УДК 622.274

Ю.А. Агабалян
д-р техн. наук
Государственный политехнический университет Армении[1]
профессор
aghabalyan@mail.ru

От промышленной оценки месторождений к общей теории оптимального освоения недр

[1]Республика Армения, 0009, Ереван, ул. Терян, 105

В статье с использованием единного критерия оптимальности приведены аналитические решения важнейших задач недропользования – определение лимитов содержаний полезных компонентов в одно- и двухкомпонентных рудах, выбор оптимальных систем подземной разработки и обоснование граничного коэффициента вскрыши при четких и нечетких контактах рудных тел, границ валовой и селективной выемки руд в зависимости от коэффициента рудоносности при открытой разработке, а также решения ряда задач с учетом фактора времени

Ключевые слова: месторождение; балансовые запасы; забалансовые запасы; критерий оптимальности; лимиты содержаний; выбор систем разработки; фактор времени; граничный коэффициент вскрыши; режим горных работ

В области изучения и освоения недр одним из основополагающих нормативных документов является «Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых».

Значение Классификации трудно переоценить. Она призвана выработать единые требования к изучению месторождений, способствовать снижению риска инвестиций при их освоении до разумных пределов, обеспечить защиту как интересов государства – собственника недр, так и инвестора. Не случайно во многих странах мира этому документу уделяется исключительно большое внимание. Являясь председателем ГКЗ Республики Армения, автор статьи разработал классификацию, которая была утверждена постановлением Правительства РА в 1998 г. Ее концептуальные положения были дважды (1988, 1999) доложены в Женеве на заседаниях Европейской Экономической Комиссии ООН и опубликованы в статье «О концептуальных положениях классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых» [1].

Экономическая классификация запасов в РА осуществлена на основе «коэффициента ценности» $К_ц$, который представляет собой

отношение извлекаемой ценности $И_ц$ к приведенным затратам $З_{пр}$, т.е. сумме себестоимости добычи, переработки и приемлемой для инвестора прибыли с 1 т полезного ископаемого:

$$К_ц = \frac{И_ц}{З_{пр}} . \qquad (1)$$

Для балансовых запасов нижней границей является $К_ц = 1$, забалансовых – $К_ц < 1$.

Поскольку забалансовые (потенциально экономические) запасы в последующем могут представить промышленный интерес, желательно определить ориентировочные сроки τ их возможного перевода в балансовые (экономические).

Величину τ можно определить из следующего уравнения:

$$И_ц\, \varepsilon_Ц^{\tau} = З_{пр}\, \varepsilon_З^{\tau}, \qquad (2)$$

где $И_ц$ и $З_{пр}$ – извлекаемая ценность и приведенные затраты 1 т руды, соответственно, долл.; $\varepsilon_Ц$ и $\varepsilon_З$ – прогнозируемые показатели годового изменения цен на металлы и удельных затрат на добычу и переработку 1 т руды, доли ед.

Огромное значение богатства недр в развитии человечества невозможно переоценить. С течением времени это значение многократно возрастает в связи с исчерпаемостью запасов полезных ископаемых и ростом их потребления. Рост мирового потребления связан с двумя причинами:

– приростом населения;

– ростом удельного потребления, особенно в развивающихся странах.

Наглядный пример – бурное развитие экономик Китая и Индии (2005–2006 гг.), население которых составляет порядка 40% всего человечества. Рост потребления, в свою очередь, ведет к росту цен на производимую из минеральных ресурсов продукцию. Это связано с вовлечением в освоение запасов месторождений и их частей с худшими природными условиями. В этой связи очевидно, что $\varepsilon_Ц > \varepsilon_З$.

С учетом этого обстоятельства логарифмированием обеих частей уравнения (2) определена величина τ:

$$\tau = \frac{\ell g З_{пр} - \ell g И_ц}{\ell g \varepsilon_ц - \ell g \varepsilon_з} . \qquad (3)$$

Ввиду того, что $\varepsilon_Ц > \varepsilon_З$, равенство прибыли в момент оценки не может служить основанием равноценности вариантов в статике.

