, путем математических расчетов, показал, что полученная величина CV%, имеет статистический смысл, поскольку является коэффициентом вариации парных данных (дубликаты проб), но также имеет геостатистическое значение, являясь частью эффекта самородка парно-нормализованной вариограммы. Данный критерий позволяет количественно определять влияние двух основных факторов, от которых зависит достоверность оценки запасов, качество

проб и буровая сеть. По результатам такого сравнительного анализа вычисляется оптимальное соотношение между качеством пробы и сетью опробования. Метод несомненно интересен, поскольку впервые найдено математическое выражение, позволяющее оценить влияние геологических и лабораторных факторов на воспроизводимость результатов опробования и на этой основе найти оптимальный баланс между качеством и количеством проб.

Материалы, изложенные в главе, являются основой *второго тезисного* положения.

Четвертая глава диссертации, «Вероятностные геологические модели», предлагает решать традиционные геологические задачи, такие как оконтуривание рудных тел, используя математические методы. Автор предложил применять для этой цели метод геостатистических индикаторов. Метод трансформирует непрерывную переменную (например, содержание металла в руде) в дискретную переменную, представленную двумя значениями, 1 или 0, в зависимости от выбранного порога. Полученные индикаторы интерполируются в 3-х мерном пространстве и создается блочная модель месторождения, где рассчитанные значения индикатора означают вероятность данного блока превысить пороговое значение. Если в индикаторы переводится содержание металла в руде, то полученная индикаторная модель позволяет оконтурить рудное тело по выбранному пороговому содержанию. Метод также может использоваться для оконтуривания типов пород и построения литогеохимической модели вмещающих пород месторождения. Разработанный автором метод отличается своей доступностью и практичностью, не требует узкоспециализированного геостатистического программного обеспечения и уже широко используется в горной промышленности.

Содержание главы обосновывает *третье тезисное* положение диссертации.

Пятая глава «Новый метод подсчета запасов (LUC)» описывает разработанный автором метод подсчета запасов. Метод ориентирован на оценку извлекаемых запасов (recoverable resources). Его уникальность состоит в том, что он позволяет рассчитывать содержания металла в маленьких блоках, размер которых существенно меньше, чем параметры разведочной сети. Такая оценка была невозможна для традиционных методов линейной геостатистики, таких как кригинг. Метод LUC использует систему нелинейных уравнений и является модернизацией метода UC. В данной главе приводится детальное описание метода, и показан пример его успешного применения на месторождении железных руд в Западной Австралии.

Подход является новаторским и получил широкое признание в мире. Впервые он был опубликован в 2006 году в журнале *Mathematical Geology* и в последующем был использован разработчиками компьютерных программ. В настоящее время метод широко используется в горной индустрии для оценки горнорудных проектов, а за разработку этого метода автор был награжден золотой медалью Южно-Африканского общества горных инженеров.

Приведенное в главе обоснование метода подсчета запасов (LUC) является доказательством *первого тезисного положения* диссертации.

В шестой главе – «Классификация запасов» автор рассматривает способы определения категорий запасов, подчеркивая необходимость использования количественных критериев, что позволит объективно оценить достоверность запасов. Отсутствие количественных критериев в настоящее время затрудняет перевод запасов из одной системы оценки в другую, например, запасов юрисдикции ГКЗ в систему JORC. Автор предлагает интересное решение этой задачи. Используя стохастические оценки достоверности оценок запасов, он далее сравнивает их с независимо определенной величиной допустимого риска. За допустимый риск он предлагает принять разницу между средним содержанием полезного металла в руде и его содержанием, соответствующим порогу рентабельности (break even grade).

По мнению рецензентов, метод является несомненно новаторским, поскольку предлагает учитывать не только степень геологической и технологической сложности месторождения, но также и экономические показатели проекта.

Приведенные материалы обосновывают *четвертое тезисное* положение работы.

