

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТРЕХМЕРНОГО ЦИФРОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Современные методы 3D моделирования рудных месторождений, дающие количественную оценку пространственной изменчивости границ рудных тел и содержания металлов, необходимы как для принятия решений при освоении и разработке месторождений, так и для технико-экономического обоснования кондиций и утверждения запасов в ГКЗ. Подсчеты запасов, выполненные с помощью традиционных методов оценки, очень трудозатратны и как правило трудно проверяемы. Рассмотренные в статье современные методы компьютерного моделирования, используемые российскими геологами и экспертами ГКЗ, позволяют эффективно и менее трудозатратно получать более достоверные результаты оценки запасов месторождений.

Ключевые слова: ТПИ, оценка запасов, блочное моделирование, методы подсчета запасов.



Лазарев А.Н.
ФБУ «ГКЗ»
начальник отдела
металлов Управления
запасов ТПИ
lazarev@gkz-rf.ru



Мальцев Е.Н.
ООО «НИИПИ ТОМС»
главный специалист отдела
геологии,
ГИ КНЦ РАН ведущий инженер
evg65@mail.ru

Н и для кого не секрет, что уже несколько лет после развала СССР и перехода к рыночной экономике, бытует расхожее мнение, что государственная экспертиза запасов изжила себя и является анахронизмом [1]. Авторы данной статьи считают, что самым эффективным средством борьбы с подобным мнением является существенное повышение эффективности проведения государственной экспертизы запасов полезных ископаемых за счет внедрения передовых технологий цифрового и в том числе блочного моделирования и безотлагательная актуализация методических и нормативных документов.

Цели данной статьи и последующих работ по повышению качества проведения госэк-

спертизы могут быть кратко сформулированы в следующих основных направлениях:

1. Рекомендации по повышению качества моделей, представляемых на госэкспертизу

2. Рекомендации по повышению качества выполнения госэкспертизы

3. Постепенный полный переход экспертизы на обязательное массовое использование трехмерных цифровых моделей, создаваемых при подсчете запасов и ТЭО кондиций, и одновременный отказ от устаревших традиционных методов подсчета запасов.

4. Создание единой системы и одинаковых правил игры и для независимого аудита, и для государственной экспертизы месторождений ТПИ, так как это уже реализовано для месторождений углеводородов.

Любое геологическое явление в том числе и запасы полезных ископаемых может быть охарактеризовано множеством признаков, поддающихся наблюдению и измерению, главным образом в цифровых значениях. Множество цифровых признаков имеет неравномерное распределение в трехмерном пространстве и поэтому для решения задач при подсчете запасов и ТЭО кондиций месторождений ТПИ должен использоваться комплекс методов построения трехмерных цифровых моделей.

Главное преимущество современных методов компьютерного моделирования по сравнению с традиционными методами ручного подсчета запасов состоит в том, что они позволяют количественно оценить пространственную изменчивость границ рудных тел и содержаний в них металлов. При создании модели минеральных ресурсов и запасов месторождения, геолог имеет дело с вероятностной информацией так как располагает относительно редкими фактическими данными качественной и количественной характеристики руды в точках опробования разведочных выработок, а пространство между точками опробования является предметом прогнозирования и неопределенности. Задача создания простой и понятной технологии блочного моделирования позволяющей воспроизводить исходные фактические статистические параметры (среднее, дисперсию, разброс значений) и достигать совпадения моделируемых показателей с реальными значениями в точках опробования является весьма актуальной, которая достаточно оперативно и точно решается без надуманных сложностей геостатистики и математических формул, а за счет здравого геологического смысла.

Методика использования блочных моделей уже давно апробирована и успешно применяется в ГКЗ при утверждении ТЭО кондиций и

подсчете запасов. При существующей практике госэкспертизы, результаты блочного моделирования заверяются традиционными методами подсчета, но, однако именно на основе блочной модели выполняется планирование системы разработки, определение оптимальной глубины и конфигурации карьера (оптимального и инженерного), расчет эксплуатационных запасов руды и металла в границах отработки, разработка календарного плана и расчет техники, а также основных ТЭП-ов и выбор оптимального бортового содержания при обосновании кондиций. Однако уровень и обширные возможности использования технологий цифрового моделирования еще недостаточно используются при проведении государственной экспертизы, что оказывает негативное влияние в целом на внедрение современных передовых технологий моделирования. Представляемые на экспертизу в ГКЗ модели неудовлетворительного качества, разработанные на устаревших представлениях о методах моделирования, либо на очевидных ошибках, допущенных в процессе моделирования ограничивают и создают сложности применения блочного моделирования в России и формируют предвзятое отношение к данной методике отдельных экспертов и контролирующих органов.