Допустим, что на момент произведенной оценки варианты характеризуются следующими показателями:

I – $И_{ц1}$ = 20 долл/т; $З_{до1}$ = 16 долл/т; $А_1$ = 1000 тыс. т/год;

II – $И_{ц2}$ = 17 долл/т; $З_{до2}$ = 13 долл/т; $А_2$ = 1000 тыс. т /год,

где $З_{до}$ – себестоимость добычи и обогащения 1 т руды; А – годовая производительность ГОКа.

Нетрудно убедиться, что варианты в статике равноценны, т.к. и в момент оценки, и в последующие годы показатели прибыли не будут отличаться друг от друга.

Произведем сравнение вариантов в динамике с использованием следующих значений показателей: $\varepsilon_ц$ = 1,01; $\varepsilon_з$ = 0,99. Результаты расчетов сведены в ***табл. 1***. Расчеты $И_ц$ и $З_{до}$ каждого n-го года выполнены путем умножения этих величин в статике (начало 1 года) на коэффициенты ε^n.

Нетрудно убедиться в преимуществе I варианта.

Таблица 1.

Сравнительная оценка вариантов в динамике

Варианты	Показатели, долл/т	Коэффициенты		Показатели по итогам n-го года				
		$\varepsilon_ц$	$\varepsilon_з$	1	5	10	15	25
I вариант	$И_{ц1}$ = 20	1,02		20,4	22,08	24,38	26,92	32,81
	$З_{до\ 1}$ = 16		0,99	15,84	15,22	14,47	13,76	12,45
Прибыль с 1 т руды, долл/т				4,56	6,86	9,91	13,16	20,36
II вариант	$И_{ц2}$ = 17	1,02		17,34	18,77	20,72	22,88	27,89
	$З_{до\ 2}$ = 13		0,99	12,87	12,36	11,76	11,18	10,11
Прибыль с 1 т руды, долл/т				4,47	6,41	8,96	11,7	17,78
Разность прибыли с 1 т руды между I и II вариантами				0,09	0,45	0,95	1,46	2,58
То же годовой прибыли при А = 1 млн т/год, тыс. долл/год				90	454	950	1459	2588
Накопительная годовая прибыль, тыс. долл/год					1368	5107	11355	32026

$\alpha_б^{Cu}$, долл/т	0,21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0
$\Delta Д_б^{Mo}$, %	0	0,27	1,00	1,74	2,47	3,20	3,93	6,50
$\alpha_б^{Mo}$, %	0	0,006	0,013	0,021	0,028	0,035	0,043	0,068

Таблица 2.
Взаимодополняющие ряды бортовых содержаний меди и молибдена

Большое внимание необходимо уделять анализу известных методов обоснования важнейших параметров кондиций – лимитов содержаний полезных компонентов в руде. В формулах их определения неправомерно использовать полные затраты на добычу и переработку руды, а также принимать извлечение металлов в концентраты постоянной величиной, тогда как оно зависит от содержания полезного компонента в перерабатываемой руде.

Уровень затрат определяется с учетом определяемого лимита содержания, а вместо постоянного коэффициента извлечения металла в концентрат автором обоснована зависимость содержания металла в хвостах от его содержания в перерабатываемой руде [2]:

$$\theta = a\,\alpha_д + b, \qquad (4)$$

где a и b – постоянные численные коэффициенты для данного типа руд; $\alpha_д$ – содержание полезного компонента в добытой руде, % (г/т).

В итоге получена следующая формула определения лимитов содержаний:

$$\alpha_{лим} = \frac{Д_{лим}(\beta - a) + a\,Ц_к}{(Ц_к(1-b) + Д_{лим}\,b)K_к}, \qquad (5)$$

где $Д_{лим}$ – стоимостное выражение лимита содержания, долл/т; β – содержание полезного компонента в концентрате, % (г/т); $Ц_к$ – цена 1 т соответствующего концентрата.

В статье [3] впервые доказано, что при определении бортового содержания $\alpha_б$ коэффициент изменения качества руды при добыче $K_к = 1$.

Стоимостные выражения бортового $Д_б$ и минимального промышленного $Д_{min}$ содержаний определяются с учетом способа разработки.

При открытом способе:

$$Д_б = Д_{min} = З_о + З_р - З_в - a_п, \qquad (6)$$

где $З_о$ – эксплуатационные затраты на обогащение руды, долл/т; $З_р$ – затраты на выемку и транспортирование 1 т руды, долл/т; $З_в$ – затраты на выемку и транспортирование 1 т вскрышных пород, долл/т; $a_п$ – амортизация пассивных основных фондов, включая погашение затрат на ГКР, долл/т.

