

УДК 622.013.34 (575.2) (04)

**УВЕЛИЧЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА  
ЭФФЕКТИВНО ОТРАБАТЫВАЕМЫХ ЗАПАСОВ  
ПРИ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ГОРНЫХ ПРОЕКТОВ**

*Б. Толобекова* – канд. техн. наук

---

Many scientists at an estimation of the mining projects are failed from a dynamic formulation of problems, as thus the judgments on reduction (abbreviation) of quantity of balance reserves was piled. In the given article is grounded the method of increase of quantity effectively completed reserves at a dynamic estimation of the mining projects, against the was piled of judgments. Are indicated the reasons incorrect are Explanations.

Анализ работ, касающихся оценки месторождений с использованием динамических моделей, показал, что полученные авторами выводы весьма противоречивы, особенно при использовании уравнений связи между управляемыми параметрами и при сравнении номинальной прибыли по альтернативным вариантам, игнорируя динамику ее получения.

Характерной ошибкой была абсолютизация показателя извлечения запасов из недр при сравнительной оценке вариантов освоения месторождений. Сокращение балансовых запасов при определенных условиях дисконтирования явилось основанием для отказа многих исследователей от динамических методов оптимизации кондиции, производственной мощности и т.д. Указанные ошибки – следствие недооценки известного принципа экономики, требующего приведения альтернатив к сопоставимым условиям. Для корректной оценки, в частности по прибыли, следует ее величины по сопоставимым вариантам привести к тождественной (сопоставимой) динамике ее получения.

Во всех оптимизационных методах учитывается валовая отработка полезных ископаемых. Приоритетность валовой отработки в отечественной практике оправдывала “стратегию” советского времени “не допускать выборочной отработки”. Между тем, в странах с развитой рыночной экономикой предпочитают (если это возможно) обрабатывать запасы “от богатых – к бедным” (по содержанию металла в руде). Такой порядок отработки при динамической оценке запасов позволяет увеличить количество балансовых запасов. Это происходит из-за первоочередной отработки богатых руд, предприятие получает большую прибыль в первые годы, а к концу эксплуатации месторождения получает дополнительную прибыль за счет кругооборота. И именно эта дополнительная прибыль дает возможность в конце эксплуатации месторождений обрабатывать некондиционные (бедные) на первые годы – запасы [1].

Нами была разработана динамическая оптимизационная модель, которая позволяет одновременно повысить величину эффективно обрабатываемых запасов месторождения и уровень отдачи вложенных инвестиций [2].

Развернутая оптимизационная модель представляет собой сумму годовых дисконтированных доходов за вычетом капитальных и эксплуатационных затрат за весь срок жизни проекта. Эффект ( $R$ ) выражен в функции от переменных по вариантам оконтуривания запасов ( $B$ ), производственной мощности предприятия ( $A$ ), начального ( $C_0$ ) и конечного ( $C_k$ ) содержания в обрабатываемых запасах:

$$R(B, A, C_o, C_a) = \frac{1}{(1+E)^{T_c}} \sum_{t=1}^T \frac{A \cdot C \cdot [C_o \cdot K_k \cdot \varphi - \Delta M \cdot (t-0.5)] - 3_t \cdot A}{(1+E)^t} - \sum_{t=1}^T \frac{K_t}{(1+E)^t} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $T_c$  – срок строительства предприятия;  $T$  – срок отработки запасов;  $\Delta M$  – годовой темп снижения извлекаемого из 1 т руды металла.

$$\Delta M = (C_o \cdot K_k \cdot \varphi_o - C_k \cdot K_k \cdot \varphi_k)^{T^{-1}}, \quad (2)$$

где  $K_k$  – коэффициент изменения качества при отработке;  $\varphi_k$  – сквозной коэффициент извлечения металла при обогащении и металлургическом переделе;  $3_t$  – удельные эксплуатационные затраты на добычу и переработку в расчете на 1 т руды;  $K_t$  – годовые капитальные вложения;  $E$  – норматив дисконтирования;  $C$  – цена единицы металла.

