

Приложение № 8
к протоколу заседания Государственной
комиссии по запасам полезных ископаемых
от 26.09.2022г. № 1185

**«МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ материалов
по ТЭО кондиций и подсчету запасов на твердые полезные ископаемые
с использованием блочного моделирования»**

- I. Общие положения
- II. Сравнительная характеристика методов подсчета запасов тп - традиционных (разрезов, планов и т.д.) и блочного моделирования с использованием геостатистики
- III. Подготовка и требования к представлению исходных данных(цифровой базы данных)
- IV. Блоchное моделирование
- V. Значение и содержание геологического обоснования блочного моделирования месторождений
- VI. Критерии качества блочных моделей и требования к оценке их корректности
- VII. Кондиционные показатели для оконтуривания оруденения при геостатистическом моделировании с учетом морфологического типа оруденения и предполагаемых способов и систем добычи полезного ископаемого и переработки минерального сырья
- VIII. Требования к представлению блочных моделей при технико-экономическом обосновании кондиций (анализ корректности изменения параметров по вариантам, описание условий их применения при оптимизации горных работ, в том числе карьеров)
- IX. Требования к представлению результатов блочного моделирования при подсчете запасов месторождений (графическая и табличная формы)
- X. Алгоритмы категоризации запасов в блоках кригинга при геостатистическом подсчете запасов месторождений твердых полезных ископаемых
- XI. Рекомендации по наиболее эффективному использованию геостатистических методов подсчета запасов для месторождений твердых полезных ископаемых и перечень признаков (граничные условия), при наличии которых использование геостатистических методов становится не эффективным
- XII. Информационные технологии (программы), используемые при геолого-математическом моделировании месторождений и создании блочных моделей
- XIII. Заключение

Настоящие методические указания определяют основные требования о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ материалов по ТЭО кондиций и подсчету запасов на твердые полезные ископаемые с использованием блочного моделирования.

Основной задачей работы является разработка единых требований к материалам по ТЭО кондиций и подсчету запасов на твердые полезные ископаемые с использованием блочного моделирования, в соответствии с международными требованиями.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Горно-геологические информационные технологии (системы, ГГИС) представляют собой комплексы алгоритмов и соответствующих программ (программные средства) для электронно-вычислительных машин (персональных компьютеров), предназначенные для обработки горно-геологических данных, организуемых и накапливаемых в цифровом формате в базах данных. Информационные технологии обеспечивают обработку исходных числовых и текстовых данных, создание на этой основе новой информации об изучаемых объектах, дальнейшую обработку этой информации, обработку графической информации и формирование новых графических документов по результатам обработки информации различных видов.

Горно-геологические информационные технологии предназначены для решения задач разведки и добычи твердых полезных ископаемых и используются геологоразведочными организациями, горнорудными предприятиями и консультационными фирмами. Различные информационные технологии характеризуются сходным набором выполняемых функций, возможностей обработки данных и отображения результатов. Программные средства информационных технологий представлены модулями, предназначенными для объемного моделирования месторождений (рудных тел, зон минерализации) и их структуры, маркшейдерских расчетов и построений, статистического и геостатистического анализа, подсчета запасов, моделирования гидрогеологических характеристик и экологических ситуаций и решения задач оптимизации проектов горных работ и планирования их реализации.

Информационные технологии являются техническим, а геостатистическое и блочное моделирование месторождений твердых полезных ископаемых – методическим средствами подсчета запасов и технико-экономического обоснования кондиций, удовлетворяющими требованиям международного аудита, учет которых необходим для рационального недропользования в Республике Узбекистан и привлечения иностранных инвестиций.

I. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ТПИ - ТРАДИЦИОННЫХ (РАЗРЕЗОВ, ПЛАНОВ И Т.Д.) И БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОСТАТИСТИКИ

Традиционные методы подсчета

Традиционные методы подсчета запасов включают способы геологических и эксплуатационных блоков, разрезов (или сечений) и статистический анализ. В зарубежной практике эти методы принято называть полигональными.

Достоинства указанных методов заключаются в следующем:

- обеспечение оценки запасов всех типов месторождений в различных геологических ситуациях; максимально полный учет геологических особенностей строения месторождений;
- доказанной многолетней практикой корректностью и надежностью применения подсчета запасов, как в Республики Узбекистане, так и за рубежом (до эпохи компьютеризации);
- возможность получения объективной оценки запасов в недрах на всех стадиях изучения месторождения;
- возможностью разделения запасов по категориям разведанности и балансовой принадлежности в соответствии со сложившейся в Республике Узбекистане практикой оценки месторождений;
- вопросы применения подсчета запасов разными способами детально регламентированы в инструкциях и методических указаниях, что обеспечивает воспроизводимость результатов подсчета при соблюдении нормативных требований.

К недостаткам традиционных способов подсчета запасов относятся:

- ограничение применения информационных технологий при проектировании открытых и подземных горных работ;
- отсутствие возможности оперативной переоценки запасов в соответствии с меняющимися условиями (экономической конъюнктурой, технологией);
- отсутствие возможности экспрессного пересчета запасов для планирования добычи на локальных участках и для составления текущих календарных графиков освоения месторождений;
- не согласуется с современными технологиями контроля отработки месторождений и управления качеством руд в процессе эксплуатации;
- несоответствие требованиям зарубежных инвесторов и международного аудита к форме отчетности о ресурсах/запасах.

Блоchное моделирование

Блоchное моделирование основывается на разделении пространства месторождения на элементарные блоки (ячейки), в которые значения свойств объекта, в частности содержания полезного компонента, интерполируются из

исходных данных опробования с учетом весовых коэффициентов. Одной из его разновидностей является геостатистическое моделирование, базирующееся на математическом аппарате теории случайных функций. Этот вид моделирования и подсчета запасов получил широкое распространение за рубежом и, в определенной мере, и в нашей стране.

Внедрение блочного моделирования в практику работы горнодобывающей отрасли обусловлено объективными причинами, в том числе развитием вычислительной техники. Существующие программные комплексы ориентированы на решение широкого круга задач в сфере освоения месторождений. В значительной мере они направлены на автоматизированное проектирование горных работ, составление календарного графика отработки месторождения, управления качеством добываемой руды и осуществлением процесса рудоконтроля и т.д. Оценка запасов является одной из базовых операций в указанном комплексе. В широком плане следует говорить об использовании информационных технологий в области горного производства

Достоинства блочного моделирования заключаются в следующем:

- автоматизированы операции оценки запасов и создания отчетных табличных и графических материалов;
- упрощена оперативная переоценка запасов в соответствии с изменениями условий освоения месторождений;
- обеспечена автоматизация процессов планирования, управления добычей полезных ископаемых и ее проведения.

Недостатки блочного моделирования заключаются в следующем:

- отсутствии четких критериев оценки качества моделирования, возможности систематических ошибок при оценке запасов в недрах;
- ограниченных возможностях качественной оценки запасов в условиях редких разведочных сетей и прерывистого оруденения;
- ограничение технических возможностей персональных компьютеров и программных продуктов при оценке запасов крупных объектов, обладающих сложным геологическим строением.

Сравнительная характеристика

При сравнении результатов оценки запасов традиционными методами и методом блочного моделирования следует учитывать ряд аспектов:

Принципы подсчета и учета запасов

В Республике Узбекистан законодательно определен подсчет запасов в недрах без учета потерь и разубоживания и предусмотрено разделение запасов по балансовой принадлежности. За рубежом преимущественно оцениваются извлекаемые запасы. В отечественной практике подсчет запасов детально регламентирован в инструкциях и методических рекомендациях. Зарубежная практика опирается на опыт компетентных лиц, а также требования стандартов отчетности о ресурсах/запасах (JORC, NI 43-101, рамочная классификация ООН и т.д.), которые довольно существенно

различаются между собой. Выделение забалансовых запасов, за исключением РК ООН, в зарубежных стандартах не предусмотрено.

Условия подсчета и использование кондиций

Традиционный подсчет запасов базируется на использовании кондиций, которые представляют собой перечень показателей, утверждаемых ГКЗ на достаточно длительный срок. Выбор кондиционных показателей осуществляется на основе анализа их вариантов. Кондиции представляют собой инструмент, регулирующий взаимоотношения недропредельца (государство) и недропльзователя.

В зарубежной практике обычно рассчитывается предельное содержание в элементарном блоке, размеры которого могут выбираться достаточно произвольно. Предельное содержание (cut-off grade) может пересматриваться в зависимости от сложившейся экономической конъюнктуры. Государственному регулированию эти показатели не подлежат.

Взаимная адаптация требований кондиций при разных подходах практически невозможна, что существенно осложняет сравнение результатов подсчета запасов. Практика подсчета запасов с использованием блочных моделей показывает, что предельное содержание в элементарном блоке чаще всего не соответствует бортовому значению в пробе при традиционном у нас подсчете запасов.

Применимость геостатистических и блочных моделей

Геостатистические моделирование, базирующееся на математическом аппарате теории случайных функций, имеют определенные ограничения, в частности, требования стационарности и эргодичности исследуемых функций – геологических пространственных переменных. Качество моделей определяется также учетом геостатистической однородности месторождений или их частей. Проверка этих условий в применяемых информационных технологиях обычно не предусмотрена, а их несоблюдение приводит к систематическим ошибкам (занижению содержаний) в оценке запасов.

Теоретически преимущество геостатистического подсчета запасов состоит повышении точности оценки параметров. Оно связано с наличием неоднородностей в строении объектов и возможностями их выявления существующей разведочной сетью. В случаях, когда радиус корреляции оказывается существенно меньшим в сравнении с размерами разведочной сети, это преимущество не проявляется и применение блочного моделирования с позиций улучшения оценок становится не эффективным.

Результаты и качество блочного моделирования определяются многими факторами: видом выбираемой геостатистической модели (модели вариограммы), условиями определения границ месторождения (его каркаса), размерами ячеек (блоков) модели, размерами и ориентировкой поискового эллипсоида, количеством проб, учитываемых при интерполяции исходных данных в ячейки модели, и т.д. Большое количество условий порождает неоднозначность выбора параметров моделирования. Результаты оценки

месторождения по вариантам моделей могут различаться по параметрам до 1.5-2 раза (иногда более). Для оценки качества моделирования кодексом JORC предусматривается необходимость сравнения результатов подсчета ресурсов/запасов с данными их альтернативной оценки. В условиях Республики Узбекистан контроль результатов блочного моделирования может (должен) проводиться с помощью традиционного подсчета.

Блочное моделирование эффективно на стадии эксплуатационной разведки (когда создана предельно плотная сеть разведочных выработок) при планировании очистных работ и определении эксплуатационных (извлекаемых) запасов с учетом потерь и разубоживания по данным опробования не только оцениваемых объемов, но и окружающего пространства. Кроме того, основной целью здесь является решение задачи оценки эксплуатационных (извлекаемых) запасов. Это обстоятельство определяет другие требования как к процедурам и параметрам расчетов, так и к результатам оценки в сравнении с подходами на ранних стадиях оценки объектов.

Основное различие заключается в том, оценка эксплуатационных (извлекаемых) запасов, в том числе объективная оценка величины потерь и разубоживания, требует учета данных опробования в окружающем рудное тело пространстве. Кроме того, при этом определяется возможность селективной отработки «выемочных единиц» и параметры запасов по ним с учетом сложности контура рудного тела.

Обсуждение оценки эксплуатационных (извлекаемых) запасов не входит в сферу вопросов, затрагиваемых в данном документе. Упоминание их связано с известными попытками распространить учет потерь и разубоживания на оценку запасов предпроектных стадий геологоразведочных работ.

III. ПОДГОТОВКА И ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ(ЦИФРОВОЙ БАЗЫ ДАННЫХ)

База данных по месторождению, созданная с использованием конкретной информационной технологии, должна обеспечивать возможность воспроизведения результатов обработки этих данных на основе использования других информационных технологий. Для месторождений комплексных руд подготовка баз данных дополняется еще обоснованием формул пересчета в условный металл.

Цифровая база данных (БД) является основой для всей процедуры геолого-математического и блочного моделирования, на базе которой проводится технико-экономическое обоснование, подсчёт запасов и дальнейшие проектные исследования, включая последующие процедуры по обеспечению систем контроля содержаний на горных предприятиях.

Цифровая БД использует модель реляционной (относительной) базы данных, которая организована таким образом, чтобы данные занимали как можно меньше места за счет отказа от их дублирования в самой базе. Модель

реляционной БД реализована во многих современных программных продуктах: Microsoft Access, Oracle, MS SQL и др. Программы для 3-х мерного геолого-математического моделирования такие как: DataMine, Surpac, MicroMine, GeoCom, GEMS, Leapfrog и RockWare имеют возможность создания баз данных собственными средствами так же поддерживают несколько форматов подключения к внешним базам (созданных в других программных продуктах Microsoft Access, Oracle, SQL и др.), и импорта из внешних баз данных.

В соответствии с моделью реляционной базы данных геологическая цифровая БД состоит из множества таблиц, каждая из которых содержит несколько полей данных (вертикальных столбцов) и записей (строк). Каждая запись содержит ячейки поля данных. Структура таблиц БД напоминает табличные файлы программы Microsoft Excel.

Поля данных характеризуются определенным типом представления информации. Среди типов полей данных различаются: счетчик, числовое, текстовое, мемо, дата/время, денежное, логическое, объект OLE (связывание и внедрение объектов), гиперссылка и мастер подстановок. Каждое поле имеет уникальное имя, удовлетворяющей любым знакам Юникода (UNC) и может состоять из комбинации букв, цифр, пробелов и специальных символов за исключением точки (.), восклицательного знака, надстрочного знака (‘), квадратных скобок, а также не может начинаться с пробела и содержать управляющие символы с кодами ASCII от 00 до 31. Название поля целесообразно писать без пробелов если есть необходимость использовать несколько слов, то желательно использовать знак нижнего подчёркивания. Так же необходимо помнить, что разные ГГИС имеют различные ограничения по обработке информации из баз данных это надо учитывать при создании базы данных во избежание ошибок при переносе информации между различными ГГИС.

Тип данных и источники информации для геологической БД

База Данных строится на основе числовых и текстовых данных. Графические данные не входят в структуру базы данных, но они должны быть введены в растровом или векторном формате для дальнейшего 3-х мерного моделирования геологического пространства (месторождения). Для преобразования данных опробования по геологоразведочным выработкам в единый файл с 3-х мерными координатами каждой пробы требуется как минимум три файла: координаты устьев, инклинометрии (если его нет, то выработка считается вертикальной) и опробования.

Результаты изучения скважин, поверхностных выработок (канавы, траншеи и т.п.) и подземных выработок являются основными источниками информации для формирования геологической БД с целью 3-х мерного моделирования. ГГИС программы требуют, чтобы геологическая БД, созданная на основании исследования любого вида геологоразведочных выработок, содержала две обязательные и одинаково структурированные таблицы: таблица координат устьев скважин или точек начала выработок

(collar, hole_id и т.д.); таблица инклинометрии по скважинам или по трасам выработок (survey). Данные по геологическому описанию (lithology) и опробованию (assays) геологоразведочных выработок рассматриваются в соответствующих пакетах программ 3-х мерного геолого-математического моделирования в качестве дополнительных таблиц количество дополнительных таблиц может быть любое все зависит от необходимости их для работы.

Таблица координат устьев скважин и выработок

Перед составлением таблицы необходимо проверить, в какой системе координат находится информации по геологоразведочным выработкам: в географической (градусы и его доли) или в прямоугольной системе (в метрах). Во избежание возможных ошибок в определении местоположения скважин необходимо также уточнить, какая система координат использовалась для составления графических материалов, и привести все данные в единую систему координат.

Обязательными полями в таблице устьев скважин (таблица 1) является: номер скважины (hole_id или BHID), долгота или расстояние на восток (X, XCOLLAR, Восток, Longitude и т.д.), широта или расстояние на север (Y, YCOLLAR, Север, Latitude и т.д.), абсолютная высота (Z, ZCOLLAR, Превышение и т.д.), глубина скважины (depth, max_depth, Глубина, и т.д.). Для некоторых ГГИС (например, Surpac) необходима еще и трасса скважины (hole_path), т.е. является ли она - прямая, наклонная или изогнутая (это не необходимо для обозначения типа опробования в частности керновое или борзовое), для других (например, MicroMine) есть отдельная база для борзового опробования.

Таблица 1

Пример таблицы «Координат устьев скважин и выработок»

№ выработки	X (Восток)	Y (Север)	Z (отметка устья)	Глубина	Буровая линия	Руд тело	Год бурения

Дополнительно в эту таблицу можно внести ещё поля. Например, дату бурения, тип скважины (геологоразведочная, гидрогеологическая), название проекта, номер буровой линии, профиля и т.д.

Номер скважины лучше вводить в текстовом формате с использованием всех букв и символов (без пробелов), которые были использованы в первичной документации. В таблице координат устьев скважин поле, Номер скважины, является ключевым и не допускает повторений.

Таблица инклинометрии

Таблица инклинометрии (таблица 2) сохраняет информацию по искривлению скважин, которая используется для вычисления координат трассы скважины, и, соответственно, координат проб и геологических интервалов. Обязательные поля включают: номер скважины (имя скважины), глубину или расстояние от устья до точки замера (depth, глубина), угол

наклона (dip) и азимут скважины (azimuth). Каждая выработка или скважина в этой таблице должна иметь первую точку замера в устье, со значением ячейки поля равным нулю. Азимут измеряется от 0 до 360 градусов по часовой стрелке от северного направления (ось Y) и он представлен истинным азимутом с поправкой на величину магнитного склонения. Угол измеряется от горизонтальной плоскости до 90 градусов - вертикаль вверх и 90 градусов вертикаль вниз (в большинстве ГГИС 90 это вертикаль вверх, а -90 вертикаль вниз). Для соблюдения совместимости с программами 3-х мерного моделирования угол наклона записывается базу БД в виде значений измеренных углов и их десятичных дробей.

Таблица 2
Пример таблицы «Инклинометрия»

№ выработки/скважины	Глубина замера	Азимут	Угол

Дополнительные таблицы с геологической информацией

Все геологическая информационная нагрузка в электронной БД храниться в дополнительных таблицах различного типа: интервальных, точечных и дискретных.

Интервальные таблицы

Результаты опробования скважин и выработок, а также геологические характеристики по протяжённым интервалам (опробование, литология, вторичные изменения, тип минерализации) заносятся в таблицы интервального типа (глубина «от» и глубина «до») (таблица 3). Соответственно эти таблицы содержат следующие обязательные поля: номер скважины (hole_id, имя скважины и т.д.), глубина «от» (depth_from, from, от), глубина «до» (depth_to, to, до), номер пробы\образца (sample_id, sample, проба) и ещё 56 свободных полей. Поле «номер пробы\образца» не является главным полем в этом типе таблиц и поэтому не требует данных, если их нет. Однако оно необходимо для дальнейшей работы по внесению поступающей геологической информации из аналитических лабораторий.

Таблица 3
Пример таблицы «Опробование»

№ выработки	№ пробы	ОТ	ДО	AU, г/т	Ag, г/т	Выход керна	Тип руды	Примечания

В зависимости от целевого назначения (названия таблицы) длина интервала описания в таблице может варьировать от стандартизированной длины интервала опробования (таблица результатов опробования скважин – «assay») до произвольной длины геологического интервала распространения

пород определенного типа (таблица геология- «geology»). Как правило, в таблицы результатов опробования помимо содержаний полезных компонентов по интервалам опробования вводятся дополнительные поля по горизонту и номеру рудного тела, диаметру скважины, выходу керна, стенке выработки и т.д. В таблице геология характеристика пород дается для геологического (литологического) интервала в соответствующем поле (lithology) в виде кодов пород. Расшифровка кодов пород приводится в дополнительной таблице геологической БД.

В случае опробования двух стенок поверхностной или подземной выработки, то каждая линия опробования вводится как самостоятельная линия, начинающаяся в устье выработки в двух разных начальных точках. Отдельно вводятся трассы (или точки) забойных проб. Все введённые линии получают свои уникальные номера.

Соответственно для геологических характеристик (наложенной метасоматических изменений, плотности, геомеханических характеристик и др.), имеющих длину интервала описания отличную от длины интервала опробования или геологического интервала создаются самостоятельные таблицы с обязательным присутствием главного поля - номер скважины и соответствующих полей - глубина «от» глубина «до». Теоретически таких таблиц может быть сколь угодно много. Отдельная таблица создается каждый раз, когда есть необходимость фиксировать дополнительную геологическую информацию, а интервалы её измерения не совпадают ни с одним интервалом из других таблиц.

Точечные таблицы

Точечные геологические характеристики или данные каротажных исследований снятые в точке измерения скважин и выработок фиксируются в точечной таблице (глубина «до»). В структуре подобной таблицы имеется только два обязательных поля: номер скважины, глубина «до» и ещё 58 свободных полей.

Дискретные таблицы

Дискретная таблица (таблица 4, 5, 6, 7) характеризуется тем, что её главным полем является номер отобранного образца, а не номер скважины. Этот тип таблиц используется для сохранения данных для точки (точечной пробы) и соответственно структура таблицы включает 4 обязательных поля: НОМЕР ОБРАЗЦА и его координаты: X, Y, Z и ещё 56 свободных полей. Дополнительно в дискретной таблице может храниться информация по объемы пробы, дате опробования, типу отобранного материала и т.д. Дискретные таблицы идеально подходят для сохранения и дальнейшей обработки информации по геохимическим и минералогическим пробам, отобранным при картировании поверхности.

Таблица 4

Пример таблицы «Геология»

№ Выработки/скважины	Номера проб	Геологический интервал (ОТ)	Геологический интервал (ДО)	Геологический интервал (Длина, м)	Порода	Цвет	Текстура	Слоистость, линейность	Структура	Окисленность	Примечания, отобранные шлифы, образцы

Таблица 5

Пример таблицы кодов пород для таблицы «Геология»

Код пород	Название породы	Возраст	Типичные особенности
1	2	3	4
00	четвертичные кластические породы	четвертичные	Неконсолидированные аллювиальные и деллювиальные пески, суглинки, галечники и почвы.
10	девонские вулканогенно-осадочные породы, молассы	нижний-верхний девон	Красносветные терригенные кластические породы (конгломераты, песчаники, алевролиты, сланцы), зеленовато-серые известняки, эфузивные трахиты, туфы риолит-трахитов.
20	NNN свита вулканогенно-осадочных пород	нижний кембрий	Нерасчлененная толща с кодами пород 121-125
21	андезит-базальты	нижний кембрий	Эфузивные порфировые породы черного, зеленовато темно-серого и серого цвета с вкрапленниками (10-20%) светлого плагиоклаза (изометричные зёрна и таблички размером 3-5 мм) реже с вкрапленниками черного амфибала (2-4 мм), основная масса мелко-зернистая, микролитовая темно-серого цвета, порода на выветрелой поверхности порода имеет темно-зелёный цвет.
22	туфы андезит-базальтов	нижний кембрий	Вулкано-кластические афировые и средне-обломочные породы чёрного и тёмно-серого цвета с редкими (1-3 %) мелкими вкрапленниками плагиоклаза (вытянутые таблички размером 1-2 мм), порода на выветрелой поверхности порода имеет темно-зёлёный цвет. Встречаются лапиллевые туфы АБ (размер обломков 4-60 мм) и пепловые туфы АБ (размер обломков - 0,1-1 мм).
23	липарит-дациты	нижний кембрий	Эфузивные мелко-среднезернистые породы розовато-серого, розового и серого цвета с многочисленными изометричными вкрапленниками (20-50 %) зонального (центр-белый, край-розовый) полевого шпата (плагиоклаз+КПШ) зёрна размером 0,5-3 мм, основная масса мелко-тонкозернистая

Код пород	Название породы	Возраст	Типичные особенности
			4
			(0,1-0,3 мм) состоящая из каварца, полевого шпата и темной и светлой слюды (до 10%)
24	туфы липарит-дацитов	нижний кембрий	Вулкано-кластические афировые породы (гиалокластические, часто сливные гладкие на ощупь) буровато-серого, розового и розовато-тёмно-серого цвета, иногда встречаются редкие (3 - 5 %) мелкие (0.5 - 1 мм) изометричные вкрапленники полевого шпата. Порода имеет массивную, линзовидно-полосчатую и флюидальную текстура с чередованием участков серого и розового цвета, порода часто разбита сеткой трещин вторичной калишпатизации имеющей розовой цвет.
25	рассланцовые туффиты	нижний кембрий	Тонкозернистые кластические смешанные породы вулканогенного происхождения светло-зелёного, темно-зелёного и зеленовато-серого цвета. Породы микроплитчатые, слюдистые с характерным шелковистым блеском. По минеральному составу: биотитовые, биотит-плагиоклазовые и биотит-амфиболовые.
26	эпидот-хлоритовые метасоматиты		Мелкозернистые метасоматические породы серо-зеленого цвета, состоящие из эпидота, кварца, кальцита, иногда присутствует хлоритизированный пироксен, часто ассоциирует с гранат-кварцевыми скарнами и как правило развивается по андезито-базальтовым порфиратам и их туфам.
27	Скарны		Полностью метасоматически преобразованные мелко- и крупнозернистые породы состоящие из изометричных зёрен граната, эпидота и реже хлоритизированного пироксена. Все зерна сцепментированы интерстициальным тонкозернистым кальцитом (вспыхивает в соляной кислоте). По присутствию кварца выделяются кварцевые скарны (до 25 % кварца) и обычные бескварцевые скарны. Порода имеет пятнистый или полосчатый облик с переходом от участков светло-зелёного (с эпидотом салатового цвета), до серо-буровато-розового цвета (гранат андрадит-спесартин), серого цвета (участки обогащённые кварцем и голубовато-серо-зелёного цвета (обогащенных токозернистым хлоритизированным пироксеном).

Таблица 6

Пример таблицы «Минерализация»

Таблица 7

Пример таблицы кодов дополнительных геологических характеристик для таблицы «Минерализация»

Отсутствие признака	не описано "-1" (nl - not logged), не требуется для этого типа "-2" (nr - not required)	
Цвет	Первая буква - Основной цвет	Б - белый, Ч - чёрный, С – серый, Р - розовый, К - коричневый, З - зеленый, Б - бурый, О - оранжевый, Ж - жёлтый
	Вторая буква - Интенсивность	С – светлый, М - средний (реально основной цвет), Т – темный, Я -яркий
	Третья буква - Оттенок	Р – розоватый, К - красноватый, З – зеленоватый, О – окисленный, рыжеватый (гидроксиды железа), Б - буроватый, Ж – желтоватый, С - синеватый, Т - травинистый (оливковый), -2 - нет
Текстура	1 – массивная, однородная, 2 – слоистая, 3 – линзовидно-шлировая, 4 - миндалекаменная, 5 - катаакластическая, 5 – брекчиявая, брекчиевидная, 6 – охристая, сухаристая, ноздреватая	
Структура	1- порфировая, 2 - афировая, 3- сферолитовая, 3 - гранобластовая, 4 - порфиробластовая, 5- гнейсовая, гнейсвидная, 6 - пегматоидная, 7 - гранитная, гипидиоморфнозернистая, 8 - диабаз-офитовая, 9 - тонкокластическая (тонко-пепловая 0,1 - 1 мм), 10 среднеобломочная (крупно-пепловая, 1-4 мм размер обломков), 11 - крупнобломочная (лапиллевая, 4-60 мм размер обломков),	
Степень окисленности	1- высокая (все первичные сульфидные минералы и даже карбонаты металлов замещены гидроокислами железа), 2 -средняя, присутствуют первичные сульфиды совместно с окислами и карбонатами металлов, 3 - первично не окисленная зона, присутствуют только сульфиды металлов (Cu, Mo, Zn, Pb)	
Угол к оси керна (L ок)	В таблицу заносится средний для интервала угол к оси керна, в случае отсутствие слоистости ставится "-2" (не требуется)	
Прожилки	Условные символы латинскими буквами даются по минералам, в виде последовательности букв: Qtz - кварц, Pl - полевой шпат, Pl - плагиоклаз, Fsp – калиевый полевой шпат, Amf - амфибол, Px - пироксен, Bi - биотит, My - мусковит, Gr - гранат, Ca – карбонат, Ep – эпидот, Chl - хлорит, Fl - флюорит , Sulf - сульфиды, Mo- молибденит, Cr – халькопирит, Py - пирит, Ga- галенит, Sf - сфалерит, He – гематит, Po - повелит (карбонат , WM - вульфенит/молибдит (окислы Pb, Mo), Ma – карбонаты меди (малахит и азурит), Ir – сульфаты Mo (иордезит, ильземанит). Прочие минералы следует отметить в примечании.	
% Аплит-пегматитовых жил	В колонке отмечаются % пегматитовых и аплитовых жил и инъекций на 1 метр керна	
% Кварцевых жил, окварцевание породы	В колонке отмечаются % кварца на 1 метр керна, для дальнейшей классификации предполагается использовать коды: 1 - (0-1%, не проявлено), 2 - (2-5%, слабо проявлено), 3 -(6-10 %, проявлено), 4 -(11-25%, интенсивно проявлено), 5 - (26-50%, очень интенсивно проявлено), 6 - (51-100%, сплошное окварцевание и кварцевое ядро)	
Минеральные типы жил (код %)	В колонке отмечаются % указанного в колонке минерального типа жил на 1 метр керна	
Рудная минерализация (код %)	В колонке отмечаются % указанного в колонке типа рудной минерализации на 1 метр керна	
Вторичные метасоматические изменения (код %)	В колонке отмечаются % указанного в колонке типа метасоматических изменений на 1 метр керна (калишпатизации- Fsp-Ser; скарнирования - Gr-Ep-Px-Ca-Qtz; хлоритизации с эпидотизацией и серицитизацией - Ep-Chl)	

Таким образом обобщить структуру Базы Данных можно следующим образом:

По скважинам:

- Устья скважин – данные о местоположении скважин. Поля: Скв (№ скв.); Север (X); Восток (Y); Превышение (Z); Глубина скважины.
- Инклинометрия – данные об пространственном искривлении скважин. Поля: Скв (№ скв.); Глубина съемки (замера); Азимут; Погружение (угол падения скважины).
- Опробование – данные об опробовании керна скважин. Поля: Скв (№ скв.); № пробы, От; До; Поля с содержаниями.
- Геология – данные по литологии, стратиграфия. Поля: Скв (№ скв.); От; До; Литологические коды, стратиграфическая колонка.
- Другие характеристики скважин (каротаж, гидрогеология и т.д.).

