УДК 622.272

Д.Р. Каплунов, В.А. Юков, В.С. Лавенков

СОПОСТАВЛЕНИЕ БЛОКОВОГО И СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ДЛЯ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ МЕДНЫХ РУД

Сопоставлены варианты шахтного блокового и скважинного выщелачивания. Для медных месторождений оценена перспективность шахтного выщелачивания – выщелачивания из подвесных выработок. Сопоставлены варианты шахтного блокового и скважинного выщелачивания. Использован метод принятия решений в условиях неопределенности. Определение реализуемости сравниваемых вариантов выполнено на основе ограниченного набора внешних и внутренних факторов. Подтверждена реализуемость обоих вариантов и установлена некоторое преимущество блокового выщелачивания. Определена нижняя граница эффективности каждого из них. На примере двух месторождений проиллюстрированы преимущества шахтного выщелачивания по сравнению с традиционными технологиями: высвобождение земель от отвалов и хвостохранилищ, сокращение капвложений в строительство рудника, снижение эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: подземная разработка, выщелачивание из подземных выработок, варианты – блоковое и скважинное.

Одним из наиболее значимых направлений инновационной деятельности в мировой медной промышленности является развитие гидрометаллургических технологий переработки медьсодержащих руд и концентратов с использованием схемы SX-EW – выщелачивание, экстракция, реэкстракция, электролиз, обозначаемой SX-EW [1, 2]. Основные преимущества переработки руды от подземного выщелачивания по схеме SX-EW:

- более низкие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с обычной схемой (обогащение-плавка-рафинирование);
- более высокое качество катодной меди (99,9999%);
- возможность вовлечения в переработку бедных руд, руд сложного состава и техногенного сырья.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 7–14.
© 2017. Д.Р. Каплунов, В.А. Юков, В.С. Лавенков.

Представляется целесообразным оценить перспективность для медных месторождений шахтного выщелачивания – выщелачивания из подземных выработок. В связи с этим рассматривается участок обширного месторождения сульфидных медных руд с запасами 20 млн т. Годовая производительность рудника 1 млн т. Сопоставляются две горнотехнические системы:

• подземное (блоковое) выщелачивание рядовой и бедной по содержанию руды с отбойкой руд глубокими скважинами, магазинированием и выщелачивание инфильтрационным потоком реагента, с использованием схемы SX-EW (выщелачивание, экстракция, реэкстракция, электролиз);

• скважинное (из подземных выработок) выщелачивание без предварительного дробления массива рядовой и бедной по содержанию руды, с использованием схемы SX-EW.

Исходные данные для расчетов

Основные показатели	**Единицы измерения**	**Блоковое подземное выщелачивание**	**Скважинное подземное выщелачивание**
Объем погашаемых запасов (X_1)	млн т	20	20
Среднее содержание усл. меди в балансовых запасах (X_2)	%	1,5	1,5
Извлечение при добыче	%	75	70
Содержание усл. меди в извлекаемых запасах	%	1,25	1,20
Общее извлечение (X_3), в т.ч. добыча обогащение метал. передел	%	70 75 96 97	65 70 96 97
Общие эксплуатационные расходы (X_4), в т.ч. добыча обогащение и металлургический передел	долл./т	23,3 7,7 15,6	22,9 8,0 14,9
Общие капитальные вложения в проект, в т.ч. добыча обогащение и металлургический передел	млн долл.	69,2 50,0 19,2	68,4 50,0 18,4
Средняя за 5 лет цена условной меди (X_5)	тыс. долл./т	8,0	8,0

Показатели для двух систем физико-химического метода разработки приняты на основе работ [1–9] и других источников. В частности, при определении расходов на перевод в растворы следует руководствоваться положением «способ ПВ позволяет снизить себестоимость продукции на 10% по сравнению с системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой и на 15% по сравнению с системой подэтажных штреков» [8].

При определении экономических показателей металлургического передела руководствовались работами [9, 10] и особенно по применению технологической схемы SX-EW данными [10], таблица.

Оценка реализуемости намеченных вариантов выполнена с использованием адаптированного метода принятия решений в условиях неопределенности. Отклонения всех учитываемых переменных от средней величины приняты равными 10%, таблица. Рассматриваемый диапазон изменения цены на медь от 3000 до 8000 долл./т.

