



**Д.Я. Измайлов**  
ООО ИНФОПРОФ  
руководитель проектов  
izmailov@info-prof.ru



**В.Н. Лучинина**  
ООО Байкальская горная компания  
главный геолог  
v.luchinina@metalloinvest.com



**В.В. Зарубин**  
ООО ИНФОПРОФ  
руководитель проектов  
zarubin@info-prof.ru

## ПРИЧИНЫ РАСХОЖДЕНИЙ В ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПОДСЧЕТА И МЕТОДЫ ИХ МИНИМИЗАЦИИ

*В статье рассмотрены основные причины расхождения между результатами подсчета запасов с использованием блочного моделирования и традиционным способом. На примере месторождения меди показаны способы минимизации расхождений*

*The article considers the main reasons for the differences between the results of calculation of reserves using block modeling and the traditional way. The case of copper deposits shows the ways to minimize discrepancies*

**Ключевые слова:** подсчет запасов, блочное моделирование  
**Keywords:** ore reserves calculation, block modeling, block modeling

**В** настоящее время практически 100% материалов подсчета запасов, представляемых на государственную экспертизу, разрабатываются с использованием современных программных продуктов (ГИС). Запасы оцениваются с использованием методов блочного моделирования и геостатистических исследований. По существующим требованиям ФБУ ГКЗ подсчет запасов с использованием блочного моделирования необходимо заверять традиционным методом подсчета в объеме от 20 до 50% оцениваемых запасов месторождения. Также необходимо отметить, что из-за низкого качества блочного моделирования рудной/продуктивной толщи до утверждения запасов доходит лишь малая часть представленных на государственную экспертизу материалов, где основным подсчетом запасов является метод блочного моделирования.

Таким образом, при явной перспективности оценки запасов аналитическим/расчетным методом (блочная модель) в России он по-прежнему выступает в роли вспомогательного, требующего заверки инструмента из-за отсутствия в действующей нормативно-методической базе критериев для подсчета запасов на базе блочной модели.

В 2013 г. отделом методологии ФБУ ГКЗ при непосредственном участии специалистов ООО ИНФОПРОФ разработан проект рекомендаций по обоснованию кондиций и подсчету запасов ТПИ с использованием блочного моделирования. В проекте рекомендаций подробно описаны процедуры по созданию как геолого-математических моделей месторождений, так и процесса подсчета запасов с использованием блочных моделей. Также приведены основные причины расхождения между традиционными методами подсчета и подсчетом запасов с использованием блочного моделирования.

Рассмотрим наиболее распространенные причины расхождений и возможные варианты устранения данных факторов.

### **1. Смещение оценок проба/ячейка**

Для оконтуривания оруденения при отсутствии четких геологических границ используются определенные кондиционные показатели: 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 как в каркасах, созданных с опорой на рудные интервалы, выделенные по установленным кондициям, так и в каркасах, построенных по «естественному» борту.

Понятие бортового содержания относится к краевой пробе, включаемой в рудный (кондиционный) интервал (в контур подсчета). При блочном моделировании рассматриваются содержания в элементарных блоках (ячейках). Граничное содержание в ячейке при оконтуривании запасов обычно обозначается термином «*cut-off-grade*».

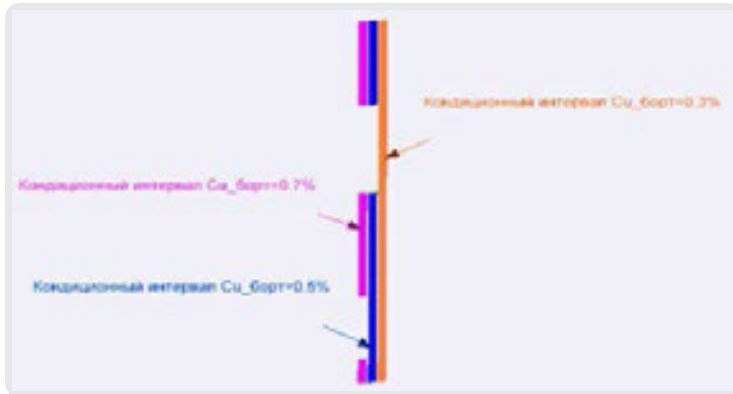
Пробы и элементарные блоки характеризуются разными размерами, что предопределяет различие параметров статистических распределений по ним, в том числе дисперсий и показателей асимметрии; средние содержания по ним в пределах одного каркаса могут быть практически равны. Разделение этих статистических совокупностей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

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 «рудной/минерализованной зоны» или подсчетного объема, плотности разведочной сети и ряда других факторов. В целом, использование одинакового лимита для элементарных блоков и проб в условиях «свободных» оболочек всегда приводит к систематической ошибке в оценке содержаний.

