



А. А. Полонянкин
главный геолог SRK
Consulting (Russia)

Опыт компьютерного моделирования минеральных ресурсов

В статье изложены принципы моделирования рудных месторождений, которыми руководствуется Компания SRK Consulting, и приведены результаты по медно-молибденовому месторождению Жирекен.

In article principles of modelling of ore deposits by which Company SRK Consulting is guided are stated, and results on copper-molybdenum deposit Zhireken are brought.

Ключевые слова: минеральные ресурсы, гистограмма, вариограмма, кригинг, блочная модель.
Keywords: mineral resources, bar chart, variogram, kriging, block model.

Компания SRK Consulting – независимая горно-геологическая консультационная компания, основанная в 1974 году в ЮАР. В составе компании работают около 900 высококвалифицированных специалистов в 38 офисах на пяти континентах, с большим опытом работ в разнообразных областях, практически по всем видам полезных ископаемых для широкого круга клиентов, включающих международные фондовые биржи, горнодобывающие компании, банки, инвестиционные фонды и геологоразведочные компании. Компания SRK имеет опыт работы в России и странах СНГ около 15 лет. Офис в Москве открыт в 2006 году.

Создание компьютерных 3D-моделей необходимо начинать с анализа качества первичных данных. Нужно выяснить: какой метод опробования применялся и какие пробы были отправлены на анализ в аналитическую лабораторию; как и где проводилась пробоподготовка и существует ли риск заражения проб; есть ли зависимость плотности руды от содержания полезного компонента и насколько достоверен и представительен был анализ; какое извлечение керна было в ходе разных буровых компаний. На первом этапе определяется возможность дальнейшего создания модели и уровень достоверности получаемого результата.

Когда нужно остановить подсчет минеральных ресурсов и вернуться к буровым работам? Случается, что данные не удовлетворяют требованиям к подсчету ресурсов; тогда необходимо составить каталог первичных данных и определить, какие первичные данные и материал проб сохранились (кern, дубликаты после дробления или истирания), провести реопробование сохранившегося материала. Иногда возникает необходимость бурения нескольких заверочных скважин, дублирующих старые скважины. Это требование является обязательным для подготовки Feasibility study. Однако в практике SRK Consulting были случаи, когда всю программу разведочных работ нужно было начинать заново.

Перед началом оконтуривания рудных тел очень важно определить непрерывность распределения данных, другими словами, выдержанность геологических структур. В данном случае выдержанность по содержанию полезного компонента имеет меньшее значение. Также нужно провести анализ на наличие «ураганных» содержаний и урезать их. Перед началом увязки рудных тел необходимо провести анализ первичных геологических разрезов и планов. Не менее важной является работа с геологами, участвовавшими в разведке

месторождения, так как их понимание геологического строения месторождения весьма полезно для переоценки месторождения в современных условиях.

После построения каркасных моделей рудных тел до создания блочной модели месторождения необходимо принять решение о длине композитов (проб унифицированной длины). Иногда длина композита, равная средней длине проб, дает очень высокую вариативность. Например, длина пробы может быть 10 см. Длина композита должна отражать внутреннюю неоднородность рудного тела, завышенная длина композита сгладит и усреднит содержания. При моделировании маломощных рудных жил лучше использовать один композит на всю мощность жилы.

При создании блочных моделей необходимо принять решение о размере элементарного блока. Размер блока зависит как от плотности разведочной сети, так и от параметров рудных тел и планируемого метода отработки. При этом нужно понимать, для каких целей готовится блочная модель. Для открытых горных работ можно использовать, как правило, больший размер блока и ввести атрибут - % заполнения блока данными опробования, но при этом возникает сложность создания горной модели и оценки показателей потерь и разубоживания. Для месторождений, планируемых к подземной отработке, особенно жильных рудных тел малой мощности, лучше использовать размер блока, близкий к их мощности. Если возникает необходимость оценить и показать изменение контуров рудных тел при изменении бортового содержания и оценить методы селективной добычи, то лучше использовать размер блока, сопоставимый с параметрами внутренней неоднородности (мощностью пустых пород, некондиционных прослоев), но при этом следует отметить, что «дисперсия кригинга» при интерполяции содержаний в блочную модель будет высокой, что говорит о низкой достоверности расчета содержаний в блоках.

