

От Валерия Макарова

Сравнение методов подсчёта запасов

Главный геолог ООО "РУССДРАГМЕТ" Фёдор Шайдулин

Запасы месторождения являются основой деятельности любого рудника, и от точности их подсчёта зависит рациональное использование недр, как основы благосостояния страны. Методов подсчёта существует много, но в геологическом мире наиболее прогрессивными считаются методы блочного моделирования (БМ). К сожалению, в России компьютерные методы приживаются с трудом, хотя именно они дают наиболее полное представление о распределении запасов на месторождении и позволяют динамично реагировать на изменение экономических условий. Существуют несколько мифов о БМ, которые порождают недоверие к методу и препятствуют его внедрению.

Миф первый: Методы блочного моделирования неточны, искажают реальные запасы месторождения. Наиболее точным методом является проверенный "ручной" полигональный, которым нужно контролировать и заверять запасы БМ.

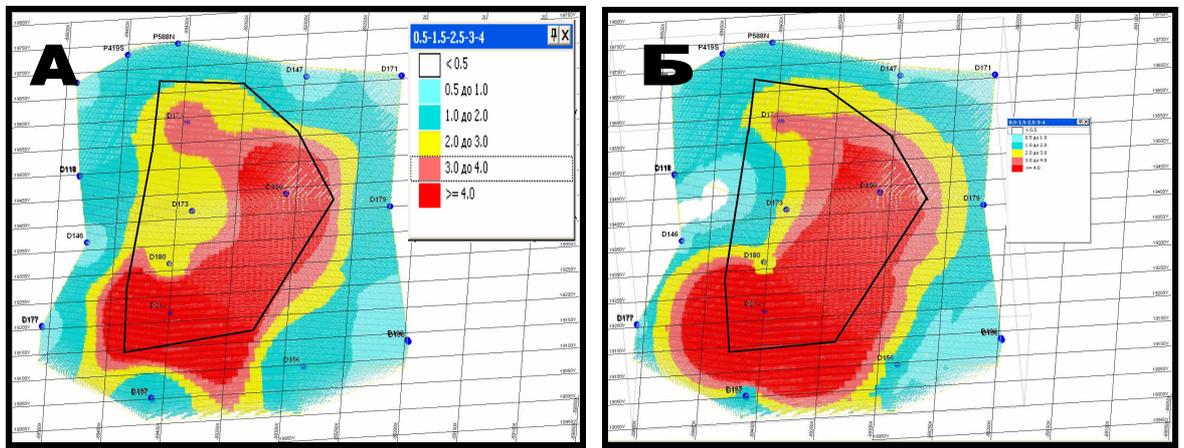
Рассмотрим простой и легко проверяемый пример (таблица 1) из пяти скважин ручного подсчёта запасов месторождения Н. Это небольшой блок рудного тела 5 восточной части месторождения. Метод подсчёта запасов "проекция на вертикальную плоскость", апробирован в ГКЗ дважды.

На рисунках с подсчётными таблицами наглядно показано как сильно изменяются запасы в зависимости от фантазии геолога. Любой геолог, рассматривающий эти примеры, может быть не согласен с таким оконтуриванием и сходу предложит ещё пару – тройку вариантов "ручного счёта", которые покажут другие запасы. В приведённом примере из пяти скважин разница в запасах металла в крайних вариантах составляет 57%. Приведённый пример показывает, что при ручном счёте большое значение имеет субъективизм исполнителя.

Подсчитаем запасы этого же примера методами БМ, причём каркас рудного тела точно повторяет контур ручного счёта по пересечениям, охватывая оконтуривающие скважины.

Таблица 1

№№ пп.	Номера блоков и категория	№№ профилей	№№ выработок	Мощность, м		Au, g/t	g/t*m	Площадь, м2	Объём, м3	Объёмная масса, т/м3	Запасы руды, т	Au, кг	Au, г/т
				горизонтальная	истинная								
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
3		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				18.70	18.69		207.3						
Среднее				6.23		11.09		15 197	94 744	2.92	276 652	3 069	
1			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
2			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
Сумма				3.83	3.07		6.9						
Среднее				1.92		2.24		6 769	12 965	2.92	37 858	85	
						Всего		21966			314510	3 154	10.0
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2		XXX	Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
3			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
4			Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
5			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
Сумма				4.51	3.7		10.4						
Среднее				1.50		2.82		10 767	16 200	2.92	47 305	133	
						Всего		21 966			355491	4 459	12.5
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее				4.51		9.84		21 966	98 995	2.92	289 066	2 845	9.8
						Всего						2 845	
1	V-С ₂ -8	XXX	Скв.-174	7.46	8.50	3.17	26.9						
2			Скв.-173	1.21	0.95	2.23	2.1						
3			Скв.-180	2.62	2.12	2.25	4.8						
4			Скв.-214	10.56	9.58	18.47	176.9						
5		XXXI	Скв.-150	0.68	0.61	5.73	3.5						
Сумма				22.53	21.76		214.2						
Среднее													



На рисунках А и Б показаны изображения БМ в ракурсе проекции на вертикальную плоскость с черным контуром ручного подсчёта. Вариант А- метод обратных расстояний, вариант Б- метод кригинга универсального.

