

## ВЗАИМОЗАВИСИМЫЕ ЗАКОНЫ ОЖИДАНИЙ

*Негативные ожидания порождают негативные результаты.*

*Позитивные ожидания также порождают негативные результаты.*

(Из законов МЭРФИ)

## АО МАДНЕУЛИ

Пересчёт запасов Маднеульского барито-полиметаллического месторождения с использованием программного продукта САПР “NPV Scheduler” фирмы *Datamine International*.

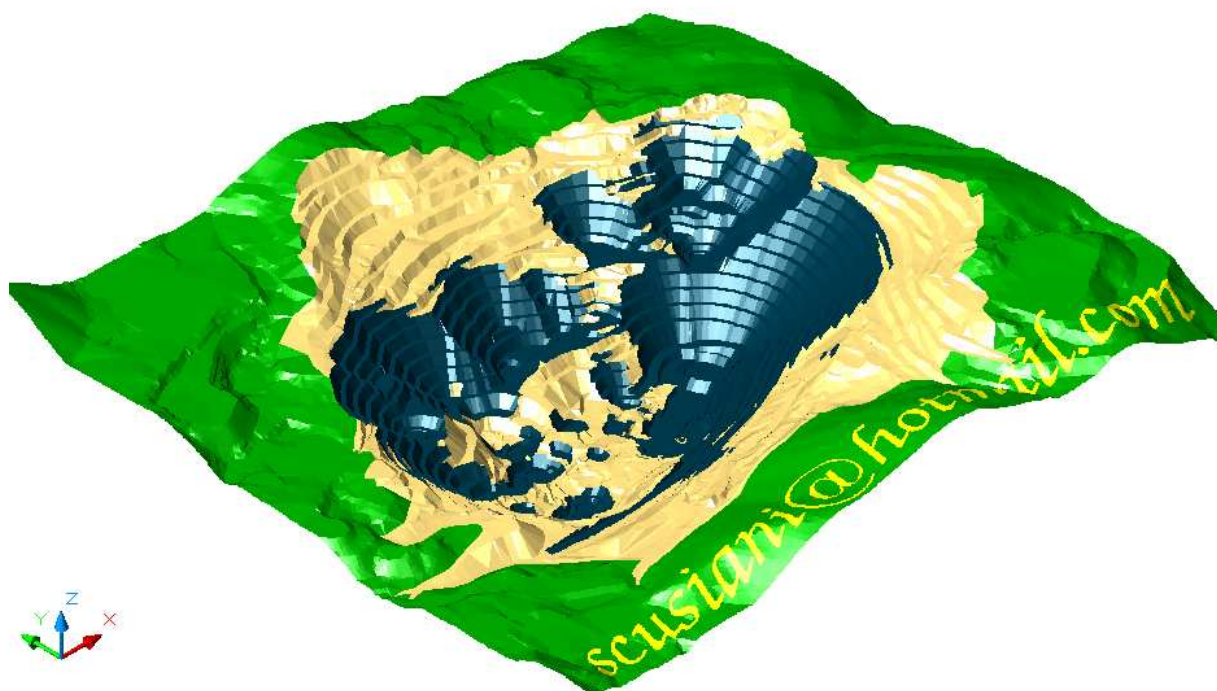
28.08.2009

Автор: С. Кусиани, ведущий специалист, АО Маднеули.

Оглавление:

1. Введение.....стр.3
2. Ресурсная модель .....стр.5
3. Резервы (извлекаемые запасы).....стр.6
4. Расчёт бортового содержания меди (формула).....стр.10
5. Параметры рабочего дизайна конечного контура (Pit\_100)..... стр.12

*Des080709*



## 1. Введение.

Материалы, использованные при пересчёте промышленных запасов Маднеульского месторождения:

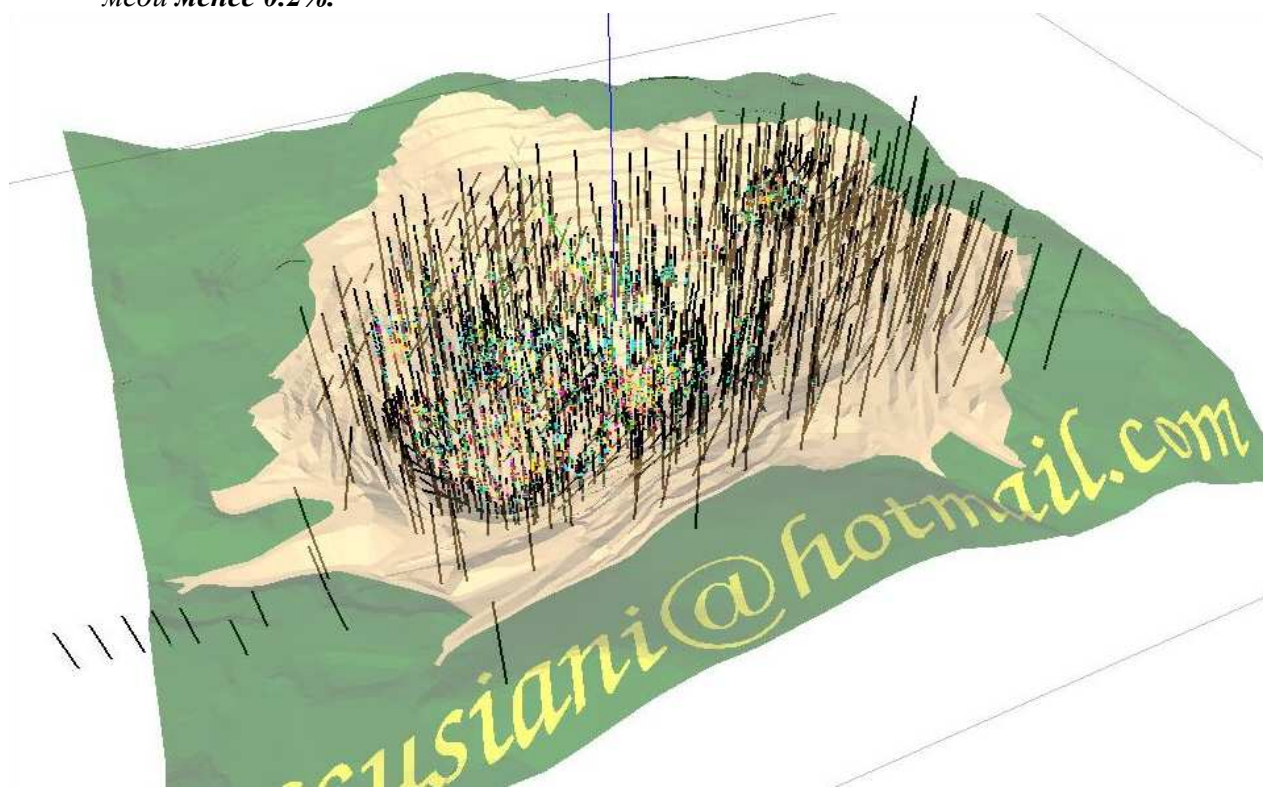
- 1.1 **estrc\_1f** – блочная модель от австралийской фирмы Snowden.
- 1.2 Каркасная трёхмерная модель поверхности карьера на конец июня 2009 года.
- 1.3 Текущие производственные показатели и биржевые цены на медь и золото.

- 1.1.1 Альтернативу блочной модели 2006 года **estrc\_1f** составляла б.м. **mad08bm2** от той же Snowden, включающая дополнительные геолого-разведочные скважины, пробуренные в 2007. Сопоставление запасов, вычисленных по обеим моделям не даёт никакой разницы. Само же месторождение изучено достаточно подробно, и даже визуально не оставляет никаких сомнений в изученности в перифериях в том числе. По степени изученности модель **estrc\_1f** принадлежит к *Indicated with High Confidence* по международной классификации или к категории В-С1 по ГКЗ. Иными словами, в модели **estrc\_1f** “пустых” мест нет.

**Таблица 1.1.1** Сравнение моделей **estrc\_1f** и **mad08bm2**. В пределах конечного контура *Des\_v4* от Snowden не обнаружено никаких дополнительных запасов по данным на сентябрь прошлого (2008) года.

Sep-08	Category	Tonnes	CU_FEB07	CU[mad08bm2]	AU_FEB07	AU[mad08mb2]	DENSITY	CU_REC	AU_REC
	[ABSENT]	0.00	0	0	0	0	0	0	0
	[0,0.22]	39,469,000.00	0.089	0.076	0.194	0.215	2.655	84.205	47.29
	[0.22,0.25]	2,380,423.50	0.243	0.235	0.35	0.37	2.684	82.529	46.069
	[0.25,0.31]	3,956,142.60	0.283	0.278	0.378	0.403	2.687	83.274	45.696
	[0.31,0.4]	3,913,870.40	0.354	0.351	0.402	0.426	2.691	82.898	45.08
	[0.4,0.5]	2,627,432.00	0.445	0.446	0.418	0.439	2.696	82.542	44.186
	[0.5,0.6]	1,464,185.90	0.535	0.545	0.418	0.434	2.702	82.284	43.499
	[0.6,0.8]	1,246,641.50	0.651	0.679	0.415	0.432	2.708	83.077	43.599
	[0.8,1]	432,447.50	0.847	0.887	0.428	0.444	2.72	84.89	43.809
	[1,1.4]	257,160.30	1.112	1.156	0.48	0.505	2.736	84.182	44.446
	[1.4,2]	105,996.80	1.572	1.626	0.583	0.611	2.763	85.589	43.17
	[2,3]	14,156.30	2.439	2.36	1.254	1.253	2.814	86.936	43.314
	[3,12]	0.00	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	55,868,000.00	0.183	0.174	0.254	0.275	2.665	83.831	46.594
<b>CU&gt;0.25</b>	<b>ore</b>	<b>14,018,033.30</b>	<b>0.44</b>	<b>0.44</b>	<b>0.41</b>	<b>0.53</b>			
	waste	41,849,966.70							
<b>CU&gt;0.31</b>	<b>ore</b>	<b>10,061,890.70</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.42</b>	<b>0.52</b>			
	waste	45,806,109.30							
<b>CU&gt;0.4</b>	<b>ore</b>	<b>6,148,020.30</b>	<b>0.59</b>	<b>0.60</b>	<b>0.43</b>	<b>0.52</b>			
	waste	49,719,979.70							
<b>CU&gt;0.5</b>	<b>ore</b>	<b>3,520,588.30</b>	<b>0.70</b>	<b>0.72</b>	<b>0.43</b>	<b>0.52</b>			
	waste	52,347,411.70							
<b>CU&gt;0.6</b>	<b>ore</b>	<b>2,056,402.40</b>	<b>0.81</b>	<b>0.84</b>	<b>0.44</b>	<b>0.51</b>			
	waste	53,811,597.60							