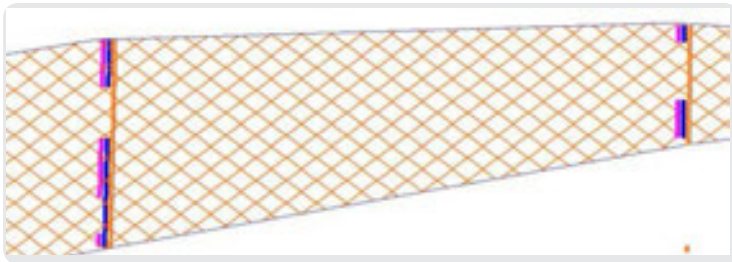
Устранение или учет этого смещения возможны следующими способами:

- использованием значения *cut-off-grade*, отличающегося от величины бортового содержания (т.е. использованием другого предельного содержания);
- построением контуров оболочек (каркасов) для разных вариантов бортового содержания;
- использованием процедур, преобразующих распределения содержаний в элементарных блоках, в частности процедур нелинейного кригинга.

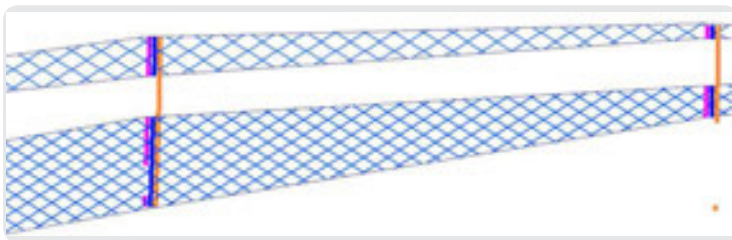
Первый способ является наиболее простым. Поправочный коэффициент в этом случае устанавливается на основе сравнения результатов традиционного подсчета и блочного моделирования. Этот прием в ограниченных условиях может применяться для повариантного подсчета запасов при разработке ТЭО кондиций. Выбор



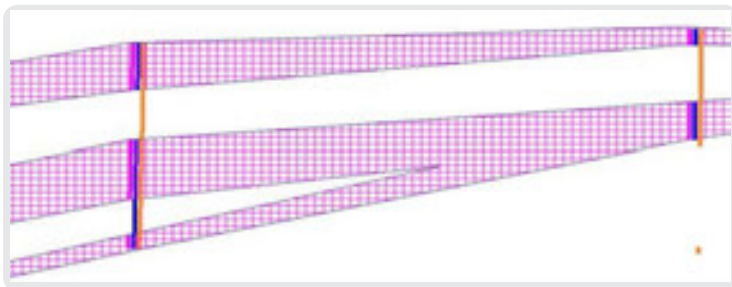
**Рис. 1.**  
Кондиционные интервалы по  $Cu = 0,3, 0,5$  и  $0,7\%$



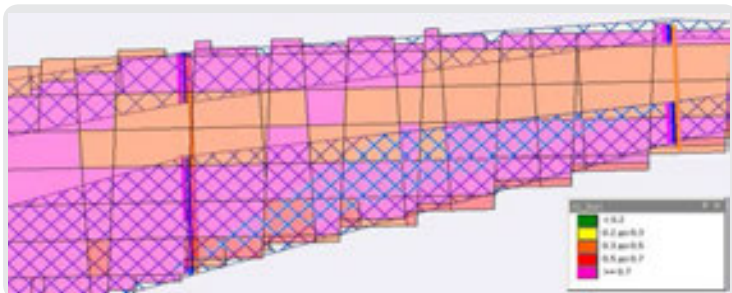
**Рис. 2.**  
Каркас, построенный по  $Cu = 0,3\%$



**Рис. 3.**  
Каркас, построенный по  $Cu = 0,5\%$



**Рис. 4.**  
Каркас, построенный по  $Cu = 0,7\%$



**Рис. 5.**  
Каркас, построенный по  $Cu = 0,5\%$ , блочная модель, ограниченная каркасом  $Cu = 0,3\%$

соответствующего поправочного коэффициента может базироваться на критерии совпадения среднего содержания в запасах, оцениваемых по традиционной методике и методом блочного моделирования, либо на совпадении запасов руды или металла. Поправочный коэффициент не может одновременно обеспечить совпадение всех трех показателей.

Необходимо иметь в виду, что характеристики распределения содержаний в ячейках (элементарных блоках) в значительной степени зависят от условий моделирования, и особенно, от размеров этих ячеек.

## 2. Различия в методике построения оболочек

Наиболее близкие результаты подсчета запасов традиционным методом и по блочной модели достигаются при построении оболочек, совпадающих с контуром сплошных рудных тел, построенных по рудным интервалам, выделенным 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.

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.) традиционный подсчет и блочное моделирование дают сходные результаты, и разработка особых условий для блочного моделирования не требуется;
- для месторождений, где оконтуривание при традиционном подсчете производится с использованием набора кондиционных показателей – бортового содержания, минимальной мощности рудного тела и др., полноценный учет которых в рамках БМ практически невозможен, можно лишь говорить об их условном соответствии друг другу. В этом случае достичь сходных результатов оказывается достаточно сложно.

Самый простой и надежный выход в этом случае – построение каркасов рудных тел с учетом установленных кондиций.