Далее авторами излагаются основные положения, требования и рекомендации как современные подходы к созданию трехмерных цифровых моделей месторождения позволяют, хотя и несколько упрощено, но достоверно и точно отражать изменчивость свойств изучаемого объекта запасов и пространственную геометризацию запасов. Как следствие, авторами доказывается, что трехмерные цифровые модели должны приниматься в качестве основного и надежного метода для массового рассмотрения ТЭО кондиций и утверждения запасов по данным блочных моделей (без необходимости заверки блочного моделирования устаревшими традиционными методами подсчета запасов). Система доказательств строится на том что в горно-геологических системах предлагается мощный инструмент который обеспечивает, не только быстрое и точное выполнение всех процедур подсчета запасов, но также и трехмерность построений объемных геологических и подсчетных моделей с широкими возможностями многовариантности выделения и увязки рудных интервалов, инструмент обеспечивающий автоматическое вычисление объемов каркасов, мощные возможности визуализации в 3D пространстве, а также высокотехнологичные возможности проверки и оперативной корректировки любых рабочих операций в процессе моделирования.

Перечисленные ниже усовершенствования процедур подсчета запасов уже широко используется авторами работ, представляемых на экспертизу, а со стороны ГКЗ, соответственно такие же инструменты должны массово внедряться и в практику проведения государственной экспертизы:

1. Автоматический поиск и индикация ошибок исходных данных фактографической модели опробования. Выполняется комплекс проверок, предохраняющих базу данных от некорректной информации, как например: дубликаты выработок и проб; отсутствующие выработки и интервалы; непоследовательные и пересекающиеся интервалы, нечисловые значения (символы, пустые значения и значения, перед которыми стоят знаки «меньше» (<) или «больше» (>)); некорректные углы и азимуты и т.п. ошибки.

2. Автоматизация процесса проверки интервальной модели рудных сечений в полном объеме (100%). При этом, без использования цифровых моделей, экспертом, выполняющим контрольную проверку традиционными методами, производится в конкретных обстоятельствах лишь выборочная (10-20% из нескольких тысяч рудных сечений) проверка. Типовой чек-лист проверки интервальной модели рудных сечений передовыми методами цифрового моделирования реализуется путем сравнения результатов выделения рудных сечений, которые получены разными методами композитирования. Проверка корректности расчетов рудных сечений (сравнением результатов, полученных разными методами: основным и контрольным) выполняется по следующим ключевым параметрам, перечисленным ниже:

2.а) ложнорудные интервалы (разубоживание) – порода, неправильно классифицированная как руда и неправильно включенная в рудный интервал.

2.б) ложнопородные интервалы (потери) – руда, неправильно классифицированная как порода и неправильно исключенная из рудного интервала.

В таблице 1 приведен пример подсчета суммарной длины интервалов и относительный процент неправильной классификации «руда-порода» двух видов (пункты 2а и 2б) по борту 0,3 г/т.

3. Наглядная визуализация в 3D пространстве любых данных, в том числе перечисленных выше, с необходимой выноской значений, раскраской, штриховкой, графиками, а также просмотр всех данных в 2D плоскости (как в плане, так и в разрезе). Полное управление трехмерной средой по всем осям, включая поворот, приближение и перемещение.

4. Автоматический расчет в подсчетной модели и представление в традиционном виде, соответствующему методике ГКЗ, основных подсчетных таблиц: «Расчет кондиционных интервалов по выработкам», «Расчет мощностей, КР и средних содержаний по сечениям», «Подсчет запасов по блокам».

5. Автоматизация процесса полной (100%) проверки соответствия (вложенности) интервальной модели рудных сечений, с одной стороны и каркасной модели соответствующих подсчетных блоков, с другой стороны

6. Проверка соответствия метровых композит используемых в интерполяции блочной модели, с одной стороны и интервальной модели рудных сечений с другой стороны

7. Автоматический расчет коэффициента рудоносности по каждому рудному сечению, линии, блоку и т.д. в любом пространственно-ограниченном измерении

8. Объемный коэффициент рудоносности (КР) по блочной модели, как соотношение объема рудной выборки блочной модели и объема породной выборки блочной модели проверяет-

Таблица 1.

Чек-лист экспертной проверки расчета рудных сечений по бортовому содержанию золота 0,3 г/т.

Рудное тело	Всего по борту 0,3 г/т	Ложнорудные интервалы (разубоживание)	Долевой процент ложнорудных интервалов (разубоживание) (3) vs (2)	Ложнопородные интервалы (потери)	Долевой процент ложнопородных интервалов(потери) (5) vs (2)
1	2	3	4	5	6
2_1	2926.6	221.8	7.6	55.4	1.9
2_19	522.4	33.3	6.4	26.1	5.0
2_3	355.1	12.4	3.5	65.5	18.4
2_4	1325.8	116.4	8.8	20.4	1.5
2_41	1674.3	241.7	14.4	69.0	4.1

ся на соответствие линейному КР, рассчитанному по интервальной модели рудных сечений, как соотношение суммарной мощности рудной выборки и суммарной мощности породной выборки. Проще говоря, КР по соотношению объёмов блочной модели сравнивается с КР по соотношению фактических длин интервалов в подсчетной модели

9. Автоматическая проверка принципа вложенности. Содержания металла в одной и той же ячейке блочной модели по различным вариантам бортового содержания не должны изменяться как в большую, так и в меньшую стороны. Невыполнение данного условия приводит к искажению результатов оптимизации границ открытых горных работ, а также нарушает принцип прирезок. [5]

