

На правах рукописи

АПУХТИНА Ирина Викторовна

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ НА ОСНОВЕ
ТРЕХМЕРНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Специальность 25.00.11 - Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых,
минералогия*

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования Санкт-Петербургском государственном горном институте имени Г.В. Плеханова (техническом университете)

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, доцент

Козлов Александр Владимирович

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

Войтеховский Юрий Леонидович

кандидат геолого-минералогических наук

Терновой Владимир Владимирович

Ведущее предприятие – кафедра геологии месторождений полезных ископаемых Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ).

Защита диссертации состоится 24 декабря 2008 г. в 16 ч на заседании диссертационного совета Д 212.224.01 при Санкт-Петербургском государственном горном институте по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21 -я линия, д. 2, ауд. 4312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного горного института.

Автореферат разослан 24 ноября 2008 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

диссертационного совета

к. г.-м. н., доцент

И.Г. КИРЬЯКОВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Задача совершенствования методов интерпретации и полноты использования геологоразведочных данных, как основы для получения исходных для подсчета запасов параметров, является весьма актуальной. Существовавшие ранее в СНГ и, в ряде случаев сохранившиеся и до настоящего времени, системы получения геологоразведочной информации изначально не были ориентированы на современные компьютерные технологии. Это определило необходимость разработки способов адаптации полученной геологоразведочной информации для ее полноценного использования при моделировании месторождений и подсчете запасов на основе компьютерных технологий. Данный тезис особенно важен для месторождений, геологоразведочные работы на которых проводились неоднократно, с длительными перерывами и часто с использованием различных методик разведки. В качестве яркого примера в работе рассмотрено Яковлевское месторождение богатых железных руд (БЖР).

Компьютерное моделирование месторождений с использованием статистических и геостатистических методов более точно отражает пространственные закономерности распределения широкого комплекса параметров оруденения. Блочная модель (БМ), построенная на их основе, при принятой геометрии и плотности разведочной сети наиболее полно иллюстрирует существующие природные неоднородности в строении рудных тел.

Количественная оценка минерального сырья на основе БМ предопределяет большую точность по сравнению с традиционными методами, поскольку позволяет учитывать множество показателей, влияющих на подсчет запасов. Особенно важно, что использование блочного моделирования дает возможность оценивать запасы отдельно для различных типов и промышленных сортов руд не статистическим методом, а на основе их геометризации с учетом всего комплекса оценочных параметров: содержания основного компонента и вредных примесей, прочностных, технологических и прочих характеристик вещественного состава руды.

Адаптация трехмерного компьютерного моделирования и современных технологий подсчета запасов применительно к месторождениям железистых кварцитов позволяет усовершенствовать методику создания геологических моделей, повысить точность, достоверность и оперативность оценки и переоценки запасов месторождений данного формационного типа, что весьма актуально в современных экономических условиях, характеризующихся высокой динамичностью конъюнктуры минерального сырья.

Цель работы. Совершенствование методики создания геологических моделей рудных тел месторождений железистых кварцитов для повышения точности, достоверности и оперативности подсчета запасов.

Основные задачи исследований:

- 1) Разработка методики использования материалов геологоразведочных работ, полученных в разные годы при различных системах разведки, для геометризации рудных тел Яковлевского месторождения;
- 2) Разработка критериев однородности и граничных параметров статистических совокупностей для обоснования выбора эффективного метода подсчета запасов;
- 3) Выбор оптимального комплекса статистических и геостатистических процедур моделирования, разработка методик создания геологических моделей и подсчета запасов месторождений железистых кварцитов с использованием компьютерных технологий;

4) Сравнительный анализ статистических и геостатистических закономерностей проявления оруденения на месторождениях железистых кварцитов (Костомукша, Оленегорская группа).

Фактический материал и личный вклад автора. В основу диссертационной работы положены результаты исследований, которые выполнялись автором в рамках научно-исследовательских работ «Научное сопровождение строительства и ввода в эксплуатацию первой очереди Яковлевского рудника» в 2005-2007 гг. На протяжении 2005-2007 гг. автором была подготовлена база геологоразведочных данных Яковлевского месторождения. Проведено трехмерное компьютерное моделирование Яковлевского месторождения с оценкой запасов участка первоочередной отработки.