**Рис.1.1.1** Вид с Юго-Востока с нанесением геолого-разведочных скважин от начала бурения в 50-годах 20-го века до конца 2007 года. Чёрным цветом обозначены содержания меди менее 0.2%.



1.2.1 При пересчёте промышленных запасов была использована поверхностная съёмка карьера на конец июля 2009 года, произведённая Маркшейдерской Службой АО Маднеули.

1.3.1. Экономические показатели, использованные при пересчёте:

- Цена на медь – 4500 \$/t
- Цена на золото – 29 \$/г
- Себестоимость добычи медной руды – 0.7 \$/t
- Себестоимость добычи золотосодержащей руды – 0.61 \$/t
- Общая себестоимость переработки 1 тонны медной руды в фабрике – 14.12 \$/t
- Фиксированная себестоимость переработки 1 тонны медной руды в фабрике – 8.46\$/t
- Общая себестоимость переработки 1 тонны золотосодержащей руды в кучах – 9.28 \$/t
- Разубоживание – 9%
- Потери – 9%
- Извлечение меди в сульфидной руде – 82%
- Извлечение золота в сульфидной руде – 50%
- Извлечение меди в оксидной руде – 73.2%
- Извлечение золота в оксидной руде – 40%
- Извлечение золота в кучах – 63.3%
- Объём работ – переработка 2,500,000 тонн медной руды в год.

## 2. Ресурсная модель.

Таблица 2.1, показатели импортируемой в NPV Scheduler блочной модели

Rock1 – Сульфидная руда Cu >= 0.01%

Rock2 – Оксидная руда Cu >= 0.01%

Rock3 – Золотосодержащая кварцитовая руда при Cu<0.2%, Au>=0.4г/т

Rock0 – Условно пустая порода при Cu<0.01%

### 2.1 Импортированная модель

Global Stats

	tonnes
Ore	1,223,851,247
Waste	743,053,093
Total	1,966,904,340

Rock Type Stats

	Tonnage tonnes	CU Percent	CU Min Percent	CU Max Percent	AU g/tonne	AU Min g/tonne	AU Max g/tonne
Rock 1	1,208,914.816	0.05%	0.01%	4.45%	0.0506	0.0001	7.2948
Rock 2	13,824,312	0.18%	0.01%	1.59%	0.1876	0.0032	1.8332
Rock 3	1,112,119	0.07%	0.01%	0.20%	0.728	0.4001	5.5188
UNDEF RT	536,000	0.00%	0.00%	0.00%	0	0	0
Rock 0	742,517,093	0.01%	0.00%	0.20%	0.0142	0.005	0.9979

### 2.2 Экономическая модель

Global Stats

Cash	Revenue	Minimum	Maximum	Process Cost	Minimum	Maximum
	\$363,813,484	\$1,202	\$110,034	\$253,551,949	\$768.42	\$10,267
	Block Count	Mass				
ORE	\$27,453	\$18,337,402				
Waste	3,026,531	1,948,566,938				
Total	3,053,984	1,966,904,340				

Strip Ratio 106

ORE Stats

	Mass tonnes	CU tonnes	CU Min Percent	CU Max Percent	AU g	AU Min g/tonne
Rock 1	16,224,366	72,861	0.02%	4.45%	6,760,734	0.005
Rock 2	1,430,882	6,998	0.03%	1.59%	470,993	0.0107
Rock 3	682,154	490	0.01%	0.20%	606,732	0.5511
Total	18,337,402	80,349			7,838,460	