По поверхностным выработкам (канавам, траншеям и т.п.):

- Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок Поля: № точки; Север (X); Восток (Y); Превышение (Z).
- Опробование – данные об опробовании борозд. Поля: Борозда (№); № пробы, От; До; Поля с содержаниями
- Другие характеристики по выработкам (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.)

По опробованным подземным выработкам:

- Каталог маркшейдерских точек по трассам выработок. Поля: № точки; Север (X); Восток (Y); Превышение (Z).
- Опробование – данные об опробовании борозд. Поля: Борозда (№); № пробы, От; До; Поля с содержаниями
- Другие характеристики по выработкам (литология, стратиграфия, тектоника и т.д.).

Для бороздовых проб данные о координатах устьев и горизонтальных (вертикальных) проложениях можно получить из каталога маркшейдерских точек выработок. Первая маркшейдерская точка в большинстве случаев является координатой устья данной выработки. Если линия опробования начинается не от первой маркшейдерской точки, необходимо указать расстояние от нее. Отдельно необходимо дать следующую информацию для маркшейдерских точек в подземных (поверхностных) выработках. Следует указать:

- где устанавливались эти точки: в подошве, кровле или на стенке выработки;
- размеры выработок (высота и ширина подземных выработок, ширина и глубина канав);
- на какой высоте от подошвы отбирались пробы;
- положение начальной точки опробования по линии, относительно первой маркшейдерской точки выработки.

Данные по топографии, геологические планы, карты, разрезы, проекции рудных тел.

Вся эта информация вводится из максимально достоверных источников, обычно из первичных материалов непосредственно на месте, где всегда легче получить недостающие данные или требуемое разъяснение по непонятным вопросам. Желательно, чтобы в этой работе участвовали геологи, хорошо знающие месторождение. Это значительно сокращает время работы, облегчает поиск требуемых данных и их сортировку.

Необходимая информация выбирается из первичных геологических материалов, достоверность которых не вызывает сомнения.

IV. БЛОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Проверка введенной первичной информации

Ошибки исходных данных имеют разное происхождение и природу. Полностью их исправить невозможно, однако, используя некоторые, описанные ниже правила, можно существенно сократить их количество.

Ошибки первичных геологических материалов. Они встречаются очень часто и в большом количестве. Это могут быть элементарные (грубые) ошибки координат, которые легко обнаружить после сопоставления, например, табличных данных с графикой и с изображениями, полученными в Datamine или Micromine. Хуже, когда такие ошибки незначительны и распространяются, например, на содержания металлов в руде. Такие ошибки практически неустранимы. Чаще всего они связаны с некачественной перепечаткой многотомных геологических отчетов, неаккуратным заполнением первичных журналов, паспортов скважин и т.п.

Ошибки ввода данных

После ввода в компьютер информация обязательно должна быть тщательно проверена. Существует несколько стандартных методик проверки, но у каждой компании существует свои технологии проверки данных и нормативы допустимых ошибок.

А) После ввода какой-то части информации посторонний (не участвующий в первичном вводе) персонал сверяет 10% введенных данных с первоисточниками. Если ошибки встречаются более чем в 1-5% записей, то снова проверяется уже 50% введенной информации. Если и в этом случае уровень ошибок превышает допустимый, то перепроверяется вся введенная информация, а выявленные ошибки тщательно исправляются. Затем процесс проверки повторяется до тех пор, пока уровень ошибок на первом этапе не будет выходить за пределы допустимого уровня.

Б) Одни и те же данные вводятся одновременно двумя операторами, независимо друг от друга. После этого, 2 полученные таблицы сортируются и сравниваются в Excel. Отличающиеся строки отбраковываются и снова вводятся одновременно двумя операторами, а затем снова сравниваются. Как правило, количество таких итераций достигает трех-четырех. Только после достижения полного соответствия информации, введенной двумя независимыми операторами, она считается принятой, и может использоваться в дальнейшей работе.

С) Введенные дигитайзером графические материалы выводятся на плоттер в масштабе оригинала и печатаются на прозрачной бумаге (кальке) или введенные и оцифрованные графические материалы визуализируются на экране компьютера с привязанными растровыми изображениями и проверяются сторонним оператором. После этого они накладываются на оригиналы, и все выявленные ошибки и отклонения устраняются либо новым вводом данных дигитайзером, либо корректировкой информации непосредственно в окне проектирования Datamine или Micromine. Таким же образом поступают при проверке введенной и обработанной информации по скважинам и бороздовым пробам. С первичными материалами сравнивают информацию, полученную в системе Datamine или Micromine и выведенную на кальке в том же масштабе:

- Горизонтальные проекции наклонных скважин
- Планы размещения скважин и топография поверхности
- Планы опробования подземных выработок и поверхности
- Основные геологические разрезы по месторождению

Первичная обработка введенной информации.

Поскольку текстовая информация вводится в компьютер в основном с помощью программ Access, Excel, или специализированных программных продуктов Geobank, Fusion, Следующим шагом является импорт ее в систему Datamine, Micromine, проверка и преобразование данных опробования.

На первом этапе следует преобразовать информацию о пробах в 3-х мерный вид, когда каждая проба имеет собственные 3-х мерные координаты центра, инклинометрию, все параметры опробования, геологические и другие характеристики.

После ввода всех нужных файлов необходимо их проверить и объединить. При создании динамических скважин такие проверки производятся автоматически, а информация появляется в соответствующем окне.

- Наличие дублирующих записей во всех файлах
- Наличие пропусков в интервалах опробования по скважине
- Наличие первого интервала, начинающегося с 0
- Наличие первого замера инклинометрии в устье выработки
- Наличие «перехлестываний» интервалов опробования
- Наличие информации о каждой скважине во всех файлах: координат устьев, инклинометрии, опробования, геологии и т.д.

Обычно, в состав проверок, кроме перечисленных, еще включают проверки на допустимые величины координат, содержаний и других параметров, для которых, хотя бы примерно, известны минимальное и максимальное значения. Эта проверка обычно осуществляется расчетом (для нужных полей) основных статистических параметров, в состав которых включено определение минимума и максимума.

После получения результатов проверок (все ошибки записываются в соответствующие текстовые файлы). Все выявленные ошибки должны быть исправлены.

После исправления ошибок в исходных файлах операции по вводу данных повторяются заново.

В итоге, Вы получаете файл опробования скважин, который можно посмотреть в окне проектирования и, если повезет, заметить новые, иногда грубые ошибки.

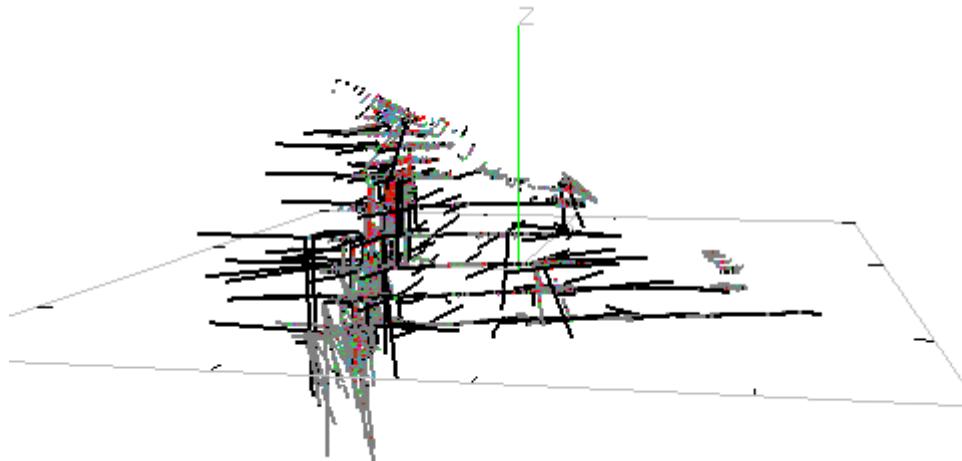


Рис.1 Пример. Размещение разведочных выработок на одном из золоторудных месторождений.

Особого подхода требует кодирование названий и номеров выработок. Поскольку эта информация может повторяться на разных горизонтах, то во избежание дублирования и связанных с ним ошибок, необходимо вводить в номер выработки дополнительные символы, чтобы сделать его уникальным:

- Код названия выработки
- Номер выработки
- Код или номер горизонта
- Код стенки выработки, по которой велось опробование.

Оценка контроля качества опробования

Для оценки качества опробования существуют следующие процедуры:

- внешний и внутренний контроль лабораторных анализов;
- построение графиков с результатами дубликатов аналитических проб;
- проведение анализа стандартных проб (как правило, международно признанных или сертифицированных по международным стандартам);
- проведения анализов и графическая визуализация бланков (холостых пробы) с «нулевыми» содержаниями полезного компонента.

Данный подход к оценке качества опробования является международно-признанный и применяется на всех крупных горнодобывающих предприятиях.

Анализ исторических и современных данных

Проведение визуального и статистического анализа исторических данных опробования и современного опробования (для каждого вида опробования по периодам). Сравнение результатов заверочных работ. Принять решение по данным проведенного анализа о нецелесообразности включения или исключения всех исторических данных или исключения из подсчета запасов, какого-либо метода исторического опробования.

Статистический анализ данных опробования

Статистический анализ данных опробования выполнялся с целью определения уровня «природного» («естественного») бортового содержания, а также для изучения однородности массива данных и установления границ предположительно однородных выборок.

Для того, чтобы получить корректные результаты, необходимо предварительно привести пробы к одинаковой длине – композировать. В противном случае существует опасность получить смещенное среднее выборки. Прежде всего выбирается длина композирования, к которой будут приведены все пробы в Вашем файле опробования. Чаще всего эту длину находят как среднюю длину реальных проб.

При композировании и объединении частей смежных проб в одну все числовые поля (кроме числового поля Название выработки) пересчитываются. Поэтому, если вы кодировали какие-то характеристики руды/породы, зоны, рудные тела фиксированными числовыми кодами, то после композирования вы не сможете нормально выполнять фильтрацию полученных данных по этим полям. Также невозможно впоследствии интерполировать эти характеристики по блочной модели методом ближайшей пробы. Вы получите нереальные значения в блоках.

Поэтому некоторые эксперты используют композированный массив проб только для статистических вычислений. Все дальнейшие расчеты делаются с массивом не композированных проб. Если большинство рудных проб массива имеет более или менее постоянную длину, то такая стратегия вполне оправдана.

Первый статистический расчет – определение основных статистик выбранных множеств проб. Желательно иметь под рукой результаты расчетов по всему массиву проб, а также по:

- Каждому рудному телу
 - Каждому типу руды
 - Каждому виду опробования
- Пример статистики по пробам.

TOTAL NUMBER OF RECORDS (Число записей)
 29739
 NUMBER OF SAMPLES (Число проб)
 29662
 NUMBER OF MISSING VALUES (Число отсутствующих величин)
 77
 NUMBER OF VALUES > TRACE (Число величин, больших чем следы)
 29085
 MAXIMUM (Максимум)
 39.0
 MINIMUM (Минимум)
 0.0
 RANGE (Разброс значений)
 39.0
 TOTAL (Сумма всех величин)
 147258.5
 MEAN (Среднее)
 4.9646
 VARIANCE (Дисперсия)
 46.49
 STANDARD DEVIATION (Стандартное отклонение)
 6.819
 STANDARD ERROR (Стандартная ошибка)
 0.39
 SKEWNESS (Асимметрия)
 2.668
 KURTOSIS (Эксцесс)
 8.247
 GEOMETRIC MEAN (Геометрическое среднее)
 2.3258
 SUM OF LOGS (Сумма логарифмов)
 24549.9
 MEAN OF LOGS (Среднее логарифмов)
 0.8
 LOGARITHMIC VARIANCE (Логарифмическая дисперсия)
 1.78
 LOG ESTIMATE OF MEAN (Логарифмическое среднее)
 5.6

Следующий шаг – анализ распределений исследуемых величин, и прежде всего – содержаний полезных компонентов в руде. Это делается с помощью процесса построения гистограмм. Гистограммы удобнее строить в программе Excel. Гистограмма помогает определить неоднородные массивы данных, состоящие из 2-х и более генетически разнородных множеств, которые желательно обрабатывать и рассматривать раздельно.

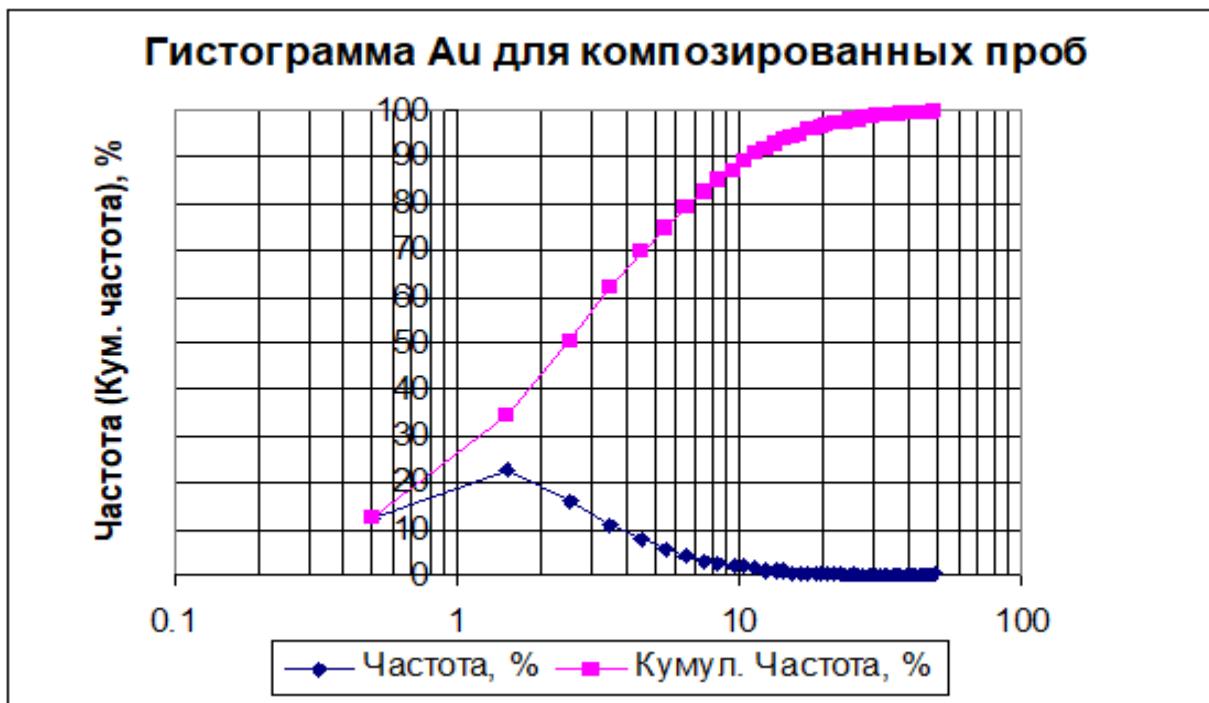


Рис.2 Пример. Гистограмма (логарифмическая) содержания золота в пробах, выполненная в программе Excel

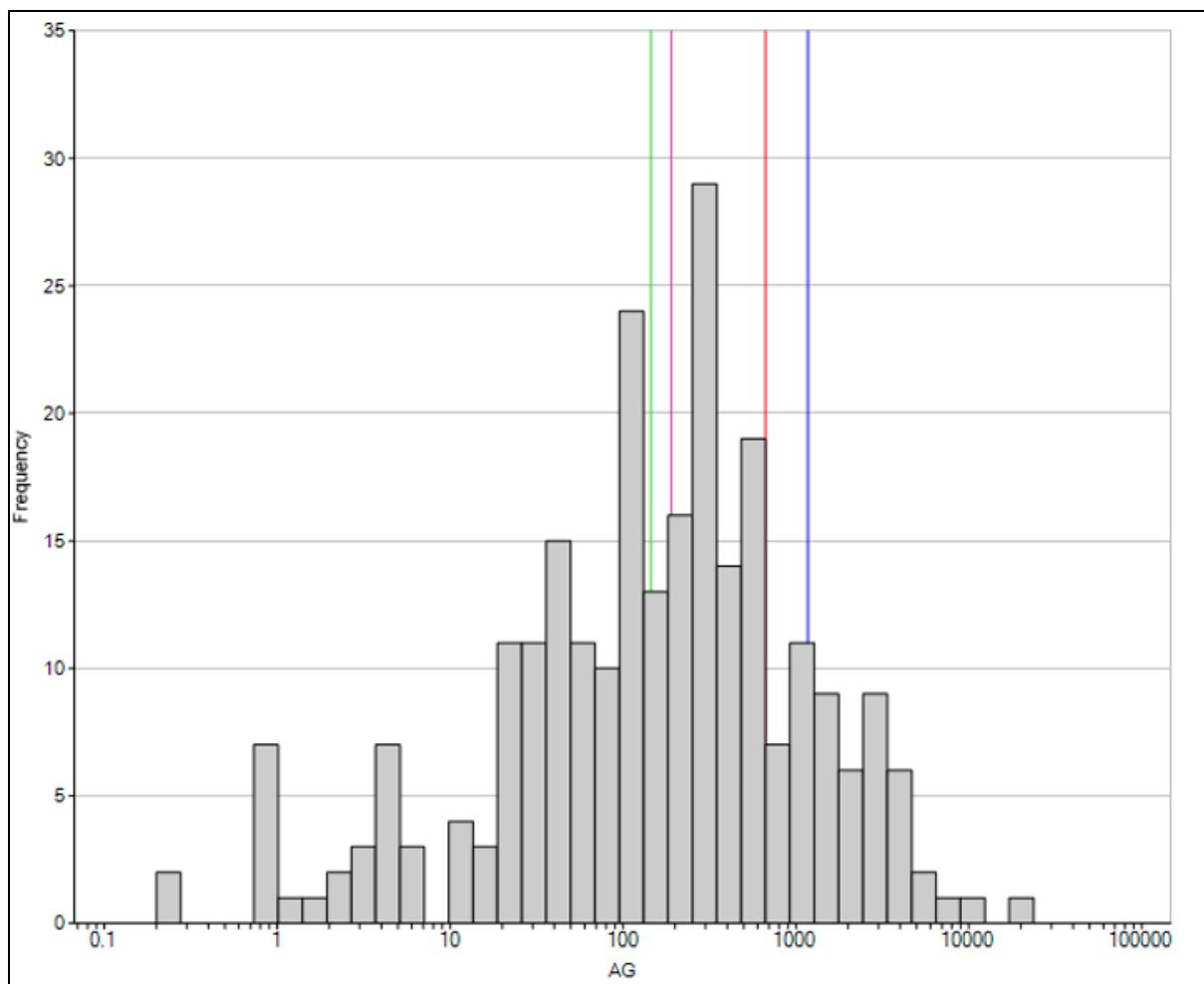


Рис.3 Пример. Накопительная логарифмическая гистограмма по серебру

Если Ваши пробы исследованы на содержание нескольких компонентов, или разными способами, то бывает полезным выполнить для них корреляционный анализ. Получив такую информацию, мы можем исследовать характер этой связи с помощью регрессионного анализа. Эту операцию также лучше делать в Excel или другом специализированном статистическом пакете.



Рис.4 Пример диаграммы разброса и линии регрессии (линейной), выполненной в Excel.

Интерпретация литологических разностей

Вся геологическая интерпретация литологических разностей и оконтуривание рудных тел проводится с учетом геологических знаний о строении месторождения. При построении рудных тел и литологических разностей используются все имеющиеся материалы, а именно, данные по историческому бурению, данные по современному бурению, данные канав и подземных горных выработок, а также планы и разрезы, созданные геологами непосредственно на месторождении.

Интерпретация литологических разностей проводилась по полю ROCK (поле с кодировкой геологической информации) отвечающее за литологическую характеристику пород. Каркасы геологических разностей строятся в горно-геологических программах Leapfrog Geo, Datamine или Micromine. На основании анализа отчетов предшественников и визуального анализа расположения литотипов в пространстве создается укрупненная легенда, которая в дальнейшем использовалась при интерпретации.

Ниже в таблице представлен пример, кодировки.

Укрупненная легенда	Код в БД	Расшифровка кода
AND	a	Андезит
	abz	Андезибазальт
	adk	дайка андезитов
	ai	Игнимбриты андезитовые
	an	андезиты
	and_prf	Андезиты порфировые
	and_tf	Туфы андезитов
	bdk	дайка базальтов
	bzl	Базальты
BRC	gb	Габброиды
	BRC	Эксплозивная брекчия
	BRG	Гидротермальная брекчия
	BRT	брекчии тектонические
	cr	Тектоническая брекчия
	ml	Миланит
BZ	MYL05	Миланит
	ab	Андезибазальт
	abdk	андезибазальты дайка
	anbz	андезибазальты
	b	Базальты
	bz	Березит
	dl	Долерит
DELUV	dol	долериты
	del	Делювий
DIOR	th	техногенные отложения
	d	дацит
	dc_tf	Туфы дацитов
	di	Игнимбриты дацитовые
	dr	Диориты
GRANIT	dr_pv	Диорит-порфириит
	gdr	Гранодиорит
	gn	гранит
	gr	Гранит
IGN_PSF	gr_prf	Гранит-порфир
	ign_psf	Игнимбрит псефитовый
	ign_psf_mt	Игнимбрит псефитовый изменённый
IGN_PSM	f	Фельзиты
	ign_psm	Игнимбрит псаммитовый
	ign_psm_mt	Игнимбрит псаммитовый

Укрупненная легенда	Код в БД	Расшифровка кода
		изменённый
MT	mt	метасоматит
OTHER	ar	аргиллиты
	arg	аргиллизиты
	ewc	элювиальная кора выветривания
	ND	нет данных
	sn	Сиенит
	tr_gl	трещиноватость с глиной суглинками
	ts	туфопесчаники
	zd	зона дробления
Q	intq_v	зона прожилкования
	q	Жила кварцевая
	q_pst	Жила пиролюзит-кварцевая
	q_pst_v	Зона пиролюзит-кварцевого прожилкования
	q_v	зона кварцевого прожилкования
	SQV	Вторичные кварциты
	vn_ad_q	жила адуляр-кварцевая
	vn_adq	жила адуляр-кварцевая
	vn_cl	жила хлоритовая
	vn_cl_f	Жила хлорит-полевошпат- кварцевая
	vn_p_q	жила пиролюзит-кварцевая
	vn_q	жила кварцевая
RIO	r	риолит
	rd	риодацит
	rdc	риодацит
	rdi	Игнимбриты риодацитовые
	rdt	Туфы риодацитовые
	ri	Игнимбрит риолтовый
	rl	риолит
	rl_mt	Метасоматит по риолитам
	rt	туфы риолитов
	rtfbt	Туфобрекции риолитовые
	tr_gl	трещиноватость с глиной суглинками

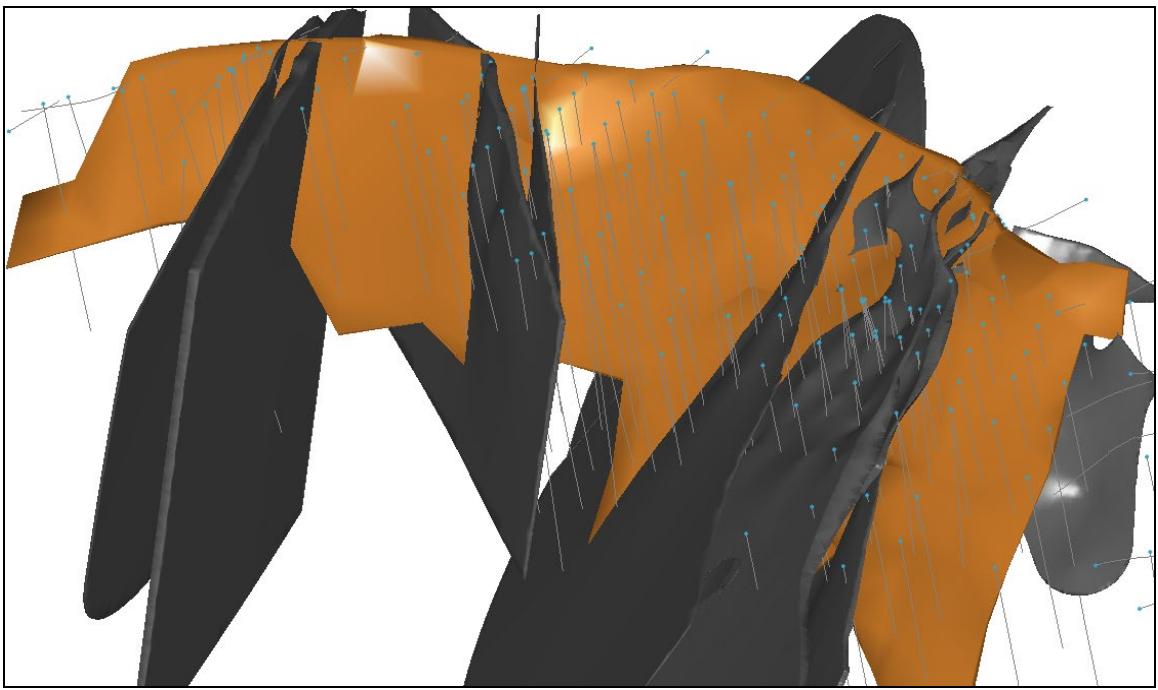


Рис.5 Пример. Интерпретация даек андези-базальтов (серое)

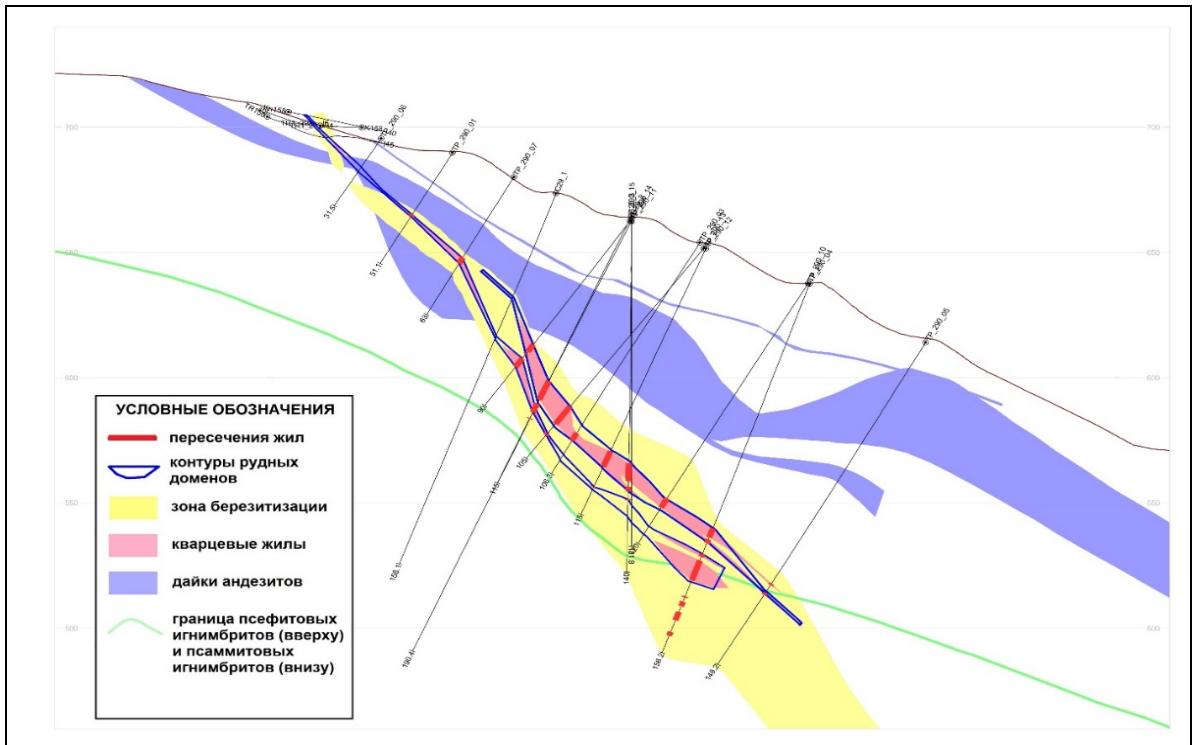


Рис.6 Пример. Интерпретация литологических разностей с выделением «стержневых» жильных структур, расцвечена по литологическим разностям

Интерпретация разрывных нарушений

Интерпретация тектонических нарушений выполняется с учетом всей имеющейся геологической информации. В ходе разведочных буровых работ диагностируются тектонические, пострудные нарушения в пределах месторождения. Выявленные геологические данные тектонических зон, кодируются. В последующем все выделенные интервалы интерпретируются в пространстве с пошаговой программой Lepfrog Geo, Datamine или Micromine в трёхмерные каркасы.