В качестве объекта для апробации разработанных моделей приняты представительные золоторудные месторождения среднего масштаба с подземными способами разработки. Часто решающее значение имеет интенсивность изменения капитальных и эксплуатационных затрат от годовой производительности, которая выражается показателем степенной связи [3, 4]. Хотя в модели используются упрощенные линейные формы связи, контроль интенсивности изменения затрат осуществлялся по величине указанного показателя степени. В модели приняты наиболее представительные значения показателя степени  $n$ : для функции годовых эксплуатационных затрат – 0,6, а для капитальных вложений это значение было принято равным 0,5.

При выборе уравнения связи между сроком строительства и годовой производительностью рудника мы руководствовались существующими нормами СНИП [5] с корректировкой на ускоренное строительство, в условиях рыночных отношений по опыту действующих в Кыргызстане совместных предприятий (Кумтор, Джеруй и др.).

В целях ориентировки разработана численная оптимизационная модель, учитывающая условия типового золоторудного месторождения средних размеров ( $C=9,375$  долл./т,  $K_k \cdot \varphi=0,8$ ,  $K_n=K_k$ ,  $B=Q$ ).

$$R(B, A, C_o, C, \Delta M) = 0,8 \cdot C \cdot A \cdot \alpha_1 [C_o \cdot \beta_2 - 2(C_o - C) \cdot A \cdot Q^{-1} \cdot \gamma_2] - (6 + 14 \cdot A) \cdot \alpha_1 \cdot \beta_2 - (39 + 75 \cdot A) \cdot T^{-1} \cdot \beta_1 \rightarrow \max, \quad (3)$$

где  $\alpha_1 = (1+E)^{-T_c}$ ;  $\beta_1 = \frac{(1+E)^{T_c} - 1}{E \cdot (1+E)^{T_c}}$ ;

$$\alpha_2 = (1+E)^{-T}; \quad \beta_2 = \frac{(1+E)^T - 1}{E \cdot (1+E)^T}; \quad \psi = 1+E;$$

$$\gamma_2 = [(\alpha_2^{-1} - 1) \cdot \psi - T \cdot E] \cdot E^{-2} \cdot \alpha_2 - 0,5 \cdot \beta_2.$$

Для  $B < 10$  млн. т использована формула  $C = 6,94 - 0,21 B + 11,6/B$ , а при  $B > 10$  млн. т должна использоваться формула, определяющая среднее содержание в добываемых рудах по  $C = 3,5 - 0,07 B + 34/B$  (рис. 1).

В статической постановке кондиционные запасы определяются путем максимизации суммарной прибыли

$$\Pi(B) = D(B) - S(B) - K(B) \rightarrow \max, \quad (4)$$

где  $B$  – запасы кондиционных руд по вариантам оконтуривания.

Запишем (4) в развернутом виде:

$$\Pi(B) = C \cdot K_k \cdot \xi \cdot C(B) \cdot B - \left[ \frac{3_1}{A_o(B)} + 3_2 \right] \cdot B - K_1 - K_2 \cdot A_o(B) \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$C(B) = C_1 - C_2(B) + \frac{C_3}{B} = 6,94 - 2,1 \cdot 0,1 \cdot B + \frac{1,16}{0,1 \cdot B} = 6,94 - 0,21 \cdot B + \frac{1,16}{0,1 \cdot B}, \text{ г/т},$$

$$A_o(B) = \sqrt{\frac{3_1}{K_2}} \cdot B = \sqrt{\frac{6}{75}} \cdot B, \quad \text{млн. т/год},$$