## Применение методик минимизации расхождений на примере месторождения меди

Подсчетные интервалы (кондиционные интервалы) для построения каркасов рудных тел строились по следующим установленным кондициям:

## Сравнение параметров запасов

Таблица 1

| cut-off/<br>борт   | ОБЪЕМ<br>руды<br>cut-off, М <sup>3</sup> | ОБЪЕМ<br>руды в<br>каркасах<br>по C <sub>борт</sub> , М <sup>3</sup> | Запасы<br>руды<br>cut-off, т | Запасы<br>руды в<br>каркасах<br>по C <sub>борт</sub> , т | Содержание<br>меди<br>cut-off,<br>% | Содержание<br>меди<br>в каркасах<br>по C <sub>борт</sub> , % | Запасы<br>металла<br>cut-off, т | Запасы<br>металла<br>в каркасах<br>по C <sub>борт</sub> , т |
|--|--|--|------------------------------|--|-------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| 0.3000   | 673 477 400                              | 701 254 600  | 1 784 715 110                | 1 858 324 690  | 1,23862                             | 1,19873  | 22 105 922,76709                | 22 276 294,31253  |
| разница%   | 4,12%                                    |  | 4,12%                        |  | -3,22%                              |  | 0,77%                           |   |
| 0.5000   | 500 371 000                              | 465 734 400  | 1 325 983 150                | 1 234 196 160  | 1,52720                             | 1,57101  | 20 250 467,95835                | 19 389 288,04163  |
| разница%   | -6,92%                                   |  | -6,92%                       |  | 2,87%                               |  | -4,25%                          |   |
| 0.7000   | 385 635 800                              | 322 294 600  | 1 021 934 870                | 854 080 690  | 1,80597                             | 1,95208  | 18 455 881,50931                | 16 672 313,58087  |
| разница%   | -16,43%                                  |  | -16,43%                      |  | 8,09%                               |  | -9,66%                          |   |
| разница запасов металла по бортовым содержаниям\cut-off 0,3-0,5% |  |  |                              |  |                                     |  | -8,39%                          | -12,96%   |
| разница запасов металла по бортовым содержаниям\cut-off 0,3-0,7% |  |  |                              |  |                                     |  | -16,51%                         | -25,16%   |

- бортовое содержание Cu – 0,3, 0,5 и 0,7%.
- минимальная мощность рудного тела (в пересчете на истинную мощность) – 10 м;
- максимальная мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд – 10 м.

Построенные с использованием этих параметров каркасы приведены на *рис. 1–4*.

После построения каркасов была создана пустая блочная модель, в которую были интерполированы содержания меди. Ограничение блочной модели было сделано по всем каркасам. ИНФОПРОФ проведено сравнение параметров запасов по блочной модели между выборкой по cut-off = 0,3, 0,5, 0,7% в максимальном каркасе, построенном по бортовому содержанию меди 0,3%, и выборкой блоков блочной модели, построенными каркасами по бортовым содержаниям Cu = 0,3, 0,5, 0,7% (*табл. 1*).

Из табл. 1 следует, что в каркасе по минимальному бортовому содержанию Cu = 0,3% разница в запасах следующая: запасов меди меньше в выборке cut-off, а среднее содержание при этом больше. Причиной расхождения является наличие в каркасе блоков с содержанием Cu < 0,3%.

При выборке с более высоким cut-off Cu = 0,5–0,7% наблюдается обратная ситуация: запасов при выборке по cut-off больше, а среднее содержание меньше, поскольку часть блоков с содержанием Cu > 0,5% не попадает в каркас (*рис. 5*).

С увеличением критерия выборки cut-off/C<sub>борт</sub> по всем параметрам закономерно увеличивается расхождение, однако величина расхождения не превышает 10% по металлу.

### Выводы

Результаты повариантного подсчета запасов традиционным методом и их оценки с использованием блочного моделирования при единых кондиционных параметрах показывают раз-

личие средних содержаний меди по вариантам оценки менее 8,5%, расхождение в запасах по руде – 16,5%, по металлу – 10%.

Результаты повариантного подсчета запасов традиционным методом согласуются с данными предварительного геологического анализа. Параметры запасов, определенные для меди cut-off 0,3–0,7% соответствуют параметрам запасов бортовых содержаний меди 0,3–0,7%. С этих позиций они будут восприниматься как более корректные при прохождении госэкспертизы материалов в ГКЗ.

Расхождения в количестве запасов при блочном моделировании, выборка по cut-off и выборкой по каркасам определяются наличием блоков, равных выборке по cut-off за пределами выборки каркасами.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что имеется объективная возможность создать блочную модель, удовлетворительно совпадающую по геологоразведочным параметрам с данными традиционного подсчета, если руководствоваться следующими приемами:

1. Использование каркасов рудных тел, опирающихся на выделенные рудные интервалы по вариантам бортового содержания, в сочетании с применением индикаторного кригинга.

2. Построение каркасов рудных тел, в максимальной степени заключающих в себе кондиционные руды для данного бортового содержания, т.е. с максимальным коэффициентом рудоносности.

3. Оптимальное значение cut-off (запасы металла при выборке по cut-off не должны быть менее 80% от запасов металла всей минерализованной зоны).

Предложенная методика не противоречит имеющимся рекомендациям и практике использования блочного моделирования как в РФ, так и за рубежом. ❊