При подземном способе:

$$Д_{min} = З_{пол} - a_п, \qquad (7)$$

$$Д_б = Д_{min} - З_{пн} - З''_о/m_о, \qquad (8)$$

где $З_{пол}$ – полная себестоимость добычи и обогащения 1 т руды, долл/т; $З_{пн}$ – погашение затрат по подготовительно-нарезным работам, долл/т; $З''_о$ – затраты постоянные на всю ширину очистного пространства; $m_о$ – ширина очистного пространства, м.

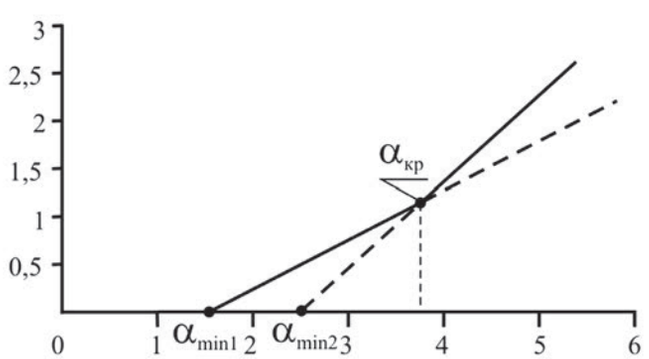
Для двухкомпонентных руд рекомендуется использовать взаимодополняющие ряды компонентов [4]. Изложение методики показано на примере оценки медно-молибденового месторождения, в котором ведущим по извлекаемой ценности является медь.

Взаимодополняющие ряды полезных компонентов состоят из трех строк.

Первая представляет собой ряд убывающих содержаний ведущего по извлекаемой ценности компонента, начиная от искомого, например, бортового содержания Cu в однокомпонентной руде $\alpha_б^{Cu}$, и далее – в убывающем порядке с определенным шагом содержаний.

Вторая строка – недостающая часть стоимостного выражения лимита содержания $\Delta Д_б^{Cu}$, которая должна быть покрыта стоимостью второго компонента. Величина $\Delta Д_б^{Cu}$ по извлекаемой ценности представляет собой

Рис. 1.
Графическое изображение областей применения сравниваемых систем 1 и 2



разность между извлекаемыми ценностями 1 т руды при бортовом содержании первого компонента $\alpha_б^{Cu}$ и содержанием этого компонента в *i*-ом члене первой строки. Очевидно, что первый член второй строки равен нулю. Последующие члены этой строки определяются по формуле:

$$\Delta Д_{лимi}^{Mo} = \frac{[(\alpha_{лим}^{Cu} - \alpha_i^{Cu})(1 - a^{Cu})K_к - b^{Cu}]Ц_к^{Cu}}{\beta^{Cu} - (\alpha_{лим}^{Cu} - \alpha_i^{Cu})a^{Cu}K_к - b^{Cu}}, \quad (9)$$

где β^{Cu} и $Ц_К^{Cu}$ – содержание Cu в концентрате и цена его 1 т, соответственно.

Последний член второй строки (при $\alpha_i^{Cu} = 0$) представляет собой величину $Д_{лим}$.

Каждый член третьей строки, т.е. недостающее содержание второго компонента, покрывающее стоимостное выражение бортового содержания $Д_б$, определяется по формуле (5) с использованием вместо $Д_б$ соответствующих значений $\Delta Д_б^{Mo}$:

$$\Delta\alpha^{Mo} = \frac{\Delta Д_б^{Mo}(\beta^{Cu} - b^{Mo}) + b^{Mo}Ц_к^{Mo}}{(\Delta Д_б^{Mo}a^{Mo} + Ц_к^{Mo}(1 - a^{Mo})K_к}. \quad (10)$$

Оцениваемое месторождение отрабатывается открытым способом. По формуле (6) определены стоимостные значения лимитов содержаний: $Д_б = Д_{min} = 6{,}5$ долл/т.