Также при написании диссертационной работы были использованы результаты, полученные в рамках работ по компьютерному моделированию и оценки запасов Костомукшского и Оленегорского месторождений железистых кварцитов, которые выполнялись компанией ООО «Арджейси Консалтинг» при участии автора в 2007 и 2008 гг.

На протяжении 2005-2008 гг. работа была поддержана персональным грантом СПГГИ (ТУ), а также персональным грантом американского фонда гражданских исследований и разработок (CRDF) в 2006 г.

Основные методы исследований. В процессе выполнения работы использовались статистические и геостатистические методы изучения закономерностей распределения параметров оруденения месторождений железистых кварцитов и БЖР, проводилось макроскопическое и микроскопическое изучение БЖР Яковлевского месторождения, компьютерное моделирование месторождений железистых кварцитов и БЖР в горно-геологической информационной системе MICROMINE.

Научная новизна. Установлены статистические закономерности распределения железа в железистых кварцитах и богатых железных рудах Яковлевского, Костомукшского и Оленегорского месторождений, позволяющие определять граничные параметры рудных тел по данным опробования и выявлять однородность статистических доменов.

Практическая значимость.

Разработанные методики максимально полного учета геологоразведочной информации при компьютерном моделировании и подсчете запасов частично использованы в практике составления компьютерных моделей Костомукшского месторождения и ряда месторождений Оленегорской группы и могут применяться и на других железорудных объектах данного типа.

Подготовленное автором учебно-методическое пособие «Компьютерные технологии подсчета запасов» используется в учебном процессе.

Апробация работы и публикации. Основные положения, изложенные в диссертации, докладывались на научных конференциях студентов и молодых учёных «Полезные ископаемые России и их освоение» (СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова, 2005 – 2008 гг.), научно-практической конференции "Современные технологии в моделировании геологической среды" (г. Екатеринбург, 2006 г.), XVIII молодежной научной конференции, посвященной памяти К.О. Кратца «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии» (г. Санкт-Петербург, 2007 г.).

Общее количество опубликованных работ 7, в том числе 4 работы по теме диссертационной работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 245 машинописных страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 122 наименований, содержит 111 рисунков, 26 таблиц.

Краткое содержание работы. Во *введении* обоснована актуальность темы диссертации.

В *первой главе* приведен обзор традиционных методов подсчета запасов, а также анализ методологии подсчета и международных стандартов классификации запасов на основе компьютерного моделирования.

Во *второй главе* описана методика трехмерного компьютерного моделирования месторождений твердых полезных ископаемых, методологические основы статистической и геостатистической обработки данных опробования.

В *третьей главе* описаны особенности геологического строения и методики разведки Яковлевского месторождения БЖР, проведен статистический анализ геологоразведочных данных, разработана методика геометризации БЖР, описаны геостатистические закономерности размещения параметров оруденения, проведена оценка запасов месторождения, рассмотрен вопрос учета значений плотности руд при подсчете запасов.

В *четвертой главе* рассмотрены особенности методики моделирования и оценки запасов месторождений железистых кварцитов (Костомукша, Южно-Кахозерское, им. 15 летия Октября), рассмотрены критерии однородности статистических доменов, а также применение геологического бортового содержания для обоснования выбора эффективного метода подсчета запасов.

В *заключении* сформулированы основные результаты исследований.

Благодарности. Автор выражает глубокую и искреннюю признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. доц. А.В. Козлову за постоянную помощь и внимание при подготовке диссертационной работы, д.г.-м.н. проф. Г.С. Поротову, к.г.-м.н. доц. В.А. Степанову, а также всем сотрудникам кафедры ГРМПИ СПГИ (ТУ). Также автор искренне благодарит М.Ф. Корнилова, А.П. Харлашина, А.Н. Чвикова, П.М. Мишуловича и весь коллектив компании ООО «Арджейси Консалтинг» за методическую помощь при выполнении исследований положенных в основу диссертационной работы.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Использование статистически определенного и геологически обоснованного бортового содержания в качестве граничного параметра при оконтуривании рудных тел железистых кварцитов позволяет выявить однородные домены и обосновать оптимальный метод подсчета запасов.