### 3. Резервы (промышленные запасы)

Рис. 3.1, Трёхмерная каркасная модель (раковина\*) конечного контура карьера-Pit\_100

\*)-неразрезанная по уступам и транспортным путям математическая модель называется "раковиной"

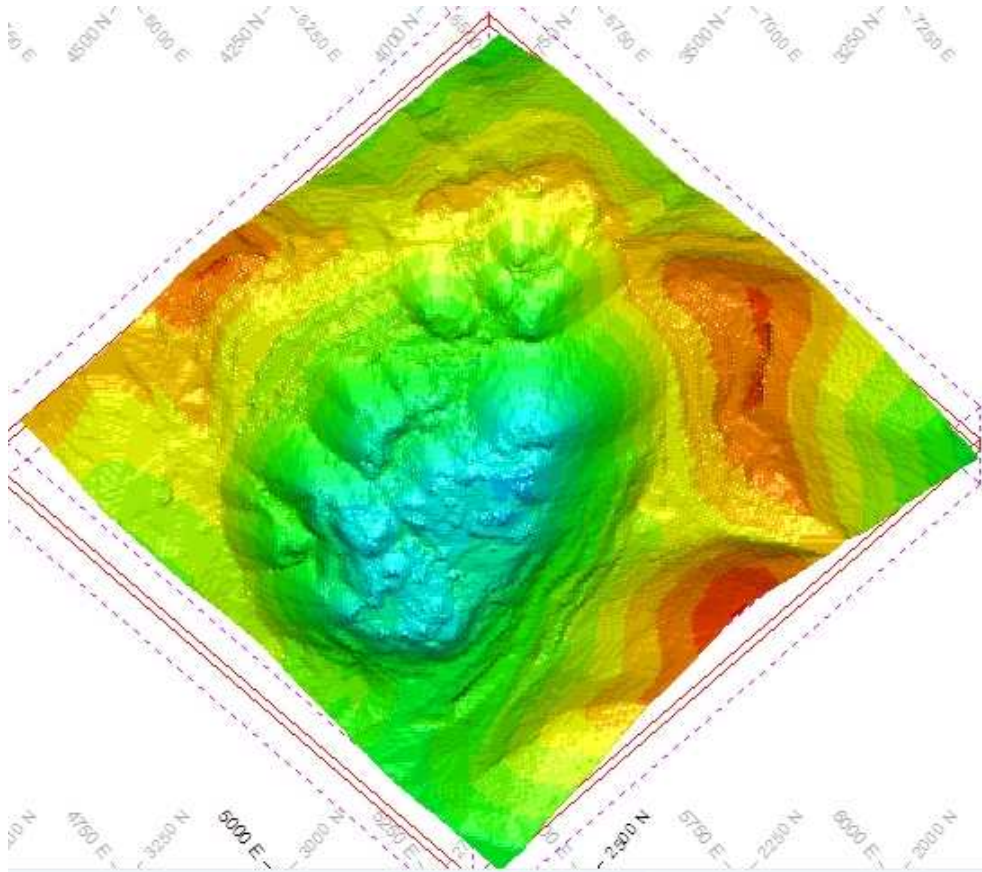
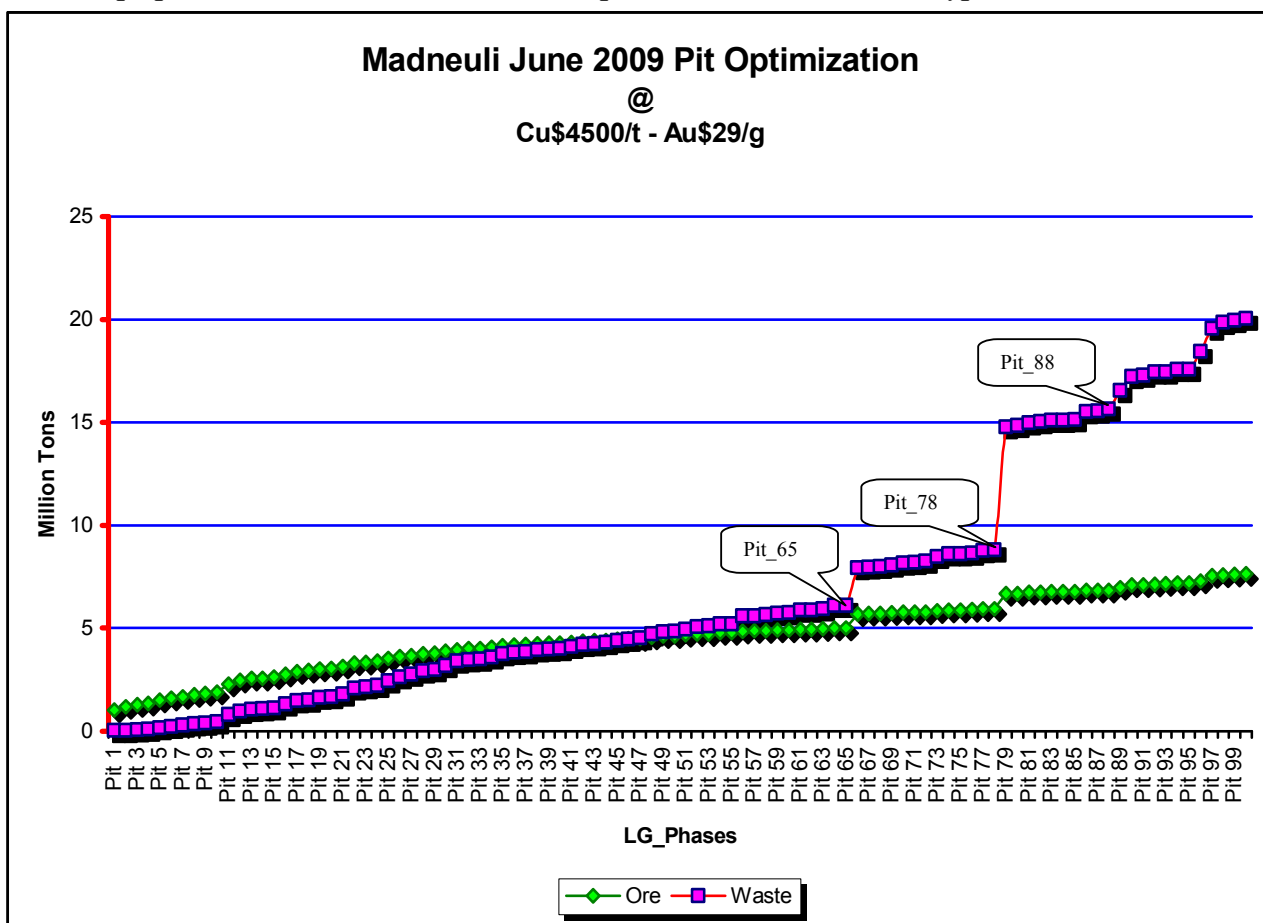


