

## ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНТУРОВ КАРЬЕРА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАШЕНСКОГО МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**А.Г. Оганесян, А.З. Цатрян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Рассмотрена задача обоснования оптимальных контуров Кашенского медно-молибденового карьера, который функционирует на базе руды одноименного медно-молибденового месторождения. Месторождение находится в Республике Арцах и представлено окисленными, измененными и вторично окисленными зонами. По морфологии Кашенское медно-молибденовое месторождение – это крупный штокверк, у которого угол залегания висячего бока составляет  $35...55^{\circ}$ .

Разработка экономико-математических моделей для определения оптимальных границ открытых работ применительно к рассматриваемому месторождению при различных сценариях мировых цен на металл имеет весьма актуальное значение, так как запасы руды в недрах, на базе которых проектируется горное предприятие, зависят от лимитов содержания полезных компонентов, величина которых прямо пропорциональна удельным приростным затратам добычи и переработки руды и обратно пропорциональна ценам на металл.

Составлены экономико-математические модели в зависимости от цены 1 т рафинированной меди ( $C_M=3000$  долл. США/т,  $C_M=5000$  долл. США/т,  $C_M=7000$  долл. США/т), где в качестве критерия оптимальности выбрана прибыль Кашенского горно-обогатительного комбината за весь срок эксплуатации месторождения.

Выявлены закономерности изменения эксплуатационных запасов руды и коэффициента вскрыши от площади дна карьеров при различных сценариях мировой цены на медь. Построены соответствующие номограммы.

Установлено, что оптимальные контуры карьера при прочих равных условиях зависят от фактического содержания полезного компонента в рудном массиве, коэффициента извлечения полезного ископаемого из недр и эксплуатационного коэффициента вскрыши. Освоение Кашенского медно-молибденового месторождения наиболее целесообразно осуществлять карьером с внешней разбортовкой, так как при расширении дна карьера рост эксплуатационных запасов руды выше, чем увеличение эксплуатационного коэффициента вскрыши.

**Ключевые слова:** месторождение, карьер, цена, затраты, руда, прибыль, медь, коэффициент вскрыши.

**Введение.** Кашенское медно-молибденовое месторождение как крупный штокверк представлено окисленными, измененными и вторично окисленными – супергенными зонами [1].

Окисленная зона колеблется от нескольких метров до 100 м и более, в среднем составляя 45 м. Контакт с супергенной зоной – четкий.

В измененной зоне находятся те участки супергенной зоны, которые подвержены частичному сверхокислению. Запасы руды в измененной зоне оценены как часть супергенной зоны.

Супергенная зона имеет переменную мощность: она колеблется от нескольких метров до 100 м и более, в среднем составляя 40 м.

В настоящее время на базе запасов полезного ископаемого месторождения функционирует горно-обогатительный комбинат, где добыча руды осуществляется открытым способом с годовой проектной мощностью в 6,0 млн т.

**Постановка задачи и обоснование методики.** Известно, что проектирование горнодобывающих предприятий производится на основе утвержденных балансовых запасов полезных ископаемых, подсчет которых производится с помощью параметров кондиций. В свою очередь, величина последних – лимитов содержаний полезных компонентов - прямо пропорциональна удельным приростным затратам добычи и переработки руды и обратно пропорциональна ценам на металл, которые за последние десятилетия весьма изменчивы [2].

Следовательно, в таких условиях разработка экономико-математических моделей для определения оптимальных границ открытых работ применительно к рассматриваемому месторождению при различных сценариях мировых цен на металл имеет актуальное значение.

Данная задача относится к группе Б в классификации задач проблемы оптимального освоения недр (табл. 1), решение которой оказывает непосредственное влияние на количество и качество эксплуатационных запасов, на коэффициенты извлечения полезных ископаемых и компонентов из балансовых запасов. На количество и качество балансовых запасов задачи этой группы оказывают лишь косвенное (через кондиции) влияние [3].

Для объективного решения вышеотмеченной задачи необходимо располагать, в первую очередь, научно обоснованным критерием оптимальности. Доказано, что в рыночных экономических условиях в качестве критерия оптимальности следует принять “максимум сверхнормативной прибыли за весь срок отработки месторождения”. На основе последней формулировки целевая функция имеет следующий общий вид [3]:

$$\sum_{j=1}^{t_i} (И_{цij} - З_{прij})A_{ij} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $И_{цij}$  – извлекаемая ценность 1 т руды по i-му варианту в j-й год;  $З_{прij}$  – приведенные затраты на добычу и переработку 1 т руды по i-му варианту в j-й год;

$A_{ij}$  – годовая производительность предприятия по  $i$ -му варианту в  $j$ -й год;  $t_i$  – срок освоения месторождения по  $i$ -му варианту, год.