Отчетливо видно, что при блочном моделировании идёт закономерное постепенное уменьшение содержаний от богатых пересечений к бедным. Также заметно влияние больших мощностей. Контур блоков с минимальным содержанием в блоке (МСБ) 2.0г/т (эта величина во всём мире называется "cut off grade", не путайте с нашим понятием "бортовое содержание в пробе"!) смещен по отношению к ручному жесткому контуру и распространяется далеко за его пределы. Запасы варианта А составили 2.4 тонны металла; варианта Б - 2.5 тонн (разница составляет около 4%).

БМ показали близкие результаты, в то время как варианты ручного счёта отличаются между собой кардинально. В действительности этот пример демонстрирует только то, что на рудных телах с большой изменчивостью содержаний БМ показывает более устойчивые результаты по сравнению с полигональным методом. В рассматриваемом примере на все подсчёты оказывает сильное влияние богатая скважина 214, в которой необходимо предварительно понизить содержания.

В таблице 2 представлены результаты подсчёта всех вышеперечисленных методов при понижении содержаний в скв. 214 до 5.73г/т.

Таблица 2.

Варианты с подавленным ураганом		Руда, тыс. т	Содержание, г/т	Металл, кг
Ручной метод при бортовом содержании 2г/т	№1_a	289.1	4.2	1 225
	№2_a	314.5	4.3	1 348
	№3_a	355.5	4.7	1 671
	№4_a	271.4	4.3	1 179
Блочное моделирование при МСБ 2г/т	Г (метод обратных расстояний)	371.8	3.4	1 273
	Д (метод кригинга)	384.4	3.2	1 239

Приведенный пример показывает причину неточности ручного метода связанной с грубой оценкой объёмов. Запасы руды по вариантам ручного метода отличаются в

пределах 30%. Совершенно ясно, что в расчёте объёмов ручным методом большую роль сыграла изменчивая мощность, и для вычисления объёма целесообразней было бы применять среднее геометрическое. Вычисление объёма трёхмерной фигуры с помощью компьютера несравнимо точнее.

Для дальнейшего анализа примера примем, что запасы руды в ручном подсчёте 265.8тыс.т.(компьютерный вариант), среднее содержание металла 4.4г/т, количество металла в блоке соответственно составит 1164кг.

Приведённые данные ближе к истинной величине запасов в рудном теле, но не отражают действительного соотношения запасов в примере. Дело в том, что бортовое содержание в пробе для оконтуривания рудного тела и МСБ имеют разную природу и не могут быть равны между собой.

Миф второй: Блочная Модель непроверяема. Блок Модель зависит от цены металлов.

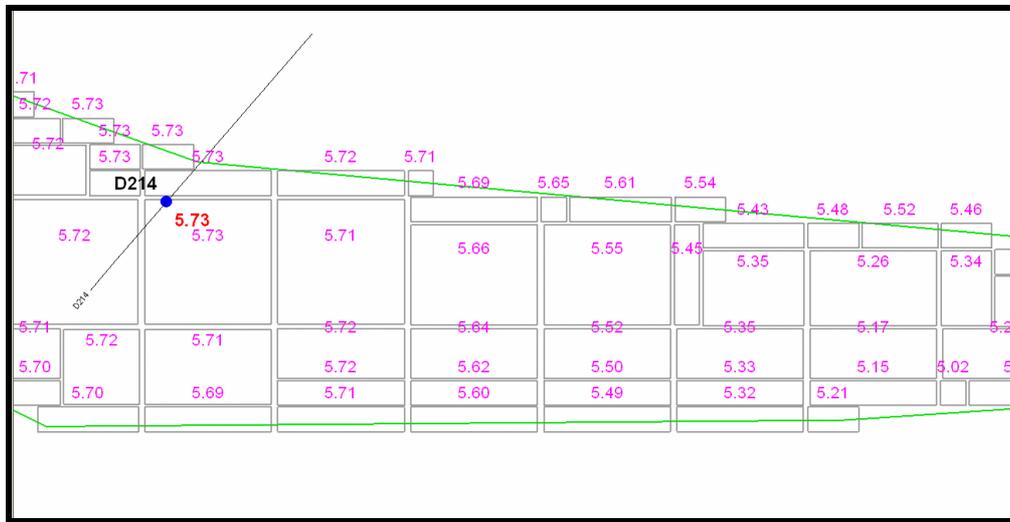
Блочная Модель представляет собой таблицу очень похожую на Excel. К примеру, одна из вышеприведённых БМ выглядит так:

	X	_X	Y	_Y	Z	_Z	CON_AU	выработка
1	-89524.000	1.000	19412.000	1.000	699.000	1.000	1.11420	6
2	-89523.000	1.000	19412.000	1.000	700.000	1.000	1.11373	6
3	-89526.000	1.000	19413.000	1.000	699.000	1.000	1.10500	6
4	-89525.000	1.000	19413.000	1.000	700.000	1.000	1.10352	6
5	-89524.000	1.000	19413.000	1.000	701.000	1.000	1.10249	6
6	-89523.000	1.000	19413.000	1.000	702.000	1.000	1.10192	6

В этих таблицах приведены координаты центров блока, их размер по трём осям и другие характеристики блока (объёмный вес, содержание металла, категория запасов и т.п.). Объём элементарного блока вычисляется простым произведением размеров блока, а запасы путём дальнейшего умножения на объёмную массу и на содержание.

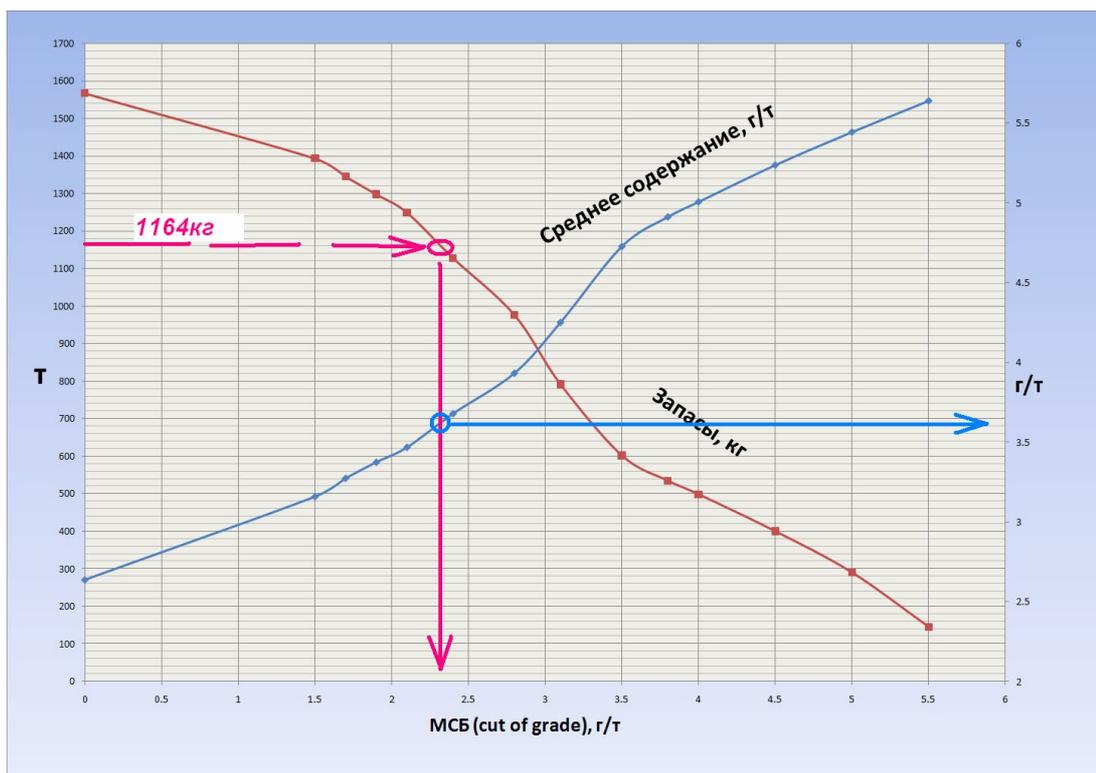
Таким образом, запасы БМ являются простой суммой запасов лишь тех элементарных блоков, содержание в которых более, или равно МСБ. Это свойство БМ имеет **чрезвычайно важное значение** для оценки месторождения, и является основным объектом повседневной работы горняков, геологов и экономистов. Простые математические операции с БМ позволяют анализировать поведение запасов и их качество в пространстве в зависимости от МСБ.

Любую БМ можно вывести на экран для проверки распределения металла по блокам и сравнить с реальными пересечениями. К примеру, ситуация вокруг скважины 214:



На рисунке видно, что вблизи пересечения скважины окружающие блоки имеют близкие содержания, а с удалением от неё содержания понижаются, всё больше приближаясь к содержаниям следующего пересечения.