10. В российской системе подсчета запасов при использовании коэффициента рудоносности среднее содержание рассчитывается только по рудным интервалам, а на запасы руды вводится коэффициент рудоносности, но данная традиционная методика не позволяет, без использования блочного моделирования, геометрически определить пространственное положение

соответствующего промышленного контура однородных доменов по вариантам бортовых содержаний, в пределах которых размещаются запасы. В подобных случаях происходит потеря адекватности пространственного положения рудных запасов, которые должны соответствовать определенным кондициям. Для устранения этих недостатков существует специальный математический аппарат, реализованный в ряде специально разработанных методик блочного моделирования, основные, из которых, кратко перечислены ниже:

а) Метод индикаторного (индикатор руда/порода) моделирования коэффициента рудоносности, как более понятный (без сложностей геостатистики и математических формул) аналог индикаторного и мультииндикаторного кригинга. [8]. По опыту рассмотрения работ, представляемых на экспертизы отчетливо наметилось очень активное использование индикаторного моделирования в «свободных оболочках» для внешней границы блочной модели, при относительно редком использовании моделирования с жестким построением каркасов по каждому варианту бортовых содержаний [3].

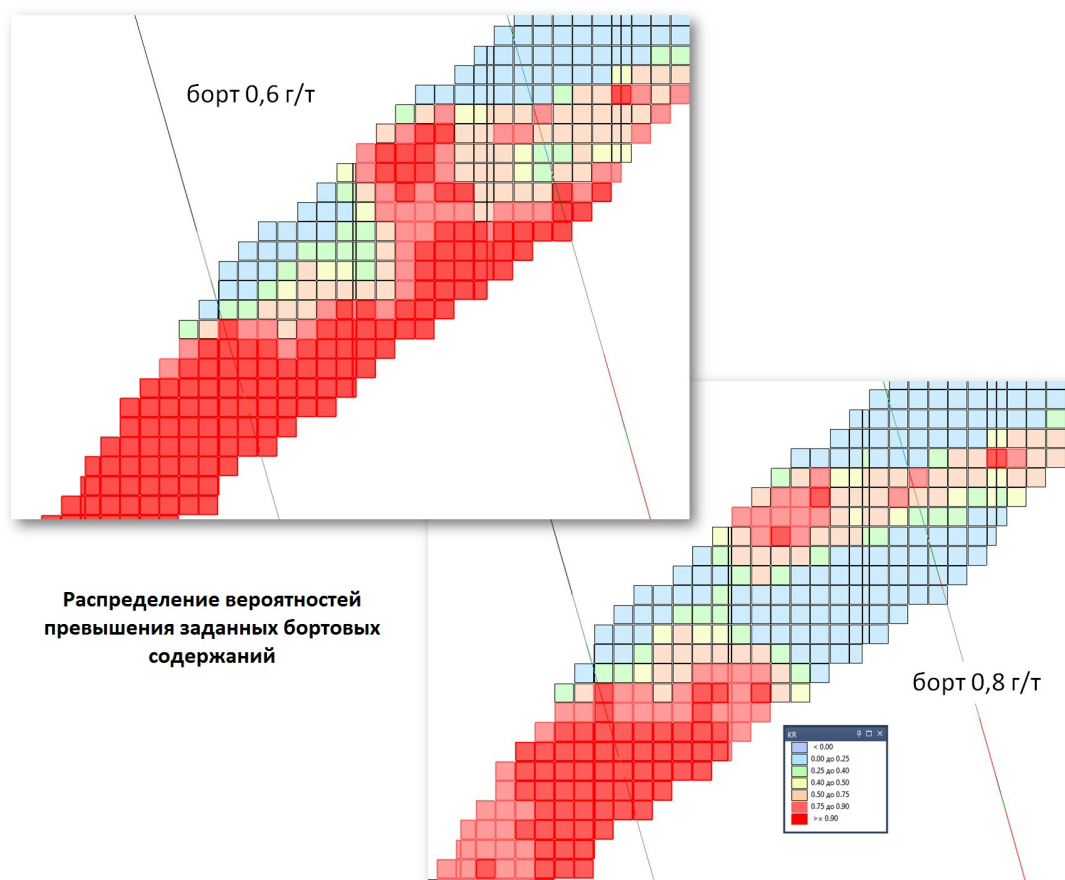


Рис. 1.

Распределение вероятностей, выраженных коэффициентом рудоносности (при используемых вариантах бортового лимита 0,6 и 0,8 г/т) в разрезе минерализованной зоны.