Определим по формуле (5) бортовые содержания меди и молибдена в однокомпонентной руде при следующих значениях: β_{Cu} = 24%, β_{Mo} = 50%, $Ц_{кCu}$ = 915 долл/т, $Ц_{кMo}$ = 5688 долл/т, $\alpha_{бCu}$ = 0, 21%, $\alpha_{бMo}$ = 0, 068%; a^{Cu} = 0,15; b^{Cu} = 0,047; a^{Mo} = 0,12; b^{Mo} = 0,004.

С использованием формул (9) и (10) в ***табл. 2*** приведены результаты расчетов взаимодополняющих рядов бортовых содержаний меди и молибдена.

В монографии [2], статьях [3, 5] приведены решения важнейших горно-экономических задач – выбор оптимальных систем подземной разработки и обоснование граничных коэффициентов вскрыши при открытой и комбинированной разработке месторождения. Решения даны для рудных тел с четкими контактами.

Для получения максимальной прибыли по отработке всего месторождения, максимизация прибыли должна иметь место и при отработке любого подсчетного или эксплуатационного блока, что можно выразить следующей функцией:

$$(И_{ці} - Д_{mini})\, Q_э \to \max, \quad (11)$$

где $Q_э$ – эксплуатационные запасы руды в блоке, тыс. т.

Подставив вместо $И_ц$ ее значение и произведя соответствующие преобразования, получим следующую целевую функцию:

$$(\alpha_ф - \alpha_{mini})\, К_н \to \max. \quad (12)$$

С использованием последней целевой функции определено такое «критическое содержание» $\alpha_{кр}$ полезного компонента в руде

Таблица 3.

Расчетные значения критических мощностей $m_{кр}$ и прибыли с 1 т руды при $m_{кр}$

Наименование показателей	Значения показателей				
Содержание золота, г/т	1,5	2	3	4	5
Критическая мощность, mкр, м	0,74	0,56	0,37	0,28	0,22
Коэффициент изменения качества руды при добыче, $К_{к1}$	0,93	0,70	0,46	0,35	0,28
То же, $К_{к2}$	0,74	0,56	0,37	0,28	0,22
Содержание в хвостах, θ_1, г/т	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
То же, θ_2	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Содержание в концентрате, β, г/т	50	50	50	50	50
Выход концентрата, γ_1, доли ед.	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021
То же, γ_2	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
Извлекаемая ценность 1 т руды, $И_{ц1}$, долл/т	42,48	42,48	42,48	42,48	42,48
То же, $И_{ц2}$	32,35	32,35	32,35	32,35	32,35
Прибыль с 1 т рудной массы, $П_1$, долл/т	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48
То же, $П_2$	2,35	2,35	2,35	2,35	2,35
Прибыль с 1 т балансовых запасов, $П_{б1}$, долл/т	2,5	3,4	5,1	6,8	8,4
То же, $П_{б2}$	2,5	3,4	5,1	6,8	8,4
Разность $П_{б1} - П_{б2}$, долл/т	0	0	0	0	0

для любых двух сравниваемых систем, при котором они равноэффективны:

$$\alpha_{кр} = (\alpha_{min\,1}К_{н1} - \alpha_{min2}К_{н2})/(К_{н1} - К_{н2}). \quad (13)$$

Графическое изображение областей применения сравниваемых систем показано на ***рис. 1***.

Разработана методика выбора оптимальной системы разработки весьма тонких крутопадающих жил с использованием оценочного показателя «критическая мощность жилы» [4]. Сравнению подвергнуты две системы – с магазинированием и подэтажно-щелевой выемкой руды. В результате получены следующие формулы определения $m_{кр}$ для рассматриваемых систем разработки:

$$m_{кр} = \frac{H + L}{\alpha N}, \quad (14)$$

$$bЦк(К_{H1}m_{O1} - К_{H2}m_{O2}), \quad (15)$$

$$L = \beta(З_{д01}К_{H1}m_{O1} - З_{д02}К_{H2}m_{O2}), \quad (16)$$

$$N = Цк(1 - a)(К_{H1} - К_{H2}). \quad (17)$$

Расчеты выполнены на примере оценки золоторудного месторождения, весьма тонких жил. Исходные и расчетные показатели по системам следующие: m_{O1}= 0,8 м, m_{O1} = 1 м; $К_{H1}$= 0,95, $К_{H2}$= 0,8; θ = 0,1α + 0,2; $З_{д01}$= 40 долл/т, $З_{д02}$= 30 долл/т; β = 50 г/т; *Цк* = 2000 долл/т. Подставив эти показатели в формулы (15)–(17), получим: H = -16; L = 317,14; N = 270. Тогда зависимость $m_{кр}$ от $\alpha_ф$ может быть представлена следующим соотношением:

$$m_{кр} = 301{,}14/270\alpha.$$

В ***табл. 3*** приведены расчетные значения критических мощностей в зависимости от содержаний золота; рассчитаны также величины прибыли с 1 т руды при мощности рудного тела 0,6 м (принята здесь предельной для подэтажно-щелевой выемки).

Результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы.

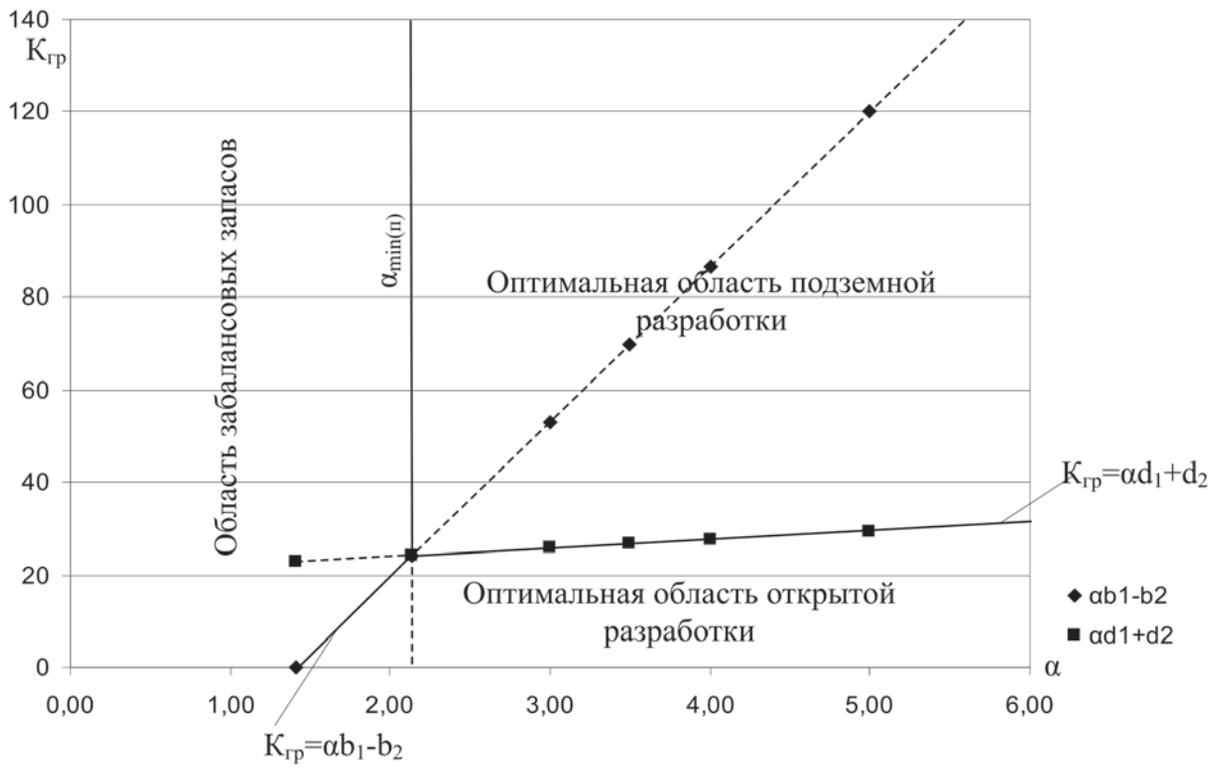
1. С ростом содержания полезного компонента в руде критические мощности уменьшаются.

2. Одновременно со снижением критической мощности адекватно снижаются и коэффициенты изменения качества руды по обеим системам.

3. Прибыль с 1 т рудной массы по каждой системе является неизменной, независимо от содержания полезного компонента в недрах, но по первой системе она выше, чем по второй.

4. Прибыли с 1 т балансовых запасов по обеим системам имеют равные значения, что подтверждает достоверность метода.