Рис.7 Пример. Керна скважин. Зоны дробления

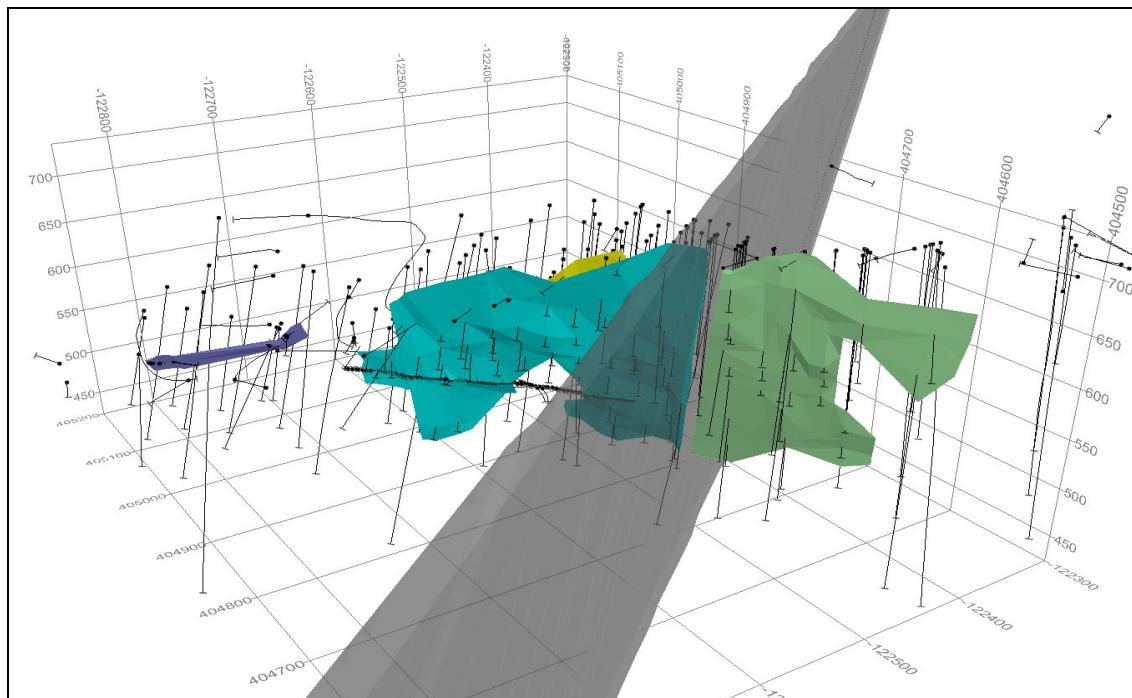


Рис.8 Пример. Зона разлома (серое) ее влиянием на рудные тела

Выделение доменов (рудных тел, рудных зон)

На основании данных литологических тектонических разностей, и геологических особенностей месторождений проводится визуальный анализ расположения рудных тел в пространстве. Определяются морфология, тип месторождения (штокверк, жила, минерализованная зона и т.д.). Выявляется закономерность распределения полезного ископаемого (связано только с жилами, связано с зоной брекчирования, связано с зонами метасоматоза, минерализация выделяется только по данным опробования, и т.д.).

Выделение доменов рассчитывается в пределах области

предполагаемого развития промышленного оруденения, отработка которого окажется рентабельной при современном состоянии экономики.

Выделение доменов производится на основании анализа геологической информации. Наиболее корректным является выделение области развития рудной минерализации в геологических границах. Если это невозможно, то для ее выделения используются информация, о геологическом строении, данных опробования, данные геофизики и т.д.

Выделение рудных интервалов производится по данным опробования, до использования (если это необходимо) процедуры композитирования.

Исходя из особенностей математического аппарата, использующегося в геостатистике, рассматриваемая переменная (содержание полезного компонента, запас полезного компонента, объемная масса и т.д.) должна удовлетворять требованию стационарности, что в свою очередь требует того, чтобы выделяемый для построения блочной модели объем был однородным по распределению исследуемого компонента. Однородность обеспечивается разделением месторождения на отдельные участки (домены). Как один из вариантов, домены могут совпадать с блоками, выделяемыми при традиционном подсчете запасов. Требование однородности выделяемых доменов является обязательным при расчете блочной модели и в случае использования для расчетов не геостатистических методов, например, расчет содержаний в блочной модели методом обратно пропорционально квадрату расстояния.

Обоснование корректности проведенного выделения доменов для расчетов блочных моделей проводится с использованием анализа геологической информации (описание геологических структур, литологических особенностей, характера минерализации и т.д.). в пределах отдельных доменов и статистическими методами (характеристика доменов по основным статистическим показателям, определение основных направлений изменчивости оруденения внутри доменов и т.д.). Недостаток информации для обоснования однородного строения выделяемых доменов свидетельствует о недостаточной изученности месторождения для применения геостатистических методов подсчета. В этом случае традиционные методы подсчета запасов дают более корректные результаты, чем геостатистические.

При оконтуривании рудных тел, должен присутствовать зональный контроль (каждое рудное тело и незначительные маленькие рудные тела должны иметь свой идентификационный номер).

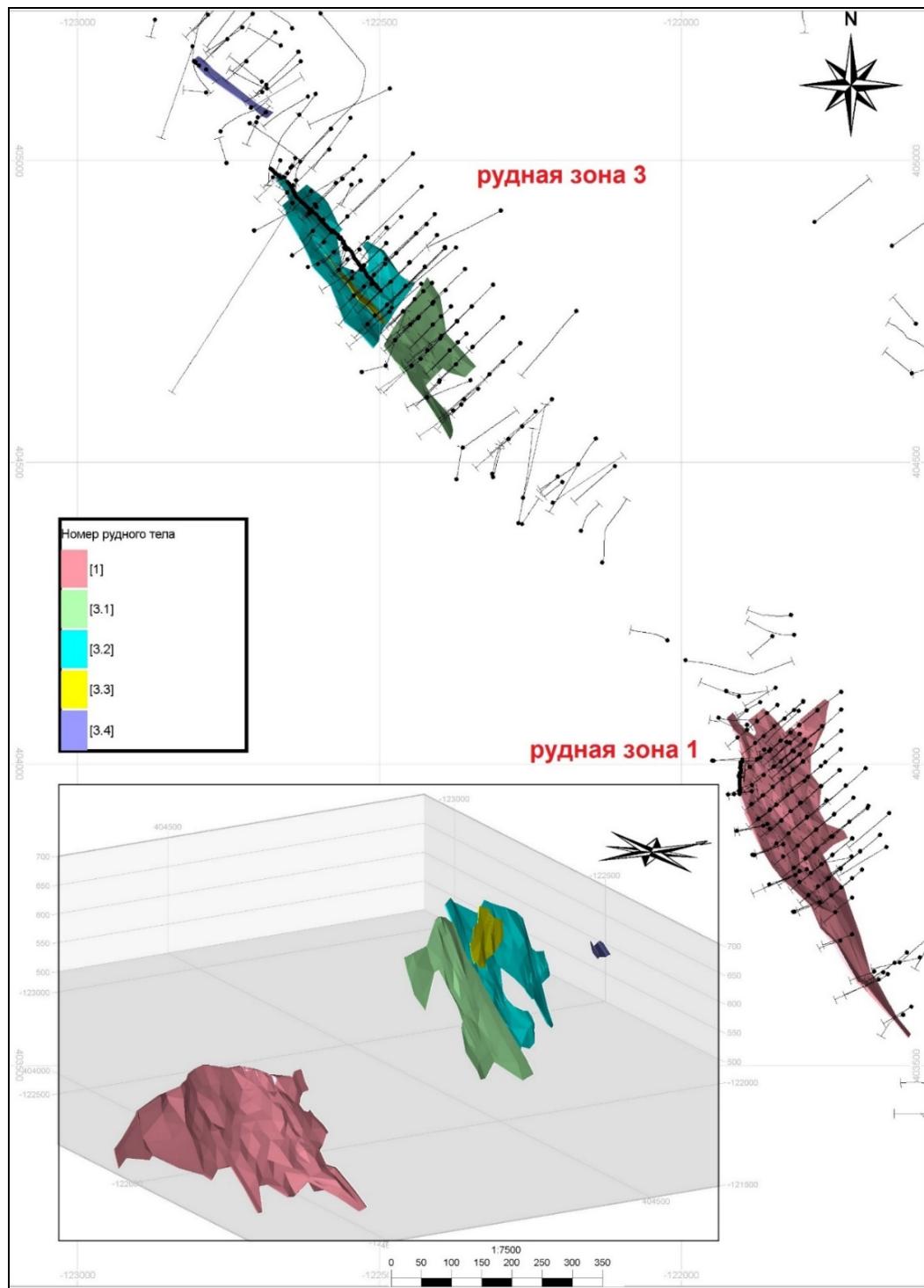


Рис.9 Пример. Схема расположения рудных тел в плане и изометрии

Интерпретация рудных тел (каркасное моделирование рудных тел)

При оконтуривании рудных тел, выклинивание проводится методом экстраполяции на половину расстояния до оконтуривающих выработок (с некондиционными параметрами), а при отсутствии оконтуривающих выработок, на расстояние равное половине до соседней выработки в контуре. По простирианию экстраполяция проводится на половину разведочной сети с учетом геологических факторов. Для подвесок экстраполяция проводится на половину разведочной сети.

Рудные тела, оконтуриваются на основании не менее 4 пересечений.

На основе созданных контуров, создаются замкнутые каркасные модели рудных тел. Каркасы должны незначительно выступать за пределы топографической поверхности, чтобы в последующем полученную модель обрезать топографической основой.

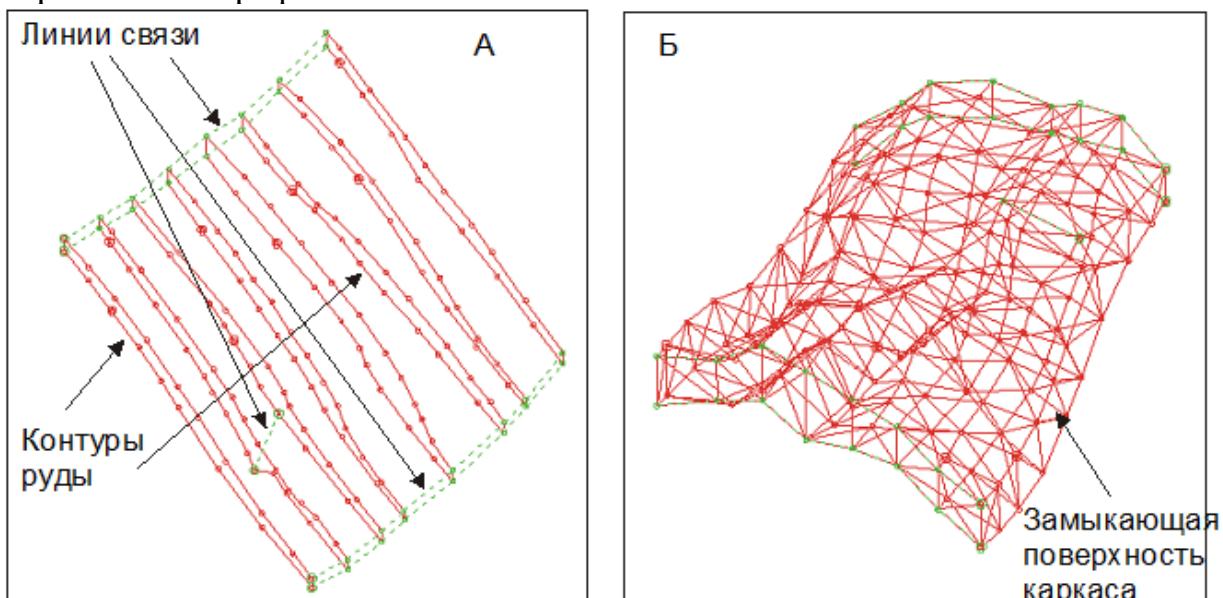


Рис. Пример. Стадии процесса создания каркаса: А) связывание контуров, Б) триангуляция и замыкание каркаса.

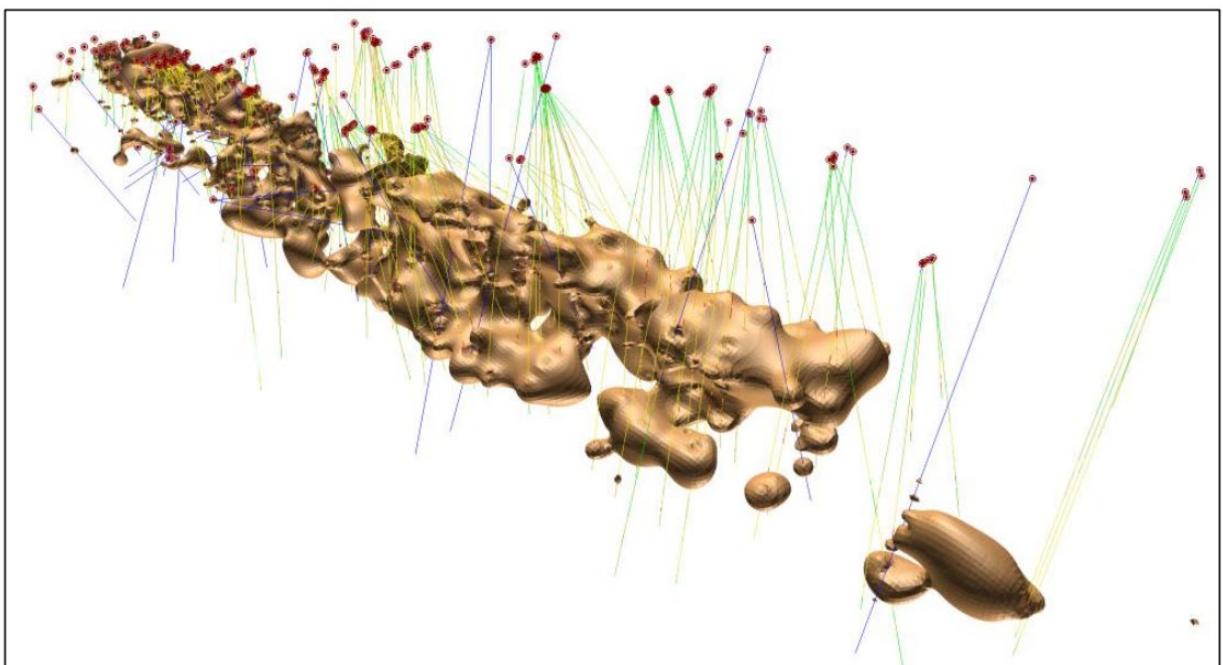


Рис.10 Пример. Условное каркасное моделирование, радиально базисная функция (РБФ)

Проверка корректности каркасов рудных тел

Построенные каркасы прошли проверку на следующие ошибки:

- проверка на пересечения каркасов рудных тел между собой;
- проверка каркасов рудных тел на открытые треугольники;
- отсутствие прочерков в полях наименований рудных тел (для зонального контроля);

- проверка привязки каркасов к концам проб на контактах руда-порода.
- проверка на ошибки триангуляции.
- визуальная проверка
- математическая проверка

Примеры ошибок ниже на картинках.

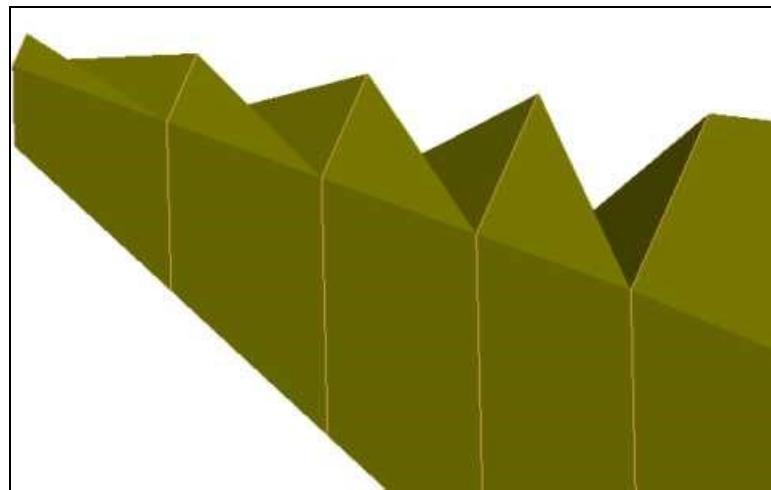


Рис.11 Пример. Зубья пилы в визуально неверной каркасной модели

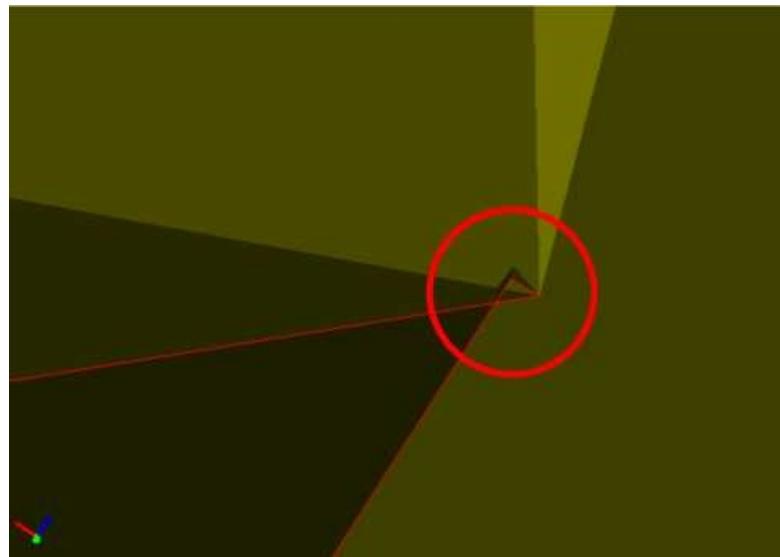


Рис.12 Пример. Пересечения между отдельными каркасами

Композирование интервалов

Необходимость композитирования определяется в каждом конкретном случае. Если все пробы имеют равную длину необходимость композитирования отпадает. Различная длина проб обычно связана с дифференцированным опробованием участков рудного тела, различающихся по составу пород, и отражает изменчивость содержания в этих породах. Мощность таких участков может различаться на порядок. После композитирования, пересчитанные пробы отражают изменчивость по

интервалам композитирования. Проведение композитирования до выделения границ оруденения приводит к смещению границ. В этом случае, как правило, происходит снижение среднего содержания полезного компонента в пределах рудного тела. Композитирование проводится внутри доменов.

Композитирование приводит к изменению статистических характеристик распределения изучаемого параметра, в частности, к уменьшению дисперсии, изменению среднего, анизотропии. Качество композитирования определяется минимизацией влияния этой процедуры на статистические показатели распределения. После проведения композитирования проводится всесторонний статистический анализ выделенных доменов с целью подтверждения однородности их строения.

Влияние композитирования на расчет блочной модели зависит от конкретной геологической обстановки и особенностей проведения геологоразведочных работ на месторождении. В общем случае, Композитирование приводит к «размазыванию» оруденения. Поэтому размер «композита» не должен превышать значение «минимальной рабочей мощности рудного тела».

Перед тем как производить статистический анализ, пробы должны быть композированы (приведены к равной длине). Это сделано для того, чтобы избежать смещенной оценки при построении модели.

Анализ выполнялся только для проб, выбранных каркасами рудных тел.

Создается таблица сопоставления изменения статистических показателей длин проб до и после композирования.

Домен	Тип выборки	Компонент	Кол-во проб	Минимум	Максимум	Среднее	Общая длина
0	Исходная	LENGTH	1377	0.1	1.7	0.8	1076.45
	Композированная	LENGTH	1089	0.2	1.4	1.0	1076.35
1	Исходная	LENGTH	145	0.1	1.5	0.7	98.4
	Композированная	LENGTH	105	0.3	1.4	0.9	98.4
2	Исходная	LENGTH	588	0.05	1.5	0.7	420.25
	Композированная	LENGTH	435	0.3	1.4	1.0	420.05
3.1	Исходная	LENGTH	58	0.1	1.5	0.6	35.4
	Композированная	LENGTH	42	0.3	1.4	0.8	35.4
3.2	Исходная	LENGTH	229	0.1	1.7	0.7	154.0
	Композированная	LENGTH	176	0.3	1.4	0.9	154.0
3.3	Исходная	LENGTH	21	0.1	1	0.6	12.1
	Композированная	LENGTH	16	0.3	1.3	0.8	12.1
3.4	Исходная	LENGTH	37	0.1	1.2	0.6	23.1
	Композированная	LENGTH	25	0.6	1.3	0.9	23.1
11	Исходная	LENGTH	69	0.1	1.5	0.7	46.7
	Композированная	LENGTH	48	0.7	1.4	1.0	46.7
22	Исходная	LENGTH	48	0.2	1	0.6	30.5

Домен	Тип выборки	Компонент	Кол-во проб	Минимум	Максимум	Среднее	Общая длина
	Композированная	LENGTH	31	0.6	1.3	1.0	30.5

Общее статистическое исследование данных опробования для доменов

Статистический анализ включает: статистический анализ; декластеризацию исходных данных; определение границы урезки ураганных проб, корректировку «ураганных» содержаний полезных компонентов.

Перед началом моделирования очень важно провести элементарный статистический анализ данных. Это позволяет понять, с каким типом распределения минерализации мы имеем дело (нормальным, логнормальным) и определить неоднородность массива данных, что может быть связано с несколькими генерациями минерализации полезного компонента. Полигенетические разнородные множества желательно обрабатывать и рассматривать раздельно. Если пробы исследованы на содержание нескольких компонентов, или разными аналитическими методами, то необходимо выполнить для них корреляционный анализ с построением линии регрессии внутри программ 3-х мерного моделирования или другом пакете программ имеющий функции статистической обработки данных. Корреляционный анализ позволяет предварительно выявить экстремальные значения проб, не укладывающиеся в общую линию регрессии. На этом этапе, возможно, применить и другие виды многомерного статистического анализа.

Проводится классический статистический анализ с целью изучения однородности массива данных и установления границ предположительно однородных выборок для дальнейшего разделения на домены. Стятся гистограммы, диаграммы на которых можно увидеть, практически все характеристики распределения проб в пространстве по доменам.

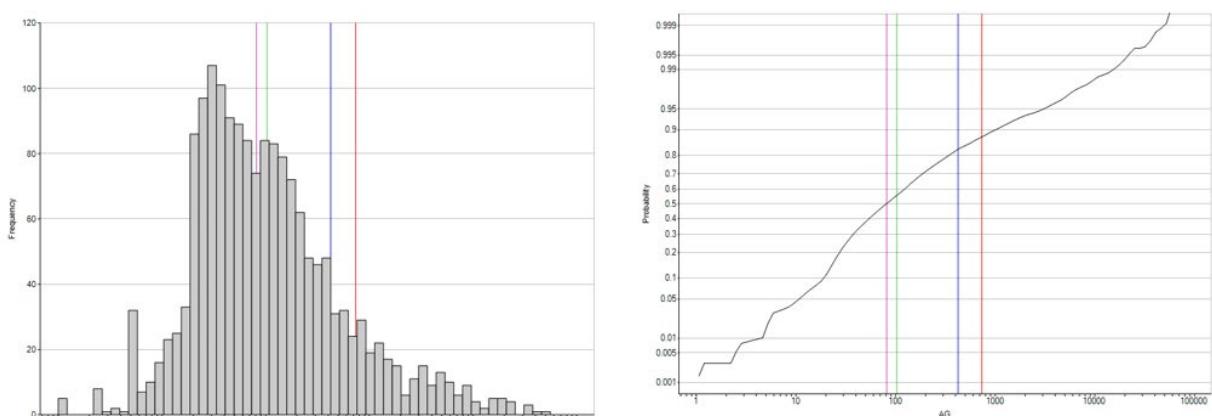


Рис.13 Пример. Накопительная и probability логарифмические гистограммы по AG

Декластеризация данных. Эта операция выполняется в том случае, если плотность геологоразведочной сети была избирательно

сконцентрирована на наиболее богатых участках рудных тел. Если такой массив первичных данных непосредственно использовать для интерполяции содержаний, то вполне возможно произойдёт смещение оценки среднего содержания. Во многих программах 3-х мерного геолого-математического моделирования существует специальная операция, которая позволяет осуществить декластеризацию данных перед использованием их в интерполяции содержаний.