Для определения случайной переменной, описывающая общую прибыль на начало отработки до выплаты налогов, можно записать следующее уравнение

$$F_{(\text{П})} = \bar{X}_1(\bar{X}_2\bar{X}_3\bar{X}_5 - \bar{X}_4).$$

При разворачивании в ряды Тейлора вокруг каждого значения средней величины случайной переменной $X_{\text{к}}$ получаем функцию общей прибыли П и функцию отклонения общей прибыли $Var_{(\text{П})}$. Стандартное отклонение прибыли равно корню квадратному из величины ее колебания:

$$\text{Станд. откл.} = \sqrt{Var_{(\text{П})}}.$$

Суть метода состоит в сравнении двух показателей окупаемости инвестиций: минимального (r_{m}), при котором проект безубыточен, и возможного для данного проекта (r_{i}). Причем используется значение прибыли до выплаты налогов. Оценка выполняется на основе ограниченного набора существенно влияющих внешних (цена продукции, ставка дисконтирования) и внутренних (запасы, содержание, технология переработки) факторов. Результаты представлены на рис. 1–2.

На рис. 1, *а* и 1, *б* хорошо видно, что рассматриваемые варинты (плоскости) при содержании меди в 3 и 1,5% далеко отстоят от нижней, представляющей границу безубыточности. Это показывает, что оба варианта реализуемы. Причем видно небольшое преимущество блокового выщелачивания по отно-

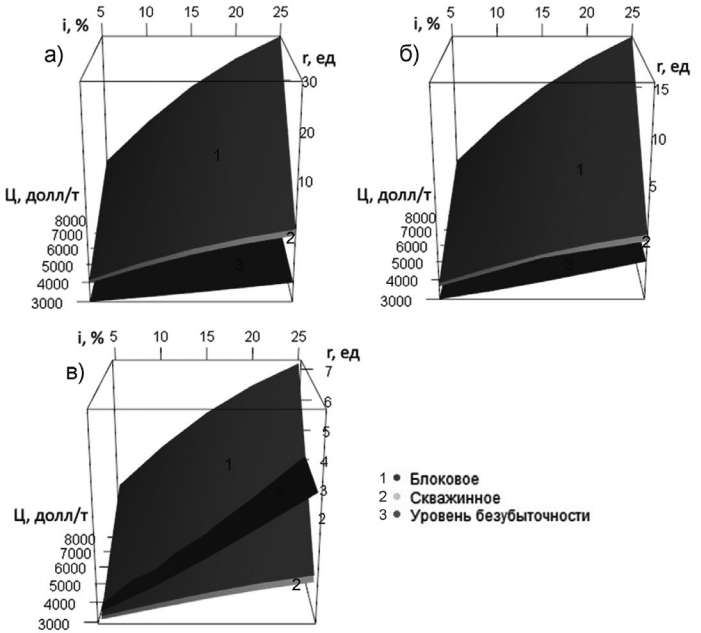

Рис. 1. Реализуемость вариантов технологии в зависимости от содержания (а), цены меди (Ц) и нормы дисконта (i) для содержания: 3% (а); 1,5% (б); 0,5% (в)

шению к скважинному (чем дальше от уровня безубыточности, тем лучше для варианта $r_i > r_m$). Рис. 1, *в* демонстрирует, как при содержании меди в 0,5%, при определенных условиях оба варианта попадают в нереализуемую зону: r_i становится меньше r_m. (Плоскость r_m пересекает две других).

Графики рис. 2 поясняют это обстоятельство. При цене меди 3000 долл./т и содержании 0,5% (бортовое) оба варианта убыточны – расположены ниже допустимой границы. При цене в 5000 долл./т оба они реализуемы в определенных пределах: скважинное выщелачивание до $i = 17\%$, а блоковое до $i = 20\%$. При цене меди в 8000 долл./т оба реализуемы во всем диапазоне дисконтирования.

Коэффициент дисконтирования *i* используется, с одной стороны, для определения текущей величины денежных потоков, реализуемых в разные моменты времени. С другой стороны, он связан с понятием стоимости капитала предприятия, что отражает его (предприятия) способность обслуживать обязательства перед кредиторами и инвесторами. При $П > 0$ эти обязатель-