б) Ансамблевый подход к интерполяции, на основе сочетания методов «ближайшего соседа» и метода «многоугольников», позволяющие корректно определять области распространения рассчитанного коэффициента рудоносности (индикатора руда/порода) за счет малых (1-2 метра) размеров ячеек блочной модели и малой (0,1-0,2 метра) длины композитных интервалов. К тому же данный подход позволяет преодолеть трудности, связанные с учетом таких кондиционных показателей как минимальная мощность рудного тела, максимальная мощность прослоев пустых пород и минимальный метропроцент (метрограмм). По своей сути эта техника является объёмным оконтуриванием руды, пространственно геометризованной с определенной вероятностью (*рис. 1*) и с высокой оперативностью, и особенно удобна в случае неоднозначности увязки или очевидности сложного контура, когда оруденение распределено весьма неравномерно и невозможно достоверно увязывать на соседних разрезах участки с промышленным оруденением.

с) На этапе интерполяции индикаторов (руда/порода) выбор малого размера элементарного блока (например, 2.5х2.5х2.5 метра) – это не излишняя детальность, а важное условие позволяющее более точно учесть дисперсию (изменчивость) вероятности появления события «Руда», и тем самым на стадии выполнения индикаторного моделирования выполнить бескаркасное «блочное оконтуривание». При этом важный нюанс состоит в том, что после выполнения тарирования и перед тем, как выполнять

интерполяцию содержаний, рекомендуется провести процедуру оптимизации малых размеров элементарного блока, которая настроена на то, чтобы укрупнить блоки и уменьшить количество блоков или записей файла блочной модели. Алгоритм оптимизации работает так, что маленькие блоки (например, 2.5х2.5х2.5 метра) в пределах каждого большого материнского блока (например, 20*20*5) будут объединены по ключевому полю (Борт), содержащему коды принадлежности к вариантам бортового содержания. Каким образом будут оптимизироваться, программа определяет, исходя из того, что они находятся в пределах одной материнской ячейки и имеют одно и то же ключевое значение (Борт). Таким образом в результате оптимизации можно добиться большого размера блоков в областях мощных рудных тел (т.е. укрупнения блоков) и одновременно сохранения малого размера в зонах малой мощности (как показано *на рисунке 2*), при этом значительно сократит количество ячеек блочной модели, не нарушая пространственной геометризации руды по всем вариантам бортовых лимитов.

Практика сопоставления результатов, с одной стороны, ручного триангуляционного оконтуривания (по методике ГКЗ), а с другой – индикаторного блочного моделирования уверенно показывает хорошую сходимость как в значениях полученных объёмов руды, так и в пространственном расположении [3, 8].

Перечисленные выше пункты 1-10 обеспечивают достоверность и обоснованность рудных границ – но это, так сказать, одна сторона медали.

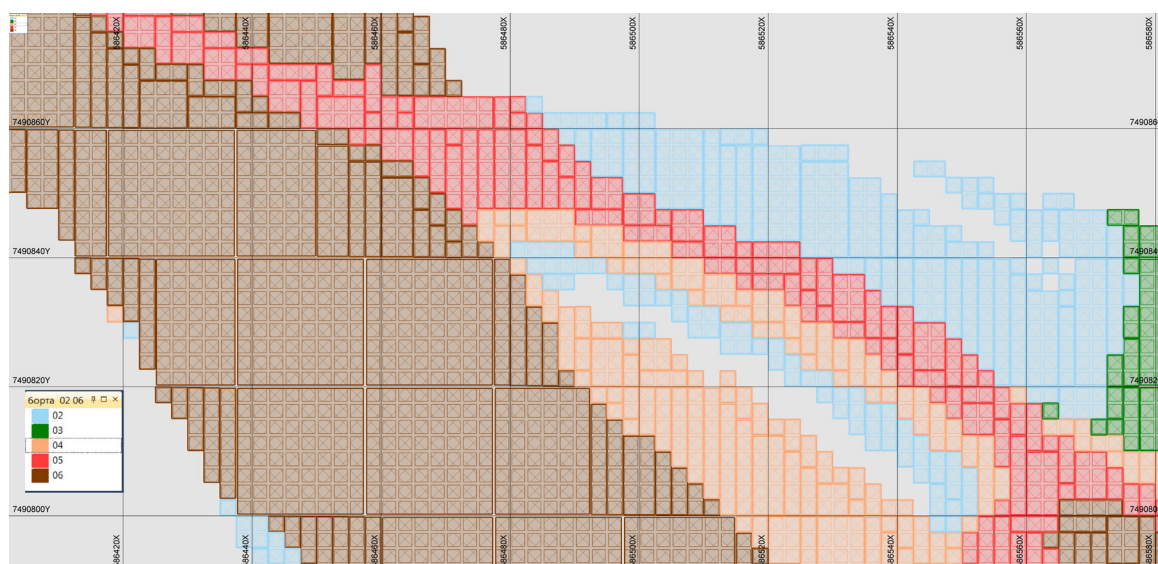


Рис. 2. Оптимизация блочной модели (план горизонта +80). Мелкие блоки показаны штриховкой. Оптимизированные блоки показаны полной заливкой и жирными контурными линиями. Цветовая градация выполнена по вариантам бортовых лимитов (0,2-0,3-0,4-0,5-0,6 г/т).