Основой геолого-экономической оценки месторождения являются результаты геологоразведочных работ, которые обобщаются в процессе подсчета запасов полезных ископаемых и, прежде всего, при создании геологической модели изучаемого месторождения. На представление о морфологии, строении и закономерностях изменчивости свойств тел полезных ископаемых существенное влияние оказывает совокупность горно-экономических параметров и кондиций. В настоящее время при отсутствии четких геологических границ оконтуривание рудных тел проводится на основе экономически обоснованного бортового содержания металла в руде. В связи с тем, что определение бортового содержания связано с весьма динамично меняющимися экономическими факторами, оно является непостоянной величиной. Вследствие этого при оконтуривании рудное тело получает условные границы. Рудные тела, не имеющие четких геологических границ и оконтуренные на основании экономических кондиций можно назвать *условными рудными телами (УРТ)* (рис. 1).

Геометризация месторождений с применением математических моделей подразумевает использование нижнего (граничного) предела содержания полезного компонента в пробах, основанного на статистическом анализе и геологических особен-

ностях месторождения. Такой граничный предел содержания определенный по статистическому порогу для однородной статистической совокупности можно назвать *природным бортовым содержанием*, поскольку оно соответствует границе естественного накопления металла для месторождений данного формационного типа. Таким образом, рудные тела, не имеющие четких геологических границ и оконтуренные по результатам опробования на основании природного бортового содержания и основных закономерностях геологического строения и распределения компонентов можно назвать *естественными рудными телами (ЕРТ)* и приравнять их в этом смысле к рудным телам, имеющим естественные геологические границы.

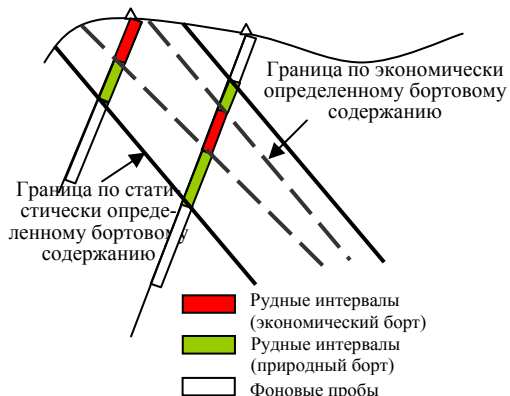


Рис. 1. Границы условных и естественных рудных тел.

ты и кодексы отчетности, а также западные классификации ресурсов и запасов.

Для использования методов геостатистики, которые применимы только к однородным совокупностям, необходимо выделять геологически и статистически однородные совокупности геологоразведочных данных (домены), которые в дальнейшем необходимо исследовать отдельно. Немаловажным для выделения однородных статистических доменов является определение природного граничного содержания при статистическом анализе данных опробования. Гистограммы распределения содержания $Fe_{общ}$ в пределах магнетит-силикатных кварцитов Костомукшского месторождения четко показывают природное граничное значение содержания железа для данного типа кварцитов – 10 %. (рис. 2). Если же при оконтуривании оруденения ориентироваться на современное экономическое бортовое содержание, равное 25 %, то в геологическом моделировании месторождения будет участвовать далеко не весь объем проб, в которых в процессе геологоразведочных работ были определены содержания железа. В результате их исключения понизится надежность оценки распределения закономерностей содержаний с помощью математических методов, так как итоговая выборка будет ограничена.

По результатам проведенного статистического анализа и геометризации оруденения принимается решение о выборе метода геостатистических исследований и способе интерполяции параметров оруденения. Так на примере изучаемых месторождений железистых кварцитов выделено 3 группы доменов, которые отражают ос-

Исключение экономических критериев оценки месторождений в процессе их геолого-экономической оценки, путем использования природной границы оруденения (литологическая граница, природный борт) при оконтуривании железистых кварцитов позволяет отстраивать единую геологическую модель месторождений. Выделение геологического моделирования месторождений железистых кварцитов в отдельный этап их изучения также дает возможность использовать компьютерные технологии оценки ресурсов и соответственно применять международные стандарты

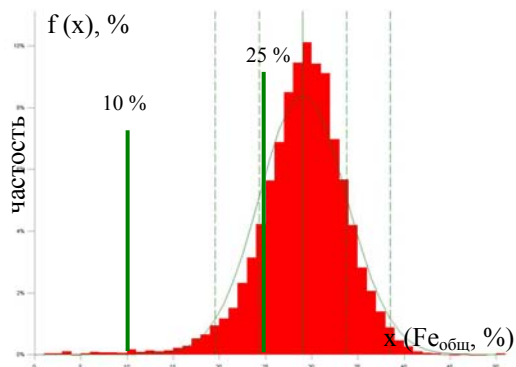


Рис. 2. Гистограмма распределения содержания $Fe_{общ}$ в пределах магнетит-силикатных кварцитов (месторождение Костомукша).