Седьмая глава «Представительность технологической (крупно-объемной) пробы» завершает диссертацию. Автор справедливо указывает, что многие проекты, оказались неудачными и привели к серьезным экономическим потерям из-за того, что технологические испытания проводились на неrepresentative пробах. Данная глава и соответствующее ей защищаемое положение диссертации, посвящена проблеме обеспечения представительности технологической пробы.

Автор предлагает оценивать представительность технологической пробы путем сопоставления статистических функций распределения технологической пробы и рудного тела и одновременно контролировать представительность распределения участков отбора пробы в пространстве рудного тела. Несколько примеров успешного применения этого метода на месторождениях железных руд и урана подтверждают обоснованность его предложения.

Содержание этой главы посвящено доказательству *пятого тезисного* положения.

По итогам анализа данной работы и полученным *Выводам* можно заключить, что представленная для рецензии диссертация несомненно является крупной научной работой, она отличается научной новизной и, что особенно ценно, учитывает специфику решения задач горнорудной индустрии, осваивающей месторождения различных промышленных типов. Полученные результаты имеют важное практическое значение.

Тезисные положения, в целом, следует считать доказанными. Содержание автореферата соответствует содержанию доклада.

Вместе с этим, к положениям работы имеется ряд замечаний.

1. Предложение автора по количественным методам классификации запасов несомненно интересно, но требует дальнейшей доработки. В первую очередь это риски связанные с ошибкой оценки геометрии рудных тел. Следует отметить, что исследования в данном направлении геостатистики начались сравнительно недавно, однако в дальнейшем анализ этих аспектов также заслуживает внимания.

2. Метод LUC является несомненным прорывом в разработке методов подсчета запасов руды и показывает, что многие горно-геологические задачи наиболее успешно решаются методами нелинейной математики. Поэтому, специалисты ведущей организации отрасли ФГБУ «ВИМС» считают, что этот метод может быть далее развит и предлагают добавить в математический аппарат метода LUC оценку достоверности структуры рудного тела, что в настоящем варианте метода LUC слабо учитывается.

3. Реализация 5 тезисного положения требует равномерного размещения частных порций (проб) в объеме месторождения; в то же время принципы определения количества проб и, соответственно, их сети автором не определены. Кроме того, следовало бы упомянуть о критериях сходства статистических распределений.

Имеются также замечания смыслового и редакционного характера;

1. Очередность представления тезисов не всегда совпадает с порядком описания глав доклада.

2. В тезисном положении 2 речь идет о качестве опробования, которое в российских требованиях определяется как уровнем случайных ошибок, так и наличием систематических погрешностей. Предложенный критерий последний фактор не рассматривает, что следовало бы отметить отдельно.

3. Излишне краткая формулировка тезисного положения 3 не раскрывает содержания его доказательства.

4. В списке литературы, приведенном в автореферате диссертации, нет работ на русском языке и ссылок на монографию А. Б. Каждана «Методологические основы разведки полезных ископаемых» 1974 г., в которой высказан ряд идей, успешно развитых в диссертации.

Эти замечания не умаляют значимости и достоинств диссертационной работы, которая является завершённым научным исследованием. Предложенная автором система методов, является новым этапом развития прикладной рудничной геологии. Следует отметить важное практическое значение этой работы; многие авторские разработки уже широко используются международными горнорудными компаниями.

Диссертационная работа отвечает предъявляемым требованиям; она выполнена на высоком профессиональном уровне и достойна полного одобрения. Её автор – Абзалов Марат Зайнутдинович заслуживает присуждения искомой степени доктора наук (DSc) по специальности 25.00.11- Геология, поиски и разведка месторождений твердых полезных ископаемых, минерагения.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании Секции геологии месторождений черных, цветных, благородных металлов и неметаллического сырья Ученого совета ФГБУ «ВИМС» от 14 марта 2022 г., протокол № 5 и принят в качестве официального отзыва ведущей организации по диссертации.

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

Машковцев Г.А.

14.03.2022

Советник генерального директора
ФГБУ «ВИМС», доктор геол.-мин. наук

Печенкин И.Г.

14.03.2022