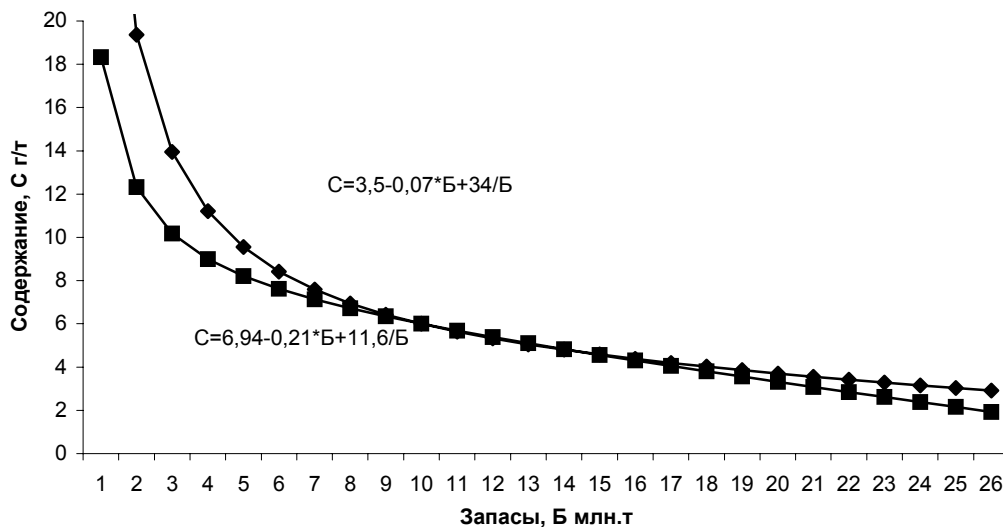


Рис. 1. Зависимость среднего содержания от количества обрабатываемых запасов месторождения

$$K = 39 + 75 \cdot A, \quad S = \left( \frac{6}{A_0(B)} + 14 \right) \cdot B \text{ млн. долл.}$$

Рассчитаем дисконтированную и недисконтированную прибыли при шести вариантах оконтуривания. На первом этапе зафиксируем производительность предприятия на уровне оптимальных величин (различных по вариантам оконтуривания) в статической постановке (по максимуму недисконтированной прибыли). Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов по статической и квазидинамической оптимизации при валовой отработке запасов среднего качества

Б, млн. т	2	5	6,5	10	11	12
С, г/т	12,35	8,12	7,36	6,0	5,64	5,33
$A_0$ , млн. т/г	0,4	0,632	0,721	0,894	0,938	0,98
$T_c$ , лет	2,26	2,47	2,55	2,70	2,74	2,78
$T$ , лет	5,0	7,91	9,01	11,18	11,74	12,24
$D$ , млн. д	185,25	307,87	358,78	450,00	465,80	479,70
$K$ , млн. д	69,0	86,4	93,07	106,05	109,36	112,48
$S$ , млн. д	58,0	117,47	145,09	207,11	224,36	241,47
$Z$ , млн. д	127,0	203,87	238,16	313,16	333,16	353,95
$\Pi$ , млн. д	58,25	104,0	120,62	136,84	132,08	125,70
$\alpha_1$	0,8069	0,7911	0,7850	0,7738	0,7708	0,7678
$\beta_1$	1,9309	2,0887	2,1488	2,2615	2,2915	2,3216
$\beta_2$	3,7908	5,2929	5,7629	6,5544	6,7277	6,8832
$D_b = D - S$	127,25	190,4	213,64	242,89	244,34	243,36
$K_d$ , млн. д	58,93	73,06	78,43	88,83	91,46	93,93
$R$ , млн. д	18,92	27,73	28,86	21,30	16,52	11,26

С учетом данных табл. 1 построен график зависимости количества балансовых запасов (Б) от чистой текущей стоимости (NPV), по которым определены оптимальные в статической и динамической (при фиксированной мощности предприятия на уровне  $A_{\text{опт}}^c$ ) постановках (рис. 2). Они составили: в статике  $B_{\text{опт}}^c = 10$  млн. т., в динамике  $B_{\text{опт}}^d = 6,3$  млн. т. Разница, как видим, существенная. Значительное сокращение балансовых запасов во втором случае (в динамике) послужило основанием для отказа многих исследователей от метода дисконтирования при оптимизации параметров освоения месторождений.