Табл. 3.1 Конечные контуры: Фазы Лера-Гроссмана (LG\_Phases)

	NPV	Net Revenue	Revenue \$	Process Cost \$	Mining Cost \$	Rock t	Total Ore t	Waste t	Strip R.	Sulfide t	Oxide t	Q-Leach t
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pit1	8,057,629	8,258,339	23,978,256	14,483,609	1,236,308	1,060,733	1,043,924	16,809	0.02	898,375	116,971	28,578
Pit2	9,455,257	9,752,410	27,715,430	16,546,093	1,416,927	1,236,728	1,193,411	43,317	0.04	995,722	162,616	35,073
Pit3	10,428,009	10,800,394	30,096,675	17,767,588	1,528,694	1,357,628	1,282,116	75,512	0.06	1,076,361	166,335	39,420
Pit4	11,232,249	11,671,007	32,064,595	18,762,082	1,631,506	1,466,090	1,356,599	109,491	0.08	1,132,598	174,438	49,564
Pit5	12,264,570	12,795,725	35,276,566	20,660,886	1,819,955	1,670,089	1,496,701	173,388	0.12	1,237,177	196,754	62,770
Pit6	13,153,785	13,771,562	37,782,966	22,038,916	1,972,488	1,836,451	1,597,897	238,554	0.15	1,311,608	215,335	70,954
Pit7	13,824,696	14,512,017	39,873,925	23,249,430	2,112,478	1,979,957	1,685,473	294,484	0.17	1,395,166	216,012	74,294
Pit8	14,442,502	15,196,861	41,776,160	24,324,193	2,255,106	2,119,130	1,762,897	356,233	0.20	1,470,587	216,012	76,298
Pit9	14,794,763	15,588,974	43,013,116	25,081,422	2,342,720	2,216,616	1,816,963	399,653	0.22	1,510,703	229,963	76,298
Pit10	15,231,462	16,077,105	44,674,064	26,124,163	2,472,797	2,350,441	1,894,165	456,276	0.24	1,559,433	250,411	84,320
Pit11	17,450,601	18,596,506	53,397,407	31,676,818	3,124,084	3,095,247	2,290,624	804,623	0.35	1,955,892	250,411	84,320
Pit12	18,340,603	19,622,906	57,143,226	34,110,418	3,409,901	3,440,581	2,471,487	969,094	0.39	2,070,162	296,278	105,046
Pit13	18,781,992	20,136,215	58,962,298	35,271,258	3,554,824	3,612,521	2,555,288	1,057,233	0.41	2,151,287	296,278	107,723
Pit14	18,893,510	20,266,292	59,494,283	35,626,182	3,601,809	3,660,017	2,581,546	1,078,471	0.42	2,174,872	296,278	110,396
Pit15	19,124,204	20,536,123	60,512,982	36,278,788	3,698,072	3,770,745	2,639,777	1,130,968	0.43	2,193,770	301,667	144,341
Pit16	19,824,159	21,359,058	63,298,225	37,984,838	3,954,328	4,075,993	2,761,589	1,314,404	0.48	2,285,192	332,057	144,341
Pit17	20,362,363	21,996,913	65,802,303	39,619,583	4,185,807	4,349,268	2,885,011	1,464,257	0.51	2,383,674	337,446	163,892
Pit18	20,569,800	22,243,966	66,899,391	40,362,284	4,293,141	4,469,119	2,944,332	1,524,787	0.52	2,412,477	349,607	182,249
Pit19	20,897,915	22,636,270	68,334,430	41,251,235	4,446,926	4,642,894	3,016,283	1,626,611	0.54	2,459,688	349,607	206,988
Pit20	21,052,020	22,821,134	69,171,570	41,817,795	4,532,640	4,733,114	3,056,736	1,676,378	0.55	2,499,469	350,278	206,988
Pit21	21,395,296	23,234,788	71,260,390	43,271,425	4,754,176	4,954,216	3,160,525	1,793,691	0.57	2,572,901	380,635	206,988
Pit22	22,098,006	24,088,886	74,069,659	44,876,438	5,104,335	5,382,224	3,304,094	2,078,130	0.63	2,630,603	381,983	291,508
Pit23	22,284,250	24,316,228	75,092,556	45,555,909	5,220,419	5,510,741	3,354,183	2,156,558	0.64	2,671,377	386,702	296,104