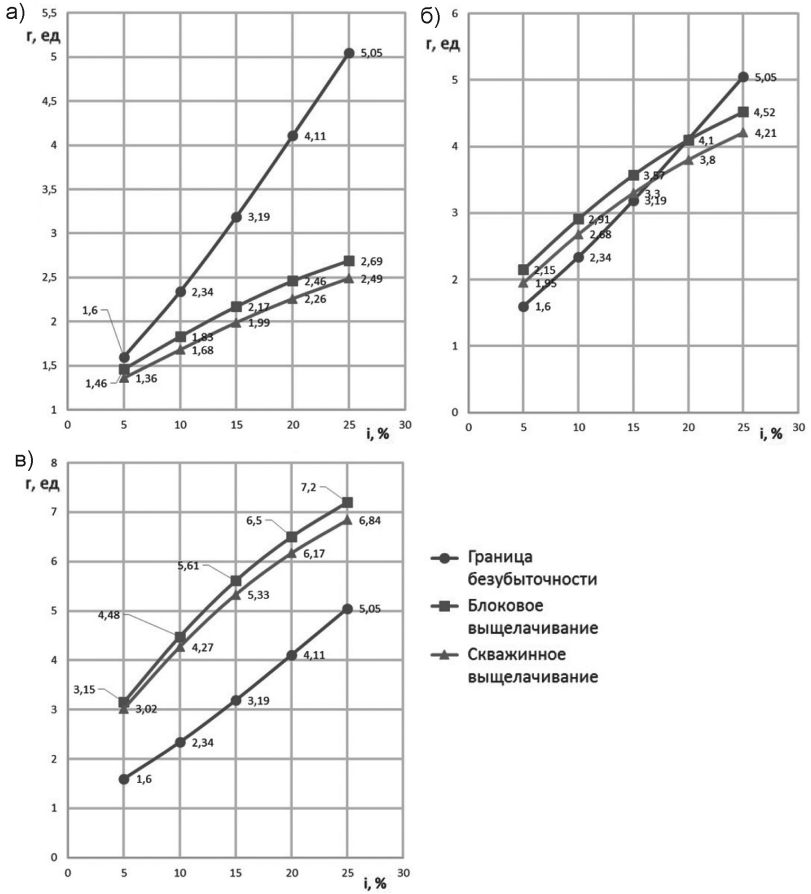

Рис. 2. Нижняя граница эффективности применения сопоставляемых вариантов при содержании меди 0,5% и цене: 3000 долл./т (а); 5000 долл./т (б); 8000 долл./т (в); *i* – норма дисконта, %; *r* – показатель окупаемости инвестиций, ед.

ства будут выполнены. Тогда, коэффициент дисконтирования *i* можно рассматривать как некую пороговую величину – минимально допустимый уровень рентабельности проекта.

(При реализации проекта в условиях действующего предприятия норма дисконта *i* равна 5%, при проектной проработке обычно принимается равной 10%, при определении средств на вложенный капитал инвесторы обычно оценивают внутреннюю норму доходности в 14%, при реализации проекта за границей *i* составляет 24%).

Выполненная оценка показала реализуемость обоих вариантов. Это служит основой для дальнейшей детальной проектной проработки и определением экономической эффективности на основе денежных потоков.

Использование подземного выщелачивания вместо традиционных методов: в условиях Сибайского рудника при системах с твердеющей закладкой и Рубцовского рудника при системах с обрушением дало бы следующее. Первое – ликвидация хвостохранилищ и высвобождение занимаемых ими земель. Второе – сокращение объема пустых пород и соответственно площадей земли под ними.

Известно, что количество пустых пород от проходки подземных выработок при разработке месторождений цветных металлов составляет 5–7% от годовой производительности предприятия и возрастает до 10–12% на маломощных месторождениях. В исключительных случаях, при отработке особо тонких жил, может достигать 15%.

С учетом этого обстоятельства на Сибайском руднике количество пустых пород сократится с 3,0 млн т до 150 тыс. т, а площадь земли под отвалами до 0,6 га. В результате высвободится 86 + 11,4 = 97,4 га. На Рубцовском руднике количество пустых пород сократится с 330 тыс. т до 26,4 тыс. т, а площадь земли под отвалом до 0,11 га. В результате высвободится 10,24 + 1,27 = 11,51 га и, кроме того, не будет нарушено воронками еще 3,37 га.

По сравнению с системой горизонтальных слоев с твердеющей закладкой и комбинированной системой подэтажного обрушений с кучным выщелачиванием с предварительным дроблением выданной на поверхность руды общие капвложения в строительство рудника сократятся в 1,6–1,15 раза, а эксплуатационные расходы в 3,2–1,5 раза.

Выполненная оценка показала перспективность и подтвердила реализуемость метода шахтного выщелачивания при некотором преимуществе блокового варианта и определила нижние границы эффективного применения каждого из них даже при отработке медных руд с бортовым содержанием в 0,5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Птицын А. М.*, *Дюдин Ю. К.*, *Синдаровский А. Н.*, *Руднев Б. К.* Оценка перспектив развития горно-металлургической базы ряда металлов в Российской Федерации. – М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2002. – 562 с.

2. *Юков В. А.* Предварительная оценка вариантов комбинированной разработки месторождений // Маркшейдерский вестник. – 2005, № 3. – С. 65–68.

3. *Лаверов Н. П.*, *Абдульманов И. Г.*, *Бровин К. Г. и др.* Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Под ред. Н. П. Лаверова – М.: Изд-во АГН, 1998. – 446 с. с ил.

4. *Толстов Е. А.*, *Толстов Д. Е.* Физико-химические геотехнологии освоения месторождений урана и золота в Кызыл-Кумском регионе. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 277 с.

5. *Заболоцкий А. И.*, *Ситникова Т. И.*, *Ященко И. Э.*, *Заболоцкая К. А.* Предварительные результаты отработки опытно-промышленных блоков на Гумешевском месторождении // Горная промышленность. – 2008. – № 5 (81). – С. 17–21.