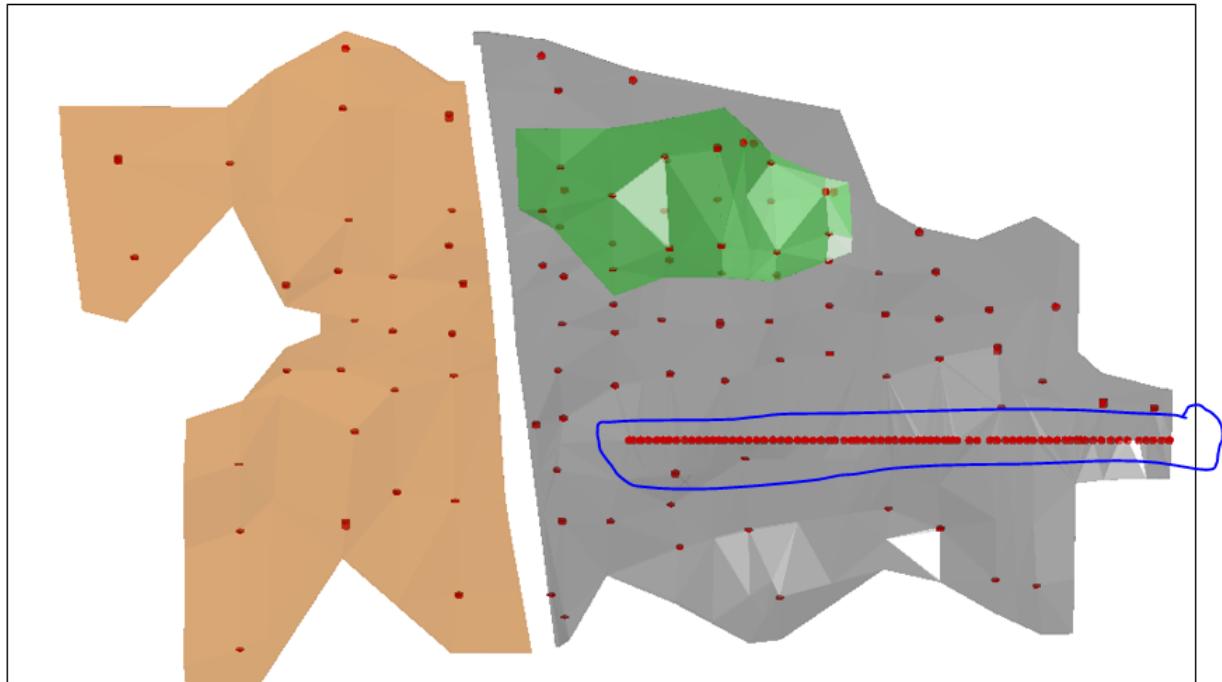


Рис.14 Пример. Проекция с размещение проб (присутствует участок высокой концентрации проб)

В системе Датамайн имеется процесс DECLUST, который осуществляет декластеризацию данных перед использованием их в интерполяции содержаний. На входе в него задается следующая информация:

- Исходный файл опробования
- Метод декластеризации:
- Случайный выбор пробы внутри заданной ячейки сетки (каждый раз новый выбор)
- Псевдослучайный выбор проб внутри ячейки сетки (всегда повторяется)
- выбирается ближайшая к центру ячейки сетки пробы
- используется среднее проб внутри ячейки сетки
- Размеры сети для 3-х осей координат
- Координаты начальной точки декластеризации

На рис. показаны результаты декластеризации массива проб программой DECLUST по сетке 10*10 м.

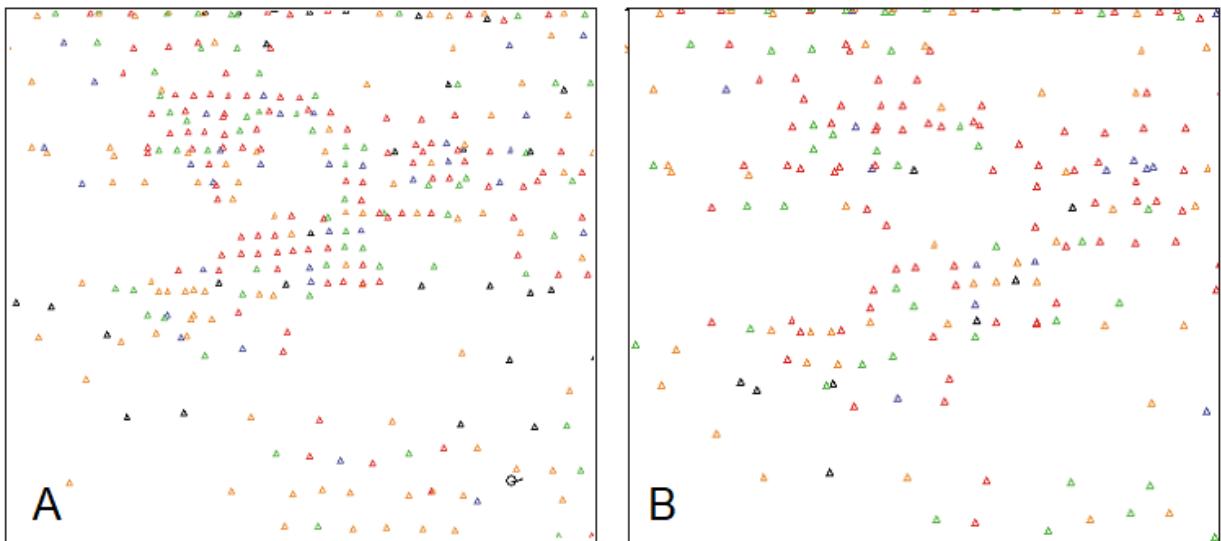


Рис.15 Пример. Размещение проб на участке: А – до декластеризации, В – после нее, при выборе ближайшей пробы к центру ячейки сетки.

Ограничение влияния «ураганных» содержаний

Ограничение влияния «ураганных» содержаний является страховочной процедурой, призванной компенсировать не представительность выборочных данных опробования, участвующих в подсчете запасов по отношению к природному распределению содержаний полезного компонента в пределах месторождения. Эта не представительность проявляется, как правило, для класса высоких содержаний, вероятность встречи которого для распределения изучаемого параметра на месторождении на самом деле ниже, чем по данным опробования, имеющимся в распоряжении геолога.

Методика ограничения влияния «ураганных» содержаний использующаяся при расчете блочной модели должна соответствовать таковой процедуре в используемом альтернативном способе подсчета запасов. В противном случае сопоставление таких подсчетов затруднено.

Для определения границы урезки ураганных проб производится на основе анализов графиков: логарифмических гистограмм (log histogram), логарифмический вероятностный график (log probability plots), график ранжированного ряда содержаний композитов, а также проводился анализ коэффициента вариации (CV) и квантильный анализ. Анализ композитов проводился в пределах выделенных доменов для золота или серебра.

На гистограммах и вероятностных графиках выявляется граница области с аномально высокими содержаниями в композитах, которые могут иметь значительное влияние на локальную оценку, одновременно проводился анализ коэффициента вариации (CV). Далее, на основе квантильного анализа и анализа ранжированного ряда содержаний, определяются точные границы для урезки выдающихся содержаний.

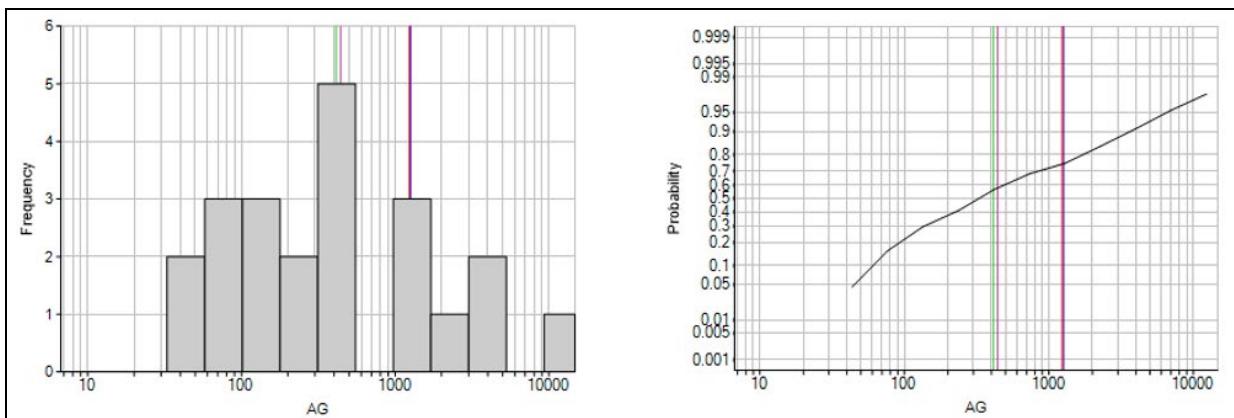


Рис.16 Пример. Логарифмические гистограмма и вероятностный график распределения содержаний в пределах домена

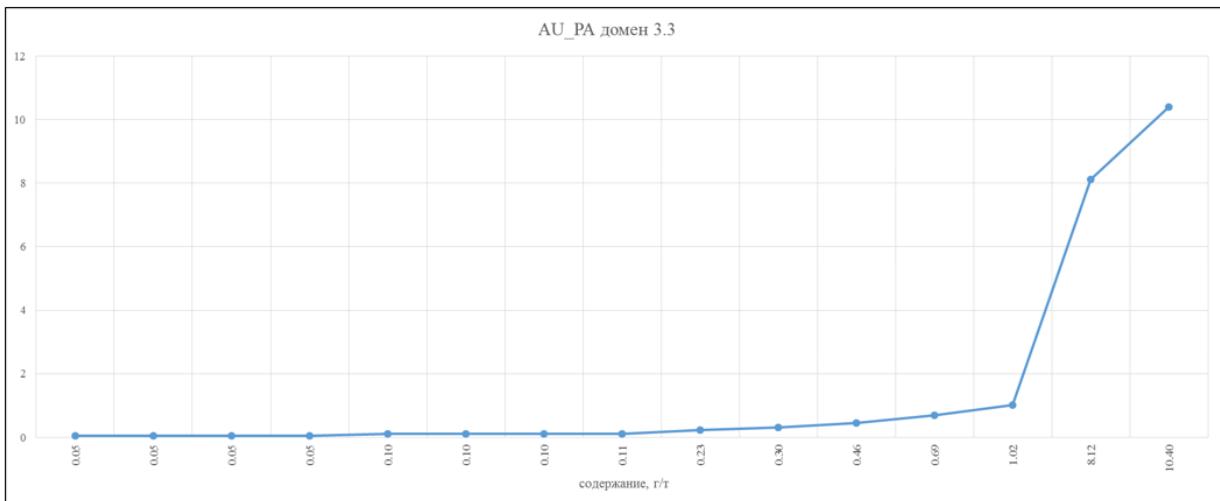


Рис.17 Пример. Ранжированный ряд содержаний золота в пределах домена

Квантильный анализ проводится следующим образом.

- Массив проб сортируется по величине содержания металла и затем делится на заданное количество квантилей (обычно – на 10). Формируется таблица, пример которой приведен ниже.
- Если последний класс (90-100% проб) содержит более 40% металла, то массив должен быть предварительно очищен от «ураганов».
- Рассчитывается аналогичная таблица только для этого последнего класса (Нижняя часть таблицы). Границей «ураганных» проб считается минимальное содержание первого класса, в котором содержится более 10% металла. В данном примере это – 3.7 г/т

Класс	Число записей	Среднее значение	Минимум	Максимум	Количество металла	Количество металла, %
0-10	1110	0.004	0.000	0.010	4.805	0.07%
10-20	1110	0.010	0.010	0.018	11.522	0.16%
20-30	1110	0.021	0.018	0.030	23.816	0.34%
30-40	1110	0.035	0.030	0.049	38.823	0.55%
40-50	1110	0.052	0.049	0.060	57.571	0.82%
50-60	1110	0.080	0.060	0.100	88.946	1.27%
60-70	1110	0.128	0.100	0.160	141.922	2.02%

Класс	Число записей	Среднее значение	Минимум	Максимум	Количество металла	Количество металла, %
70-80	1110	0.219	0.160	0.290	243.590	3.47%
80-90	1110	0.426	0.290	0.640	472.534	6.73%
90-100	1106	5.370	0.640	305.310	5938.771	84.57%
ВСЕГО	11096	0.633	0.000	305.310	7022.301	100.00%
90-91	111	0.677	0.640	0.720	75.161	1.27%
91-92	111	0.777	0.720	0.840	86.204	1.45%
92-93	111	0.896	0.840	0.950	99.474	1.67%
93-94	111	1.029	0.950	1.120	114.198	1.92%
94-95	111	1.238	1.120	1.390	137.390	2.31%
95-96	111	1.587	1.390	1.790	176.153	2.97%
96-97	111	2.046	1.790	2.350	227.100	3.82%
97-98	111	2.899	2.360	3.690	321.840	5.42%
98-99	111	5.497	3.700	8.660	610.180	10.27%
99-100	107	38.234	8.670	305.310	4091.070	68.89%
ВСЕГО	1106	5.370	0.640	305.310	5938.770	100.00%

Таблица. Пример. Квантильного анализа «ураганных» проб

Далее, для проверки корректности урезки повторно анализируются CV с составлением таблицы статистических данных по выборке проб по доменам до урезки и после урезки. Также в таблице должны быть отражены кол-во и процент урезанных проб по каждому домену.

Домен	Элемент	Тип выборки	Кол-во проб, шт	MIN	MAX	Среднее	Лог. среднее	Коэф. вариации
3.1	AG PA	исходная	42	6.4	3120.912	466.227	521.464	1.659
	AG UR	урезанная	42	6.4	1755	383.074	454.894	1.378
	AU PA	исходная	42	0.05	21.12	1.866	1.579	2.391
	AU UR	урезанная	42	0.05	8	1.259	1.291	1.657
3.2	AG PA	исходная	175	0.2	17122.4	690.337	1313.970	2.395
	AG UR	урезанная	175	0.2	7000	630.445	1276.904	1.869
	AU PA	исходная	173	0.05	108.4	3.748	2.673	3.284
	AU UR	урезанная	173	0.05	29	2.772	2.429	2.134
3.3	AG PA	исходная	16	13.092	1782	325.052	310.934	1.646
	AG UR	урезанная	16	13.092	500	173.74	192.476	0.938
	AU PA	исходная	16	0.05	10.4	1.354	1.126	2.064
	AU UR	урезанная	16	0.05	2	0.548	0.578	1.224
3.4	AG PA	исходная	22	32.786	9288.9	1236.53	1261.237	1.71
	AG UR	урезанная	22	32.786	1740	675.993	777.673	0.974
	AU PA	исходная	22	0.155	18.9	3.553	4.212	1.34
	AU UR	урезанная	22	0.155	18.9	3.553	4.212	1.34

Кроме вышеописанных процедур, проводился визуальный контроль пространственного распределения проб с экстремально высокими содержаниями, чтобы определить закономерность их положения и принадлежность к обогащённым участкам, гнёздам и бонанцам, которые не являются спорадическими выбросами высоких средних содержаний.

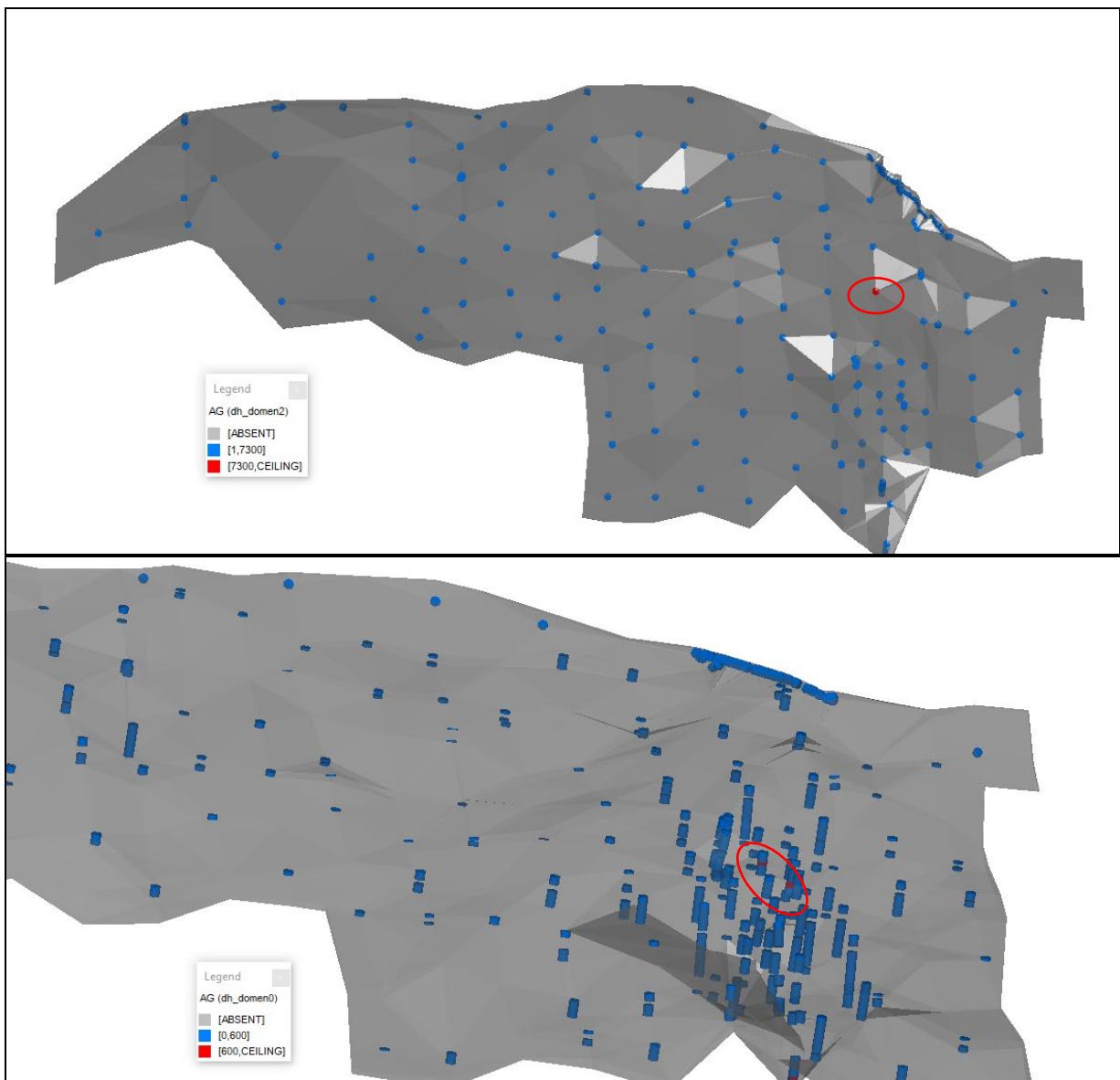


Рис.18 Пример. Пространственное положение ураганных проб в пределах домена

Выбор методики моделирования

Выбор метода интерполяции зависит от геологических особенностей объекта. В случае относительно простого строения месторождения, позволяющего оконтурить сплошные рудные тела и получить легко интерпретируемую вариограмму с четко «читаемой» зоной влияния (range) применяется ординарный кригинг. При невозможности выконтурить сплошные рудные тела и использовании для подсчета запасов контура минерализованной зоны (аналог – расчет с коэффициентом рудоносности) применяется индикаторный кригинг. На объектах, где генетическая природа минерализации до конца не выяснена, например, для пространственно совмещенных структур с множественными стадиями минерализации применяется мультииндикаторный кригинг.

В случае отсутствия на вариограмме «читаемой» зоны влияния (range), либо, исходя из геологических представлений о характере минерализации,

для интерполяции может быть использован метод расчета весовых коэффициентов «обратно пропорционально квадрату (либо какой-то другой степени) расстояния».

В качестве процедуры оценивающей качество предлагаемой вариограммы и параметров интерполяции обычно используется кросс-проверка (cross-validation). Она заключается в последовательном исключении из массива исходных данных конкретной пробы и расчет ее параметров интерполяцией содержаний в окружающих пробах, используя теоретическую вариограмму и предлагаемые параметры интерполяции. Между массивом исходных данных и теоретически рассчитанных вычисляется коэффициент корреляции, оценивается наличие систематической ошибки расчетных данных, проводится сравнение дисперсий. На основании проведенного анализа делается вывод о качестве предлагаемой процедуры интерполяции и проводится корректировка параметров. Следует иметь в виду, что при проведении перекрестной проверки необходимо ограничить, а лучше исключить влияние на интерполируемую пробу близко расположенных проб с этого же пересечения. Иначе результаты перекрестной проверки будут в основном отражать лишь воспроизводимость кригингом результатов опробования в направлении мощности.

Наиболее простой и эффективной процедурой заверки качества предлагаемой процедуры интерполяции является оценка эффективности кригинга (ЭК) и линии регрессии (ЛР). Под эффективностью кригинга понимается соответствие между гистограммой рассчитанных содержаний в оцениваемом блоке блочной модели и гистограммой истинных содержаний в этом же блоке. Полное 100% совпадение свидетельствует о полном соответствии между оценочными и истинным распределением содержания. Линия регрессии оценивает соответствие между оценочными и истинными содержаниями в блоках блочной модели. Когда линия регрессии имеет угол наклона 45 градусов это свидетельствует о полном совпадении исходных данных опробования и расчетных данных в оцениваемом блоке. Используя два этих показателя можно провести анализ их изменения в зависимости от предлагаемых параметров интерполяции. Те параметры, которые обеспечат максимально полное совпадение оценок кригинга и исходных данных в пределах блока блочной модели и соответственно будут характеризоваться максимальными оценками ЭК и ЛР и должны быть использованы при проведении блочного моделирования.

Методика моделирования

Методика моделирования включает в себя статистический, геостатистический анализ, построение блочных моделей в пределах каркасов рудных тел и интерполяцию содержаний металлов. Блочная модель МР и представлена рудопородная модель месторождения.

Вариограммный анализ

Вариограммный анализ выполняется с целью исследования анизотропии распределения содержаний золота и серебра.

Вариограммный анализ используется для решения следующих задач:

Исследование изменчивости содержаний золота и серебра вдоль главных направлений анизотропии.

Получение моделей вариограмм с целью использования в процессе интерполяции.

Получение обоснованных параметров поисковых эллипсоидов.

Вариограммы строятся по трем основным направлениям изменчивости рудного тела. Они ориентированы по мощности и по направлению падения и простирации рудного тела, соответствующим минимальной и максимальной изменчивости. Выбор направления построения итоговых вариограмм основан на анализе геологических данных, а также анализе всенаправленных вариограмм шаг построения которых задается геологом.

В случае если эмпирическая вариограмма является «нечитаемой» могут применяться различные процедуры преобразования исходных данных. Логарифмирование, либо, что является более корректным в математическом плане, извлечение корня n -ной степени. Также хорошие результаты имеет построение относительной вариограммы, учитывающей при расчетах локальное среднее.

Отстроенные вариограммы интерпретируются геологом с точки зрения их соответствия конкретной геологической обстановки. Оценивается размер зоны влияния с точки зрения размера предполагаемых неоднородностей строения рудного тела, наличие тренда, поведение вариограммы вблизи нуля. В случае несоответствия представления геолога о геологическом строении рудного тела виду вариограммы анализируются причины данного несоответствия. Следует иметь в виду, что вариограмма, как и любая другая структурная функция, может выявить лишь неоднородности строения месторождения, превосходящие шаг сети в несколько раз

Теоретическая вариограмма подбирается по принципу максимального подобия эмпирической функции. При этом надо учитывать, что основное влияние на расчет содержания в элементарном блоке блочной модели оказывают пробы ближайшего окружения, находящиеся на расстоянии 1-2 шагов сети. Таким образом, максимальное подобие между эмпирической и теоретической функцией должно выдерживаться на этих расстояниях. Изменчивость изучаемого параметра вблизи нуля может быть изучено лишь по вариограммам построенным по стволу скважин. Использовать эти данные для аппроксимации вариограмм, построенных в других направлениях имеет смысл при изотропном строении рудного тела либо при наличии дополнительной информации, основанной на знании геологических особенностей строения объекта. В том случае если поведение вариограммы на расстояниях меньше шага сети можно проинтерпретировать неоднозначно выбор способа аппроксимации целиком зависит от геолога. Из опыта работ следует, что достаточно часто хорошие результаты в этом случае дает отказ

от использования эффекта самородков и помещение начальной точки вариограммы в «ноль». В том случае если вариограмма «нечитаемая» следует, либо вообще отказаться от использования кrigинга и предпочтеть другой метод интерполяции (например, метод «обратно пропорционально квадрату расстояния»), либо аппроксимировать вариограмму основываясь на том знании геологии объекта, который исполнитель считает верным.

Для построения экспериментальных вариограмм используется рудная выборка с неурезанными «ураганными» значениями содержаний, с целью избежать занижения естественного значения дисперсии.

Необходимое условие для нее - наличие достаточно надежной корреляционной связи между пробами в пространстве и отсутствие в исследуемой зоне резких изменений свойств оцениваемой среды (тектонические нарушения и т.п.).

Вариограмма измеряет степень корреляционной связи между пробами в пространстве. Она обычно характеризуется 3-мя главными.

- Эффект самородка (ЭС) – это случайная составляющая дисперсии проб, которая измеряет насколько велико различие содержаний в очень близко расположенных образцах. Величина ЭС зависит от сети опробования месторождения и степени его изменчивости. Название этого параметра пришло к нам из оценки месторождений золота, где часто встречаются непредсказуемые «ураганные» содержания металла в пробах.

- Порог вариограммы – это обычно величина дисперсии проб. Когда вариограмма достигает порога, она часто вы полаживается, т.е. больше не растет.

- Зона влияния – это максимальное расстояние, на котором между пробами еще существует корреляция. На меньших расстояниях мы (с определенной долей вероятности) можем предсказать содержание в точке массива по данным опробования, на больших дистанциях – не имеем права этого делать. Вариограмма достигает порога на расстоянии, равном зоне влияния.

Стадии процесса создания вариограммной модели исследуемого объекта:

- анализ, контроль и группировка исходной информации;
- построение экспериментальных вариограмм;
- исследование полученных функций на наличие различных эффектов;
- создание пространственной модели вариограммы.

Экспериментальные вариограммы и их модели представлены ниже на рисунках.