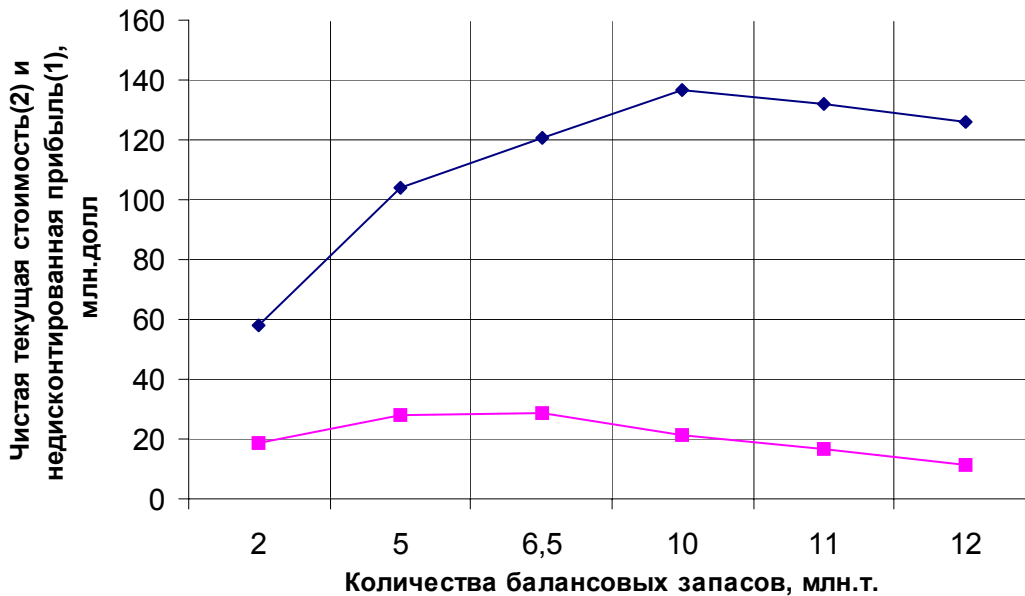


Рис. 2. Оптимизация балансовых запасов в статической и квазидинамической постановках

Исследование подхода с совместной оптимизацией производительности предприятия (А) и балансовых запасов (Б) показало, что при оценке по разработанной нами динамической модели количество эффективно обрабатываемых запасов составило 6,8 млн. т – на 0,5 млн. т больше, чем при зафиксированной на уровне в статике (табл. 2, рис. 3), что обусловлено системной оптимизацией.

Таблица 2

Конечные результаты динамической оптимизации при валовой обработке запасов месторождения

Б, млн. т	5,0	6,5	7,0	8,0
$A_{\text{опт}}$ , млн. т/г	0,76	0,86	0,94	0,97
С, г/т	8,21	7,36	7,13	6,71
Р, млн. долл.	29,2	30,35	30,25	29,1

Далее выполнены оптимизационные расчеты для схемы с опережающей обработкой богатых запасов и дифференциацией бортового содержания.

Оптимизационные расчеты по всем вариантам выполнимы при одинаковом начальном содержании  $S_0 = 9$  г/т., что дает некоторые преимущества вариантам с большими запасами. Это сделано с целью выявления варианта с максимально возможными кондиционными запасами. В строгой по-

становке  $C_0$  должно рассчитываться для каждого варианта оконтуривания отдельно, с учетом переменного бортового содержания.

Результаты расчетов, проведенных по этой методике, представлены в табл. 3.