новые статистические и геологические закономерности оруденения, позволяют определить параметры оконтуривания и непосредственно определяют возможный метод интерполяции основных показателей оруденения.

Для первой группы характерно наличие одной статистической совокупности, соответствующей одному типу железистых кварцитов (магнетитовый кварцит, Восточный участок Южно-Кахозерского месторождения). При этом на основе анализа однородной статистической совокупности на гистограмме распределения содержания выделяется граничное значение концентрации компонента, отражающего литологическую границу, либо переход от вмещающих пород к рудным кварцитам.

Для второй группы характерно наличие двух пересекающихся выборок, которые необходимо разделять в пространстве для дальнейшего изучения. Выделенные по литологическим характеристикам разновидности кварцитов (амфибол-магнетитовые и слабрудные) месторождения им. 15 летия Октября характеризуются различными статистическими характеристиками и геометризуются в пространстве отдельно.

Построенные гистограммы содержания $Fe_{общ}$ и диаграммы зависимостей между содержаниями $Fe_{общ}$, SiO_2 и Al_2O_3 для БЖР Яковлевского месторождения позволяют выявить отчетливую закономерность, свидетельствующую об образовании богатых руд по двум основным исходным породам, изначально обогащенных железом (железистыми кварцитами, железистыми филлитовидными сланцами). БЖР разделяются на два природных типа, но при этом статистически выделенные и геологически обоснованные домены в связи с особенностями геологического строения месторождения не могут быть разделены в пространстве.

Для третьей группы характерно наличие нескольких пересекающихся статистических совокупностей, соответствующих различным минеральным типам железистых кварцитов (месторождение Костомукша – магнетитовые, щелочноамфиболовые, биотитовые, грюнеритовые, биотит-грюнеритовые, биотит-двуамфиболовые). В этом случае геометризация всех выделенных типов железистых кварцитов не целесообразна из-за излишней сложности и трудоемкости построений.

Выбор метода интерполяции изучаемых параметров оруденения зависит от определенных в результате статистического анализа зависимостей. Для объектов относящихся к первой группе возможно применение любого интерполятора (кригинг, метод обратных расстояний (ОР)) при условии нормального (логнормального) распределения параметра в пределах выделенного однородного домена. Метод интерполяции для объектов второй группы зависит от возможности геометризации в пространстве выделенных однородных статистических доменов. В случае неразделения однородных совокупностей для второй и третьей группы доменов может быть применен метод индикаторного кригинга.

2. Усовершенствованная методика геометризации рудных тел позволяет корректно учитывать информацию, полученную на различных стадиях геологоразведочных работ, при создании объемной компьютерной модели Яковлевского месторождения.

В процессе оценки запасов полезного ископаемого стоит задача на основе всей совокупности полученной геологоразведочной информации создать вещественно-геометрическую модель месторождения, которая содержит достаточную для подсчета запасов информацию. Эта модель может быть отражена на бумажных носителях в виде комплекта геологической графики и табличных данных (традиционный вариант) или представлена объемной компьютерной моделью. Компьютерные методики подсчета запасов в перспективе полностью вытеснят традиционные, но их использо-

вание требует адаптации имеющихся программных продуктов к реалиям получения геологоразведочных данных на конкретных месторождениях.

При компьютерном моделировании, которое представляет собой совокупность формальных процедур обработки данных с использованием определенных алгоритмов, создаются сложности учета результатов, полученных на различных стадиях ГРР. Именно к таким объектам относится Яковлевское месторождение, ранние этапы геологоразведочных работ на котором проводились профилями вертикальных скважин, пробуренных с поверхности, а завершались – после 50-летнего перерыва с использованием комбинированной методики: проходки разведочных подземных горных выработок и бурения наклонных скважин из них. Длительный перерыв между стадиями геологоразведочных работ весьма негативно отразился на сохранности геологической информации, системности геологических исследований, преемственности методических подходов геологоразведочных работ.