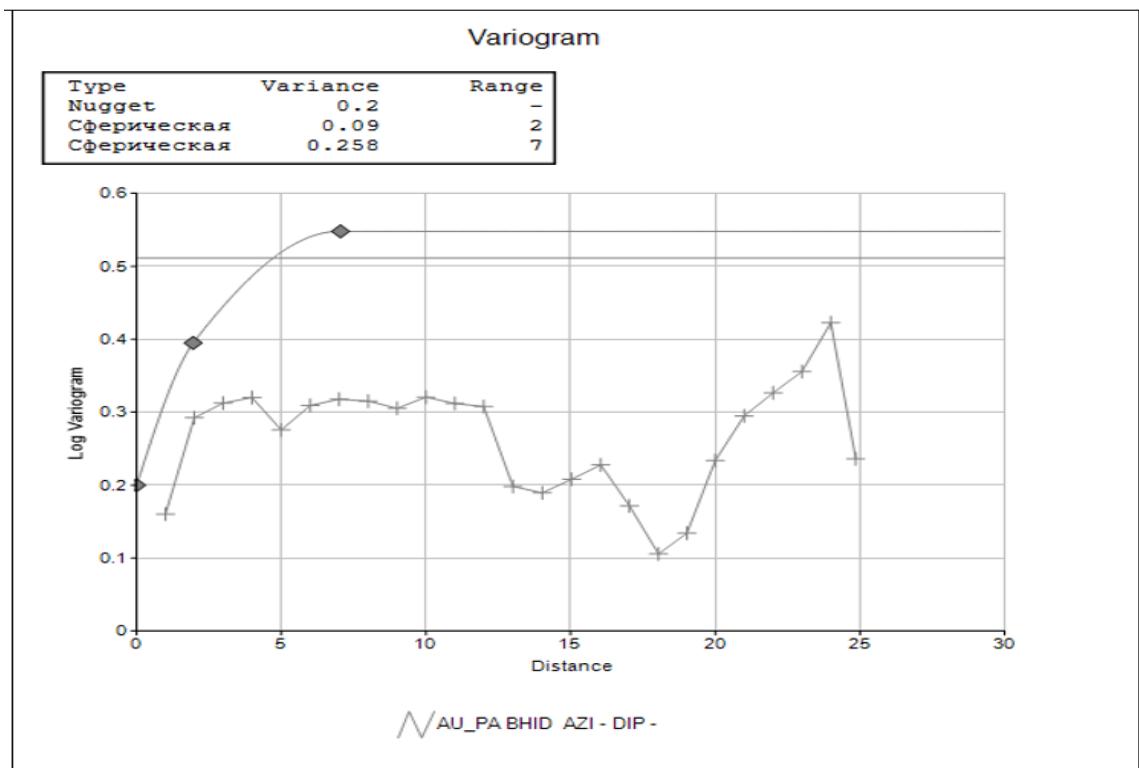


Рис. Пример. Вариограмма содержания золота вдоль скважин

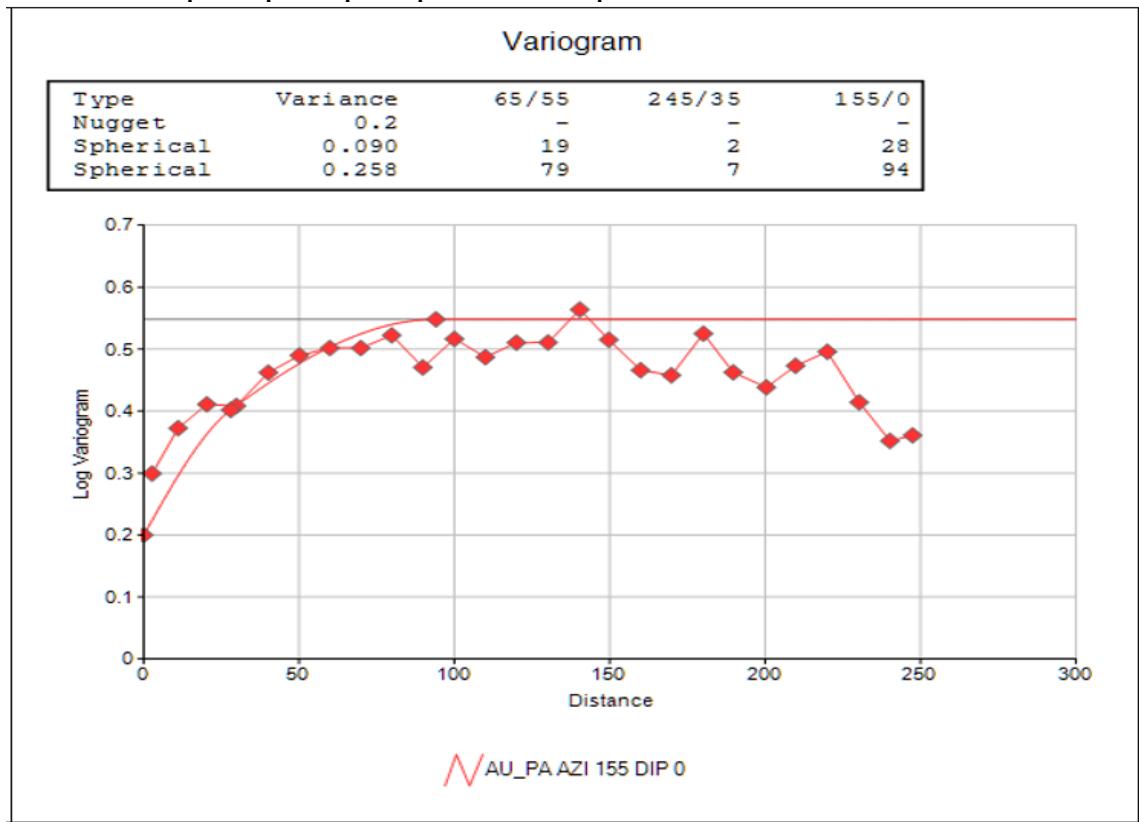


Рис.19 Пример. Вариограмма содержания золота вдоль направления простирации рудных тел

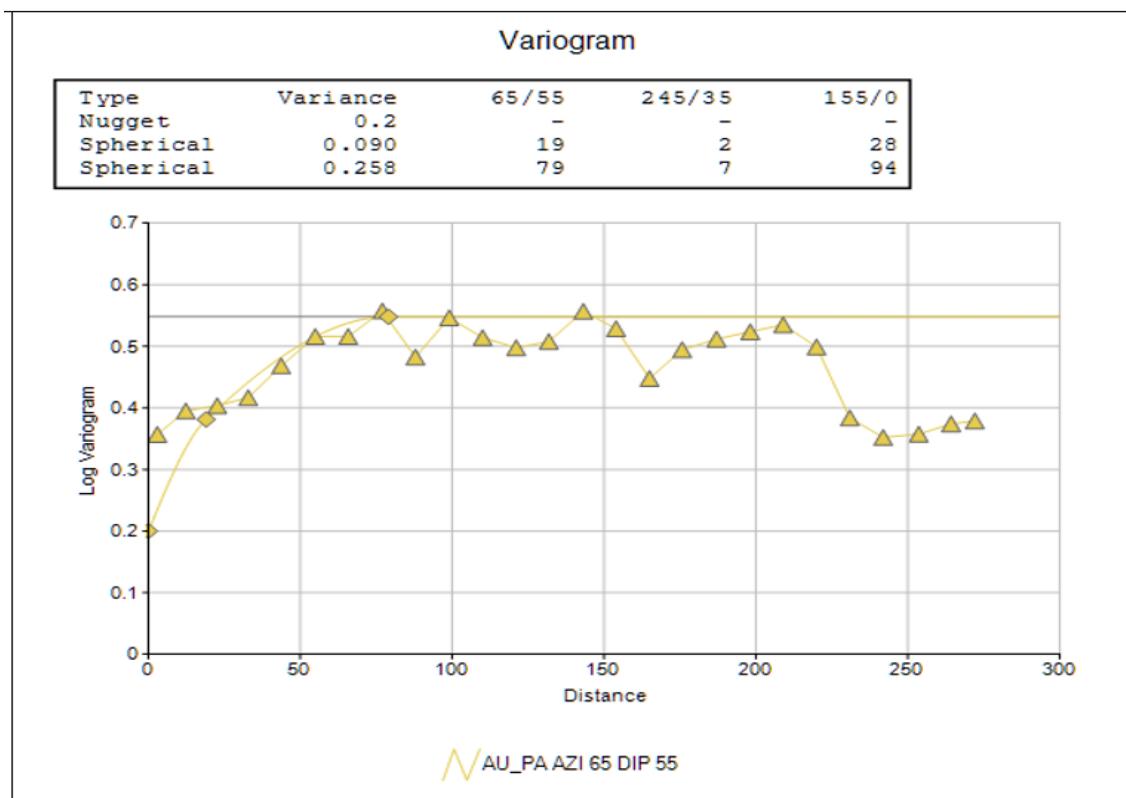


Рис.20 Пример. Вариограмма содержания золота вдоль направления падения рудных тел

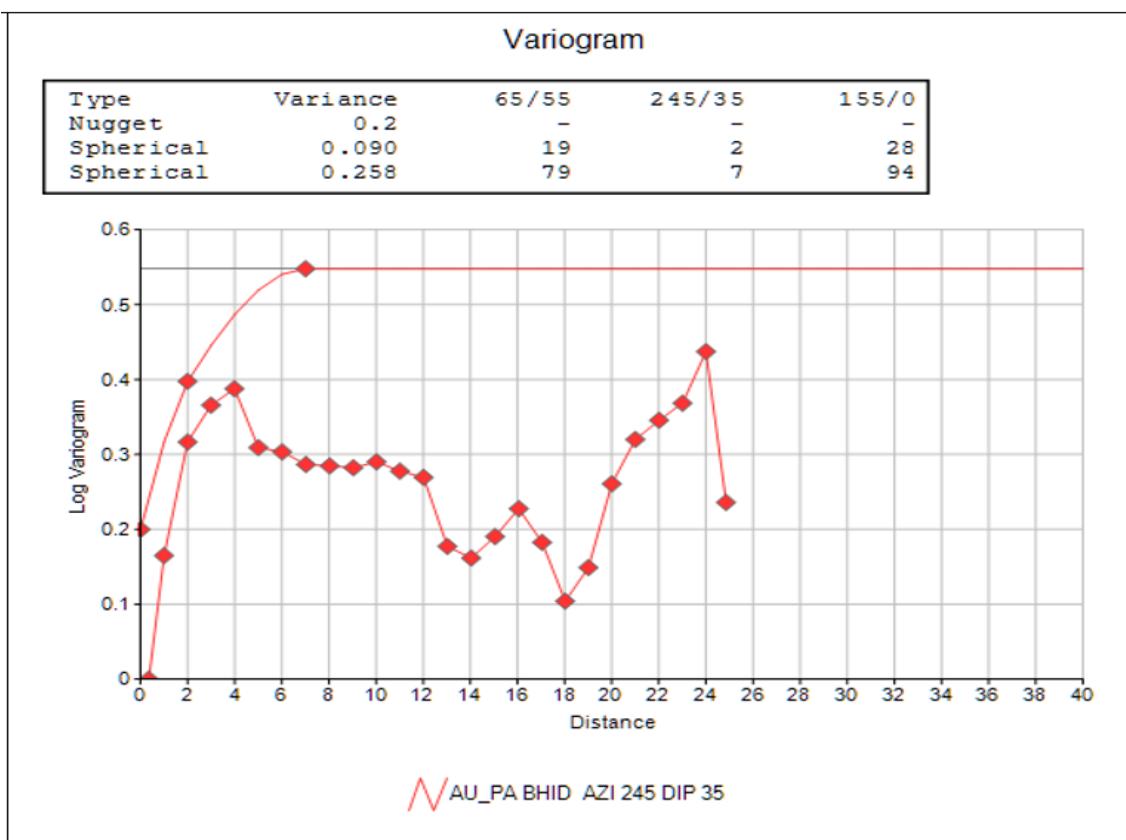


Рис.21 Пример. Вариограмма содержания золота вдоль мощности рудных тел

Выбор оптимального размера блока и прототипа

Размер ячеек блочкой модели в традиционном понимании должен быть сопоставимы с 1/2 - 1/4 шага сети по простирианию и по падению рудного тела. Выбор более мелкого размера блоков может создать ложное представление о высокой селективности расчетов. Размер блока начинает оказывать непосредственное влияние на результаты расчетов при подсчете запасов в контурах минерализованных зон (аналог расчета с коэффициентом рудоносности). В этом случае при сортировке блоков внутри контура зоны на кондиционные и некондиционные суммарный объем как первых, так и вторых будет зависеть от размера ячеек блочной модели.

В направлении мощности при выборе размера ячеек в случае подсчета запасов в пределах минерализованной зоны должна учитываться средняя мощность рудных тел в пределах зоны. Размер ячейки должен обеспечить возможность фиксации рудных тел и соответственно быть в 4-5 меньше их по размерам. Кроме того, при выборе размера ячейки блочкой модели должна учитываться контрастность оруденения и, в меньшей степени, система отработки.

Для обоснования выбора оптимального размера блока рассчитываются эффективность кригинга (ЭК) и коэффициент линейной регрессии (КР), результаты сопоставляются со средней разведочной сетью месторождения.

Анализ оптимизированных размеров блоков (родительской ячейки) проводится по 6 вариантам для каждой оси блока: по X, Y и Z - от 5 до 30 метров с шагом 5 метров. Ниже представлены примеры графиков усредненного значения эффективности кригинга (ЭК) и коэффициента регрессии (КР) по всем вариантам расчётов для каждой оси.

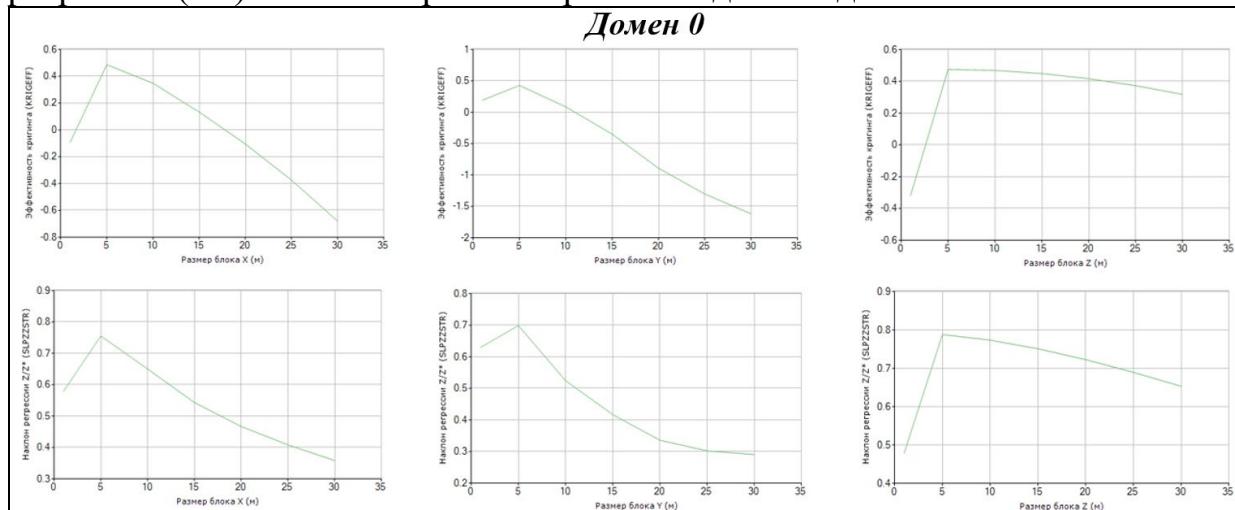


Рис. Пример. Результаты анализа оптимального варианта размера блока по осям для доменов.

Рассматривая результаты графиков, видно, что максимальная эффективность кригинга достигается для размера блока 5 м по всем осям. Далее эффективность кригинга снижается и уходит в отрицательную зону.

Исходя из общепринятой практики моделирования, размер блоков в основном выбирается исходя из параметров разведочной сети и чаще всего составляет значение близкое к половине её шага, реже к четверти шага.

Параметры интерполяции

Ориентировка эллипсоида поиска определяется в соответствие с усредненным локальным падением и простиранием линз минерализации для каждого домена. Первый радиус поиска основан на параметрах вариограммы.

Поисковый эллипсоид (объем) определяет границы пространственной зоны, в пределах которой находятся данные, привлекаемые для интерполяции. Размер эллипса выбирается в зависимости от параметров вариограммы, разведочной сети и особенностей распределения полезного компонента. Количество, привлекаемых для расчетов разведочных пересечений должно обеспечить представительное участие данных опробования, оказывающих влияние на оцениваемый параметр в пределах расчетного блока и с нивелировать неравномерность сети. Обычно ограничивается либо общее количество пересечений, либо количество пересечений в пределах каждого квадранта (октанта).

Принятый размер эллипса по простиранию, падению и мощности должен обеспечивать, как минимум, наличие одного-двух пересечений с каждой стороны блока и нескольких проб (5-10) в пределах каждого пересечения. Количество проб, привлекаемых с пересечения зависит от контрастности оруденения, размеров рудных тел и длины проб.

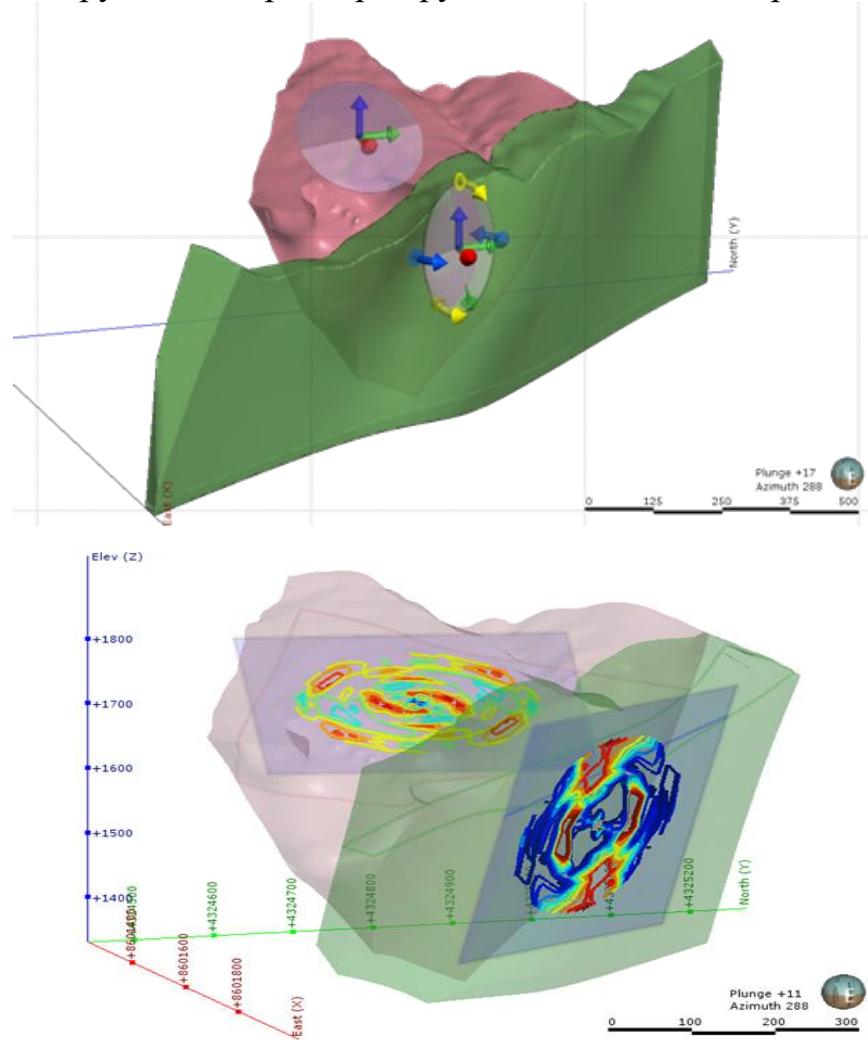


Рис.22 Пример. Проверка направления и размера эллипса поиска.

Оценка содержаний

Пробы в рудной выборке и блоки модели кодируются по номеру домена. Оценка содержаний проводится с использованием зонального контроля по номеру домена, то есть в процессе интерполяции значения содержания в блок модели, использовались пробы, принадлежащие соответствующему домену.

Поисковый эллипсоид в процессе интерполяции поэтапно увеличивался с использованием коэффициентов, а минимальное количество проб, требуемых для оценки, соответственно уменьшалось. Так, например, для одного домена, блоки были вначале оценены используя минимальное количество проб равное 6 и максимальное 14, при этом было использовано ограничение на максимальное кол-во проб с одной выработки равное 3. В соответствии с этим ограничением в первом радиусе оценка будет произведена минимум по 2 выработкам. Содержания интерполируются в целевые материнские ячейки.

Проверка моделирования

Проверка моделирования ведется в следующей последовательности:

1. Сопоставление результатов моделирования, полученных двумя различными методом интерполяции, например, IPD и OK.
2. Визуальное сопоставление результатов интерполяции содержаний и рудной выборки (визуальное сравнение результатов блочной модели и содержаний в композитах по разрезам и планам).
3. Сравнение объемов каркасов рудных тел и блочных моделей (качество заполнения каркасов ячейками).
4. Проверка качества интерполяции содержаний в материнские ячейки блочной модели (сопоставление содержаний в композитах и соответствующих ячейках модели в домене).
5. Проверка качества интерполяции содержаний в ячейки блочной модели по осям X, Y, Z.
6. Корректная сходимость результатов подсчета запасов с использованием БМ с результатами, полученными представительным альтернативным методом.

Пример. Сравнения результатов IPD и OK

Метод оценки	Тоннаж, т.т.	AU, г\т	AG, г\т	Au, кг	Ag, кг
OK	1693.0	1.25	374.2	2110.9	633446.7
IPD	1693.0	1.27	377.2	2142.9	638655.5
Разница	Абсолютная	0.0	0.02	31.9	5208.8
	Относительная	0.0%	1.5%	0.8%	0.8%

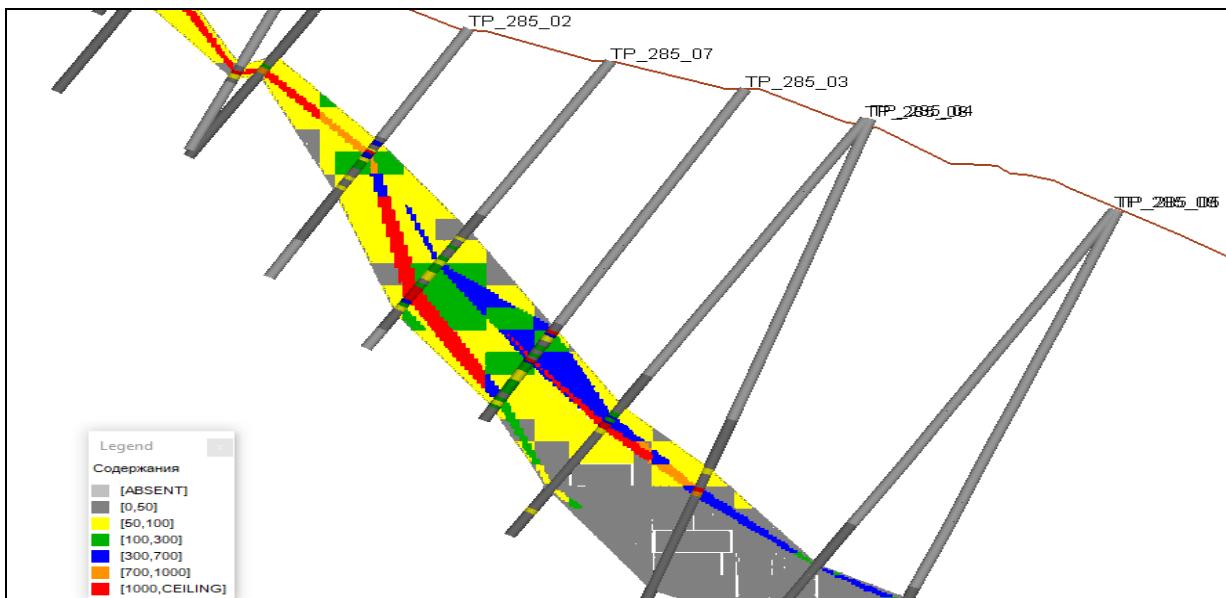


Рис.23 Пример. Визуального сравнения результатов интерполяции содержаний и рудной выборки.

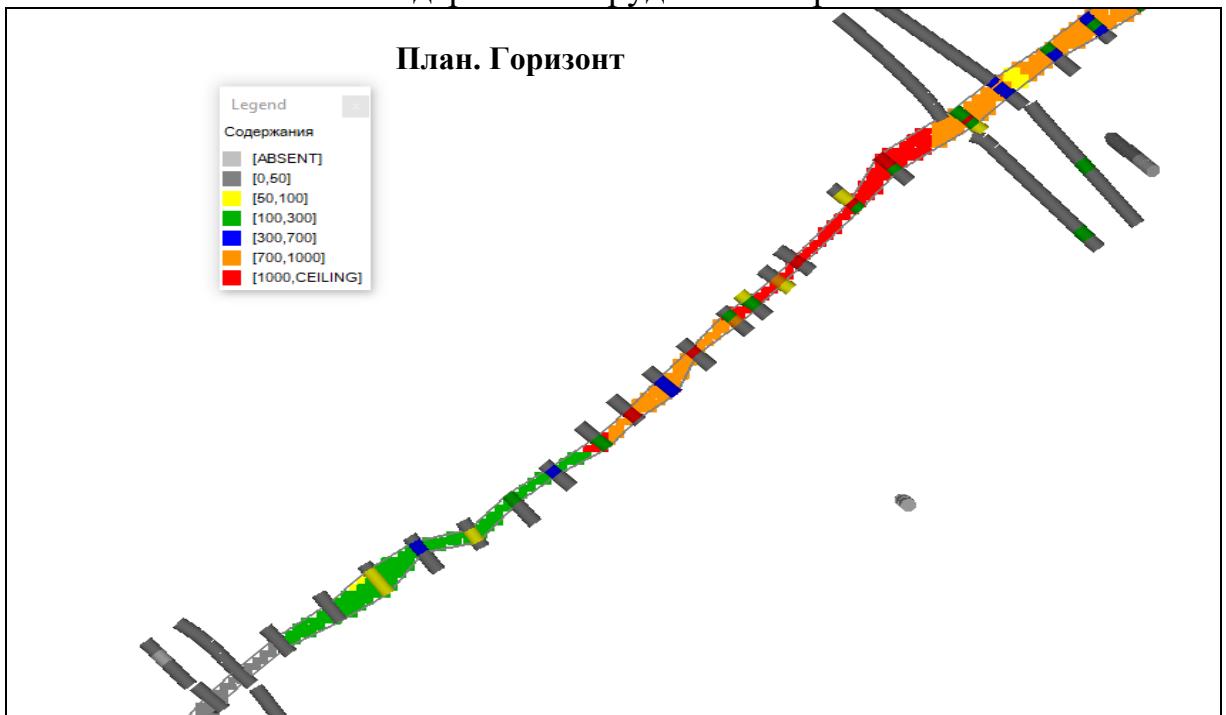


Рис.24 Пример. Визуального сравнения результатов интерполяции содержаний и рудной выборки.

Пример. Сравнение объемов каркасов рудных тел и блочных моделей

Зона/р. т.	Объем каркаса	Объем блочной модели	Расхожден- ие	Объем блочной модели	Объем блочной модели	Расхо- ждени- е
«Засорение»				«Потери»		
	1000*m3	1000*m3	%	1000*m3	1000*m3	%
1	575.188	561.27	2.42%	575.807	561.3	2.53%
3	104.746	90.01	14.07%	104.474	90.0	13.84 %

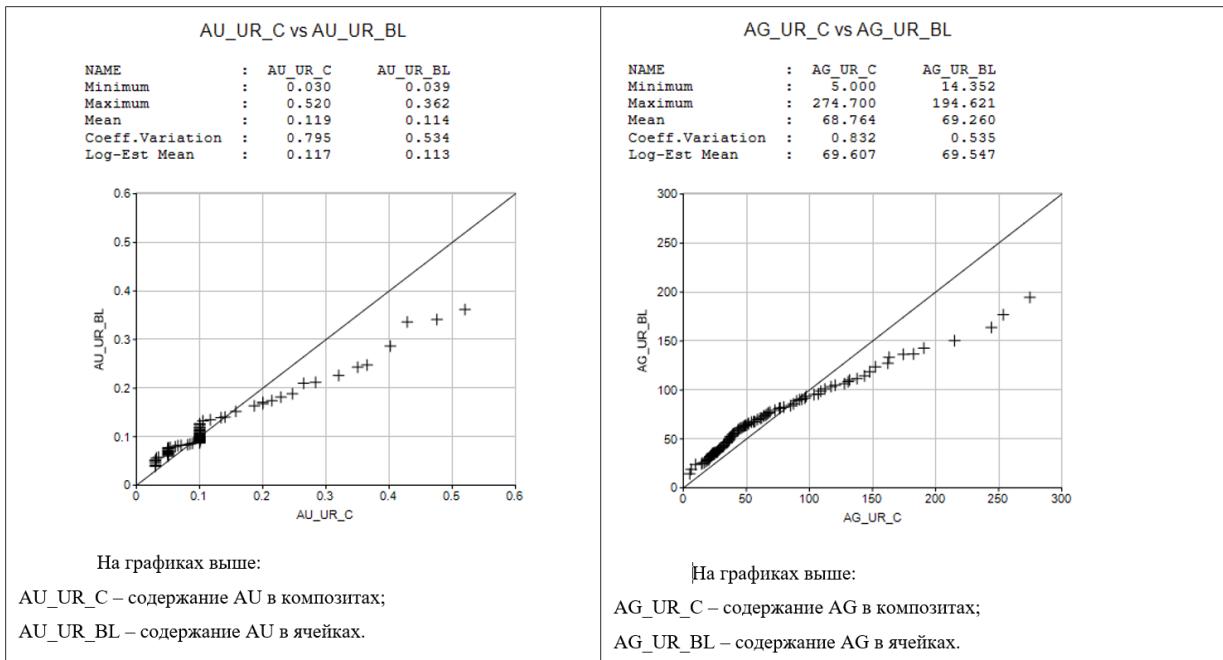


Рис.25 Пример. Сопоставление содержаний золота в композитах и соответствующих ячейках модели в домене.