Таблица 1

Классификация задач проблемы оптимального недропользования

Группа	Характеристика групп (подсистем)	Основные задачи (элементы)	Цель
1	2	3	4
А	Задачи, решаемые на основе переменных: балансовых и эксплуатационных запасов, извлечения полезного компонента при добыче и переработке, годовых производственных мощностей предприятия, извлекаемых ценностей, эксплуатационных и капитальных затрат	<p>Определение параметров кондиций:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) бортового содержания</li> <li>2) минимального промышленного содержания</li> <li>3) минимальной мощности тела полезного ископаемого</li> <li>4) максимально допустимого интервала пустых пород (некондиционных по качеству минерального сырья), включаемого в подсчет балансовых запасов</li> <li>5) граничного коэффициента вскрыши</li> <li>6) глубины подсчета балансовых запасов</li> </ol>	Обоснование оптимальных значений балансовых запасов, оптимальной полноты их извлечения из недр
Б	Задачи, решаемые на основе фиксированных балансовых запасов. Переменными являются: количество и качество эксплуатационных запасов, извлечение полезного компонента при добыче и переработке, годовая производственная мощность предприятия, ценность извлекаемой руды, эксплуатационные и капитальные затраты	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор способа разработки</li> <li>2. Выбор систем подземной разработки</li> <li>3. Определение границ открытых работ</li> <li>4. Выбор способа вскрытия и расположения вскрывающих выработок (если сравниваемые варианты отличаются размером потерь полезного ископаемого в охранных целиках)</li> <li>5. Выбор технологии переработки</li> </ol>	Определение оптимальной полноты извлечения полезных компонентов при добыче и переработке

Продолжение табл. 1

1	2	3	4
В	Задачи, решаемые на основе фиксированных балансовых и эксплуатационных запасов, фиксированных значений извлечения компонента при добыче и переработке, средней извлекаемой ценности полезного ископаемого		Использование эксплуатационных запасов с минимальными затратами
В-I	Задачи, решаемые на основе переменных значений годовой производительности предприятия по полезному ископаемому (компоненту), эксплуатационных и капитальных затрат	1. Определение годовой производительности предприятия по полезному ископаемому, эксплуатационных и капитальных затрат 2. Определение очередности разработки отдельных частей месторождения	
В-II	Задачи, решаемые на основе фиксированных значений годовой производительности предприятия по полезному ископаемому и компоненту. Переменными являются эксплуатационные и капитальные затраты	3. Выбор способа вскрытия при одинаковом извлечении запасов из недр по сравнимым вариантам 4. Выбор вида (типа) горно-транспортного оборудования	

С точки зрения практического применения, для тех запасов месторождения, добычу которых предусматривается осуществить в пределах срока окупаемости капитальных вложений, в качестве единого критерия оптимальности следует принять “максимум сверхнормативной прибыли за этот отрезок времени”, а для времени разработки остальных запасов – “максимум прибыли”. Этот подход заложен в основу действующих инструктивных материалов в области освоения недр Республики Армения [4]. Следовательно, для решения задач, включенных в

рамки проблемы оптимального освоения недр, в общем случае, целевая функция будет иметь следующий вид:

$$\sum_{j=1}^{t_{iок}} (I_{цij} - Z_{прij}) A_{ij} + \sum_{j=t_{iок}+1}^{t_i} (I_{цij} - C_{полij}) A_{ij} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $t_{iок}$  – срок окупаемости капитальных вложений по  $i$ -му варианту, год;  $C_{полij}$  – полная себестоимость добычи и переработки 1  $m$  руды по  $i$ -му варианту в  $j$ -й год.