Яковлевское месторождение является типичным для КМА месторождением богатых железных руд, связанных с корой выветривания железистых кварцитов. Однако, размещение БЖР на глубине свыше 500 м, сложные горнотехнические и гидрогеологические условия значительно удорожают отработку руд, что предопределяет необходимость точной и надежной оценки качественных и количественных показателей оруденения, для выделения рентабельных для отработки блоков.

В результате формирования коры выветривания по железистым кварцитам и филлитовидным сланцам формировались соответственно железослюдковые и мартит-железослюдковые (т.н. синьки) или мартит-гидрогематитовые и гидрогетитовые (т.н. краски) типы БЖР. Рудные тела характеризуются весьма сложной и изменчивой формой, и образуют лентовидную залежь, верхняя граница которой совпадает с палеопереходом пород фундамента, а нижняя имеет сложный контур, характеризующий постепенное выклинивание БЖР на глубину.

На первом этапе 1957-1958 гг. предварительная и детальная разведка месторождения осуществлялась вертикальными скважинами, пробуренными с поверхности (рис. 3). По результатам работ в 1958 г. выполнен подсчет и утверждены в ГКЗ СССР запасы руд месторождения. Запасы отдельных сортов руд определялись статистическим методом. На всем протяжении наиболее изученного участка месторождения рудная залежь прослежена буровыми скважинами, пробуренными с поверхности, через 400-800 м по простиранию и 100 м вкрест простирания. На участке детализации расстояние между буровыми профилями уменьшены до 200 м.

Для первой очереди освоения месторождения выбран участок протяженностью 400 м, ограниченный по простиранию профилями Ш-1600 и IV+1600, а по вертикали горизонтами -365 м и -425 м. В его пределах будет осуществляться добыча слабосцементированных мартит-железослюдковых руд, пригодных для упрощенного обогащения с выделением концентрата на грохотах и дальнейшей его переработки по методу горячего брикетирования. Детальная разведка участка первоочередной отработки осуществлялась серией направленных скважин (зенитный угол от 3 до 90°, азимут 29°, в

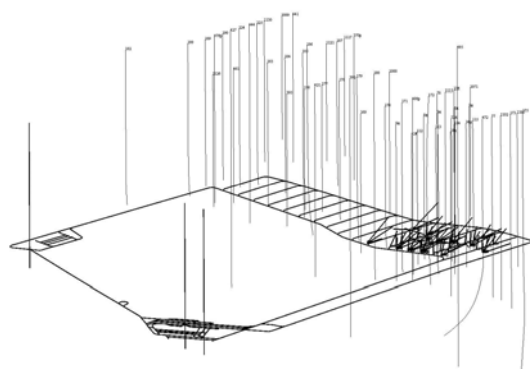


Рис. 3 - Системы разведки Яковлевского месторождения: вертикальные скважинами с поверхности (тонкие линии) и веера наклонных скважин из подземных горных выработок (толстые линии).

единичном случае 209°), пробуренных из разведочных подземных горных выработок. Плотность разведочной сети на участке первоочередной отработки принята 100x50 м.

В процессе моделирования Яковлевского месторождения была усовершенствована методика геометризации оруденения, позволившая корректно использовать данные различных стадий геологоразведочных работ. Геометризация рудных тел проводилась в два этапа. Первоначальное оконтуривание рудного тела на разрезах проводилось по основным профилям пробуренных с поверхности скважин (далее контур I типа) с использованием рудных интервалов, рассчитанных на основе существующих кондиций (рис. 4, косая штриховка). В процессе оконтуривания дополнительно был учтен геологический контроль оруденения (стратифицированность оруденения, поверхность кровли руднокристаллического комплекса, тектонически ослабленные зоны).

На этом этапе построения объемной каркасной модели триангуляция проводилась на основе контуров I типа (рис. 5а). Детализация и корректировка построенной промежуточной каркасной модели рудного тела проводилась с помощью создания дополнительных разрезов по разведочным линиям детальной разведки первоочередного участка. На эти разрезы выносился контур рудного тела с промежуточной каркасной модели, который корректировался по результатам детальных геологоразведочных работ (рис. 4, коричневая линия) с получением уточненных контуров II типа.

На рисунке 4 красной линией показан возможный подсчетный контур в соответствии с методикой оконтуривания при подсчете запасов методом параллельных сечений. В результате использования такого контура в процессе подсчета запасов произошло бы занижение объемов руды на участках детализации.