Рис 3.2 График зависимости добычи от вскрыши по конечным контурам



По графику, раковина 65 является наиболее оптимальной с точки зрения затрат, хотя из-за текущей конфигурации карьера исключает блок 11с с наилучшими содержаниями меди, золота, и извлечения (1.6 млн. тонн руды со средним содержанием  $Cu = 0.51\%$ ,  $Au = 0.62$ ). Основной объём работ по раковине 65 приходится на активную оползневую зону 10с, блок 8с с окисленной рудой с низким извлечением, и медно-цинковую зону с рудной массой более 1 миллиона тонн, содержащей загрязняющий компонент в концентрате (цинк). Из-за вынужденного использования 11с в процессе обогащения выбор следует за Pit\_100.

Приведённые конечные контуры представляют собой Последовательность Оптимального Добывания – ПОД (Optimal Extraction Sequence - OES).

Согласно оперативной справке Datamine NPV Scheduler, ПОД может оказаться практичной для небольшого месторождения талька, но непрактичной для большого месторождения меди.

(\* A Pit Optimizer OES may be practical for a small talk mine but is unlikely to be practical for a large copper mine).

Что наглядно демонстрируется на графике 3.2



Рис. 3.3 Вертикальный разрез блока 11с. Красным цветом показан контур Pit100; серым – Pit65, совпадающий с текущим состоянием рабочего борта карьера. Рисунок иллюстрирует отсутствие горных работ на 11с внутри контура Pit65.