Если допустить, что величины  $I_{цij}$ ,  $Z_{прij}$ ,  $C_{полij}$  и  $A_{ij}$  не изменяются во времени, то формула (2) примет вид

$$(I_{ци} - Z_{при}) A_i t_{iок} + (I_{ци} - C_{полi}) A_i (t_i - t_{iок}) \rightarrow \max. \quad (3)$$

Очевидно, что произведение  $A_i t_{iок}$  представляет собой эксплуатационные запасы руды, добываемые в пределах срока окупаемости капитальных вложений, а произведение  $A_i (t_i - t_{iок})$  – эксплуатационные запасы руды, добываемые в остальном времени по  $i$ -му варианту. Следовательно, целевую функцию (3) можно представить следующим образом:

$$(I_{ци} - Z_{при}) Q_{окi} \frac{k_{ни}}{k_{ки}} + (I_{ци} - C_{полi}) Q_{осi} \frac{k_{ни}}{k_{ки}} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где  $Q_{окi}$  – балансовые запасы руды, добываемые в пределах срока окупаемости капитальных вложений по  $i$ -му варианту,  $m$ ;  $Q_{осi}$  – балансовые запасы руды, добываемые в остальном времени по  $i$ -му варианту,  $m$ ;  $k_{ни}$  – коэффициент извлечения руды из недр по  $i$ -му варианту, в долях единицы;  $k_{ки}$  – коэффициент изменения качества руды при добыче по  $i$ -му варианту, в долях единицы.

Приведенные целевые функции (3) и (4) учитывают два временных периода (этапа) эксплуатации месторождения – до и после срока окупаемости капитальных вложений, и соответствующие им запасы полезных ископаемых. Так как рассматриваемое месторождение находится в эксплуатации, то для решения вышеотмеченной оптимизационной задачи достаточно учесть вторые слагаемые целевых функций (3) и (4).

**Результаты исследования.** В работе [5] представлено обоснование запасов руды в недрах в зависимости от цены 1  $m$  рафинированной меди. В качестве последней приняты 3 сценария:

- цена 1  $m$  рафинированной меди  $C_m=3000$  долл. США/ $m$  (пессимистичный);
- цена 1  $m$  рафинированной меди  $C_m=5000$  долл. США/ $m$  (не очень оптимистичный);
- цена 1  $m$  рафинированной меди  $C_m=7000$  долл. США/ $m$  (оптимистичный).

На основе подсчитанных запасов руды в недрах для каждого сценария построены 3 карьера: с внешней разбортовкой, с внутренней разбортовкой и средний вариант между ними.

На рис. 1 представлены продольный и поперечный разрезы построенных карьеров при цене 1 т рафинированной меди – 7000 долл. США/т.

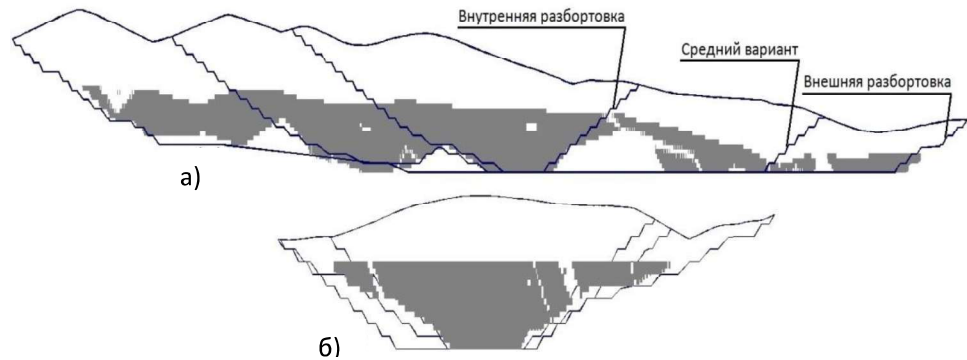


Рис. 1. Разрезы карьеров: а - продольный; б – поперечный

Затем для составления экономико-математической модели согласно второму слагаемому целевой функции (4), на основе фактических технико-экономических данных функционирующего горно-обогатительного комбината рассчитаны полные себестоимости добычи и переработки, а также извлекаемые ценности руды при вышеотмеченных вариантах и сценариях освоения месторождения, что сводится к следующему:

$$I_{ц_i} = C_{к_i} \gamma_i, \quad (5)$$

где  $C_{к_i}$  – цена концентрата по  $i$ -му варианту, долл. США/т;  $\gamma_i$  – выход концентрата по  $i$ -му варианту, в долях единицы;