На втором этапе существующий каркас перестраивался с учетом корректировок, полученных по данным детальной разведки, и триангуляция проводилась на основе контуров II типа (рис. 5б).

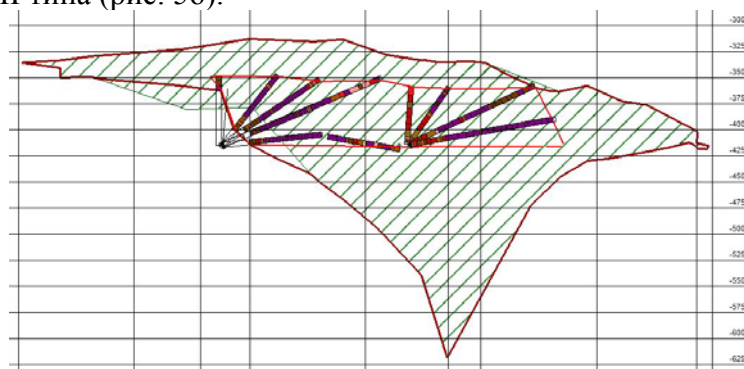


Рис. 4. Корректировка контуров рудного тела БЖР.

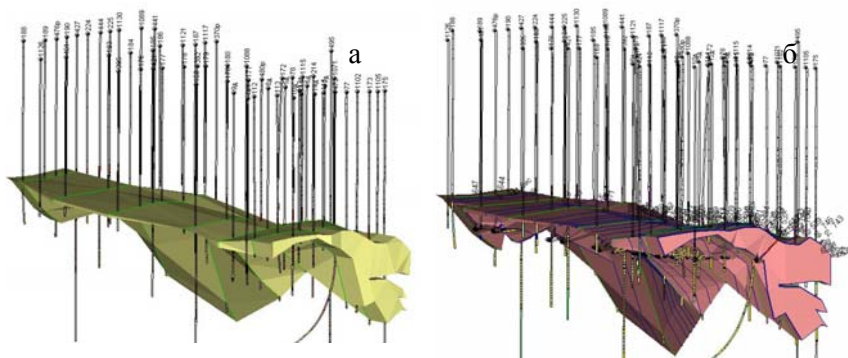


Рис. 5. Каркасная модель рудного тела БЖР (а - контур I типа, б - контур II типа).

Предложенная методика геометризации рудных тел позволяет корректно и максимально полно использовать данные детальной и эксплуатационной разведок. При этом процесс геометризации разбивается на два этапа, которые позволяют провести каркасное моделирование по наиболее представительным данным с последующей их корректировкой на основе дополнительной геологоразведочной информации. На основе предложенной усовершенствованной компьютерной методики геометризации рудных тел Яковлевского месторождения возможно создание объемной модели месторождения, максимально корректно отражающей распределение параметров оруденения в пространстве на основе всей совокупности полученной о месторождении информации по результатам разведочных работ различных стадий.

Усовершенствованная методика геометризации может быть применена для оконтуривания рудных тел и на других месторождениях, где разведка выполнена методически неправильно, выработки пройдены бессистемно, вследствие чего нельзя построить полноценные геологические разрезы и применить способ сечений.

3. Использование индикаторного кригинга при построении блочных моделей рудных тел месторождений железистых кварцитов позволяет учесть неоднородность статистических совокупностей, а также провести геометризацию природных типов и технологических сортов руд. На основе полученных моделей можно провести отдельный подсчет запасов для отдельных технологических сортов с учетом других присущих им специфических параметров.

Использование компьютерных технологий позволяет прогнозировать значения исследуемых параметров в любой точке выделенного объема на основе дискретных данных опробования, вместо получения среднеарифметической характеристики на весь объем рудного тела. Для этого выделенное трехмерное пространство (каркасная модель) разбивается на элементарные блоки равной заданной величины – материнские блоки БМ. Блочное моделирование состоит из нескольких стадий: 1 - создание пустой блочной модели в пределах рудных зон; 2 – интерполяция содержаний полезных и вредных компонентов или других свойств руды.

Существует целый ряд методов интерполяции показателей качества полезного ископаемого в БМ. При использовании методов обратных расстояний и обычного кригинга для интерполяции содержаний каждый однородный структурный или статистический домен исследуют отдельно. Полииндикаторный кригинг (ПИК) применяется в тех случаях, когда обнаруживается смешение статистических совокупностей оцениваемого компонента и невозможность разделения этих выборок в пространстве.