6. *Мосинец В. Н.* Геотехнологические методы добычи цветных и редких металлов // Цветная металлургия. – 1992. – № 2. – С. 24–30.

7. *Голик В. И.*, *Исмаилов Т. Т.* Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. – М.: Изд-во МГГУ, 2006. – 332 с.

8. *Овсейчук В. А.*, *Тюпин В. Н.* Оптимизация гранулометрического состава руды при подземном и кучном выщелачивании // Горный журнал. – 2002. – № 9. – С. 24–27.

9. *Дикарев Н. Л.*, *Абакумов В. В.* Экономическая оценка объектов подземного выщелачивания // Цветная металлургия. – 1988. – № 12. – С. 11–13.

10. *Ашихмин А. А.*, Галбаатар Г., *Дмитриев А. А.*, *Ясько Т. А.* Экономика, организация и управление горными предприятиями цветной металлургии. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 46 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каплунов Давид Родионович[1] – чл.-корр. РАН,
главный научный сотрудник,
Юков Владимир Александрович[1] – кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Лавенков Владимир Станиславович[1] – младший научный сотрудник,
[1] Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
e-mail: info@ ipkonran ru.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 7–14.

UDC 622.272

D.R. Kaplunov, V.A. Yukov, V.S. Lavenkov

THE UNDERGROUND COPPER BLOCK AND BOREHOLES LEACHING METHODS COMPARISON

The underground block and boreholes leaching methods are compared. The prospects for underground leaching (leaching from underground openings) are evaluated for copper deposits conditions. The method for decision-making under uncertainty are used. The feasibility of compared methods evaluated based on limited set of internal and external factors.

The feasibility of both methods is confirmed. The block leaching advantage is established. The lower limit of efficiency for both methods are evaluated.

By the example of two deposits the advantages of underground leaching over the traditional technologies: cleaning the mine site from the tailings and waste rock dump, the capital investment for initial mine development reduction, operating costs reduction are illustrated.

Key words: underground mining, leaching from underground openings, underground block and boreholes leaching.

AUTHORS

Kaplunov D.R.[1], Chief Researcher,
Corresponding Member of Russian Academy of Sciences,
Yukov V.A.[1], Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Lavenkov V.S.[1], Junior Researcher,
[1] Institute of Problems of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
111020, Moscow, Russia,
e-mail: info@ipkonran.ru.

REFERENCES

1. Ptitsyn A. M., Dyudin Yu. K., Sindarovskiy A. N., Rudnev B. K. *Otsenka perspektiv razvitiya gorno-metallurgicheskoy bazy ryada metallov v Rossiyskoy Federatsii* (Assessment of growth prospects for metal supply in mining and metallurgical industry in the Russian Federation), Moscow, Izdatel'skiy dom «Ruda i metally», 2002, 562 p.

2. Yukov V. A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2005, no 3, pp. 65–68.

3. Laverov N. P., Abdul'manov I. G., Brovin K. G. *Podzemnoe vyshchelachivanie polielementnykh rud*. Pod red. N. P. Laverova (Underground leaching of polyelement ores. Laverov N. P. (Ed.)), Moscow, Izd-vo AGN, 1998, 446 p.

4. Tolstov E. A., Tolstov D. E. *Fiziko-khimicheskie geotekhnologii osvoeniya mestorozhdeniy urana i zolota v Kyzyl-Kumskom regione* (Physicochemical technologies for gold and uranium production in the Kyzyl-Kum region), Moscow, OOO «Geoinformtsentr», 2002, 277 p.

5. Zabolotskiy A. I., Sitnikova T. I., Yashchenko I. E., Zabolotskaya K. A. *Gornaya promyshlennost'*. 2008, no 5 (81), pp. 17–21.

6. Mosinets V. N. *Tsvetnaya metallurgiya*. 1992, no 2, pp. 24–30.

7. Golik V. I., Ismailov T. T. *Spetsial'nye sposoby razrabotki mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh* (Special methods of mineral mining), Moscow, Izd-vo MGGU, 2006, 332 p.

8. Ovseychuk V. A., Tyupin V. N. *Gornyy zhurnal*. 2002, no 9, pp. 24–27.

9. Dikarev N. L., Abakumov V. V. *Tsvetnaya metallurgiya*. 1988, no 12, pp. 11–13.

10. Ashikhmin A. A., Galbaatar G., Dmitriev A. A., Yas'ko T. A. *Ekonomika, organizatsiya i upravlenie gornymi predpriyatiyami tsvetnoy metallurgii* (Economics, management and control in mining companies in the nonferrous metallurgy industry), Moscow, Izd-vo MGGU, 2004, 46 p. ГИАБ