$$C_{пол_i} = Z_{дт} + k_{э,вск_i} Z_{в} + Z_{об}, \quad (6)$$

где  $Z_{дт}$  – затраты на добычу и транспортировку 1 т руды (без затрат на вскрышные работы),  $Z_{дт}=2,0$  долл. США/т;  $k_{э,вск_i}$  – эксплуатационный коэффициент вскрыши по  $i$ -му варианту, т/т;  $Z_{в}$  – затраты на 1 т вскрыши,  $Z_{в}=0,95$  долл. США/т;  $Z_{об}$  – затраты на обогащение 1 т руды,  $Z_{об}=6,8$  долл. США/т;

$$Q_{э_i} = Q_{н_i} \frac{k_{н_i}}{k_{к}}, \quad (7)$$

где  $Q_{н_i}$  – запасы руды в недрах по  $i$ -му варианту, т;  $k_{н_i}$  – коэффициент извлечения из недр по  $i$ -му варианту, в долях единицы;  $k_{к}$  – коэффициент изменения качества,  $k_{к}=0,92$ .

В свою очередь,

$$\Pi_{ki} = 0,01\beta(\Pi_m - 2204,62C_p) - \frac{(3_{ч.м} + 3_{т.м})}{0,92}, \quad (8)$$

$$\gamma_i = \frac{\alpha_{\phi_i} k_k - \theta}{\beta - \theta}, \quad (9)$$

$$k_{э.вск_i} = \frac{Q_{в_i}}{Q_{н_i}} \cdot \frac{k_k}{k_{н_i}}, \quad (10)$$

$$k_{н_i} = k_{н_0} \frac{Q_{н_i}}{Q_{н.о.i}}, \quad (11)$$

где  $\beta$  – содержание меди в медном концентрате,  $\beta=28\%$ ;  $\Pi_m$  – цена 1 т рафинированной меди, долл. США/т; 2204,62 – количество фунтов в 1 т, ф/т;  $C_p$  – стоимость переработки 1 фунта черновой меди,  $C_p=0,1135$  долл. США/ф;  $3_{ч.м}$  – стоимость переработки 1 т концентрата в черновую медь,  $3_{ч.м}=176$  долл. США/т;  $3_{т.м}$  – стоимость перевозки 1 т концентрата до металлургического завода (на сухое вещество),  $3_{т.м}=47$  долл. США/т; 0,92 – доля сухого вещества, в долях единицы;  $\alpha_{\phi_i}$  – содержание фактического полезного компонента в руде по i-му варианту, %;  $\theta$  – содержание полезного компонента в хвостах обогащения,  $\theta=0,08\%$ ;  $Q_{в_i}$  – объем вскрыши по i-му варианту, т;  $k_{н_0}$  – основной коэффициент извлечения из недр,  $k_{н_0}=0,98$ ;  $Q_{н.о.i}$  – основные балансовые запасы руды по i-му варианту, т.

Подставив цифровые значения вышеотмеченных величин в формулы (8) - (11), а последние – во второе слагаемое целевой функции (4), после ряда преобразований получим экономико-математические модели, которые при вышеупомянутых сценариях будут иметь следующий вид:

- при  $\Pi_m=3000$  долл. США/т:

$$11,21 \frac{Q_{н_i}^2}{Q_{н.о.i}} (1,69\alpha_{\phi_i} - 1) - 0,95Q_{в_i} \rightarrow \max; \quad (12)$$

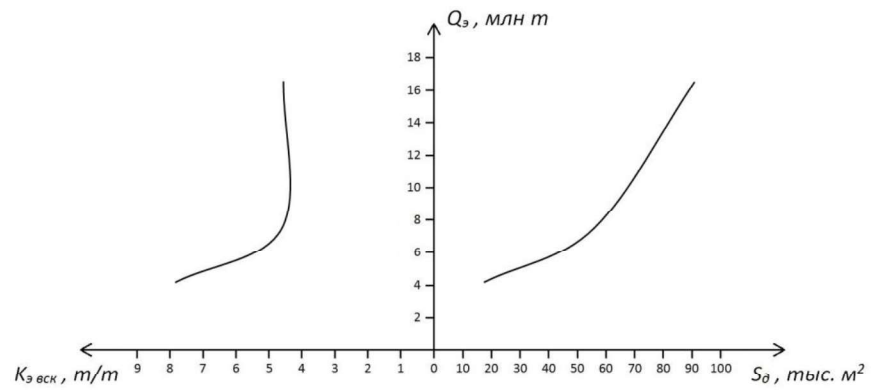
- при  $\Pi_m=5000$  долл. США/т:

$$12,95 \frac{Q_{н_i}^2}{Q_{н.о.i}} (3,01\alpha_{\phi_i} - 1) - 0,95Q_{в_i} \rightarrow \max; \quad (13)$$