Рис. 2.
Области применения способов при комбинированной открыто-подземной разработке месторождения



Наименование оказателей	Расчетные формулы
Содержание полезного компонента в недрах	$\alpha_{пр.\,2} = \alpha_1$
Коэффициент изменения качества руды	$K_{к\,пр\,2} = K_{к\,2}$ Ч α_2/α_1
Q_2/Q_1	δ
Коэффициент извлечения руды из недр	$K_{н\,пр.\,2} = K_{н2}\,\delta\alpha_2/\alpha_1$
Минимальное промышленное содержание	$\alpha_{min\,пр.\,2} = \alpha_{min\,2}\,\alpha_1/\alpha_2$
Критическое содержание	$\alpha_{кр} = (\alpha_{min\,1}\,K_{н\,1} - \alpha_{min\,пр\,2}\,K_{н\,пр\,2})\,/\,(K_{н\,1} - K_{н\,пр\,2})$

Таблица 4.
Определение приведенных показателей вариантов с большими запасами руд

Границы открытых работ определены для двух возможных случаев [2, 4]: в первом – разработка месторождения может производиться только открытым способом; во втором – возможна комбинированная разработка месторождения открытым и подземным способами. Для первого случая получены следующие формулы:

$$K_{гр} = \alpha b_1 - b_2\ , \qquad (18)$$

$$b_1 = \frac{Ц_к K_к}{(\beta - \theta)З'_{п.в}}\ , \qquad (19)$$

$$b_2 = \frac{Ц_к \theta}{(\beta - \theta)З'_{п.в}} + \frac{З'_{п.доб}}{З'_{п.в}}\ . \qquad (20)$$

Формулы комбинированного способа разработки:

$$K_{гр} = \alpha d_1 + d_2, \qquad (21)$$

$$d_1 = \frac{K_{н.о} - K_{н.п}}{K_{н.о}} b_1\ , \qquad (22)$$

$$d_2 = (\alpha_{min(П)} \frac{K_{н.п}}{K_{н.о}} - \frac{\theta}{K_{к.о}})\, b_1 - \frac{З'_{до}}{З'_{п.в}}. \qquad (23)$$

На ***рис. 2*** представлены в общем виде оптимальные области применения открытой и подземной разработки, а также область забалансовых запасов.

В случае решения задач для рудных тел с нечеткими контактами при выборе оптимальных систем разработки функции (11), (12) и формулу (13) непосредственно использовать невозможно, т.к. величины $Q_б$ и $\alpha_ф$ по сравниваемым вариантам различны. Поэтому в основу метода заложено приведение количества и качества запасов по сравниваемым вариантам к равным величинам

Таблица 4А.
Определение приведенных показателей при комбинированном способе разработки

Наименование показателей	Расчетные формулы
Содержание полезного компонента в недрах	$\alpha_{пр\,о} = \alpha_п$
Коэффициент изменения качества руды	$K_{к\,пр\,о} = K_{к\,2}\,\alpha_о/\alpha_п$
Коэффициент извлечения руды из недр	$K_{н\,пр\,о} = K_{н2}\,\delta\alpha_о/\alpha_п$
Δ	$S_о/S_п$
Граничный коэффициент вскрыши при отработке месторождения только карьером	$K_{гр\,1} = \alpha\, b_{1\,пр} - b_2$
$b_{1\,пр}$	$Ц_к\, K_{к\,пр\,о}\,/(\beta - \theta)/З_в$
b_2	$Ц_к\theta/(\beta-\theta)/З_в + З_{дп}/З_в$
Граничный коэффициент при отработке месторождения комбинированным способом	$K_{гр\,2} = \alpha\, d_{1\,пр} + d_{2\,пр}$
$d_{1\,пр}$	$(K_{н\,пр\,о} - K_{н\,п})\,/\,K_{н\,пр\,о}\, b_{1\,пр}$
$d_{2\,пр}$	$(\alpha_{min\,п}\,K_{н\,п}/K_{н\,пр\,о} - \theta/K_{к\,пр\,о})\, b_{1\,пр} - З_{до}/З_в$

с использованием «приведенных» качественно-количественных показателей извлечения руды из недр» [4] ***(табл. 4)***. Индексом «1» обозначены варианты с меньшими запасами, но более высокими содержаниями полезных компонентов, а «2» – с большими запасами, но пониженными содержаниями. Балансовые запасы руд по вариантам уравновешиваются с помощью коэффициента $\delta = Q_{б2}/ Q_{б1}$.