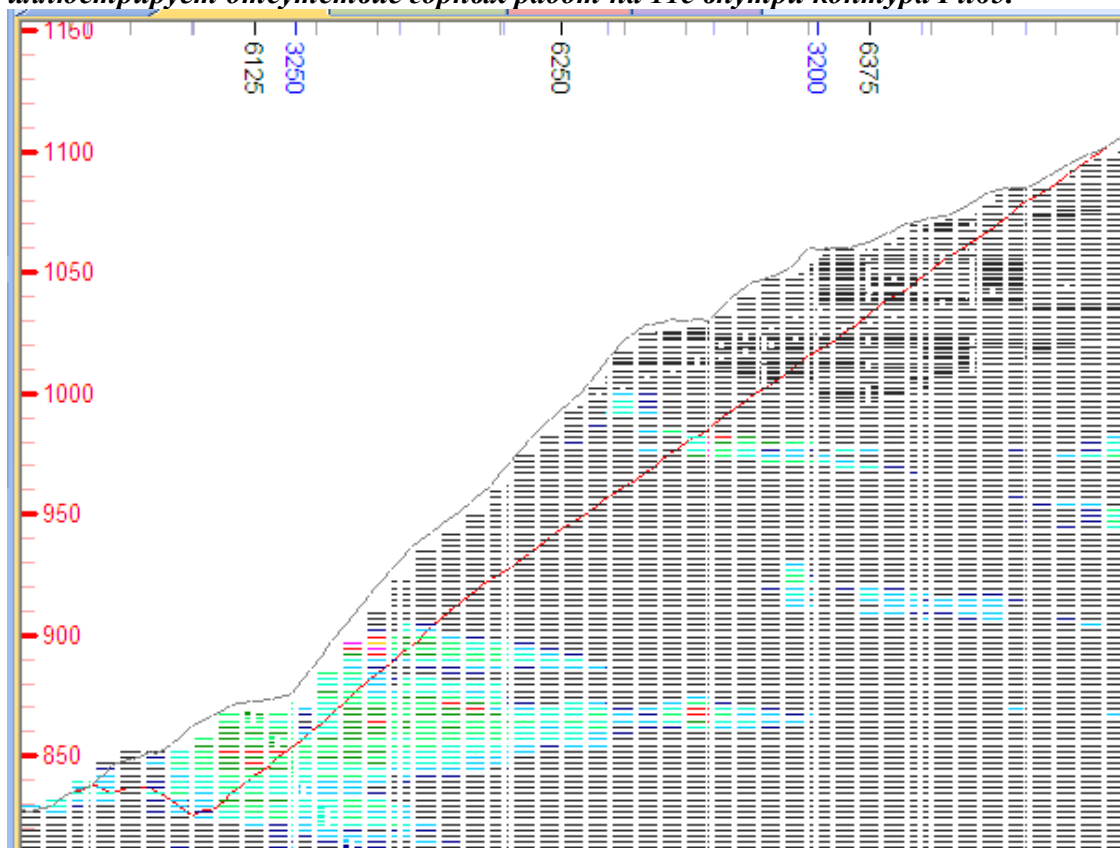


Таблица 3.3 Извлекаемые запасы по конечной раковине. Pit\_100

Final Pit	Type	Lifetime	Shells generated			
	LG Max Cash	3.04	100			
Global Stats						
Cash	Revenue	Process Cost	Mining Cost	Net Value	NPV	Ore Value
	163,193,678	104,026,987	\$25,962,323	\$33,204,369	\$28,881,379	\$50,944,678
	Block Count	Mass				
ORE	11,473	7,631,953				
<b>Waste</b>	<b>31,083</b>	20,048,964				
Total	42,556	27,680,918				
Strip Ratio	2.627					

ORE Stats	Mass	CU	CU Min	CU Max	AU	AU Min
	tonnes	tonnes	Percent	Percent	g	g/tonne
Rock 1	6,167,491	29,924	0.02%	3.17%	3,027,271	0.01
Rock 2	868,037	4,259	0.03%	1.59%	319,046	0.0133
Rock 3	596,425	435	0.01%	0.20%	548,931	0.5511
Total	7,631,953	34,617			3,895,247	

AU Max	CU R	CU R Min	CU R Max	AU R	AU R Min	AU R Max
g/tonne	tonnes	Percent	Percent	g	g/tonne	g/tonne
5.1855	21,784	0.01%	2.31%	1,377,408	0.0045	2.3594
1.8332	2,829	0.02%	1.05%	116,133	0.0049	0.6673
5.5188	0	0.00%	0.00%	316,201	0.3175	3.179
	24,613			1,809,741		

В таблице 3.3 приведены доход (Revenue), себестоимость производства (Processing Cost), себестоимость горных работ (Mining Cost), чистая стоимость (Net Value), чистая текущая стоимость (NPV), стоимость руды (Ore Value).

**7.6 МИЛЛИОНОВ ТОНН** извлекаемых запасов по экономической модели отражают состояние конечного контура **Pit\_100** при различных показателях бортового содержания, зависящих от вида руды и извлечения в ней меди. Минимальное содержание меди в извлекаемых запасах по **Табл. 3.3**  $Cu = 0.01\%$  (выделено **красным**). Какая-то часть руды в диапазоне между  $0.02\%$  и  $X\%$  по-просту относится к пустой породе. Следовательно, мы должны определить то содержание  $X$ , ниже которого минерализованный материал перестаёт быть экономически извлекаемым (т.е., **бортовое содержание**).

**Бортовым содержанием называется минимальное содержание, при котором минерализованный материал характеризуется экономически извлекаемым и доступным на данном месторождении. Может быть определён на основе экономических расчётов, или по физико-химическим показателям, определяющим допустимые спецификации продукта.** (Литература: Appendix 1 – Generic Terms and Equivalents, "Appendix 5A, Australian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code) Effective: 17 December 2004").

Иными словами, в процессе шихтования руд различного содержания допускается использовать только те руды, содержания которых могут обеспечить нулевой баланс в отдельно взятом виде.