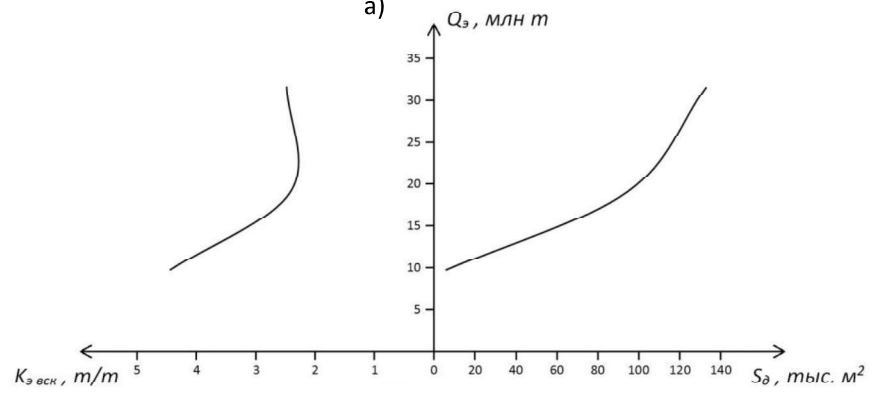
- при  $\Pi_m=7000$  долл. США/т:

$$14,70 \frac{Q_{н_i}^2}{Q_{н.о.i}} (4,02\alpha_{\phi_i} - 1) - 0,95Q_{в_i} \rightarrow \max. \quad (14)$$

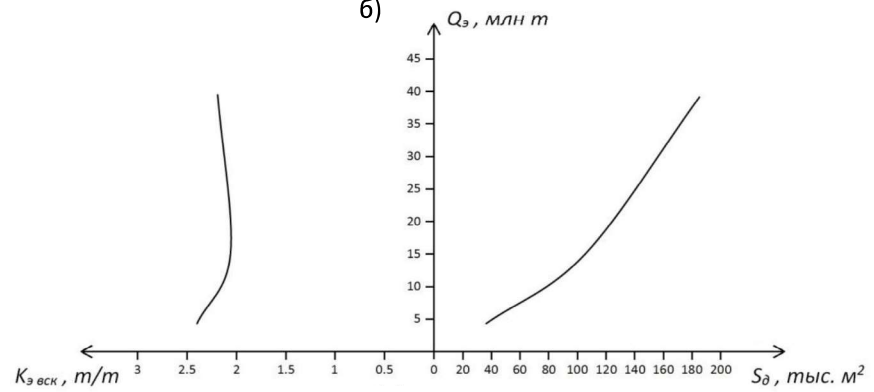
На основе полученных результатов построены номограммы (рис. 2), которые свидетельствуют о том, что при прочих равных условиях расширение дна карьера приводит к увеличению эксплуатационных запасов руды.



а)



б)



в)

Рис. 2. Номограмма для определения эксплуатационных запасов руды и коэффициента вскрыши: а - при  $C_m=3000$  долл. США/т; б - при  $C_m=5000$  долл. США/т; в - при  $C_m=7000$  долл. США/т



Графические отображения зависимостей, представленных на рис. 2, позволяют аппроксимировать следующие уравнения кривых:

- при  $C_m=3000$  долл. США/т:

$$Q_3 = 0,002341S_d^2 - 0,085911S_d + 4,986704, \quad (15)$$

$$k_{э.вск} = 0,079038Q_3^2 - 1,901366Q_3 + 14,421507; \quad (16)$$

- при  $C_m=5000$  долл. США/т:

$$Q_3 = 0,001729S_d^2 - 0,067801S_d + 10,069365, \quad (17)$$

$$k_{э.вск} = 0,010177Q_3^2 - 0,510052Q_3 + 8,43932; \quad (18)$$

- при  $C_m=7000$  долл. США/т:

$$Q_3 = 0,000994S_d^2 + 0,014027S_d + 2,503621, \quad (19)$$

$$k_{э.вск} = 0,001069Q_3^2 - 0,052488Q_3 + 2,606798, \quad (20)$$

где  $S_d$  – площадь дна карьера,  $m^2$ .

В табл. 2 представлены результаты расчетов экономико-математических моделей (12), (13) и (14).