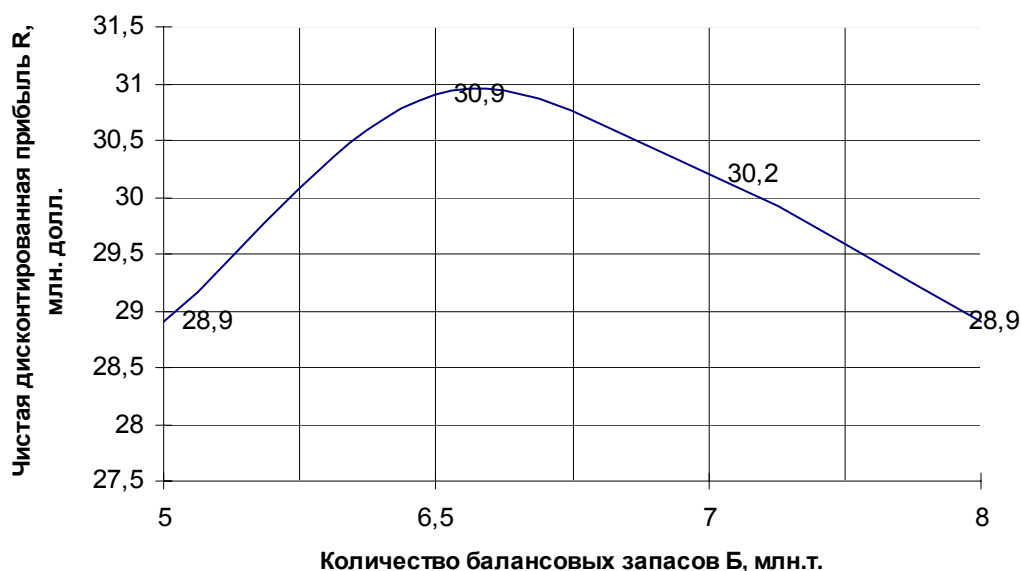


Рис. 3. Динамическая оптимизация балансовых запасов при валовой отработке руд

Таблица 3

Конечные результаты оптимизации по вариантам оконтуривания при опережающей отработке запасов ( $C_0=9$  г/т)

Показатель	Варианты оконтуривания								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B, млн. т	5	6,5	7,0	8,0	9,0	9,8	10,0	10,5	13,2
C, г/т	8,21	7,36	7,127	6,71	6,34	6,0	6,0	5,81	5,0
$A_0$ , млн.т/г	0,76	0,89	0,87	0,94	0,97	1,02	1,06	1,07	1,1
NPV, м.д.	29,2	35,65	–	38,23	39,02	39,10	39,05	38,3	33,1
$C_6$ , г/т	–	–	–	–	2,25	2,13	2,11	2,01	–

Оптимальные запасы при использовании схемы с первоочередной отработкой богатых запасов составили 9,8 млн. т., или почти совпали с балансовыми запасами, оконтуренными по условию максимизации недисконтированной прибыли (10 млн. т.), но при значительно более высокой эффективности отработки – 39,1 млн. долл.

В условиях рыночных отношений необходимо учитывать эквивалентность цен различных ресурсов: трудовых, природно-минеральных, финансовых и т.д. Поэтому можно экономически соизмерить возможные затраты и прибыли, связанные с сокращением извлекаемых запасов вследствие применения дисконтирования при оптимизации кондиций.

Если величину NPV зафиксировать, например, на максимальном уровне, достигаемом при валовой схеме отработки запасов, оптимизированной с дисконтированием 30,6 млн. долл., то выработка с опережающей выемкой богатых руд обеспечит с таким же эффектом извлечение 13,5 млн. т, т.е. на 35% больше.

Эти запасы эквивалентны запасам 66,5 млн. т при использовании валовой отработки. Следовательно, дисконтирование в оптимизации горных проектов не только не приводит к сокращению балансовых запасов, но и открывает возможности для повышения уровня извлечения балансовых запасов из недр с более высокой эффективностью.

#### **Литература**

1. *Толобекова Б.* Совместная оптимизация главных параметров подземной разработки рудных месторождений с разнокачественными запасами в рыночных условиях: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Бишкек, 1997.
2. *Дронов Н.В., Толобекова Б, Минаков В.В. и др.* Концепция оптимизационной промышленной оценки рудных месторождений в рыночных условиях (методические рекомендации) / ИФиМГП НАН КР. – Бишкек, 1998.
3. Western Mine Engineering, 1998 (Copyright).
4. *Дронов Н.В., Толобекова Б.* Оптимизационная оценка горных проектов в современных условиях. – Бишкек: Илим, 2003.
5. *Кевиндер В.* Определение кондиций на запасы с помощью рыночного критерия – чистой текущей стоимости (NPV), 1995. (Англ. яз.)