Метод ПИК был применен для интерполяции содержаний Fe в пределах железистых кварцитов Костомукшского месторождения, а также в пределах БЖР Яковлевского месторождения. Это позволило учесть смешанные совокупности, которые были выделены на основе статистического анализа распределения содержаний железа. Предварительно был проведен геостатистический анализ и на основе преобразованных индикаторных переменных получены наборы медианных индикаторных вариограммных моделей (1), которые отражают закономерности пространственной изменчивости параметров оруденения и применяются при расчете весовых коэффициентов для алгоритма полииндикаторного кригинга (2).

$$2\gamma(h, a_i) = E\{[I(x, a_i) - I(x+h, a_i)]^2\} \quad (1)$$

$$Z_{IK}(x, a_i | \{n\}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j I(x_j, a_i) \quad (2)$$

По результатам блочного моделирования БЖР было проведено сравнение средних содержаний железа в БМ, полученных в результате интерполяции методами ОР и ПИК. В таблице 1 видно, что в случае учета данных детальной разведки ПИК

оценил средние содержания несколько выше, чем метод ОР. Тем не менее, корреляция между содержаниями, полученными разными методами, очень высокая, что подтверждает правильность оценки содержаний в блочных моделях.

Таблица 1. Сравнение методов интерполяции ПИК и ОР

	Fe ОР I	Fe ОР II	Fe ПИК
Руда, тыс. т	331 159 950	328 281 773	328 281 773
Fe _{общ} , %	61.82	61.48	61.63
Fe, тыс. т	204 715 431	201 819 098	202 304 299

Важное значение имеет выделение и оконтуривание природных типов и технологических сортов руд на участке первоочередной добычи Яковлевского месторождения. Решение этой задачи требует обязательной унификации выделяемых природных типов руд в текущей документации скважин и подземных горных выработок, и приведение к используемой схеме ранее выделяемых типов руд. Это позволяет в полном объеме использовать всю накопившуюся геологоразведочную информацию по месторождению в целом и непосредственно по участку первоочередной добычи.

Учитывая достаточно сложную геометрию объемов, занятых различными природными типами руд, целесообразно для их выделения использовать индикаторный кригинг (ИК), который позволяет оценить вероятность нахождения в каждом элементарном блоке модели того или иного типа руд. С помощью ИК проведено вероятностное картирование различных типов руд (краски, синьки) и пустых пород (железистые кварциты, сланцы) в пределах первоочередного участка отработки. Для использования ИК была проведена подготовка и обработка исходных данных, геостатистический анализ по типам руд. Основные этапы проведения ИК заключались в следующем: задание индикаторов для каждого типа руд по литологическим кодам базы данных; расчет вариограмм по индикаторам для каждого типа руд по основным направлениям изменчивости; интерполяция обобщенных кодов по типам руд методом ИК в БМ; суммирование полученных БМ; выбор индикатора с наибольшей вероятностью для каждого блока итоговой модели. После вероятностного картирования типов руд проведена кодировка модели содержаний полученной геологической моделью и пересчет запасов с различными значениями плотности пород в зависимости от типа руды или породы.

Одной из исходных величин, которой обычно уделяется слишком мало внимания при подсчете запасов, является объемная масса (или плотность) руды. На первых этапах проведения геологоразведочных работ при суммарном подсчете запасов богатых руд Яковлевского месторождения было принято средневзвешенное на распространение различных типов руд значение объемной массы, равное 3,3 т/м³. Для железистых кварцитов Костомукшского месторождения значение плотности задается в соответствии с уравнением регрессии статистической зависимости величины плотности руды от значения содержания Fe магнитного. Расчет значений объемной массы в каждый блок рудной БМ осуществлялся на основе полученной корреляционной формулы (3).

$$\rho(m / м^3) = 0.0191 * Fe + 2.8525 \quad (3)$$

Статистическая зависимость между значениями плотности руды и содержаний железа для различных типов БЖР Яковлевского месторождения не обнаруживается, при этом значения плотности существенно отличаются. Использование средневзвешенного значения плотности руды при подсчете суммарных запасов было вполне

оправдано, поскольку запасы отдельных сортов определялись статистическим методом, в соответствии с их долей, определенной по результатам документации керна. При подсчете запасов только по одному природному типу руд такой подход приведет к существенным погрешностям.