Таблица 2

Результаты расчетов экономико-математических моделей

№	Сценарий	Варианты	Фактическое содержание меди в рудном массиве, %	Коэффициент извлечения руды из недр, в долях единицы	Затраты на вскрышные работы, долл. США/т	Прибыль на 1 т руды в недрах, долл. США/т
1	$C_m=3000$ долл. США/т	Внутренняя разбортовка	0,71	0,25	7,4	-1,9
		Средний вариант	0,66	0,46	4,4	-1,9
		Внешняя разбортовка	0,70	1,00	4,3	-2,7
2	$C_m=5000$ долл. США/т	Внутренняя разбортовка	0,57	0,31	4,2	-0,5
		Средний вариант	0,61	0,60	2,3	2,4
		Внешняя разбортовка	0,59	1,00	2,4	7,4
3	$C_m=7000$ долл. США/т	Внутренняя разбортовка	0,59	0,11	2,3	-0,03
		Средний вариант	0,54	0,38	2,0	1,7
		Внешняя разбортовка	0,57	1,00	2,1	16,8

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что при цене 1 т рафинированной меди 3000 долл. США/т освоение рассматриваемого месторождения экономически нецелесообразно. Аналогичный результат получается при карьерах с внутренней разбортовкой при цене 1 т рафинированной меди 5000 и 7000 долл. США/т.

**Заключение.** Оптимальные контуры карьера при прочих равных условиях зависят от фактического содержания полезного компонента в рудном массиве, коэффициента извлечения полезного ископаемого из недр и эксплуатационного коэффициента вскрыши.

Освоение Кашенского медно-молибденового месторождения наиболее целесообразно осуществлять карьером с внешней разбортовкой, так как при расширении дна карьера рост эксплуатационных запасов руды выше, чем увеличение эксплуатационного коэффициента вскрыши. Последнее связано с элементами залегания залежи: вскрышных пород в центральной части больше, чем на флангах месторождения.

#### Литература

1. Հովհաննիսյան Ա.Հ., Ծառոյան Հ.Ջ. Կաշենի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի բնական պայմանները և մշակման առանձնահատկությունները // ՀԱՊՀ Լրաբեր. – Մաս 2. Ընդերքօգտագործում. – 2016. – էջ 662-666:
2. Ծառոյան Հ.Ջ. Պղնձի եզրագծային պարունակությունից կախված Կաշենի բացահանքի եզրագծային մակաբացման գործակցի փոփոխման օրինաչափությունը // ՀՃԱ Լրաբեր. – 2018. – № 2. – էջ 258–262:
3. Агабалян Ю.А. Общая теория оптимального освоения недр (твердые полезные ископаемые). – Saarbrücken, Германия: Palmarium Academic Publishing, 2015. – 288 с.
4. Инструкция по содержанию, формированию и представлению государственной экспертизы материалов обоснования промышленной оценки месторождений твердых полезных ископаемых и параметров кондиций // Вестник ведомственных нормативных актов РА N12 (75) 14.06.2001. – Ереван: Изд-во “Тигран Мец”, 2001.- С. 82-99.
5. Цатрян А.З. Выявление зависимости производственной мощности Кашенского горно-обогатительного комбината от цены меди // Вестник НПУА: Металлургия, материаловедение, недропользование.- 2017.- № 2. –С. 85-92.

Поступила в редакцию 12.09.2018.  
Принята к опубликованию 26.12.2018.

**ԿԱՇԵՆԻ ՊՂԻՆՁ-ՄՈՒԽԲԵՆԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՕՊՏԻՄԱԼ  
ԵՋՐԱԳԾԵՐԻ ՀԻՄՆԱՎՈՐՈՒՄԸ**

**Ա.Հ. Հովհաննիսյան, Հ.Ջ. Ծատրյան**

Դիտարկվել է Կաշենի պղինձ-մոլիբդենային բացահանքի օպտիմալ եզրագծերի հիմնավորման խնդիրը, որը գործում է նույնանուն պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի հանքաքարի պաշարների հենքի վրա: Հանքավայրը գտնվում է Արցախի Հանրապետությունում և ներկայանում է օքսիդացած, փոփոխված և երկրորդային օքսիդացած գոտիներով: Ըստ մորֆոլոգիայի՝ Կաշենի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրը խոշոր շտոկվերկ է, որի կախված կողի տեղադրման անկյունը կազմում է 35...55°:

Մետաղի համաշխարհային գնի տարբեր սցենարների դեպքում դիտարկվող հանքավայրի համար բաց աշխատանքների եզրագծերի որոշմանն ուղղված տնտեսամաթեմատիկական մոդելների կազմումը ներկայումս խիստ արդիական է, քանի որ ընդերքում օգտակար հանածոների պաշարները, որի հենքի վրա նախագծվում է լեռնային արդյունաբերություն, կախված են օգտակար բաղադրիչների պարունակությունների սահմանաքանակներից, որոնց մեծությունն ուղիղ համեմատական է հանքաքարի արդյունահանման և վերամշակման հավելածոյ ծախսերին և հակադարձ համեմատական է մետաղի գներին:

Կազմվել են տնտեսամաթեմատիկական մոդելներ՝ կախված 1 տոննա ֆինացված պղնձի գնից (Գ<sub>1</sub>=3000 \$/տ, Գ<sub>2</sub>=5000 \$/տ, Գ<sub>3</sub>=7000 \$/տ), որում որպես օպտիմալության չափանիշ ընտրվել է հանքավայրի ամբողջ շահագործման ընթացքում Կաշենի լեռնահարստացուցիչ կոմբինատի շահույթը:

Բացահայտվել են պղնձի համաշխարհային գնի տարբեր սցենարների դեպքում բացահանքի հատակի մակերեսից հանքաքարի շահագործական պաշարների և մակաբացման գործակցի փոփոխման օրինաչափությունները: Կառուցվել են համապատասխան նոմոգրամներ:

Հաստատվել է, որ բացահանքի օպտիմալ եզրագծերը, այլ հավասար պայմաններում, կախված են հանքաքարային զանգվածում օգտակար բաղադրիչի փաստացի պարունակությունից, ընդերքից օգտակար հանածոյի կորզման գործակցից և մակաբացման շահագործական գործակցից:

Կաշենի պղինձ-մոլիբդենային հանքավայրի յուրացումը նպատակահարմար է իրականացնել արտաքին կողավորմամբ բացահանքով, քանի որ բացահանքի հատակի մակերեսի մեծացումից հանքաքարի շահագործական պաշարներն աճում են ավելի մեծ չափով, քան աճում է շահագործական մակաբացման գործակցիցը:

**Առանցքային բառեր.** հանքավայր, բացահանք, գին, ծախս, հանքաքար, շահույթ, պղինձ, մակաբացման գործակցից:

## JUSTIFICATION OF THE OPTIMAL CONTOURS OF THE OPEN-PIT AT MAINTAINING THE KASHEN COPPER-MOLYBDENUM DEPOSIT

A.H. Hovhannisyanyan, H.Z. Tsatryan

The substantiation problem of the optimal contours of the Kashen copper-molybdenum open-pit, functioning on the basis of the ore of the eponymous copper-molybdenum mine is considered. This deposit is located in Republic of Artsakh and is represented by oxidized, altered and secondary oxidized zones. According to the morphology, the Kashen copper-molybdenum mine is a large stockwork, in which the angle of the hanging side is  $35...55^{\circ}$ .

The development of economic-mathematical models for determining the optimal boundaries of open works for the given mine under different scenarios of world metal prices is very relevant, since the ore reserves in the bowels, on the basis of which the mining enterprise is projected, depend on the limits of the content of useful components, the magnitude of which is directly proportional to the specific incremental costs of extraction and processing of ore, and inversely proportional to the metal prices.

The economic-mathematical models, depending on the price of 1 ton for refined copper ( $P_m=3,000$  \$/ton,  $P_m=5,000$  \$/ton,  $P_m=7000$  \$/ton), where the profit of Kashen mining and processing plant for the weight of the life of the deposit is chosen as the optimality criterion are made up.

The patterns of the exploitation ore reserves and the stripping ratio change are revealed based on the area of the bottom of the open-pits under different scenarios of the world prices of copper. The respective nomograms have been constructed.

It is determined that the optimal contours of open-pits, all other things being equal, depend on the actual content of the useful component in the ore massive, the extraction ratio of the mineral from the bowels and the exploitation stripping ratio.

The development of the Kashen copper-molybdenum deposit is most appropriate to be carried out by an open-pit with an outer breasting as by expanding the area of the open-pit bottom the exploitation ore reserves is higher than the increase of the exploitation stripping ratio.

**Keywords:** deposit, open-pit, price, costs, ore, profit, copper, stripping ratio.