Проверка качества интерполяции содержаний в ячейки блочной модели по осям X, Y, Z

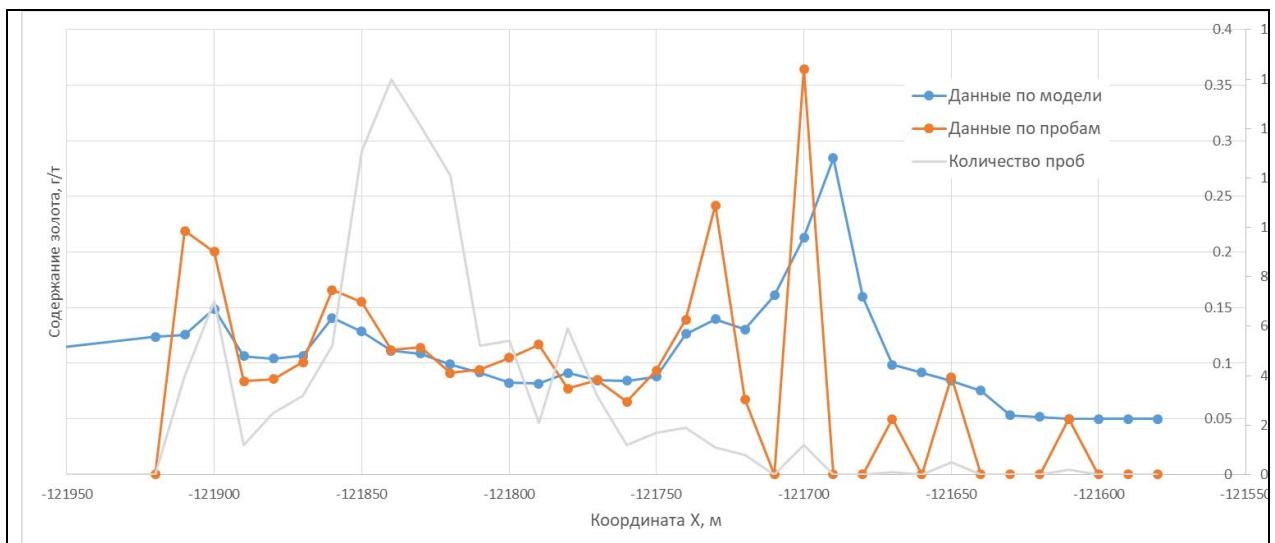
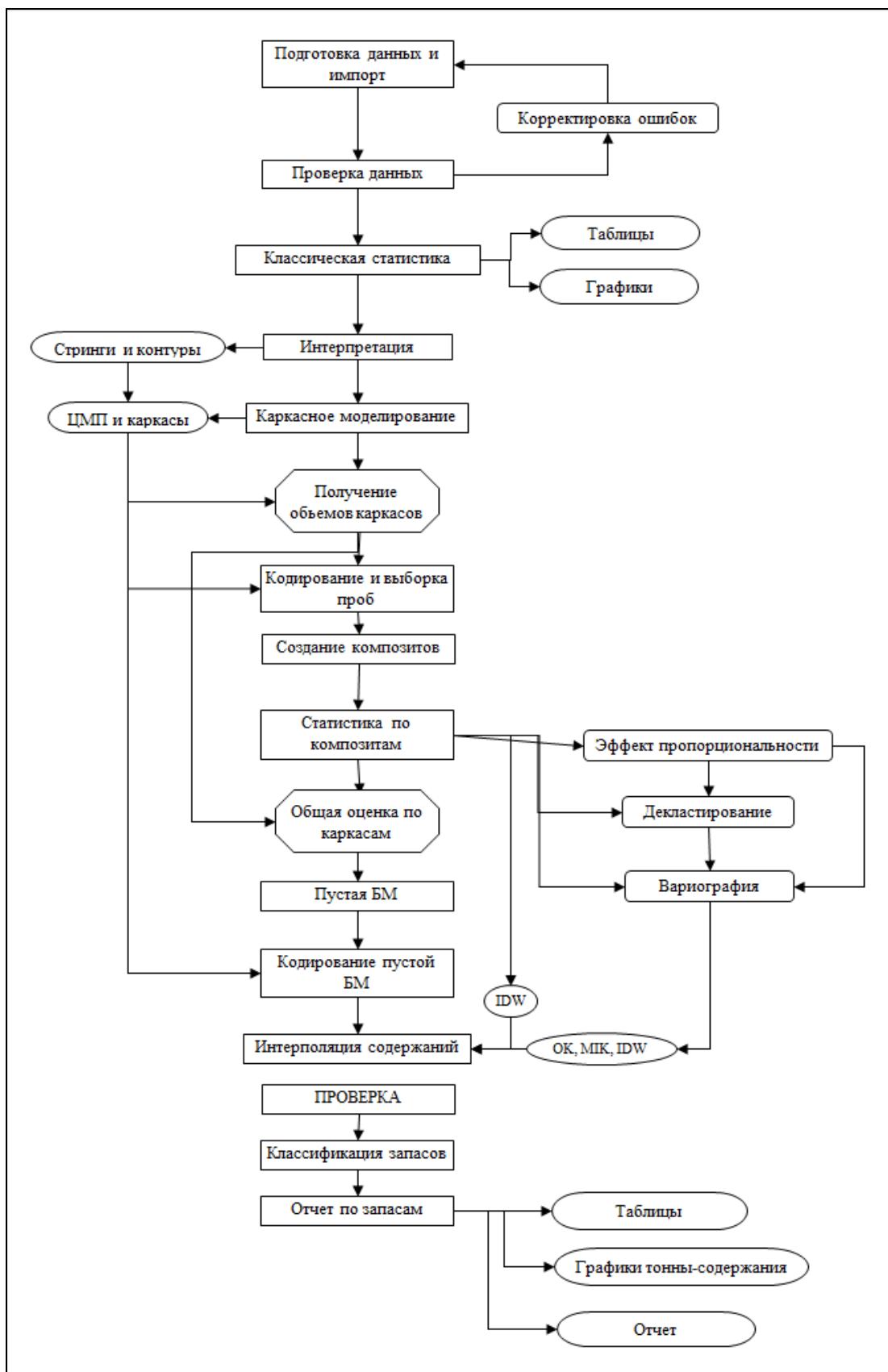




Рис. 27 Пример. Сопоставление средних значений содержаний золота в модели с данными опробования вдоль направления X, Y, Z по доменам.

Общая схема построения блочной модели.



V. ЗНАЧЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Изучение геологических особенностей месторождения является основой для корректного проведения подсчета запасов, как традиционными методами, так и с использованием блочного моделирования. В последнем случае в качестве процедур интерполяции и экстраполяции содержаний полезных компонентов может быть применена либо геостатистика, либо другие методы (например, расчет весовых коэффициентов, обратно пропорциональных квадрату расстояния между пробами).

В сравнении с геометрическими методами, геостатистические методы в большей мере учитывают особенности геологического строения месторождений. Наиболее важно иметь ясное представление о морфологии рудных тел, элементах их залегания, характере взаимоотношений с вмещающими породами, характере выклинивания, особенностях распределения полезных компонентов в их объеме. Не менее важно установить этапы и стадии формирования месторождений, последовательность минералообразования, литологический и структурный контроль оруденения, природные типы и технологические сорта руд. Кроме того, необходим учет методики оконтуривания руд.

На основании анализа перечисленных видов информации делаются выводы о степени неоднородности месторождений, обосновывается необходимость их деления на участки однородного строения (домены). Однородность доменов заверяется статистическим и геостатистическим анализом, включая построение гистограмм, оценку статистических параметров, построение вариограмм по ортогональным направлениям, оценку анизотропии и т.д. В пределах доменов строятся каркасы рудных тел.

Далее проводится всесторонний геологический анализ вариограмм, соотносится представление о геологическом строении месторождений с теми их особенностями, которые фиксируются вариограммами. В случае несоответствия проводится анализ причин. В зависимости от особенностей распределения полезного компонента в объеме месторождения обосновывается выбор интерполяционной процедуры (разновидностей кригинга или др.), а в зависимости от размеров рудоносных образований, разведочной сети и проектируемой системы разработки выбирается размер ячеек блочной модели. При выборе параметров кригинга (либо другой процедуры интерполяции) принимается во внимание степень контрастности оруденения. Так, при резко контрастном оруденении необоснованное использование поискового эллипсоида с большими размерами осей приведет к неоправданному усреднению пространственной переменной (содержаний полезных компонентов) в ячейках блочной модели и искажению результатов подсчета запасов.

При проведении кригинга следует учитывать, что в пределах однородных по строению доменов большого размера могут выделяться

отдельные рудные тела, оконтуренные индивидуальными каркасами. Обычно кригинг в каждом из рудных тел должен проводиться обособленно с использованием только разведочных пересечений внутри объема данного рудного тела. Если несколько рудных тел со своими каркасами принадлежат одному домену, то должна быть обоснована возможность использования для интерполяции содержаний полезных компонентов внутри конкретных рудных тел дополнительных пересечений из соседних тел.

Наиболее полный учет при каркасном моделировании морфологических особенностей рудных тел имеет большое значение для достоверной оценки общих запасов месторождений. Широко применяются несколько подходов к каркасному моделированию рудных тел разной формы.

При первом подходе, применяемом на ранних стадиях оценки, когда разведочные данные не позволяют определить тип формы рудных тел, и не выяснен структурный и литологический контроль оруденения, каркасные модели не формируются – в этом случае для создания пустой блочной модели задаются общие пространственные ограничения рудного тела.

Второй подход предусматривает оконтуривание рудных тел и создание каркасов по геологическим границам (при их наличии) или по «естественному борту» на разрезах, что неизбежно ведет к некоторому искажению объема рудных тел.

Третий основан на использовании указанных границ, установленных в разведочных выработках с учетом их истинных координат. При таком подходе каркасная модель наиболее приближена к природной форме рудного тела. Развитием этого подхода является дополнительный учет горногеологических кондиций, несущих в себе экономические ограничения по предельным содержаниям полезных компонентов в руде и требования применения горных технологий отработки запасов. Требования горных технологий находят отражение собственно при блочном моделировании в размерах блоков модели.

Если построение каркаса не может быть осуществлено по геологическим границам или «естественному борту», то возникает проблема определения граничных содержаний полезного компонента. Если следовать традиционному подходу, то необходимо рассматривать варианты бортового содержания. Однако, учитывая трудоемкость построения каркасов, использование информационных технологий теряет в этом случае смысл. Поэтому проблема сводится к определению минимального граничного содержания, построению соответствующего этой границе максимального каркаса, построению блочной модели внутри него и, при необходимости, дальнейшему блочному моделированию по принимаемым по экономическим соображениям вариантам минимального содержания полезного компонента в блоках модели.

В зарубежной практике применяется в минимального граничного содержания применяется так называемое «условное экономическое содержание в пробе», которое выбирается уменьшенным до половины предполагаемого экономически обоснованного минимального содержания

компонента в блоке модели. Это соотношение не имеет серьезного обоснования, и вопрос выбора минимального содержания для построения каркаса остается открытым. Приемлемым его решением может быть заключение «компетентного лица».

Геологическое моделирование

Геологическое моделирование включает: геометрическое моделирование геологических тел и структуры месторождения (построение модели геологической среды); выделение рудных (кондиционных) интервалов в разведочных выработках по вариантам кондиций; построение рудных контуров в вертикальных и/или горизонтальных разрезах (сечениях); подсчет запасов методами геологических блоков, разрезов различной ориентировки, многоугольников и другими традиционными методами; создание каркасных моделей рудных тел (построение рудной оболочки месторождения, минерализованной зоны).

Статистический анализ

Статистический анализ включает: собственно статистический анализ; декластеризацию исходных данных; корректировку «ураганных» содержаний полезных компонентов.

Геостатистический анализ

Геостатистический анализ включает: построение и аппроксимацию вариограмм модельными функциями; анализ анизотропии пространственной изменчивости оруденения и определение параметров эллипсоида автокорреляции (поискового эллипсоида); выбор и обоснование способа интерполяции содержаний полезных компонентов (методами кrigинга, степеней обратных взвешенных расстояний, ближайшей пробы и др.); создание блочной модели месторождения включает уточнение каркаса на основе индикаторного кrigинга, подсчет запасов месторождения с использованием блочной модели; создание экономической модели месторождения; оптимизацию карьера и/или подземного рудника.

Геостатистическое моделирование

Геостатистическое моделирование включает: получение вероятностных оценок запасов руды и полезных компонентов в недрах; получение вероятностных оценок извлекаемых запасов; определение зависимостей «содержание-запас»; оптимизацию соотношения между используемыми для оценки месторождения кондициями и производственной мощностью горного предприятия; проектирование вскрытия и подготовки месторождения к отработке; оптимизацию планирования горных работ и управления качеством руды и рудопотоками; геомеханические, вентиляционные, инженерно-строительные и другие сопутствующие разработке месторождений расчеты. Графические средства информационных технологий обеспечивают интерактивный диалог с пользователем, визуализацию информации различных видов (включая первичные данные и результаты их обработки), наглядное представление результатов решаемых задач,

составление геологических и подсчетных графических документов, создание объемных моделей месторождения и рудных тел и сопутствующее разведочным и горным работам различного назначения изготовление соответствующих графических документов.

Построение геометрической модели месторождения

Построение геометрической модели месторождения включает описание алгоритмов определения границ рудных тел (выделения рудных/кондиционных интервалов) по заданным кондициям, выделения и ограничения «ураганных» содержаний полезных компонентов и способа подсчета запасов. Границы рудных тел могут быть геологическими при достаточно четко выраженном геологическом контроле оруденения. Они могут определяться как естественные (природные) бортовые содержания на основании статистического анализа результатов опробования в сочетании с геологической интерпретацией в случаях резкого перехода от одних классов содержаний полезных компонентов к другим. Кроме того, при отсутствии контрастных геологических границ они могут выбираться в виде вариантов бортового содержания с целью последующего экономического обоснования. В последнем случае выбор вариантов бортового содержания может осуществляться также на основе статистического анализа. В геометрическом каркасе месторождения должны быть выделены, геометризованы и обоснованы для дальнейшей индивидуальной оценки однородные по геологическому строению и по разведенности объемы (домены). Домены выделяются с учетом густоты разведочной сети, морфологических характеристик рудных тел или их отдельных частей, природных типов и промышленных сортов руд, изменчивости оруденения и геостатистических критерий – резкого изменения градиента моделируемых характеристик месторождения. Построение геолого-математической модели месторождения должно быть обеспечено возможностью оценки ее качества. При этом в свою очередь, должна быть обеспечена возможность проверки каждого этапа обработки информации. Для оценки качества моделирования в каждой информационной технологии существуют методы, которые позволяют оценить соответствие моделей моделируемым объектам. К их числу относятся: перекрестная проверка результатов построения вариограмм; сравнение содержаний в блоках блочной модели с содержаниями в разведочных выработках; сравнение статистических характеристик (средних значений, гистограмм) блочной модели с параметрами выборок проб; визуализация разрезов и планов и оценка нанесенных интерполяционных контуров; сравнение трендов и графиков, полученных по результатам применения методов интерполяции (кригинга и др.).

Обоснование размеров блоков (ячеек) моделей

Обоснование размеров подсчетных блоков (ячеек) для месторождений всех морфологических типов должно выполняться с учетом нескольких факторов: плотности разведочной сети, характеристики геологической структуры месторождения, сложности конфигурации границ рудных тел, пространственной изменчивости содержаний полезных компонентов и

параметров системы отработки месторождения. Идеально, если размеры блока соответствуют форме и размерам горной выемочной единицы (для подземной отработки тонких жил блок должен быть меньше, чем для карьера; на открытых горных работах принято, чтобы высота блока соответствовала высоте уступа карьера и т.д.). С точки зрения пространственной изменчивости оруденения желательно, чтобы размеры блока блочной модели были бы соотнесены с зонами влияния структур модели вариограммы. Форма блока должна соответствовать структуре моделируемого месторождения и характеру его анизотропии. Если эллипсоид анизотропии развернут относительно системы координат, то перед моделированием полезно привести систему координат в соответствие с анизотропией. Размер основных ячеек не должен быть меньше половины среднего расстояния между пробами в данном направлении. Там, где блочная модель нуждается в детализации (тонкие линзы, выклинивания рудных тел на флангах, сложная форма рудных тел), основные ячейки блочной модели разделяются на подъячейки (субблоки). Их размер определяется и обосновывается пользователем информационной технологии.

Подсчет запасов с применением геостатистического моделирования

При подсчете запасов с применением геостатистического моделирования формы представления результатов подсчета должны обеспечивать возможность их сравнения с результатами традиционного (геометрического) подсчета.

Сопоставление результатов подсчета запасов геостатистическим моделированием и подсчета запасов традиционными методами

Критерием качества подсчета является степень совпадения основных подсчетных параметров: запасов руды и полезного компонента, его среднего содержания, а также величина ошибки геометризации рудных тел (ошибки построения каркаса месторождения). Для сопоставления запасов, подсчитанных обоими способами при различных вариантах бортового содержания, необходима корректировка минимального содержания в блоке блочной модели, учитывающая эффект геометрической базы опробования для каждого из этих вариантов.

Сопоставление результатов подсчета запасов с данными эксплуатационной разведки на разрабатываемых месторождениях

Сопоставление результатов подсчета запасов с данными эксплуатационной разведки на разрабатываемых месторождениях определяет степень качества выполненного подсчета запасов как геостатистическим моделированием, так и подсчета традиционными методами.

Используемые для геостатистического моделирования программные средства

Используемые для геостатистического моделирования программные средства должны обеспечивать прозрачность применяемых алгоритмов. Алгоритмы должны быть изложены в сопровождающей информационную технологию документации, в ее справочной системе или должны быть известны из публикаций. В сложных случаях и при использовании

нетривиальных алгоритмов они должны быть изложены в текстовой части материалов, представляемых на экспертизу. Изложение всех используемых алгоритмов и процедур необязательно, но, при необходимости, отдельные технические детали должны быть представлены по запросу экспертизы. Отсутствие описания используемых алгоритмов в документации, сопровождающей программный продукт, не может служить основанием для отказа от предоставления соответствующих разъяснений. Программы, содержащие «конфиденциальные» технологии обработки информации (по принципу «черного ящика»), не могут быть рекомендованы для подготовки ТЭО кондиций и подсчета запасов и представления соответствующих результатов на государственную экспертизу, так как не позволяют выполнить их проверку в полном объеме. Для геостатистической модели необходимо описание алгоритма композитирования проб (приведения их к единой длине с учетом требований к минимальной мощности рудных тел), алгоритма создания геометрического каркаса месторождения (в соответствии с принятым принципом оконтуривания рудных тел в разведочных выработках), алгоритма интерполяции содержаний полезных компонентов в блочной модели (с определением типа/типов модели изменчивости и ее параметров: характеристик эллипсоида пространственной корреляции и его ориентировки). В случае применения геостатистической модели ее параметры (параметры модели вариограммы, элементы эллипсоида пространственной корреляции, метод интерполяции содержаний полезных компонентов в ячейках блочной модели) должны обосновываться с учетом их распространения в однородных объемах месторождения (доменах – однородных рудных зонах, рудных телах или участках рудных тел).

VI. КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА БЛОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ ИХ КОРРЕКТНОСТИ

Для оценки качества блочных моделей необходимо рассмотреть два основных момента:

1. что необходимо для создания качественной модели;
2. как можно оценить уже созданную модель в плане её соответствия реальной горно-геологической, горно-экономической ситуации.

Качество БМ в первую очередь зависит от качества и полнота исходных материалов. Чем больше информации будет введено в Базу Данных (БД) для создания Блочной Модели (БМ), тем достовернее будет эта БМ. Чем качественнее, достовернее и правильнее будет эта информация, тем достовернее будет БМ.

При этом, говоря о качестве исходных материалов, необходимо проверить насколько методически верно проходили исследования объекта по всем основным стадиям и видам работ, начиная от методики проведения разведочных работ, сопровождающихся качественными топографо-геодезическими работами, опробованием, химико-аналитическими работами,

контролем качества проведения этих работ и до стадии составления баз данных для блочного моделирования.

Для создания блочных моделей существуют основные требования к полноте материалов для моделирования месторождения в компьютерных системах. Это тот минимум информации, который необходим для проведения блочного моделирования:

- графическая информация (карты, разрезы, планы, проекции, данные топографических съёмок);
- аналитическая информация (данные опробования, данные изучения керна и т.д.);
- информация о классификации и принятых кондициях подсчёта запасов;
- данные о погашении запасов;
- описательная часть месторождения, рудного поля, района.

Правильность каждого последующего этапа напрямую зависит от результатов предыдущего, то есть невозможно говорить о правильно проведённой интерполяции до тех пор, пока не будет грамотно выполнена вариография; невозможно говорить о вариграфии, пока не будут выделены пробы и композиты в пределах каркасных моделей рудных тел; невозможно создание каркасов рудных тел до тех пор, пока не будет проведена грамотная интерпретация исходных данных и т.д. вплоть до проверки и составления файлов базы данных.

Построение выборочных вариограмм и их аппроксимации модельными функциями

Вариограммы строятся по трем основным направлениям изменчивости рудного тела. Они ориентированы по мощности и по направлению падения и простирации рудного тела, соответствующим минимальной и максимальной изменчивости. Выбор направления построения итоговых вариограмм основан на анализе геологических данных, а также анализе всенаправленных вариограмм шаг построения которых задается геологом.

В случае если эмпирическая вариограмма является «нечитаемой» могут применяться различные процедуры преобразования исходных данных. Логарифмирование, либо, что является более корректным в математическом плане, извлечение корня n -ной степени. Также хорошие результаты имеет построение относительной вариограммы, учитывающей при расчетах локальное среднее.

Отстроенные вариограммы интерпретируются геологом с точки зрения их соответствия конкретной геологической обстановки. Оценивается размер зоны влияния с точки зрения размера предполагаемых неоднородностей строения рудного тела, наличие тренда, поведение вариограммы вблизи нуля. В случае несоответствия представления геолога о геологическом строении рудного тела виду вариограммы анализируются причины данного несоответствия. Следует иметь в виду, что вариограмма, как и любая другая структурная функция, может выявить лишь неоднородности строения

месторождения, превосходящие шаг сети в несколько раз

Теоретическая вариограмма подбирается по принципу максимального подобия эмпирической функции. При этом надо учитывать, что основное влияние на расчет содержания в элементарном блоке блочной модели оказывают пробы ближайшего окружения, находящиеся на расстоянии 1-2 шагов сети. Таким образом, максимальное подобие между эмпирической и теоретической функцией должно выдерживаться на этих расстояниях. Изменчивость изучаемого параметра вблизи нуля может быть изучено лишь по вариограммам построенным по стволу скважин. Использовать эти данные для аппроксимации вариограмм, построенных в других направлениях имеет смысл при изотропном строении рудного тела либо при наличии дополнительной информации, основанной на знании геологических особенностей строения объекта. В том случае если поведение вариограммы на расстояниях меньше шага сети можно проинтерпретировать неоднозначно выбор способа аппроксимации целиком зависит от геолога. Из опыта работ следует, что достаточно часто хорошие результаты в этом случае дает отказ от использования эффекта самородков и помещение начальной точки вариограммы в «ноль». В том случае если вариограмма «нечитаемая» следует, либо вообще отказаться от использования кригинга и предпочтеть другой метод интерполяции (например, метод «обратно пропорционально квадрату расстояния»), либо аппроксимировать вариограмму основываясь на том знании геологии объекта, который исполнитель считает верным.

Выбор параметров поискового эллипсоида (объема). Определения параметров привлечения исходных данных в пределах поискового эллипсоида для расчета параметров блочной модели

Поисковый эллипсоид (объем) определяет границы пространственной зоны, в пределах которой находятся данные, привлекаемые для интерполяции. Размер эллипсоида выбирается в зависимости от параметров вариограммы, разведочной сети и особенностей распределения полезного компонента. Количество, привлекаемых для расчетов разведочных пересечений должно обеспечить представительное участие данных опробования, оказывающих влияние на оцениваемый параметр в пределах расчетного блока и снизить неравномерность сети. Обычно ограничивается либо общее количество пересечений, либо количество пересечений в пределах каждого квадранта (октанта).

Принятый размер эллипсоида по простиранию, падению и мощности должен обеспечивать, как минимум, наличие одного-двух пересечений с каждой стороны блока и нескольких проб (5-10) в пределах каждого пересечения. Количество проб, привлекаемых с пересечения зависит от контрастности оруденения, размеров рудных тел и длины проб.

Основные критерии оценки качества и корректности блочной модели

1. Качественные исходные разведочные данные по всем компонентам и параметрам.

2. Правильная геологическая интерпретация рудных тел (увязка), геологической ситуации, по всем значимым доменам.

3. Описательная статистика должна быть проведена в максимальном объеме. В результате должны быть определены минимальные/максимальные значения параметров, природный борт, уровень ураганных проб, подтверждения выделенных доменов и т.п.

4. Композитирование должно отвечать особенностям распределения компонентов.

5. Изменчивость (анизотропия) должна быть исследована по трем направлениям, определенных математически, с учетом закономерностей природного распределения компонентов.

6. Для каждой экспериментальной вариограммы должна быть подобрана корректная математическая модель.

7. Корректная сходимость результатов подсчета запасов с использованием БМ с результатами, полученными представительным альтернативным методом.

VII. КОНДИЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ОКОНТУРИВАНИЯ ОРУДЕНЕНИЯ ПРИ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ С УЧЕТОМ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ТИПА ОРУДЕНЕНИЯ И ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ СПОСОБОВ И СИСТЕМ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Обобщение

Результаты блочного моделирования широко используются при изучении месторождений и проведении эксплуатационных работ за рубежом. Опыт внедрения их в практику подсчета запасов и разработки технико-экономического обоснования кондиций имеется и в нашей стране. Особенно привлекательным использование блочного моделирования выглядит при разработке ТЭО кондиций, когда на основе единой созданной модели представляется возможным оценить параметры запасов при разном уровне бортового содержания. Кроме того, полученные данные удобно использовать для обоснования оптимального контура карьера при проектировании открытых работ и составлении календарных графиков освоения месторождения.

Показатели кондиций, утверждаемые в результате прохождения госэкспертизы, являются важнейшим инструментом оценки запасов, регулирующим взаимоотношения владельца недр (государства) и недропользователя. Они не только влияют на качественные и количественные характеристики объектов, передаваемых недропользователю, но и определяют отчетные сведения по отработке месторождения, в том числе: движение запасов по периодам освоения, их подтверждаемость, оценку фактических потерь и разубоживания и т.п. Следует особо отметить, что одним из принципов учета запасов в нашей

стране является их оценка по состоянию в недрах, без учета потерь и разубоживания.

Функции кондиций и условия учета запасов, установленные существующим законодательством, являются определяющим фактором при обсуждении вопроса о применении (введении) особых показателей в условиях блочного (геостатистического) моделирования.

Из этого следует, что кондиционные показатели, используемые для оконтуривания оруденения при блочном моделировании должны обеспечивать такие результаты оценки, которые будут воспроизводиться при применении традиционных способов подсчета запасов на всех стадиях геологоразведочных работ, а также при их учете в процессе освоения месторождения.

Применение кондиционных показателей

Перечень кондиционных показателей, используемых в условиях традиционного подсчета запасов, различается в зависимости от вида полезного ископаемого, геологических особенностей месторождения и морфологии рудных тел, проектируемых способов отработки и особенностей переработки минерального сырья.

Для месторождений простого строения, обладающими четкими геологическими границами моделирование сводится к построению каркасов рудных тел. Проблемы использования кондиций при блочном моделировании, как правило, не возникают. Руды с различными свойствами (технологические типы, сорта, и другие разновидности) выделяются как отдельные домены.

Для оконтуривания оруденения при отсутствии четких геологических границ используются особые кондиционные показатели. Основными из них являются: бортовое содержание полезного компонента в краевой пробе, включаемой в подсчетный контур, минимальное содержание на краевое пересечение, минимальная мощность рудного тела и максимальная мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в контур подсчета запасов. Применение этих показателей особенно актуально для жильно-прожилковых образований, штокверков и штокверкоподобных залежей.

Блочное моделирование на таких объектах осуществляется чаще всего оболочках (каркасах), выделяемых по «природному» борту и охватывающих всю область проявления полезной минерализации. Далее выделение руды происходит с учетом содержаний в ячейках модели. В этих условиях возникает проблема выбора значений кондиционных лимитов, определяющих условия выделения оруденения при блочном моделировании. Чаще всего традиционно применяемые в нашей стране показатели кондиций не могут быть напрямую введены в практику работы с блочными моделями, а некоторые из показателей кондиций при этом фактически не могут соблюдаться.

Понятие «бортовое содержание» относится к краевой пробе, включаемой в рудный интервал (в контур подсчета). При блочном

моделировании рассматриваются содержания в элементарных блоках (ячейках). Граничное содержание в ячейке при выделении запасов при экономической оценке обычно обозначается термином *cut-off grade*.

Пробы и элементарные блоки характеризуются разными размерами (масштабами), что предопределяет различие параметров статистических распределений по ним, в том числе дисперсий и показателей асимметрии; средние содержания по ним в пределах одного каркаса могут быть практически равны. Разделение этих статистических совокупностей на рудную и безрудную части по одинаковой величине граничного содержания в пробах (бортовое) и в ячейках (*cut-off grade*) приводит к появлению систематического смещения (различия) в оценке средних содержаний в руде для традиционного подсчета и блочной модели. Данное явление получило название масштабный эффект или «support-effect» в зарубежных публикациях.