Для интерполяции содержаний в блочную модель существует множество способов, но наиболее простыми и не требующими высокого профессионального опыта, являются метод обратных взвешенных расстояний (ОВР) и ординарный кригинг (ОК). При ОВР пробы оцениваются в пределах области поиска (зоны их влияния) с учетом расстояний до центра блока. Алгоритмом могут учитываться расстояния, возводимые в степень, которая варьируется в пределах от 1 до 5. При ОК интерполяция содержаний в блоки с использованием

Параметры поискового эллипсоида и вариограммы

Таблица 1

Параметры эллипсоида		Параметры вариограммы		
Азимут	205	Тип модели:	Сферическая	
Погружение	70	Самородковый эффект:	714	
Угол падения	80			
Анизотропия		Структура	Силл	Диапазон
mijor / semi-mijor	1	1	808	28
mijor / minor	1.3	2	675	82

Сравнение оценки минеральных ресурсов месторождения Жирекен на основе блочной модели с данными отчета по форме 5гр*

Таблица 2

	Тоннаж, млн т	Содержание, % Мо	Металл тыс.т, Мо
Блочная модель (бортовое содержание 0,03% Мо)			
Measured+Indicated+Inferred	XXX	0.056%	XXX
5гр			
В+С1	XXX	0.102%	XXX
Разница между итоговыми значениями	29%	-46%	-30%

* при бортовом содержании молибдена 0,03%.

Среднее содержание Мо в добываемой руде Жирекенского ГОКа

Таблица 3

Год	2007	2008	2009
Содержание Мо, %	0.049	0.055	0.057

процесса кригинга очень схожа с интерполяцией, используемой при методе ОВР. Пробы в поисковой области оцениваются при помощи коэффициентов кригинга, значения которых основаны на расстояниях от оцениваемой точки/блока, на пространственном взаимоотношении проб относительно друг друга и блока и параметрах вариограмм, которые определяются их моделированием.

Обработка разведочных данных, проведенная SRK, иллюстрируется на примере медно-молибденового месторождения Жирекен. Был проведен статистический анализ данных опробования на молибден, полученных на различных этапах разведки – геологической по сети 25x25 м и эксплуатационной (по данным буровзрывных скважин) по сети 6x6 м. На **рис. 1-3** представлены гистограммы логнормального распределения содержаний молибдена на разных этапах разведочных работ. Далее был проведен геостатистический анализ.

На основе выполненной вариографии были получены параметры интерполяции содержаний молибдена в блочную модель. Параметры поискового эллипсоида и вариограммы приведены в **табл. 1**.

Используя приведенные выше параметры, SRK применила метод ОК для интерполяции содержаний молибдена и меди в блочную модель Жирекенского месторождения. Для корректного заполнения блочной модели были испытаны четыре варианта поисковых радиусов (10, 25, 50 и 100 м) с требованием к объему выборки: минимум – 4 пробы, максимум – 16 проб.

Интерполяция содержаний была выполнена внутри каркасов зоны рудной минерализации без выделения отдельных рудных тел по какому-либо бортовому содержанию. Как было отмечено выше, главное внимание было уделено геологической выдержанности зоны оруденения с использованием всего массива исходных данных.

Содержания были подвергнуты сглаживанию в перечисленных выше вариантах заполнения блочной модели. Кроме того, при изменении пространственных параметров залегания рудных тел используются различные поисковые эллипсоиды с учетом преобразования координат, обеспечивающего выпрямление складок, а также динамические эллипсоиды.

Для заверки блочной модели выполняется анализ, который позволяет убедиться, что всем блокам присвоены значения содержаний. В процессе анализа сравниваются содержания проб/композигов с содержаниями в блоках, статистические характеристики содержаний в блоках и по пробам/композигам, сравниваются результаты моделирования методами ОВР и ОК и проводится кросс-анализ данных по блокам, заполненным обоими методами.

При моделировании Жирекенского месторождения SRK также провела заверку сопоставлением модельных данных с результатами предыдущих оценок ресурсов

месторождения и с результатами его эксплуатации (*табл. 2*).

SRK отмечает, что по данным блочной модели запасы руды (с более низким содержанием) существенно превышают учетные государственным балансом (отчетом по форме 5гр), тогда как запасы металла оказываются существенно меньше. При этом результаты блочной модели имеют хорошую сходимость с производственными показателями 2009 года и соответствуют ретроспективным показателям содержания молибдена, приведенным в *табл. 3*.

На основании проведенного анализа данных по месторождению Жирекен SRK считает, что блочная модель дает более точную оценку минеральных ресурсов, особенно для месторождений штокверкового типа, ресурсы которых были оценены полигональным методом с применением коэффициента рудоносности.

Для классификации минеральных ресурсов по проектам, находящимся на ранних этапах разведки, когда достоверность ресурсов не подтверждена данными по добыче, анализ вариограмм помогает сделать необходимые заключения; в случае низкого «эффекта самородков» (Co) относительно редкая сеть скважин может обеспечить определение измеренных (measured) минеральных ресурсов (*рис. 4*); когда «эффект самородков» достигает 66%, определение этих ресурсов невозможно, поскольку требует нецелесообразной и чрезвычайно затратной плотности разведочной сети.