Оценка запасов Яковлевского месторождения проведена с учетом значений плотности различных типов руд, на основе геологической БМ, полученной методом ИК. Сравнение результатов оценки запасов в пределах участка первоочередной отработки с учетом плотности в каждом элементарном блоке и с единым значением плотности руд показало, что полученная для богатых руд ($Fe_{общ} > 65\%$) разница в тоннаже увеличилась с 0,2 до 2 %, а отдельно для различных разновидностей руд от 1,8 до 7,3 %.

Таким образом, блочные модели рудных тел железистых кварцитов и БЖР, полученные с применением метода индикаторного кригинга, позволяют учесть смешанность статистических совокупностей, а также провести геометризацию природных типов и технологических сортов руд. На основе полученных блочных моделей можно провести отдельный подсчет запасов для отдельных технологических сортов с учетом объемной массы этих разновидностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные компьютерные технологии моделирования месторождений являются эффективным инструментом обработки и анализа геологоразведочной информации. Их использование затрудняется спецификой получения, хранения и форм представления геологоразведочных данных на конкретных месторождениях, что определяет необходимость адаптации компьютерных технологий применительно к каждому объекту. Именно эта задача и решалась на примере объектов одной формационной группы – месторождений железокремнистой формации: железистых кварцитов и образовавшихся по ним богатых руд. Результаты проведенных исследований позволили обосновать следующие выводы.

1. Статистический анализ геологоразведочной информации позволяет выделить не только статистически, но и геологически однородные домены, для которых возможно применение геостатистических методов выявления пространственных неоднородностей распределения параметров оруденения.

2. Статистический анализ данных по химическому составу руд Яковлевского месторождения можно использовать при уточнении геолого-технологической классификации руд, оптимизации методики геологоразведочных работ и опробования, обеспечивающих получение представительной качественно-технологической характеристики сырья. На основе статистического анализа дано обоснование отнесения ранее выделенного промежуточного типа руд «синько-краски», к единому типу красковых руд, что позволит точнее проводить типизацию руд в процессе геологоразведочных работ.

3. По результатам компьютерного моделирования ряда месторождений железистых кварцитов проведен выбор оптимального комплекса статистических и геостатистических процедур моделирования, разработана методика создания геологических моделей и подсчета запасов месторождений железистых кварцитов с использованием компьютерных технологий.

4. На основе полученных с применением метода индикаторного кригинга блочных моделей рудных тел можно провести геометризацию и отдельный подсчет запасов отдельных технологических сортов руд с учетом их объемного веса и других параметров, которые могут влиять на технологические свойства конечного продукта. Блочные модели месторождений железистых кварцитов могут быть использованы в

качестве основы для построения трехмерной карты обогатимости с учетом типизации руд.

5. Использование статистически определенного и геологически обоснованного природного бортового содержания в качестве граничного параметра при оконтуривании рудных тел железистых кварцитов позволяет наиболее полно учитывать все имеющиеся геологоразведочные данные и использовать созданную блочную модель рудной залежи для оперативного пересчета запасов при разных вариантах кондиций.

6. Выделение в общем объеме полезного ископаемого в недрах ресурсов, как исключительно геологической категории, и запасов, как категории технико-экономической, методологически оправдано и хорошо согласуется с идеологией компьютерного моделирования.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Апухтина И.В. Закономерности пространственного размещения богатых железных руд Яковлевского месторождения // Записки Горного института. Полезные ископаемые России и их освоение. - СПб: СПГГИ, 2006, т.167. ч.2. - С. 7–9.

2. Козлов А.В. Анализ результатов компьютерного моделирования богатых руд Яковлевского месторождения / А.В. Козлов, И.В. Апухтина // Записки Горного института. Полезные ископаемые России и их освоение. - СПб: СПГГИ, 2006, т.168. - С. 104–114.

3. Апухтина И.В. Особенности геометризации рудных тел с использованием компьютерных технологий (на примере Яковлевского месторождения) // Записки Горного института. Полезные ископаемые России и их освоение. - СПб: СПГГИ, 2007, т.170. - С. 11–14.

4. Апухтина И.В. Компьютерное моделирование и геостатистический анализ распределения параметров оруденения Яковлевского месторождения // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии» - СПб: СПбГУ, 2007.- С. 253–256.