Величина смещения при одних и тех же исходных условиях будет зависеть от природных особенностей объекта, вида геостатистической модели, ее параметров, уровня бортового лимита, условий выделения «минерализованной зоны» или подсчетного объема, плотности разведочной сети и от других факторов. В целом, использование одинакового лимита для элементарных блоков и проб в условиях «свободных» оболочек всегда приводит к систематической ошибке в оценке содержаний.

Устранение или учет этого смещения возможны различными способами:

- использованием значения *cut-off grade*, отличающегося от величины бортового содержания (то есть другого предельного содержания);
- изменением контуров оболочек (каркасов);
- использованием процедур, преобразующих распределение содержаний в элементарных блоках, в частности процедур нелинейного кригинга.

Первый прием является самым простым и логически обоснованным. Поправочный коэффициент в этом случае устанавливается на основе сравнения результатов традиционного подсчета и блочного моделирования. Этот прием в ограниченных условиях может применяться для повариантного подсчета запасов при разработке ТЭО.

Следует иметь в виду, что характеристики распределения содержаний в ячейках (элементарных блоках) в значительной степени зависят от условий моделирования и, особенно, от размеров этих ячеек. Таким образом, величина поправки может различаться для моделей, созданных на разных стадиях изучения месторождения. В случае использования для оконтуривания и подсчета запасов предельно плотной сети (сопровождающая эксплуатационная разведка) распределение содержаний по блочной модели и по пробам может и не различаться. Причиной этого является соответствие длины пробы размерам блока по мощности, а плотности сети – размерам блоков по соответствующим направлениям. В этом случае каждая пробы характеризует один блок, хотя влияние окружающих проб также проявляется и учитывается. В этих условиях для

оконтурирования оруденения по традиционной методике и по данным блочного моделирования может применяться единый бортовой лимит.

Наиболее полное сходство результатов подсчета запасов традиционным методом и по блочной модели достигается при построении оболочек, совпадающих с контуром рудных тел, построенных по бортовому содержанию (для проб). В этом случае вопрос о применении особого лимита для элементарных блоков не возникает. Вместе с тем этот подход является достаточно трудоемким, что снижает привлекательность использования блочных моделей.

Процедуры нелинейного преобразования распределений по элементарным блокам достаточно эффективны, однако возможности их применения имеют ряд ограничений. Одним из них является требование относительно высокая (не менее 0.7) доля руды (коэффициент рудоносности) в выделенном каркасе. Кроме того, необходимо, чтобы распределения содержаний соответствовали нормальному или логарифмическициальному закону. Данные процедуры реализованы не во всех программных продуктах.

Отмеченные обстоятельства показывают, что применение единого уровня бортового лимита в качестве кондиционного показателя, как для традиционного подсчета, так и для блочного моделирования для адекватного учета запасов на всех стадиях геологоразведочных работ оказывается почти невозможным. Решение этой задачи состоит в определении уровня допустимого cut-off grade при моделировании в каждом конкретном случае. Изменение условий моделирования должно приводить и к корректировке данного показателя. Критерием в этом случае является соответствие результатов блочного моделирования результатам традиционного подсчета запасов по выбранному варианту кондиций.

Реализация такого кондиционного показателя, как минимальное содержание на краевое пересечение, непосредственно в рамках блочной модели практически невозможно. Его можно учесть только в случае предварительного построения каркасов рудных тел, исключающих из подсчета такие пересечения.

Минимальная мощность рудного тела и максимальная мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд в традиционном подсчете выбираются с учетом возможностей отработки открытым или подземным способом, а также с учетом геологических особенностей объекта. Зачастую эти показатели выбираются различными по величине. Например, для подземной отработки минимальная мощность рудного тела может составлять 1 м, а максимальная мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд может приниматься равной 3 м.

В рамках блочного моделирования теоретически считается, что величина этих показателей кондиций может регулироваться размерами элементарных блоков. В действительности в этом случае можно установить только один размер блока (по мощности), например – 1 м. Это обстоятельство создает определенные сложности в применении кондиции на максимальную

мощность пустых прослоев, так как моделированием будут выделяться «пустые» блоки общей мощностью 1-2 м в пределах рудных интервалов, выделенных по установленным кондициям. В результате среднее содержание по блочной модели окажется несколько завышенным (в сравнении с результатами традиционного подсчета).

Трудности возникают также с учетом такого показателя кондиций, как минимальный метропроцент (метрограмм). При наличии маломощных интервалов с относительно высокими содержаниями они включаются в подсчет по традиционному методу при условии достаточной величины метропроцента (метрограмма). При этом учитывается их исходная заниженная мощность, например 0.2-0.3 м. При блочном моделировании содержания будут автоматически пересчитаны на установленную мощность (например, на 1 м) и фактически будут разубожены в сравнении с традиционным подходом. Разный учет таких пересечений создает различие в результатах подсчета запасов. Особенно это явление характерно для подсчета запасов жильных месторождений, где средняя мощность рудных тел и минимальная мощность, установленная кондициями, часто оказываются сопоставимыми.

На особенности применения кондиционных показателей и на различие результатов оценки запасов различными методами существенное влияние оказывает прием композитирования проб, характерный для блочного моделирования. Он состоит в предварительном пересчете содержаний полезного компонента на интервалы фиксированной длины. Выбор длины композитов обычно осуществляется на основе статистического анализа длины проб, отобранных на месторождении. Оптимальной для композитов считается длина, равная средней длине проб.

При использовании горно-буровой системы разведки нередко наблюдается различие в длине проб по горным выработкам и по скважинам. В этом случае композитирование должно осуществляться по данным опробования в пересчете на истинную мощность.

В результате композитирования в той или иной степени происходит «сглаживание» исходных данных. Особенно сильно оно проявляется в тех случаях, когда этот прием осуществляется без каких-либо ограничений или при выборе длины композитов, значительно большей, чем средняя длина проб. Выделение рудных интервалов по композитированным или не композитированным пробам с учетом установленных кондиций даст разные результаты. Все это повлияет и на результаты блочного моделирования.

В условиях традиционного подсчета запасов рудных тел, предназначенных для подземной отработки, для разделения их по балансовой принадлежности используется понятие «минимального промышленного содержания» которое устанавливается применительно к подсчетному блоку. В стандартах CRIRSCO, и в том числе в стандарте JORC разделение запасов на балансовые и забалансовые не предусматривается. Применение этого кондиционного показателя в условиях блочного моделирования требует особых процедур по определению контуров выемочных единиц и оценки

параметров в них, или выделения границ подсчетных блоков геологом-специалистом «вручную».

Проведенный анализ условий оконтуривания оруденения при разных подходах к оценке запасов позволяет сделать следующие выводы:

– при подсчете запасов месторождений с четкими геологическими границами (кимберлитовые алмазные месторождения, минерализованные дайки, пластовые и пластообразные тела бокситов, каолинов, строительных материалов, фосфоритов, калийных солей и т.п.) кондиционные показатели в большинстве случаев определяют только границы открытых и горных работ. В этих случаях традиционный подсчет и блочное моделирование дают сходные результаты и разработка особых кондиций для блочного моделирования не требуется;

– для месторождений, где оконтуривание при традиционном подсчете производится с использованием набора кондиционных показателей – бортового содержания, минимальная мощность рудного тела и т.п., их полноценный учет в рамках БМ практически невозможен; можно лишь говорит об их условном соответствии друг другу. В этом случае достичь сходства параметров запасов оказывается достаточно трудно.

Выход из создавшейся ситуации возможен на основе приоритета кондиционных показателей, установленных для традиционных методов подсчета. Построение каркасов сплошных рудных тел с использованием кондиций позволяет получить сходные результаты подсчета тем и другим методом.

VIII. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ БЛОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ КОНДИЦИЙ (АНАЛИЗ КОРРЕКТНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПО ВАРИАНТАМ, ОПИСАНИЕ УСЛОВИЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ, В ТОМ ЧИСЛЕ КАРЬЕРОВ)

Блочные модели, представляемые при обосновании ТЭО кондиций

Блочные модели должны быть выполнены в соответствии с требованиями, изложенными в данном документе, и должны включать в себя следующие этапы:

1. Анализ и подготовка данных;
2. Выделение рудных интервалов в соответствии с кондиционными показателями;
3. Каркас топоповерхности;
4. Построение контуров рудных тел (минерализованных зон) на разрезах, планах и т.д.;
5. Построение каркасов рудных тел (минерализованных зон), каркасы тектонических разломов, каркасы разделения руд на типы, каркас по участкам классификации запасов, все использованные дополнительные каркасы;

Каркасные модели рудных образований, построенные в соответствии с представлениями авторов о геологическом строении месторождения (и линии контуров рудных образований, по которым строились трехмерные модели). Модели должны быть представлены в универсальном обменном формате (при этом поверхности описываются 3D face-примитивами), и пригодны к импорту в любое программное обеспечение, обеспечивающее возможность трехмерного моделирования. Способ построения и увязки каркасных моделей рудных тел подробно должен быть подробно описан в текстовой части.

Трехмерные модели (каркасы) рудных образований должны быть корректными (не иметь ошибок построения), замкнутыми.

Помимо каркасных моделей рудных образований, топографической поверхности (в виде 3D линий или триангуляционную), необходимы построенные поверхности карьеров (в случае открытой отработки) как проектных, так и фактического, по состоянию на дату утверждения запасов, в цифровом обменном формате.

6. Обоснование выбора параметров блочного моделирования (тип месторождения, разведочная сеть, морфология рудных образований, определяющая параметры блочной модели):

а. Статистический анализ данных и описание прочих процедур, на основании которых выбран метод интерполяции

б. Геологическое обоснование направлений изменчивости. Графики выборочных вариограмм в основных направлениях изменчивости, их описание - шаг осреднения, угол сглаживания, коридор сглаживания

с. обоснование выбора поискового эллипсоида (ориентация в пространстве, размер полуосей, минимум/максимум проб в эллипсоиде, количество привлекаемых проб с выработки, особые действия типа расширения/сжатия его при переборе/недоборе проб, контроля октантов и т. д.).

Раздел должен сопровождаться иллюстративным материалом, позволяющим оценить верность примененных подходов – графики, схематические рисунки, отражающие положение эллипсоида поиска в отношении основных рудных образований и пр.

7. Описание процедуры создания блочной модели

а. Координаты начала блочной модели (с обязательным указанием точки отсчета, так как в различных применяемых программных средствах они могут быть разными)

б. Размеры ячеек блочной модели. В случае применения субблокирования – указать степень, характеризующую количество субблоков (если позволяет программное обеспечение, в котором создавалась модель). При отсутствии субблоков, но применении факторного разбиения краевых ячеек, указать применяемый процент вхождения ячейки.

с. Описание кодов блочной модели с их принадлежностью рудным образованиям, пустой породе и других, введенных авторами.

8. Блочная модель должна быть представлена в обменном формате, обеспечивающем ее импорт в любое программное обеспечение, обеспечивающее ее визуализацию. Обязательно предоставляется описание структуры файла – наименование полей, их расшифровка. Допускается предоставление только рудной части модели.

9. В файле блочной модели должны быть следующие поля:

- a. Координаты центра элементарного блока (X, Y, Z)
- b. Код (руды, тип руды и пр.)
- c. Содержание рассчитываемого компонента в элементарном блоке
- d. Величина объемной массы
- e. В случае процентной модели – процент вхождения руды

10. Графическое представление блочной модели

Оценка корректности всех этапов проводится в соответствии с рекомендациями, изложенными в данном документе.

Повариантный подсчет запасов может выполняться в каркасах, отстроенных по каждому из предлагаемых вариантов кондиций либо в единых контурах, отстроенных по варианту минимального из рассматриваемых вариантов бортового содержания. Первый вариант является предпочтительным.

При использовании второго варианта появляется необходимость использования нелинейных преобразований (обычно, индикаторный кригинг), но, несмотря на это происходит «размазывание» содержания в пределах общего объема, что приводит при подсчете запасов к его занижению, относительно варианта расчета в этих же контурах с использованием коэффициента рудоносности. Кроме того, распределение ячеек блочной модели с кондиционными содержаниями носит в этом случае «формальный» характер – кондиционные содержания появляются на неопробованных участках и доказать их наличие без результатов эксплуатационной разведки невозможно. А эти данные в дальнейшем используются для построения оптимального контура карьера.

Еще одним вопросом, требующим решения при использовании второго варианта, является определение соотношения между кондиционным показателем бортовое содержание и граничным значением содержания в ячейке блочной модели, при котором эта ячейка относится к кондиционной руде. За счет процедуры «размазывания» содержания, свойственной любой процедуре интерполяции, проводимому в свободных контурах при использовании одного лимитирующего значения содержания в случае блочного моделирования запасы руды увеличиваются, а значение среднего содержания уменьшаются относительно варианта расчета в этих же контурах с использованием коэффициента рудоносности. Повышение кондиционного лимита на содержание в ячейках блочной модели приводит к совпадению средних содержаний при подсчете запасов традиционным способом и с применением блочного моделирования, но при этом занижается запас металла.

Определенные приемы, позволяющие повысить контрастность оценки содержания в условиях блочного моделирования позволяют работать при относительно высоких значениях коэффициента рудоносности. Как следует из опыта, при значениях коэффициента рудоносности близкого к 0.5 способов сблизить подсчеты запасов, выполненные по разным методикам нет.

Повариантный подсчет запасов, выполненный в каркасах, отстроенных по каждому из предлагаемых вариантов кондиций с такими проблемами не сталкивается. Даже если подсчет проводится в контурах минерализованных зон, значение коэффициента рудоносности, как правило, высокие, что позволяет относительно легко получить сопоставимые цифры запасов и среднего содержания при использовании традиционных методов подсчета запасов и блочного моделирования.

Требования к повариантному подсчету запасов, как-то, изменение параметров оруденения по вариантам кондиций, содержания в прирезаемых запасах, принцип вложенности контуров, для запасов, выделяемых по разным вариантам кондиций и т.д. остается тем же, что и для запасов, подсчитанных по традиционной методике.

Одним из основных этапов работ, где используются результаты повариантного подсчета запасов, выполненного с использованием блочного моделирования, является оптимизация контуров карьера с использованием специализированного программного обеспечения: Whittle, NPV Sheduler, Surpas и т.д.

В случае использования результатов блочного моделирования только на этапе горно-технического обоснования кондиций требования к ее построению остаются теми же, что описаны. Основное внимание уделяется соответствуию контуров отстроенных каркасов, контурам рудных тел, выделенных при традиционном подсчете, а также соответствуию содержаний и запасов в пределах рудных тел и отдельных блоков.

При предоставлении блочных моделей в ГКЗ список данных включает в себя:

1. База данных ее описание, легенда ко всем полям;
2. Описание всех атрибутов (используемый как в БД, так и в блочной модели);
3. Блочная модель, без ограничения по зоне минерализации;
4. Параметры блочной модели (координаты левого нижнего угла, размер модели по X, Y, Z, размер материнского блока и суб-блока);
5. Каркас топоповерхности;
6. Каркасы зоны минерализации или рудных тел, каркасы тектонических разломов, каркасы разделения руд на типы, каркас по участкам классификации запасов, все использованные дополнительные каркасы;
7. Каркасы карьеров (при открытой отработки);
8. Для надежной экспертизы модели необходимо в атрибуатах модели предоставить следующие геостатистические параметры, полученные для

основного(ых) оцениваемого(ых) элемента(ов): количество проб при интерполяции в блок, минимальное расстояние до пробы, среднее расстояние до проб, участвующих в интерполяции, дисперсия кригинга, наклон линии регрессии, множитель Лагранжа, количество отрицательных весов.

9. Главу в ТЭО, детально описывающую следующие:

- Процедуру выбора и оконтурирования зоны минерализации или рудного тела параметры каркасов (жесткие, прозрачные);
- Статистический анализ данных;
- Геостатистический анализ данных (с графиками и параметрами вариограмм по всем выделенным доменам);
- Выбор и обоснование параметров блочной модели;
- Выбор и обоснование параметров интерполяции (длина композита, количество проб, параметры поискового эллипса) для каждого оцениваемого элемента;
- Выбор и обоснование классификации запасов;
- Оценка качества блочного моделирования;
- График зависимости тоннажа и содержания от значения бортового содержания. Анализ полученных результатов: анализ зависимости параметров при различных бортовых содержаниях.

Анализ корректности изменения параметров по вариантам

Необходимо провести анализ изменения параметров среднего содержания и тоннажа от бортового содержания на графике и объяснить характер зависимости. Варианты бортовых содержаний должны включать не только варианты кондиций, но и весь спектр возможных бортовых содержаний, которые могут быть применены к изучаемому месторождению с шагом, обеспечивающим наличие выдержанного и непрерывного графика.

Описание условий применения при оптимизации

В оптимизации участвует модель, включающая в себя помимо зоны минерализации блоки вмещающих пород и воздушные блоки, которым присвоены соответствующие параметры объемной массы и кодировки. Блочная модель должна покрывать участок, превосходящий по площади будущий оптимальный карьер. В модели должны быть представлены все атрибуты, которые могут влиять на параметры оптимизации:

- Содержания по всем значимым элементам;
- Мощность тел в случае необходимости для оптимизации подземных горных работ;
- Содержание в разубоживающей массе, если такие данные имеются.

Оптимизация границ открытых горных работ

Основные понятия оптимизации карьера

Процесс оптимизации карьера использует алгоритм Лерча-Гроссмана, который основан на теории графов и является методом, позволяющим определить оптимальную оболочку карьера.

Для месторождения, которое представлено в виде блочной модели с показателями содержания руды или прибыли от добычи блока, уступы карьера определяются в условиях вышележащих блоков, которые необходимо извлечь для обеспечения доступа к каждому блоку в блочной модели.

В алгоритме Лерча-Гроссмана напаравленные конусы указывают какие блоки необходимо извлечь для того чтобы добыть, переработать или складировать в отвал определенный блок. Для процесса оптимизации карьеров каждый блок должен иметь связанное с ним фиксированное значение затрат/ценности блока.

Ценность безрудного блока обычно определяется затратами на добычу и складирование (отвалообразование, рекультивация и так далее) пустых пород. Отрицательное значение обозначает экономические потери. Ценность рудного блока определяется как доход от продажи конечного продукта за вычетом затрат, связанных с добычей и переработкой всех элементов в данном блоке.

Ценность рудного блока может быть отрицательным значением в случае, если затраты превышают прибыль. Также, в некоторых случаях рудным блоком можно считать тот блок, экономические потери которого при отработке меньше, чем если бы данный блок отрабатывали как безрудный. Процесс оптимизации карьеров определяет блоки с отрицательным значением ценности как безрудные, а блоки с положительным показателем как рудные.

Процесс оптимизации карьера состоит из следующих этапов:

- Подготовка блочной модели;
- Определение исходных параметров оптимизации карьера;
- Получение предельной оболочки карьера;
- Создание набора вложенных оболочек карьера;
- Анализ набора вложенных оболочек карьера;
- Выбор оптимальной оболочки карьера.

В зависимости от начальных данных подготовка блочной модели может включать в себя следующие шаги:

- Переблокировка и/или оптимизация блочной модели (при необходимости увеличения или уменьшения размеров блоков);
- Регуляризация блочной модели (при необходимости создания блочной модели с коэффициентом рудоносности);
- Создание блочной модели по вмещающим пустым породам, и объединение ее с существующей рудной блочной моделью;
- Создание новых полей, и заполнение их кодами для дальнейшего расчета различных параметров;
- Усечение блочной модели по ЦМП.

Конечной целью процесса оптимизации карьера является определение **оптимальной оболочки карьера**. Оптимальная оболочка дает наибольший чистый дисконтированный доход, принимая во внимание все эксплуатационные ограничения на сроки отработки (например, годовую

производительность предприятия по добыче и переработке), ставку дисконтирования и возможные периодические капитальные затраты. Предельная оболочка карьера может считаться оптимальным карьером, но только для месторождений с коротким сроком эксплуатации (приблизительно 3 года). Если месторождение отрабатывается дольше данного срока, то необходимо создать вложенные оболочки карьера и произвести анализ для определения оптимальной оболочки.

Для определения оптимального карьера необходимо провести последовательный анализ вложенных оболочек карьера. **Вложенные оболочки карьера** - это конечные контуры карьера, которые были созданы с использованием идентичных вводных данных, за исключением цены основного элемента, к которой применяются факторы корректировки дохода (ФКД).

Анализ вложенных оболочек карьера позволяет выбрать оптимальную оболочку и определить будущие дисконтированные денежные потоки, принимая в расчет ставку дисконтирования и другие параметры (например, периодические затраты).

Исходными данными для построения оптимизационного контура карьера месторождения служат следующие данные:

Параметры для оптимизационных расчетов А)

Параметры	Ед.изм.	Значения
Бортовое содержание	г/т	
Содержание золота в геологических запасах	г/т	
Объемный вес породы	т/м ³	
Объемный вес руды	т/м ³	
Потери руды при добыче	%	
Разубоживание	%	
Затраты на добычу руды	\$/т	
Затраты на вскрышу	\$/м ³	
Стоимость переработки руды	\$/т	
Цена Au	\$/oz	
Извлечение (согласно технологическому регламенту)	%	
Предельный угол наклона борта карьера	град.	
Общие и административные расходы	\$/т	

Параметры для оптимизационных расчетов Б)

Сценарий

Чтобы определить последовательность ведения горных работ для оболочки карьера при добыче слоя, можно использовать три сценария.

Слой-это набор блоков, который обрабатывается в режиме Анализировать. В пределах слоя нет четкого порядка отработки, и полагается, что все блоки в слое отрабатываются и прерабатываются одновременно. Если слой не может быть полностью переработан за период,

берется его часть. В следующий период данные этого слоя будут пересчитаны, с использованием параметров для текущего периода. Данные этого слоя будут пересчитаны, с использованием параметров для текущего периода, а также с учетом того, что часть его уже отработана.

Лучший сценарий

Наилучший сценарий плана горных работ включает полную выработку самого небольшого карьера, а затем полную выработку каждой последующей оболочки карьера сверху вниз до начала следующей оболочки карьера.

Здесь слой - это разница между текущей и предыдущей оболочкой карьера и, таким образом, продолжение одной оболочки карьера в другую (продвижение борта карьера). Другими словами, то, что осталось в текущей оболочке карьера, когда предыдущая уже выработана.

План горных работ при наилучшем сценарии редко бывает возможным на практике, поскольку расстояние продвижения борта карьера является слишком узким. Тем не менее, полезным бывает настроить верхний предел с позиции Чистого дисконтированного дохода (ЧДД).

Худший сценарий

Худший сценарий плана горных работ заключается в полной отработке каждого уступа перед началом работ со следующим. Здесь слой соответствует уступу.

Худший сценарий более выполним с практической точки зрения, однако является слишком дорогим, поскольку влечет много вскрышных работ на ранних стадиях отработки карьера. Худший сценарий позволяет вам настраивать нижний предел ЧДД.

Постоянный шаг (лаг)

Этот метод моделирует более близкую к реальности последовательность ведения горных работ.

Очень часто бывает сложно выбрать оболочку карьера с наиболее высоким ЧДД (оптимальную оболочку карьера), когда разница между кривой ЧДД для "лучшего" и "худшего" сценария достаточно велика. Вы можете использовать метод, чтобы смоделировать наиболее реалистичный порядок ведения горных работ и денежный поток. "Постоянный шаг" предполагает, что оболочки карьера будут отрабатываться по порядку, как при использовании "Лучшего" сценария, но также с учетом количества уступов, которые необходимо отработать по каждой оболочке карьера.

Если шаг установлен на 0 (ноль), каждый этап отработки борта завершается до начала следующего, поэтому анализ срабатывает таким же образом, как и при "худшем" сценарии. Вполне очевидно, что увеличение шага уступа приближает последовательность отработки к "лучшему" сценарию.

Если шаг равен 3, тогда уступ (п-3) второй оболочки карьера будет отрабатываться одновременно с уступом (п) первой оболочки карьера. Другими словами, отработка второй оболочки карьера не будет начата, пока не будет отработан третий уступ первой оболочки карьера, а третья оболочка

будет вовлечена в отработку только тогда, когда будет полностью отработан третий уступ второй оболочки карьера.

Сценарий "Постоянный шаг" может использоваться для предварительного планирования. Для этого необходимо отметить блоки блочной модели по периоду, в который они будут отработаны.

Примечание: Данные, которые создаются в результате процесса анализа, могут быть просмотрены и проанализированы на графике, который генерируется функцией Горные работы | Оптимизатор карьера | График результатов. ПО (*Micromine*).

Отметить блоки карьера по периодам При работе в режиме По периодам выберите опцию Отметить блоки карьера по периодам, если вы хотите отметить блоки блочной модели и/или точки оболочки карьера по периодам, в которые они будут извлекаться.

Эта опция не доступна в случае, если вы работаете в режиме По вложенным карьерам.

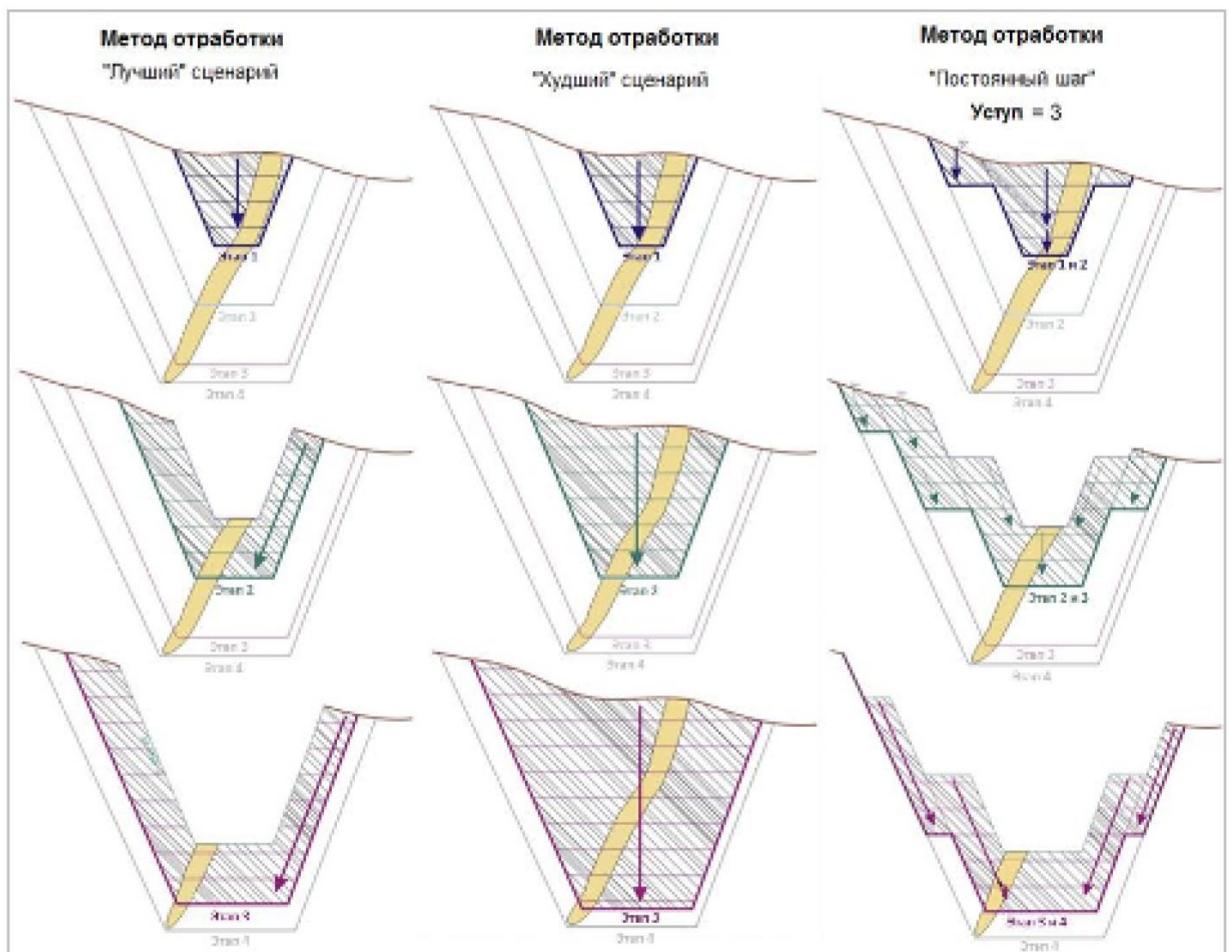


Рис.28 Пример Сценарий

IX. ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДСТАВЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (ГРАФИЧЕСКАЯ И ТАБЛИЧНАЯ ФОРМЫ)

Моделирование месторождений может выполняться с использованием любых аprobированных в мировой практике горно-геологических программных продуктов. Блочное моделирование при подсчете запасов полезных ископаемых выполняется на основе утвержденного варианта кондиционных показателей с описанием алгоритмов моделирования и подсчета запасов. Общие рекомендации по представлению в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) геологических данных в электронном виде и соответствующий этому виду вариант представления приведены в «Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых материалов техникоэкономических обоснований разведочных кондиций на твердые полезные ископаемые и промышленные подземные воды» и «Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых при Кабинете Республики Узбекистан материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых».

В Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых необходимо представить текстовое описание (пояснительная записка) выбранного алгоритма моделирования и подсчета запасов. В пояснительной записке должны быть охарактеризованы условия соблюдения требований кондиций для разных способов отработки при моделировании. Блочная модель должна включать все запасы, представляемые на утверждение, с разделением их по типам руд, способам отработки, категориям разведенности (изученности), балансовой принадлежности, а также по положению относительно границ лицензии (горного отвода). Выполнение требований по детальной характеристике запасов обеспечивается выделением подсчетных блоков (или доменов) с их соответствующей индексацией. В этом случае сохраняется преемственность существующих (отечественных) правил учета запасов при блочном моделировании.

Результаты оценки запасов представляются в табличном, графическом и электронном виде (в виде файлов универсальных обменных форматах с соответствующим описанием). При составлении табличных и графических документов необходимо руководствоваться «Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых материалов техникоэкономических обоснований разведочных кондиций на твердые полезные ископаемые и промышленные подземные воды» и «Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в Государственную комиссию по запасам полезных ископаемых при Кабинете Республики Узбекистан материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых».

Табличные приложения содержат сведения об объеме отдельных подсчетных блоков (доменов), принятых для них значениях объемной массы,

запасах руды, о качественных характеристиках (содержаниях) в них полезных ископаемых, определяемых по данным блочного моделирования, о запасах полезных ископаемых и других необходимых показателях. Отчетными документами являются поблочная ведомость и сводная ведомость подсчета запасов.

Графические приложения к блочным моделям должны представлять исчерпывающие сведения об условиях построения моделей и геологических особенностях объектов.

На опорных геологических (подсчетных) разрезах, планах горизонтов и проекциях необходимо указывать границы блоков (доменов) с обозначением их индексов и экспликации с характеристиками подсчетных блоков. Эти документы должны содержать исходные данные опробования по разведочным пересечениям, а также, при необходимости, коды пород разного состава и другую необходимую информацию.

В цифровом формате представляются все разрезы и погоризонтные планы, используемые для выполнения процедуры подсчета запасов.

На бумажных носителях: в виде нескольких представительных разрезов и/или погоризонтных планов, на которых показаны фактические данные по опробованию и результаты интерполяции, то есть содержания по элементарным блокам модели, пространственно совпадающим с точками отбора проб. Цветовая легенда должна обеспечивать возможность визуальной оценки сопоставимости полученных результатов с фактическими.

В случае отрабатываемого месторождения – обязательно предоставляется сопоставление результатов блочного моделирования с результатами эксплуатационной разведки.

Х. АЛГОРИТМЫ КАТЕГОРИЗАЦИИ ЗАПАСОВ В БЛОКАХ КРИГИНГА ПРИ ГЕОСТАТИСТИСКОМ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Категоризация запасов в Республике Узбекистан

Категоризация запасов в Республике Узбекистан регламентируется Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых; определяющим фактором является плотность разведочной сети.

Блокировка запасов производится в соответствии с учетом геологических особенностей строения рудных тел и плотностью геологоразведочной сети.

Категории присваиваются запасам в подсчетных блоках, размеры которых зависят от производственной мощности горного предприятия и плотности разведочной сети (так, для золоторудных месторождений запасы руды в блоках категории С₁ соответствуют годовой производительности предприятия, а в блоках категории В – полугодовой).

Подход и основные понятия категоризации запасов в блочной модели

Категоризация запасов ТПИ по результатам блочного моделирования выполняется на основе оценки надёжности вычисленных средних

содержаний какой-либо переменной величины в блоке (ячейки) блочной модели. В случае блочного моделирования надежной считается несмещенная оценка содержаний в блоке, основанная на корректном выборе параметров модели и параметров интерполяции. При присвоении категории запасов необходимо учитывать следующие факторы: параметры и критерии построения каркасных моделей; параметры и процедуры построения блочных моделей; методика и параметры интерполяции, включая результаты статистического и геостатистического анализов

Надежность оценки средних содержаний в блоке (ячейки) блочной модели определяется следующими характеристиками:

1. Общая изученность геологического строения, условия залегания рудных тел и установленные на месторождении закономерности изменения их размеров, формы, мощности и качества руд;

2. Наличие выдержаных в 3D каркасов зоны минерализации или рудных тел;

3. Наличие выдержаных в 3D локальных структур, контролирующих распределение содержаний полезного компонента;

4. Соблюдение условия стационарности (коэффициента эксцесса и дисперсии) содержаний для каждого выделенного домена;

5. Получение представительных и надежных моделей вариограмм, отражающих геолого-структурные параметры зоны минерализации;

6. Соответствие сети бурения рангу вариограммы;

7. Корректного выбора размера материнского блока для блочной модели;

8. Корректного выбора параметров интерполяции (размер поискового эллипса, параметры эллипса, количество проб, участвующих в интерполяции).

Процесс категоризации запасов с использованием процедуры блочного моделирования выполняется в несколько подготовительных этапов и одного заключительного этапов.

1 этап. Подготовительный.

Перед проведением классификации необходимо провести детальный анализ данных по пунктам 1-8. Основываясь на геологических данных и данных геостатистики провести выбор параметров построения каркасов зон минерализации, дополнительных каркасов для выделения зон, характеризующих одинаковыми геостатистическими параметрами (условие стационарности), для каждого участка построить надежную модель вариограммы, выбрать и обосновать размер блока в блочной модели, выбрать и обосновать параметры интерполяции в блок (пункты 6-10 рекомендаций).

2 этап. Подготовительный.

В случае если интерполяция содержаний в блок блочной модели проводилась методом ординарного или простого кrigинга, то для категоризации запасов необходимо провести расчёт нескольких атрибутов, показывающих качество полученной оценки для каждого блока (в том числе наличие смещенной оценки). В большинстве современных программных

продуктов данные параметры рассчитываются автоматически.

Наиболее представительными из них являются следующие пять атрибутов:

1. Максимальное количество проб, использованных при интерполяции в блок.

В случае если интерполяция выполнялась на основе 1-3 проб, то оценка не может считаться надежной.

2. Дисперсия кригинга

Данный параметр связывает размер шага сети бурения, зону влияния вариограмм (ранг) и количество проб, участвующих в интерполяции, а также размер материнского блока и количество точек дискретизации. Значение дисперсии кригинга не зависит от содержания.

Значение дисперсии кригинга для надежной оценки должно быть близко 0.

3. Наклон линии регрессии

В случае наличия надежной картиogramмы и выполнения условия стационарности возможен расчет параметра регрессии между истинным (неизвестным) и оцениваемым значением содержания в блоке. Формула расчета приведена ниже.

$$a = \frac{\text{Cov}(Z_v, Z_v^*)}{\text{Var}(Z_v^*)} \quad (1)$$

Z_v – истинное содержание в блоке, Z_v^* - оцененное содержание в блоке

$$a = 1 - \frac{\mu}{\text{Var}(Z_v^*)} \quad (2)$$

Где $\text{Var}(Z_v^*)$ – дисперсия оценки в блоке

$$\text{Var}(Z_v^*) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j C(x_i, x_j) \quad (3)$$

А $C(x_i, x_j)$ – значение функции ковариации между пробой x_i и x_j , а веса кригинга, относящиеся к этим пробам соответственно λ_i и λ_j .

Значение наклона линии регрессии для надежной оценки должно стремиться к 1 (может быть немногого выше 1, в случае положительного значения коэффициента Лагранжа). Параметр учитывает и характеризует взаимосвязь сети бурения, ранга вариограммы, размера блока, точек дискретизации и количества проб, участвующих в интерполяции.

Надежной и несмещенной оценкой могут считаться блоки со значением наклона линии регрессии более 0.85, значения 0.5-0.85 дают допустимую оценку, значения ниже говорят о наличии смещенной оценки.

4. Количество весов с отрицательным значением

В рамках интерполяции на границе поиска возможно появление весов кригинга с отрицательным значением. Их наличие говорит о выборе надежных параметров интерполяции, однако их количество в общей массе проб, участвующих в интерполяции не должно превосходить 5%. В случае

если количество весов превышает указанное значение возникает риск получения ненадежного результата.

5. Вес среднего (простой кригинг)

Вес, относящийся к среднему, рассчитывается по формуле:

$$\lambda_m = 1 - \sum \lambda_i^{sk} \quad (4)$$

Где λ_{sk} – веса простого кригинга.

Чем ниже λ_m , тем надежнее считается оценка.

Все описанные атрибуты в современных программных продуктах рассчитываются автоматически.

В совокупности пять атрибутов интерполяции (количество проб, дисперсия кригинга, наклон линии регрессии, количество отрицательных весов, вес среднего) позволяют оценить надежность интерполяции и наличие несмещенной оценки в каждом частном случае.

3 Этап. Классификация

Также как и в существующей системе классификации запасов, категоризация запасов с использованием блочного моделирования проводится на основе характеристики сложности геологического объекта, учёта геологоразведочной сети бурения с дополнительным учётом требований по выдержанности зон минерализации и геостатистических параметров. При проведении геостатистического анализа количественные характеристики параметров вариограмм (эффект самородка, силл и ранг) позволяют уменьшить субъективность в определении класса сложности месторождения. Однако, это возможно только при корректном построении вариограммы. В связи с использованием блочного моделирования качество интерполяции должно быть обязательно учтено при категоризации запасов. Ненадежная смещенная оценка по данным блочного моделирования не должны быть классифицирована по высокой категории.

Для обеспечения преемственности методики классификации рекомендуется дополнять существующую методику, составленную для каждого типа месторождения и элемента (таблица «Сведения о плотности сетей разведочных выработок, применявшихся в странах СНГ») дополнительной таблицей, которая позволяет оценить качество модели и соответственно вести классификацию при проведении подсчета запасов с использованием методики блочного моделирования и геостатистического анализа. Учёт дополнительных требований по выдержанности зон минерализации и геостатистическим параметрам отражает переход от двухмерного анализа строения месторождения на трехмерное моделирование с использованием блочных моделей.

Список и характеристика дополнительных параметров по традиционным отечественным категориям изученности месторождения представлен в таблице 8.

При применении блочного моделирования, если категория запасов, оцененная на основе традиционных 2-х мерных методов подсчета запасов, не будет подтверждена характеристиками из таблицы 8, то данную категорию

необходимо будет пересмотреть. Также возможно и обратные варианты: если в случае блочного моделирования дополнительные параметры из таблицы 8 показывают более высокую категорию запасов, тогда необходимо рассмотреть и обосновать такую возможность.

В случае если была построена надежная блочная модель месторождения, однако присутствует значимая погрешность по данным контроля качества аналитических работ, категория запасов должна быть понижена.

Ограничения:

Для корректного применения предложенной классификации необходимо иметь надежную основу для интерполяции: разделить объем на домены, иметь надежную вариограмму для каждого домена и подобрать корректные параметры интерполяции.

Таблица 8

Параметры и категории изученности при блочном моделировании

Параметры	Категории изученности		
	B	C1	C2
Геологическая изученность	Необходима	Основные аспекты определены	Требует дополнительных изучений
Качество опробования и аналитики	Необходимо	Необходимо	Требует уточнения
Наличие 3D выдержаных геологических доменов	Реализовано	Реализовано	Реализовано в 2D – частично 3D
3D выдержанность содержаний	Реализовано	Частично реализовано в 3D	Частично реализовано в 2D
Наличие надежных вариограмм	Реализовано	Реализовано	Не реализовано
Количество проб в интерполяции	Не менее 12 для всех блоков	Не менее 12 для 70% блоков	Не менее 12 для 30% блоков
Дисперсия кrigинга	Стремиться к 0	Низкая	Высокая
Наклон линии регрессии	>0,85 для 70% блоков	0,5-0,85 для 60% блоков	<0,6
Вес, отнесенный к среднему – для простого кrigинга	Близок к 0	Низкий	Высокий
% весов с отрицательным значением	<5%	0%	0%

Алгоритмы категоризации запасов

1. Категоризация геологических запасов регламентируется действующей в Республике Узбекистан Классификацией запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. При этом плотность геологоразведочной сети является определяющим фактором, влияющим на отнесение запасов к той или иной категории.

2. Категории присваиваются геологическим запасам в подсчетных блоках, размеры которых зависят от производительности горного предприятия и плотности геологоразведочной сети (так, для золоторудных месторождений запасы руды в блоках категории С₁ соответствуют годовой производительности, а в блоках категории В – полугодовой).

3. Блокировка запасов должна производиться в соответствии с учетом геологических особенностей строения рудных тел и плотностью геологоразведочной сети.

4. Основываясь на опыте параллельного подсчета запасов по классификации ГКЗ и оценке ресурсов по кодексу JORC по различным видам твердых полезных ископаемых и различной степени сложности геологического строения предлагается провести соответствие согласно рисунку 2.

5. Для подготовки месторождений к промышленному освоению («Технико-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций») рекомендуется руководствоваться рисунком 2.

6. Определение плотности разведочной сети по кодексу JORC опирается главным образом на характер распределения основных компонентов, а именно – на зоны влияния по трем основным направлениям распределения полезных компонентов. Зона влияния определяется при помощи вариографического анализа, который является объективным показателем, характеризующим расстояние распространения корреляционной связи между содержаниями одного и того же полезного компонента. При этом:

а. К категории Measured относятся ресурсы, попадающие в пределы 2/3 зоны влияния;

б. К категории Indicated относятся ресурсы, попадающие в пределы 1-ой зоны влияния;

с. К категории Inferred относятся ресурсы, попадающие в пределы 2-х зон влияния;

д. К категории «вне классификации» (Un-Classified) относятся ресурсы за 2-мя зонами влияния.

7. Кроме плотности геологоразведочной сети для целей квалификации ресурсов должны быть использованы следующие показатели:

а. Количество проб, попадающих в элементарную ячейку, при оценке ее среднего содержания (для ресурсов категорий Measured и Indicated должно быть не менее 3-х проб);

б. Количество выработок, данные которых применяются для оценки средних содержаний (для ресурсов категорий Measured и Indicated должно быть не менее 2-х выработок);

с. Количество прогонов, достоверно оценивающих элементарную ячейку.

8. Для ориентировки служат данные по плотности разведочных сетей, указанные в «Методических рекомендациях по применению классификации...»

9. В техническом плане выделение подсчетных блоков той или иной категории – операция несложная и сводится к построению каркасных моделей для каждого из подсчетных блоков в соответствии с описанными принципами и подсчетом геологических запасов в каждом из них.

В заключение необходимо отметить, что описанные алгоритмы категоризации, несмотря на то, что они не противоречат кодексу JORC, являются более формализованными. Кроме того, в случае если качество геологоразведочных работ будет недостаточным, то отнесение ресурсов к высоким категориям разведенности (Measured and Indicated) вряд ли возможно.

XI. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ПЕРЕЧЕНЬ ПРИЗНАКОВ (ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ), ПРИ НАЛИЧИИ КОТОРЫХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СТАНОВИТСЯ НЕ ЭФФЕКТИВНЫМ

Широкий набор кондиционных показателей не применим при геостатистическом моделировании к блочным моделям, где фактически используются только два кондиционных показателя: содержание в элементарном блоке и размеры блока блочной модели. Для экспертной оценки материалов подсчета запасов на основе блочного моделирования необходимо учитывать влияние применения бортового содержания к элементарным блокам на результаты оценки параметров запасов.

При геостатистическом моделировании, в связи с различием геометрического основания линейных проб в разведочных выработках и трехмерных (объемных) ячеек блочной модели, применение одного и того же бортового содержания для оконтуривания рудных тел и для сортировки ячеек блочной модели на рудные и безрудные, как правило, приводит к расхождению в оценке параметров запасов при сопоставлении результатов блочного моделирования и традиционного подсчета запасов в рудных контурах. Это явление давно было отмечено специалистами в области геостатистического моделирования и получило название эффекта геометрической базы опробования (support-effect). Применение граничного содержания в блочной модели, отличного от бортового, нежелательно, так как может привести к искажению распределения содержаний в элементарных блоках, ошибке подсчета запасов и некорректному расчету календарного графика рудных потоков при составлении ТЭО. Среднее содержание полезного компонента по блочной модели оказывается ниже в сравнении с подсчетом в границах бортового содержания. Для устранения эффекта геометрической базы опробования существует специальный математический аппарат, реализованный в ряде информационных технологий. Применение этого аппарата корректирует содержания в элементарном блоке модели, что

обеспечивает сходимость результатов традиционного и геостатистического подсчета запасов.

При подсчете запасов на основе блочного моделирования возникает необходимость применения предельного содержания в элементарном блоке для выделения рудных объемов и оценки запасов. Эта процедура многим исследователям представляется особенно эффективной при проведении повариантного подсчета запасов, когда в рамках одной блочной модели исследуется динамика изменения геологоразведочных параметров и запасов в зависимости от принятого лимита. На самом деле эта динамика, в связи с различием бортового содержания и минимального в блоках блочной модели, в той или иной мере не соответствует фактическому соотношению запасов при различных вариантах бортового содержания. Величина расхождения средних содержаний может меняться в широких пределах для разных типов месторождений и условий подсчета. При использовании результатов блочного моделирования, выполненного в «свободных» оболочках в сравнении с контурами рудных тел традиционного подсчета также возникает необходимость корректировки параметров статистического распределения содержаний полезного компонента в блоках. Это особенно необходимо для объектов сложного строения, где подсчет запасов осуществляется с применением коэффициента рудоносности.

При простой геологической ситуации, когда оконтуривание рудных тел проведено по сплошным рудным интервалам и в отстроенной блочной модели корректно учтены геологические особенности оруденения, необходимость корректировки содержаний в блоках модели не возникает, так как средние содержания, а также запасы руды и металла, оконтуренные по блокам и по пробам, совпадают. Во всех остальных случаях, особенно в случае подсчета запасов с применением коэффициента рудоносности, проблема эффекта геометрической базы опробования сохраняется. В процессе продолжения геологоразведочных работ повышается детальность изучения месторождения, что неизбежно ведет к уточнению границ оруденения и, соответственно, каркасов. В результате этого влияние эффекта геометрической базы опробования постепенно исчезает, так как размеры элементарных блоков приближаются к параметрам сети сопровождающей эксплуатационной разведки. Все это приводит к необходимости применять единый кондиционный лимит (по пробам и блокам) для адекватного учета запасов, числящихся на балансе предприятия.

Многовариантность блочного моделирования в сравнении с традиционными методами оконтуривания требует использования в качестве ведущего показателя для всех случаев подсчета (традиционного и блочного) бортового содержания. При изменении условий моделирования или уточнении контуров каркасов коррективы содержаний в блоках моделей должны уточняться.

Важнейшим условием выбора минимальных размеров блока блочной модели является густота разведочной сети. Если минимально возможные по размерам основные блоки блочной модели соизмеримы с объемами селекции

при разработке месторождения, то учет содержаний полезного компонента в них, с одной стороны, обеспечивает возможность оценки извлекаемых запасов, а, с другой, – возможность оценки доли промышленной руды (с содержаниями выше бортового), что в условиях блочного моделирования решает проблему учета коэффициента рудоносности в том случае, когда этот показатель входит в состав кондиций.

Приведение размеров ячейки блочной модели в соответствие с параметрами горно-технических кондиций, отражающих условия горной технологии (минимальной мощности рудных тел и максимальной мощности прослоев пустых пород), обеспечивается выбором одного из размеров ее элементарного блока – величины вертикального ребра при субгоризонтальном залегании рудных тел или величины горизонтального ребра, ориентированного вкрест простирации рудных тел при их субвертикальном залегании. На практике этот вопрос успешно решается, с одной стороны, выбором высоты уступа карьера и, с другой, – выбором согласованной с высотой уступа величины одного из ребер ячейки блочной модели месторождения.

Для использования при обосновании кондиций и подсчете запасов результатов геостатистического моделирования нет необходимости вводить в перечень кондиций дополнительные показатели – необходимо средствами используемой информационной технологии вносить отличающиеся по величине для различных значений бортового содержания корректиры в значения минимального содержания в блоке блочной модели и учитывать кондиции на минимальную мощность рудных тел и максимальную мощность прослоев пустых пород при определении соответствующих размеров ячейки блочной модели. Результаты подсчета запасов на основе блочного моделирования должны быть заверены результатами одного из вариантов геометрического подсчета запасов (методами геологических блоков, разрезов, многоугольников и т.д.).

Под результатами подсчета запасов месторождения на основе блочного моделирования понимаются не только общие величины запасов руды и полезного компонента и значение его среднего содержания, но также характеристики статистического распределения содержаний в элементарных блоках в пределах используемой каркасной оболочки и особенности пространственного распределения оруденения. Эти результаты зависят от геостатистической оценки изменчивости оруденения, соответствующих параметров кригинга, размеров элементарных блоков, используемых каркасов и принципов их построения.

В условиях равномерной разведочной сети и при корректном учете геологических особенностей месторождения средние содержания по исходным пробам в пределах каркаса и по блочной модели, построенной по этим пробам, обычно совпадают. Различия в средних значениях содержаний и запасах руды и полезного компонента возникают как результат использования вариантов бортового лимита для разделения рудоносного объема в каркасе на промышленную и некондиционную части. Как правило,

распределение содержаний в пробах отличается большей асимметрией, чем распределение в блочной модели, в связи с чем в области низких содержаний доля исключаемых по бортовому содержанию некондиционных проб оказывается более высокой, чем доля некондиционных блоков. Различия перечисленных оценок возрастают по мере повышения бортового содержания.

Важным фактором, влияющим на результаты блочного моделирования, является также конфигурация каркасов. В каркасах, построенных по разным принципам (с использованием геологических границ, кондиционных лимитов, так называемого, «природного» борта) результаты блочного моделирования могут значительно различаться. Соответственно, будут различаться и величины расхождений блочного моделирования по отношению к результатам подсчета запасов методами геологических блоков и др.

Критерием качества сопоставления результатов блочного моделирования и подсчета запасов традиционными методами является степень совпадения основных подсчетных параметров: запасов руды и полезного компонента, его среднего содержания, а также величина ошибки геометризации рудных тел (ошибки построения каркаса месторождения). Для сопоставления запасов, подсчитанных обоими способами при различных вариантах бортового содержания, необходима корректировка минимального содержания в блоке блочной модели, учитывающая эффект геометрической базы опробования для каждого из этих вариантов.

Для оценки качества подсчета запасов, выполненного на основе блочного моделирования на добывающем предприятии, необходимо сопоставление его результатов с результатами эксплуатационной разведки.

Результаты оптимизации предельного контура карьера на основе использования информационных технологий подлежат проверке путем сопоставления с граничным коэффициентом вскрыши. При повариантных подсчетах запасов оптимизация предельного контура карьера выполняется по каждому варианту бортового содержания полезного ископаемого.

В случаях, когда необходимо определить границу перехода с открытого способа на подземный, граничный коэффициент вскрыши, как правило, определяется на основе сравнения полной себестоимости добытого полезного ископаемого открытым и подземным способами разработки месторождения с учетом эффективности капитальных вложений.

Для обеспечения проверяемости исходных экономических данных и промежуточных экономических расчетов при обосновании кондиций с использованием информационных технологий и специализированных программных продуктов необходимо руководствоваться унифицированными формами таблиц, в которых определен состав необходимой по полноте, согласованности и детальности информации.

XII. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (ПРОГРАММЫ), ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ГЕОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И СОЗДАНИИ БЛОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ

Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО), реализующее информационную технологию работы с горно-геологическими данными, должно обладать функционалом, обеспечивающим решение следующих задач:

– Представление в 3D пространстве и на плоскостях разрезов произвольной ориентации данных опробования (в частности, с возможностью получения информации о координатах устья скважины, начала и конца проб, данных инклинометрии и алгоритмов ее применения), показателях качества руды и типах (кодах) пород в пробе.

– Векторное, триангуляционное и сеточное представление горно-геологических объектов, включающих в себя 3D-модели рельефа местности, рудных тел, пластов, литологических и стратиграфических границ, структурных нарушений, а также других зон и границ, необходимых для полного описания формы объектов геологической среды месторождения. Инструменты ПО должны обеспечивать базовые функции работы с элементами векторных (операции с векторами, определение координат точки, длины отрезка и полилинии, площади проекции замкнутого контура на плоскость и т.д.) и триангуляционных моделей (заверка; пересечение, объединение и вычитание; вычисление объема, площади поверхности и пр.).

– Блочное представление результатов интерполяции данных опробования с возможностью получения разрезов блочной модели плоскостями произвольной ориентации. Блочная модель должна обеспечивать деление блоков на субблоки в каждом из трёх направлений. Формат блока (субблока) должен позволять хранить информацию о содержании ПИ, коэффициенте рудоносности, технологических и экономических характеристиках, а также категорийности по различным критериям. Информация о запасах и содержании компонентов полезного ископаемого (ПИ) в отдельном блоке (субблоке) может передаваться цветовой легендой, штриховкой и числовыми значениями.

Геостатистический анализ данных опробования, включающий в себя: нормализацию (композитирование) проб с их представлением в 3D-пространстве; статистический анализ распределения проб по классам содержаний; определение направлений и параметров анизотропии; построение экспериментальных и подбор теоретических (модельных) вариограмм; реализация перекрестной проверки выбранной модели кригинга.

Интерполяция данных опробования применительно к блочной модели. Использование для интерполяции методов дистанционного взвешивания и процедуры кригинга.

Минимальный набор функций программного обеспечения

ПО должно обладать следующим минимальным набором функций импорта/экспорта, дающих возможность воспроизведения моделей и их проверки другим ПО:

- Данных опробования в формате CSV и/или цифровой таблицы MS EXCEL. Данные скважинного опробования должны быть представлены в форме таблиц с координатами устьев скважин, данных инклинометрии, координатами проб с содержаниями в них компонентов ПИ и других необходимых характеристик. Координаты должны быть даны в привязке к локальной или мировой системе координат. Данные бороздового, траншейного опробования представляются в виде отрезков с заданными координатами и привязанными к ним данными геохимического опробования.
- Векторных и триангуляционных моделей в CSV и DXF-формате с привязкой к локальной или мировой системе координат.
- Блочных моделей в формате CSV и/или цифровой таблицы MS EXCEL. Координаты блоков должны быть даны в привязке к локальной или мировой системе координат. Файлы блочных моделей, предназначенные для импорта/экспорта, должны сопровождаться описанием формата, позволяющего воссоздать конструкцию блочной модели. В них должна содержаться информация о списке полей блочной модели, их типах и размерностях, точке отсчета блочного разбиения пространства, азимут и угол наклона решетки разбиения, координаты блоков в сети разбиения в индексах решетки либо в абсолютных координатах, размеры блоков, информация о типе и параметрах субблокирования, значения характеристик. ПО должно предоставлять возможности чтения такого рода файлов путём использования гибкой настройки на разновидности форматов.

Программные продукты

В качестве программных продуктов, используемых специалистами Республики Узбекистан организаций и предприятий при решении задач моделирования горно-геологических объектов и оценки запасов месторождений твёрдых ПИ могут быть рекомендованы следующие программные продукты (таблица 9).

Таблица 9

Программные продукты

Компания - разработчик программного продукта	Программные продукты	Ссылка на сайт разработчика системы
Зарубежные программные продукты		
CAE	CAE Mining (DATAMINE)	www.cae.com/mining
Gemcom Software International Inc.	SURPAC	www.gemcomsoftware.com
MICROMINE PTY LTD	«Micromine»	www.micromine.com

XIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящие Методические указания вступают в силу после утверждения Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых при Госкомгеологии Республики Узбекистан с 1.01.2023 г.