Другая сторона – это перечисленные ниже (пункты А-Е) методы и инструменты, которые обеспечивают точность и достоверность именно самой интерполяции исследуемых значений, в геометризованных достоверных (пункты 1-10) рудных границах:

А. Применение процедуры динамического эллипсоида поиска с учетом изменения градиента (направления) моделируемых характеристик месторождения, а также корректное ограничение количества проб, учитываемых при интерполяции

В. Снижение эффекта сглаживания содержаний за счет создание доменных ограничений для участков оруденения, оконтуренных с учетом геологической и геостатистической однородности. Домены выделяются с учетом геологических характеристик, природных типов и промышленных сортов руд и изменчивости моделируемых показателей. В последнее время для выделения доменов (являющихся внутренними вложенными ограничителями интерполяции), а также минерализованных зон (в качестве «свободных оболочек» для внешней границы блочной модели) наряду с традиционным построением триангуляционных каркасов (на основе 2D вычерчивания полилиний вручную), успешно реализуется автоматическое построение методом радиальных базисных функций (РБФ) на основе скважинных данных в виде, например, фактических интервалов рудных сечений или интервалов других геологических признаков. На **рисунке 3** показан пример моделирования литолого-фациальных границ для доменных ограничений интерполяции.

С. ИмPLICITное или условное моделирование методом радиальных базисных функций

(РБФ) является также эффективным средством повышения достоверности геометризации запасов посредством повышения коэффициента рудоносности в случае неоднозначности увязки или очевидности сложного контура, когда оруденение распределено весьма неравномерно внутри минерализованной зоны («свободной оболочки» для внешней границы блочной модели) выделенной, например, по природному борту. (**рис. 4**)

Д. Повышение достоверности оценки содержаний за счет новых методов нейросетевого моделирования и машинного обучения, что может оказаться более предпочтительным, чем использование больших радиусов поискового эллипсоида, за счет самообучения искусственного интеллекта в условиях ограниченного набора исходных данных. Необходимо отметить также возможность заверки результатов блочного моделирования, методами машинного обучения, примерами успешного решения задач которыми приведены в ряде работ [7, 9], выполненными в пакетах современных прикладных программ (StatSoft, Matlab, программы с открытым исходным кодом, например, на базе Google и др.). При этом требование заверки блочных моделей традиционными методами подсчета запасов является нецелесообразным, если авторская оценка достоверности блочного моделирования альтернативными и гибридными блочными моделями выполнена надежно и обоснованно в пределах допустимой погрешности.

Е. Перечисленные выше методики моделирования, а также некоторые разработки, оставшиеся за рамками данной статьи, позволяющие корректно определять области распространения исходных данных и внести в технологию блочного моделирования элементы геометрического

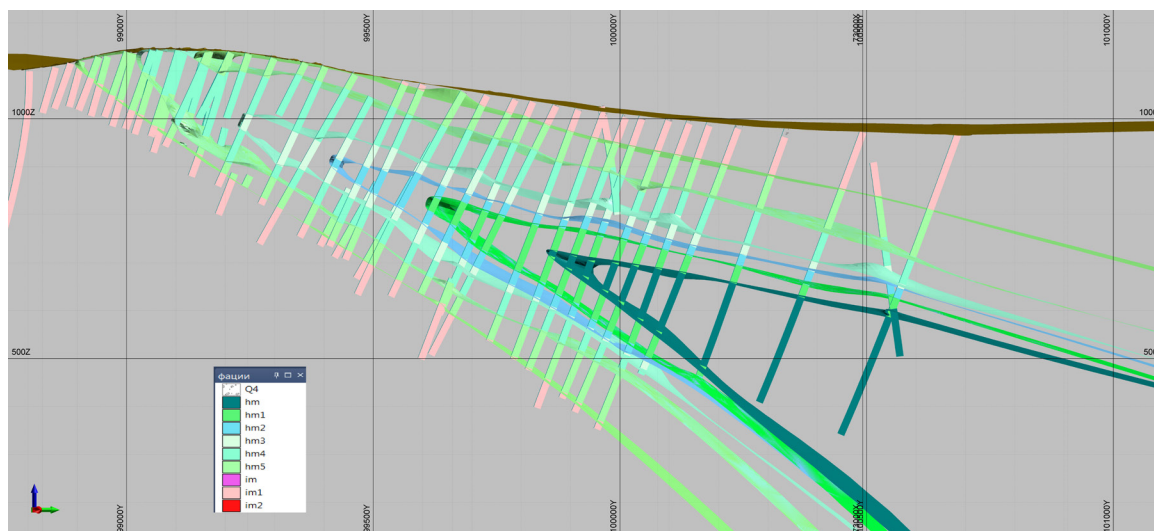


Рис. 3.

Пример моделирования литолого-фациальных границ для доменных ограничений интерполяции.