В ***табл. 4*** приведена методика расчета граничных коэффициентов вскрыши при нечетких контактах рудного тела [4]. Приведенные качественно-количественные показатели рассчитаны для открытого способа разработки. Здесь величина δ рассчитывается отношением горизонтальных площадей рудного тела при открытых ($S_о$) и подземных ($S_п$) горных работах, что соответствует соотношению запасов при элементарной высоте слоя.

Одна из интересных задач – обоснование целесообразных границ валовой и селективной выемки руд в зависимости от коэффициента рудоносности при открытой разработке [4]. Особое значение решение этой задачи имеет при освоении штокверковых месторождений, характерной особенностью которых является сложное внутреннее строение, прерывистось оруденения. Поэтому здесь очень важно определение границ валовой и селективной добычи руд. Иными словами, необходимо определить такое «критическое» ($К_{рк}$) значение коэффициента рудоносности, при котором валовый и селективный способы добычи руды имеют одинаковую эффективность.

В результате получены следующие расчетные формулы:

$$К_{рк} = \frac{Wp}{V - W(1 - p)}$$

$$W = З_{до} (\beta - \theta) + \theta Ц_к , \qquad (25)$$

$$V = (З_д К_{уд} + З_о) (\beta - \theta) + \theta Ц_к, \qquad (26)$$

где p – часть пород внутренней вскрыши, удаляемой в отвалы, доли единицы; $З_{до}$ – себестоимость добычи при валовом способе и обогащения руды; $К_{уд}$ – коэффициент удорожания добычи руды при селективном способе выемки.

Даны рекомендации по отимизации технологических параметров переработки руд, а также выбору месторасположения обогатительных фабрик.

Приведены критические замечания по целому ряду предложений в области оптимизации параметров кондиций и разработки месторождений. Показана неправомерность использования критерия дисконтированной прибыли при определении оптимальной производительности ГОКа ***(рис. 3)***, а также решении остальных задач оптимального освоения недр. Следует отметить, что основные принципы оптимального освоения недр впервые изложены автором в работе [6].

Выводы

1. Решение всех задач проблемы осуществлено строгим аналитическим способом.

2. Определены ожидаемые сроки перевода забалансовых запасов в балансовые.

3. В качестве единого критерия оптимальности при решении всех задач проблемы оптимального освоения недр используется максимальное значение прибыли по отработке запасов месторождения.

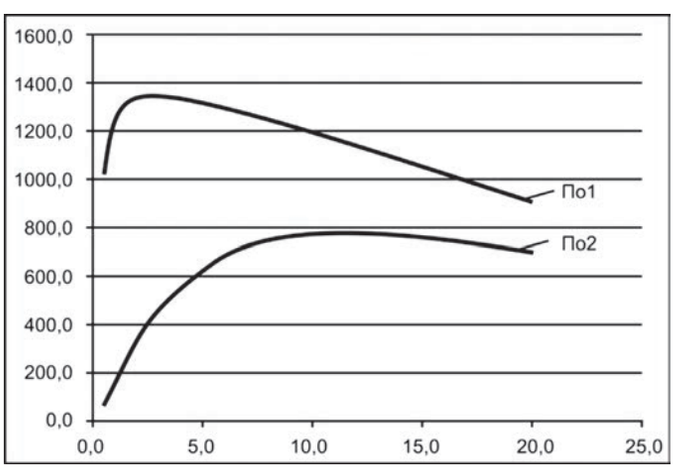
4. Благодаря выявленной зависимости содержаний полезных компонентов в хвостах обогащения от содержаний компонентов в руде, в формулах определения лимитов содержаний используются фиксированные значения исходных показателей.

5. Доказано, что при определении бортового содержания коэффициент изменения качества руды при добыче $К_к = 1$.

6. Определены величины стоимостных и натуральных значений лимитов содержаний при подземном и открытом способах разработки.