Иногда, основываясь на диапазоне вариограммы, эксперты используют расстояние до ближайшей пробы для классификации минеральных ресурсов, в результате чего получается картина классификации в виде «леопардовых пятен», что противоречит общепринятому подходу, так как для надежного плана горных работ в будущем трудно подобрать систему отработки для добычи «достоверных» ресурсов с оценкой зон влияния разведочных данных в виде эллипсов. SRK рекомендует использовать такой подход только для определения блоков/частей месторождения с одинаковой достоверностью и классифицировать минеральные ресурсы в виде таких блоков. На большинстве месторождений в мире измеренные (measured) минеральные ресурсы выделяются только на стадии отработки месторождения, а для проектов ранней стадии разведки, чтобы обосновать и привлечь инвестиции на строительство рудника и начать добычу, достаточно выявленных (indicated) минеральных ресурсов. M

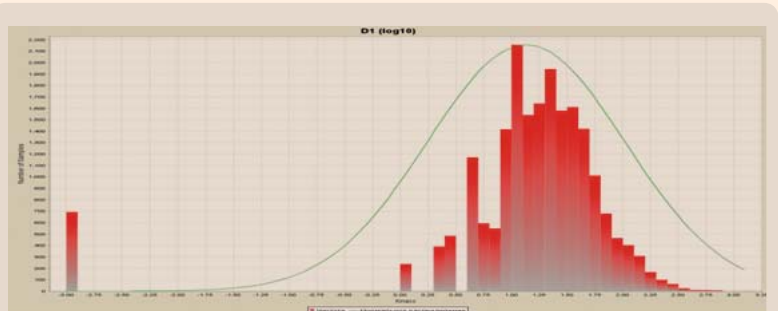


Рис. 1.
Логнормальное распределение содержаний молибдена по данным начальной стадии разведки

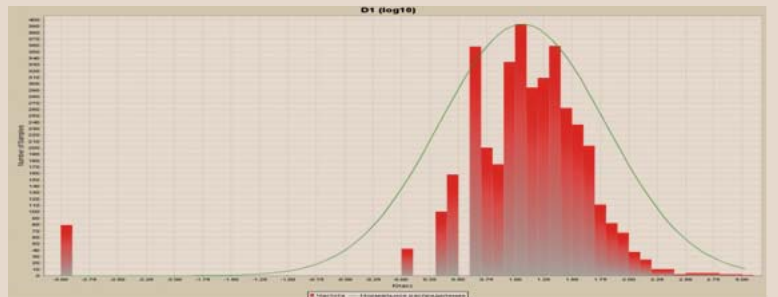


Рис. 2.
Логнормальное распределение содержаний молибдена по данным детальной разведки

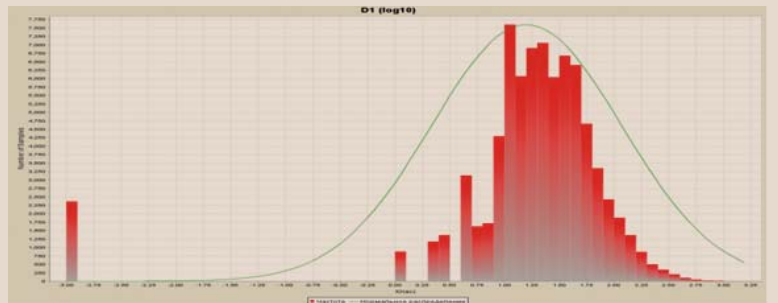


Рис. 3.
Логнормальное распределение содержаний молибдена по данным буровзрывных скважин

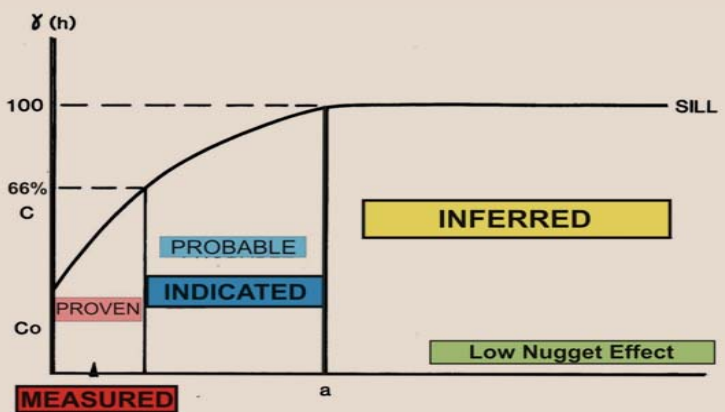


Рис. 4.
Классификация минеральных ресурсов по анализу вариограмм