подсчета, позволяют свести к минимуму эффект смещения (различия) в оценке средних содержаний получивший название масштабный эффект основания или «support-effect» [2] (в зарубежных публикациях). На **рисунке 5** приведены примеры диаграмм размаха содержаний серебра по данным фактического опробования и данным блочной модели (двумя методами интерполяции) по нескольким представительным подсчетным блокам. Ящички с усами или диаграммы размаха, на которых компактно отображается одномерное распределение (степень разброса и асимметрия) большого набора данных (учитывая, что одинаковое среднее не всегда делает две выборки одинаковыми) используются для цифровой проверки модели и выполняются с необходимой детальностью контроля данных, например, по разведочным линиям или подсчетным блокам. При интерполяции содержаний в ячейки блочной мо-

дели наблюдается эффект сглаживания, который приводит к незначительному занижению оценок определения содержаний при интерполяции, что является нормальным.

В настоящее время модель месторождения – это нечто большее чем модель для оценки содержаний, и по сути должна рассматриваться как 3D платформа, которая объединяет в Общую модель недр множество переменных (геометаллургических, геомеханических, технологических, гидрогеологических и др.) которая позволяет получить более-менее достоверную финансово-экономическую модель развития горнорудного предприятия в средне- и долгосрочной перспективе. Кроме того, модель любого месторождения не является статическим элементом для работы, она должна постоянно изменяться, совершенствоваться и обновляться в соответствии с меняющимися условиями (экономической конъюнктурой, тех-

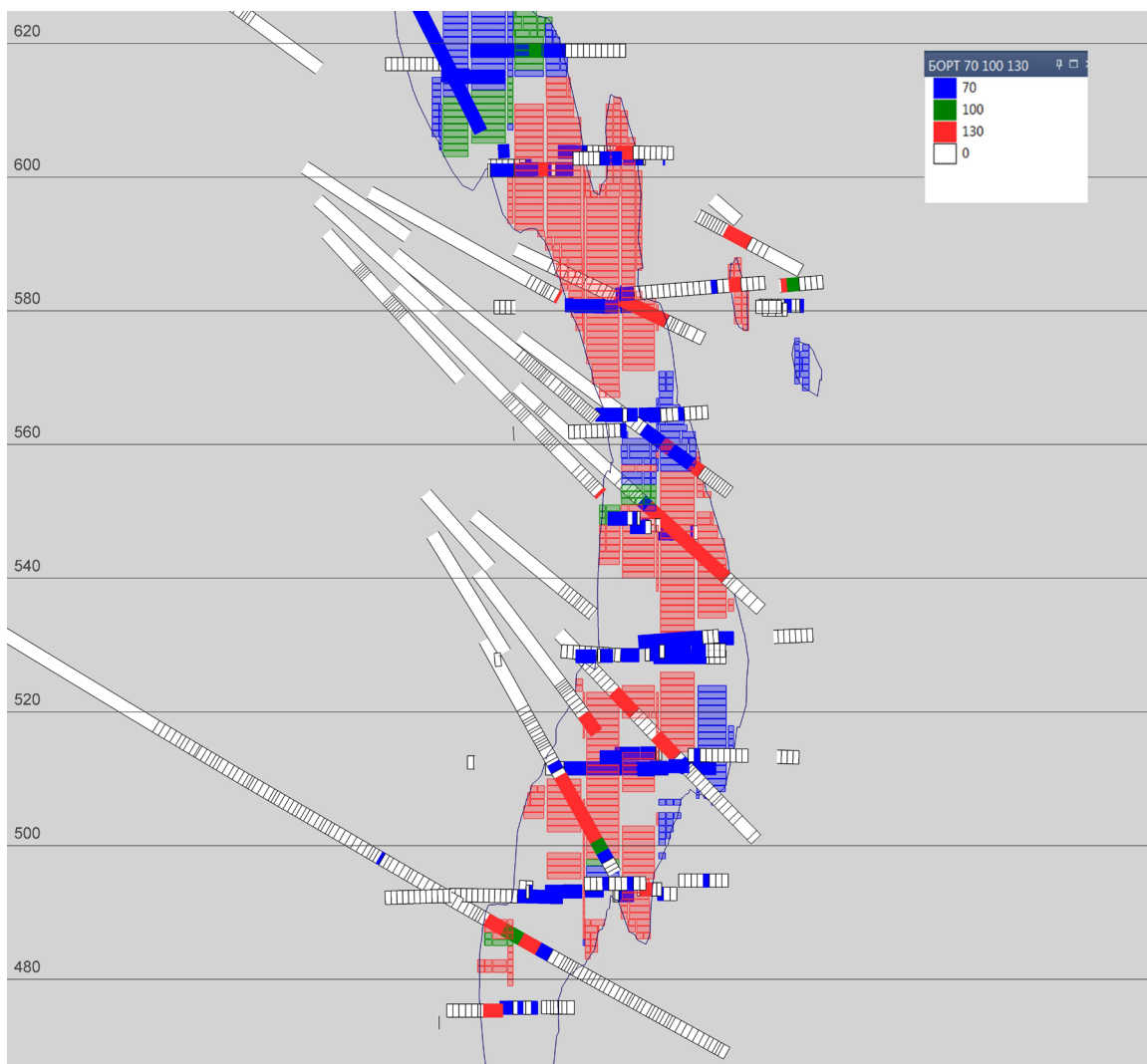


Рис. 4. Рудные тела в виде ячеек блочной модели позиционированные и геометризованные в 3D пространстве для каждого значения бортового содержания (вид в разрезе). Цветовая градация выполнена по вариантам бортовых лимитов (70-100-130 г/т) условного серебра.