На стадии дальнейшего расчёта, САПР Datamine NPV Scheduler производит пересчёт бортового содержания меди по формуле:

$$\text{Cut-Off} = \frac{(\text{Process.Cost} * (1 + \text{Dilution}))}{((\text{Price} - \text{SellingCost} - \text{Add.CostPerUnitSold}) * \text{ProcessRecovery})}$$

Значения бортового содержания в зависимости от цены на медь, вычисленные с использованием продукта *Datamine Mining Power Pack*:

Datamine Pit Optimisation		
Cu price	Rock Type	Cut-off *
\$4500/т	Sulfide	0.43%
	Oxide	0.47%
\$5500/т	Sulfide	0.35%
	Oxide	0.38%
\$6500/т	Sulfide	0.30%
	Oxide	0.32%

(Cut-Off\* без учёта содержания золота)

**Табл. 3.4 Промышленные запасы по конечной раковине Pit\_100 с учётом бортового содержания по состоянию на конец июля 2009 года на основе рабочего дизайна Des080709**

	Category	Tonnes	Waste	Strip r.	CU	AU	DENSITY	CU_REC	AU_RE
	[ABSENT]	24,392.60			0	0	2	0	0
	[0,0.22]	24,632,000.00			0.067	0.187	2.649	84.971	47
	[0.22,0.25]	1,031,494.40			0.235	0.357	2.683	84.046	43.78
	[0.25,0.31]	1,842,907.50			0.279	0.368	2.686	83.997	43.74
	[0.31,0.4]	2,152,346.20			0.353	0.397	2.691	83.872	44.24
	[0.4,0.5]	1,658,260.20			0.447	0.429	2.696	83.005	44.23
	[0.5,0.6]	1,000,662.80			0.545	0.464	2.702	83.723	44.61
	[0.6,0.8]	793,045.70			0.68	0.427	2.71	84.406	44.88
	[0.8,1]	266,097.60			0.885	0.485	2.722	84.536	46.86
	[1,1.4]	168,800.30			1.153	0.525	2.738	83.336	46.8
	[1.4,2]	87,134.10			1.625	0.583	2.766	84.998	46.39
	[2,3]	22,345.40			2.26	0.972	2.803	86.135	48.53
	[3,150]	1,782.30			3.079	1.558	2.852	91.084	43.75
	TOTAL	33,682,000.00			0.167	0.247	2.659	84.662	46.28
	CU>0.22	9,024,876.50	24,657,123.50	2.73	0.44	0.41	2.70	83.82	44.34
	<b>CU&gt;0.25</b>	<b>7,993,382.10</b>	<b>25,688,617.90</b>	<b>3.21</b>	<b>0.47</b>	<b>0.42</b>	<b>2.70</b>	<b>83.79</b>	<b>44.41</b>
\$6500/t	CU>0.31	6,150,474.60	27,531,525.40	4.48	0.52	0.43	2.70	83.72	44.61
\$4500/t	CU>0.4	3,998,128.40	29,683,871.60	7.42	0.61	0.45	2.71	83.64	44.81
	CU>0.5	2,339,868.20	31,342,131.80	13.39	0.73	0.47	2.71	84.10	45.22
	CU>0.6	1,339,205.40	32,342,794.60	24.15	0.87	0.47	2.72	84.37	45.67
	CU>0.8	546,159.70	33,135,840.30	60.67	1.15	0.54	2.74	84.33	46.82
	CU>1	280,062.10	33,401,937.90	119.27	1.40	0.59	2.75	84.13	46.79
	CU>1.4	111,261.80	33,570,738.20	301.73	1.78	0.68	2.77	85.32	46.78
	CU>2	24,127.70	33,657,872.30	1,394.99	2.32	1.02	2.81	86.50	48.18
	CU>3	1,782.30	33,680,217.70	18,897.05	3.08	1.56	2.85	91.08	43.75

Эквивалентное содержание меди с учётом золота определяется по формуле

$$Cu \text{ Equivalent } (\%) = Cu(\%) + Au(g/t) * Au\_Price / Cu\_Price * Au\_Rec / Cu\_Rec$$

$$Cu\_Eq = Cu + Au * 0.162$$

С учётом золота, эквивалентное содержание при Cu=0.31% составит

$$Cu\_Eq = 0.31 + 0.42 * 0.162 = 0.38 \%$$

В этом случае эквивалентное бортовое содержание

$$Cu = 0.31 - 0.42 * 0.162 = 0.25 \%$$

#### 4. Параметры рабочего дизайна конечного контура (Pit\_100)

На основе изысканий предыдущих лет, а также по замерам существующих рабочих и нерабочих бортов карьера, при проектировании рабочего контура использовались следующие параметры:

- *Высота уступа* – 20 м;
- *Ширина бермы* – 10 м;
- *Угол наклона стенки уступа в устойчивой зоне* – 55 градусов;
- *Угол наклона стенки уступа в оползневой зоне* – 49 градусов;
- *Ширина основной карьерной дороги* – 20 м;
- *Максимальный уклон дороги* – 10%.
- *Угол наклона устойчивого рабочего борта* – 41 градус
- *Угол наклона оползневого рабочего борта* – 35 градусов

**Рис 4.1** Рабочий дизайн карьера Design100