Обычно при объявлении величины запасов БМ упоминается при каком именно МСБ они приведены, так как БМ по сути своей есть отражение распределения полезного ископаемого в пространстве и представляет собой весь спектр содержаний в выделенном контуре объёма земной коры. В нашем примере БМ содержит 40996 строк-блоков варианта "В", а запасы рудного тела путём фильтрации данных могут быть показаны в виде таблицы Excel или графика.



Этот график отражает зависимость в запасах БМ "количество – качество", и позволяет определить при каком МСБ запасы будут соответствовать запасам ручного

подсчёта (1164кг). В рассматриваемом примере запасы ручного подсчёта при бортовом содержании 2.0г/т соответствуют запасам БМ при МСБ 2.3г/т.

БМ не зависит от экономических параметров, это лишь отражение распределения геологических запасов в пространстве. Результатом экономических расчётов является МСБ, точно также как и бортовое содержание в пробе для оконтуривания рудных тел при ручном подсчёте. МСБ это минимальное содержание в руде, которая может быть добыта и переработана с нулевой рентабельностью. В случае изменения экономических условий (цены металла, к примеру) для БМ происходит простое "назначение" нового МСБ на основе несложных экономических расчётов, в то время как для расчёта бортового содержания в пробе требуется кропотливый многовариантный ручной подсчёт запасов, так как возникает необходимость изменить по каждому варианту границы рудных тел.

Миф третий: *Результаты подсчёта БМ должны быть заверены полигональным методом.*

В последний год ГКЗ РФ рассмотрело несколько сравнений подсчётов запасов месторождений с помощью БМ и ручного счёта. Все эти подсчёты объединяет одно – они были рассчитаны в "жестких" контурах ручного метода. Логично, что имея один и тот же оценивающий объём, запасы ручного счёта и по БМ ни в одном случае практически не отличались. В практике БМ более часто используется "свободный контур", определяемый геологами и который шире, чем входящие в неё рудные тела.

В рассматриваемом примере рудное тело очень плоское, оконтурено по пересечениям аналогично ручному, но по простиранию и падению контур БМ охватывает значительно больший объём. На месторождениях с мощными и неравномерными рудными телами оконтуривание для БМ ведётся значительно шире "жесткого" по всем направлениям пространства.

Основываясь на закономерностях распространения оруденения в пространстве, компьютер просчитывает и точно распределяет запасы в трёхмерном пространстве, учитывая возможное нахождение руды на невоскрывших участках (что не учитывает ручной подсчёт). Особенно эффективно применение БМ для объектов со сложными извилистыми границами рудных тел с большой изменчивостью мощности и неоднозначной увязкой между пересечениями.

Заверка модели имеет смысл тогда, когда соразмерны условия сравнения. При оконтуривании же рудных тел геологическими границами или низкими значениями естественного борта БМ охватывает и характеризует значительно большее пространство и в этих случаях сопоставления будут неточными. В нашем примере показано, что одинаковое количество запасов (1164кг) при бортовом содержании 2.0г/т получаются только когда МСБ равно 2.3г/т.

Миф четвёртый: *Блочная Модель пригодна лишь для работы на рудниках при эксплуатации, а для разведки не годится из-за редкой сети.*

Вопреки этому мнению именно БМ служит основой для международного аудита запасов месторождений и банковских ТЭО. Имеющаяся электронная картина пространственного распределения запасов БМ с закономерным изменением качества руды

облегчает работу над проектом отработки, которая начинается задолго до практических движений на руднике. Каждое месторождение проходит этапы постепенного сгущения сети с постоянной экономической оценкой значимости месторождения, которая основывается на запасах.

ГКЗ РФ признаёт правомерность использования программ оптимизации карьеров на основе БМ, которые часто базируются на результатах разведочных работ с редкой сетью скважин.

Выводы

1. По своим возможностям и точности БМ во много раз превосходит бумажный ручной подсчёт, что особенно важно для экономической оценки месторождений и принятия обоснованных управленческих решений по их освоению.
2. Высокая степень конкурентоспособности методов подсчета запасов полезных ископаемых с применением информационных технологий, в сравнении с действующим в России регламентом подсчета запасов, подтверждается громадным опытом использования БМ современной мировой практикой на всех стадиях разведки и отработки месторождений.
3. Применение динамических методов подсчета запасов ограждают месторождения от "выборочной" отработки богатых участков, поскольку действующие на любой момент добычи экономические ограничения не позволяют терять в недрах запасы, обеспечивающие получение даже самой минимальной прибыли.
4. Высокая эффективность применения БМ для подсчета запасов полезных ископаемых, в сочетании с оперативностью контроля отработки, дает надежду на скорое и масштабное внедрение информационных технологий в отечественную геологическую практику.