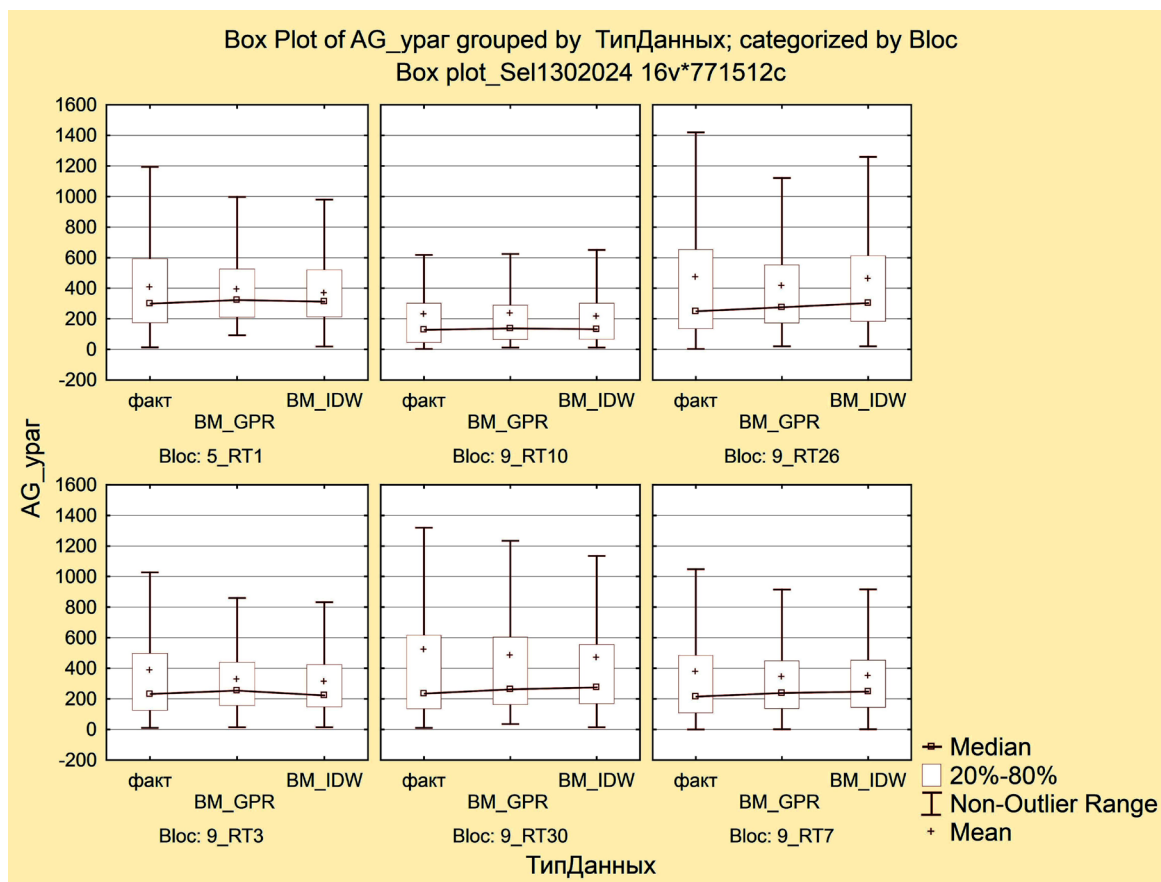


Рис. 5.

Диаграммы размаха (box plot) содержаний серебра по данным фактического опробования и данным блочных моделей (двумя методами интерполяции: а) *BM_GPR* (Gaussian Process Regression)- регрессия гауссовского процесса, как один из алгоритмов машинного обучения; б) *BM_IDW* – метод обратных расстояний).

нологией и т.п.), меняющимися представлениями о геологии месторождения, морфологии рудных тел, а также при получении новой маркшейдерской (данные съемки карьеров), аналитической или геологической информации о рудных телах.

На сегодняшний день единственным документом, в котором регламентируется применение блочного моделирования при прохождении государственной экспертизы, являются «Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа» (протокол № 6 МПР от 10.02.2015) [4]. Необходимо отметить, что этот документ носит скорее ознакомительный характер поскольку в нем вводится основная терминология, в общих чертах описываются технологии блочного моделирования и дается сравнительная характеристика методов подсчета запасов традиционных и блочного моделирования. При этом, в ходе данного сравнения, методика блочного моделирования рассматривается в основном в

соответствии с процедурами и подходами, принятыми при проведении международного аудита по кодексу JORC. Например, для сравнения был выбран подсчет запасов по блочной модели с использованием значения cut-off-grade, при том, что авторам статьи не известны случаи использования данного способа подсчета запасов по блочной модели, в тех материалах, которые представлялись на госэкспертизу, так данный способ заведомо существенно отличается от российской системы подсчета запасов [6]. К сожалению, при таком подходе в «Рекомендациях...2015 г.» не были в достаточной степени рассмотрены возможности адаптации технологий блочного моделирования для того, чтобы: а) минимизировать недостатки блочного моделирования и б) максимально использовать существенные преимущества цифрового и в том числе блочного моделирования.