7. Разработана методология выбра систем подземной разработки для частного случая – четкие контакты рудного тела, и общего – нечеткие контакты, с использованием показателя «критическое содержа-

Рис. 3.
Графики зависимости общей ($П_{о1}$) и дисконтированной ($П_{о2}$) прибыли от годовой производительности ГОКа



ние полезного компонента»; при нечетких конактах используется приведение количества и качества запасов по сравниваемым вариантам к равным величинам, с использованием «приведенных качественно-количественных показателей извлечения руды из недр».

8. Для обоих случаев разработана методология обоснования граничных коэффициентов вскрыши при открытом и комбинированном способах разработки. При этом показано, что следует принимать в качестве оптимальных наименьшие из полученных значений.

9. Дано обоснование целесообразных границ валовой и селективной выемки руд с использованием «критического» значения коэффициента рудоносности при открытой разработке.

10. Доказана неправомерность использования критерия дисконтированной прибыли при решении задач оптимального освоения недр.

Литература

1. Агабалян Ю.А. О концептуальных положениях классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых // Недропользование XXI век. 2010. № 2. С. 36–39.
2. Агабалян Ю.А. Теория и практика оптимального освоения недр. М.: Недра. 1994. 174 с.
3. Агабалян Ю.А. Оптимизация решений при обосновании лимитов содержаний и выборе систем подземной разработки //Недропользование XXI век. 2011. № 1. С. 76–82.
4. Агабалян Ю.А. Оптимизация лимитов содержаний и граничного коэффициента вскрыши при открытом и комбинированном способах разработки //Недропользование XXI век». 2012. № 6. С. 34–40.
5. Агабалян Ю.А. Общая теория оптимального освоения недр. Твердые полезные ископаемые. 2015. Palmarium Academic Publishing. Saarbrucken, Deutschland. 286 с.
6. Агабалян Ю.А. Принципы промышленной оценки рудных месторождений. Ереван: АрмНИИНТИ. 1970. 63 с.

UDC 622.274

Yu.A. Aghabalyan, Doctor of Engineering Science, Professor of National Polutechnic University of Armenia[1], aghabalyan@mail.ru
[1]105 Teryan street, Yerevan, 0009, Armenia

From an Industrial Assessment of Fields to the General Theory of Optimum Development of a Subsoil

Abstract. In the article, using a single optimality criterion the analytical solution to the critical task of mineral definition limits of ore grades in one and two-component ore, the choice of optimum systems for underground development and the rationale for the stripping ratio in the clear and fuzzy the contacts of ore bodies, borders, gross and selective excavation of ore depending on the ore-bearing factor in surface mining, as well as solving a number of tasks taking into account the time factor

Keywords: deposit; economical reserves; non economical reserves; the optimality criterion; limits of ore grades; undergound mining system; time factor; stripping ratio; the mode of mining operations

References

1. Agabalian Iu.A. *O kontseptual'nykh polozheniiakh klassifikatsii zapasov mestorozhdenii tverdykh poleznykh iskopaemykh* [On the conceptual provisions of the classification of reserves of solid minerals]. *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil XXI century], 2010, no. 2, pp. 36–39.
2. Agabalian Iu.A. *Teoriia i praktika optimal'nogo osvoeniia nedr. Moscow* [Theory and practice of the optimal exploitation of mineral resources], Nedra Publ., 1994, 174 p.
3. Agabalian Iu.A. *Optimizatsiia reshenii pri obosnovanii limitov soderzhanii i vybore sistem podzemnoi razrabotki* [Optimization solutions in justifying the choice of content and limits of underground mining systems]. *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil XXI century], 2011, no. 1, pp. 76–82.
4. Agabalian Iu.A. *Optimizatsiia limitov soderzhanii i granichnogo koeffitsienta vskryshi pri otkrytom i kombinirovannom sposobakh razrabotk* [Optimizing content limits and boundary stripping ratio in the open and combined methods development]. *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil XXI century], 2012, no. 6, pp. 34–40.
5. Agabalian Iu.A. *Obshchaia teoriia optimal'nogo osvoeniia nedr. Tverdye poleznye iskopaemye* [The general theory of optimal exploitation of mineral resources]. 2015, Palmarium Academic Publishing, Saarbrucken, Deutschland, 286 p.
6. Agabalian Iu.A. *Printsipy promyshlennoi otsenki rudnykh mestorozhdenii* [Principles of industrial evaluation of ore deposits]. Erevan, ArmNIINTI, 1970, 63 p.