Однако за прошедшие десять лет методика моделирования ушла далеко вперед и накоплен большой опыт применения передовых методов моделирования для выполнения ТЭО кондиций и для подсчета запасов и соответственно накоплены знания и опыт по адаптации этих технологии

к российской системе подсчета запасов. Отмечая, что утверждение «Рекомендаций... 2015 г.» явилось важным и полезным шагом в области внедрения передовых горно-геологических информационных систем в практику оценки запасов в нашей стране, следует признать, что остро назрела необходимость разработки усиленной и актуализированной версии этого методического документа. Кроме того, давно назрела необходимость хорошего базового практического пособия (учебника) по компьютерным технологиям подсчета запасов на русском языке.

Выводы:

1. Методика использования блочных моделей уже давно апробирована и успешно применяется в ГКЗ при утверждении ТЭО кондиций и подсчете запасов. При этом технология цифрового и в том числе блочного моделирования делает процедуры подсчета более точными, менее трудозатратными и лучше проверяемыми и обоснованными чем традиционный подсчет.

2. Большинство высказываний о неэффективности блочного моделирования, как правило, базируется либо на устаревших представлениях о возможностях современных программных продуктов, либо на очевидных ошибках, допущенных в процессе моделирования.

3. Ограничивать возможности блочного моделирования только процедурами и подходами, принятыми при проведении международного аудита (по кодексу JORC) – опасное и крайне неверное заблуждение.

4. Методы блочного моделирования не ограничиваются стандартными методами интерполяции, как кригинг и методы обратных расстояний. Большими возможностями обладают методы интерполяции на основе алгоритмов машинного обучения.

5. Наряду с традиционным построением триангуляционных каркасов (на основе 2D вычерчивания полилиний вручную), в последнее время успешно реализуется автоматическое построение методом радиальных базисных функций (РБФ) на основе скважинных данных в виде, например, фактических интервалов рудных сечений или интервалов других геологических признаков.

6. Безотлагательная актуализация методических и инструктивных материалов в сфере рационального недропользования кроме существенного повышения эффективности проведения государственной экспертизы запасов полезных ископаемых, так же будет способствовать организации в России национального независимого аудита запасов полезных ископаемых и в целом повышению эффективности производства в геологической и горнодобывающей отрасли. **XXI**

Литература

1. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: Недра. 2002. 424 стр.
2. Капутин Ю. Е. Системы контроля содержаний (Grade Control) на горных предприятиях Недра, Санкт-Петербург, 2012 г., 330 стр.
3. Кушнарев П.И., Градовский И.И. Приемы блочного моделирования золоторудных месторождений при разработке ТЭО// Недропользование XXI век. 2014. №1. С. 66-70
4. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. М. 2015 г.
5. Музыка И.М. Применение блочных моделей для повариантного подсчета запасов// Недропользование XXI век. 2020. №6. С. 88-94
6. Мальцев Е.Н. Сравнение российской и зарубежной систем подсчета запасов твердых полезных ископаемых и практический опыт использования // Глобус. 2022. №1. С. 44-48
7. Мальцев Е.Н. Применение алгоритмов машинного обучения для задач межскважинной интерполяции // Глобус. 2023. №1. С. 108-111
8. Мальцев Е.Н. Новые альтернативные подходы и решения для создания моделей контроля качества содержаний на стадии освоения месторождения // Золотодобыча. 2019. Доступно на <https://zolotodb.ru/article/12061> (обращение 06.01.2024)
9. Nelson K. Dumakor-Dupey. Machine Learning – A Review of Applications in Mineral Resource Estimation// Energies. Доступно на <https://doi.org/10.3390/en14144079> (обращение 06.01.2024)

UDC: 553.04

A.N. Lazarev, Head of the Metals Department of the TPI Reserves Management of State Commission on mineral resources, lazarev@gkz-rf.ru

E.N. Maltsev, Chief specialist of the Department of Geology LLC «NIPI TOMS»;
Lead engineer Geological Institute of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, evg65@mail.ru

APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL DIGITAL MODELING TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF STATE EXPERTISE OF MINERAL RESERVES

Abstract: Modern 3D modeling techniques for ore deposits are essential for making informed decisions during the exploration and exploitation of deposits. They also play a crucial role in the feasibility study of conditions and approval of reserves by the Russian State Commission on Mineral Reserves (GKZ). Traditional reserve estimation methods are labor-intensive and challenging to verify. This article discusses modern computer modeling methods used by Russian geologists and GKZ experts, which provide more reliable results for assessing deposit reserves in a more efficient and less labor-intensive manner.

Keywords: solid minerals, estimation of reserves, block modelling, the method of estimating reserves.