

УДК 622.7:622.343'346.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕЛЕКЦИИ МЕДНЫХ И МОЛИБДЕНОВЫХ МИНЕРАЛОВ

М. Г. ПОЛОСКОВ¹, генеральный директор
М. А. АРУСТАМЯН², исполнительный директор, канд. техн. наук, rivs@rivs.ru
Ю. П. НАЗАРОВ², директор департамента технологических исследований, канд. техн. наук
А. М. АРУСТАМЯН³, главный инженер проекта, A_Arustamyan@rivs.ru

¹ ЗАО «ЗММК», Каджаран, Армения

² СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

³ ЗАО «РИВС-Проект», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Технология переработки медно-молибденовых руд, как правило, трехстадиальная, коллективный цикл с получением одноименного концентрата и с выводом в отвальные хвосты до 95–99 % (в зависимости от наличия промпродуктового цикла) минеральной массы [1–10]. Далее осуществляются операции селекции или доводочный цикл; по первому варианту предусмотрена организация параллельных и автономных медного и молибденового циклов, второй предполагает технологически перечистный цикл с получением доводочного концентрата, после селекции которого медный концентрат получается в виде камерного продукта. Поскольку и по первому, и по второму варианту на селекцию поступают относительно богатые продукты, основной технологической проблемой являются взаимопотери металлов в разноименных концентратах, что значительно затрудняет последующие гидро- и пирометаллургические переделывания. В первую очередь это относится к молибденовому концентрату, в зависимости от способа последующей переработки которого ограничение на содержание меди находится в интервале 0,5–1,5 %.

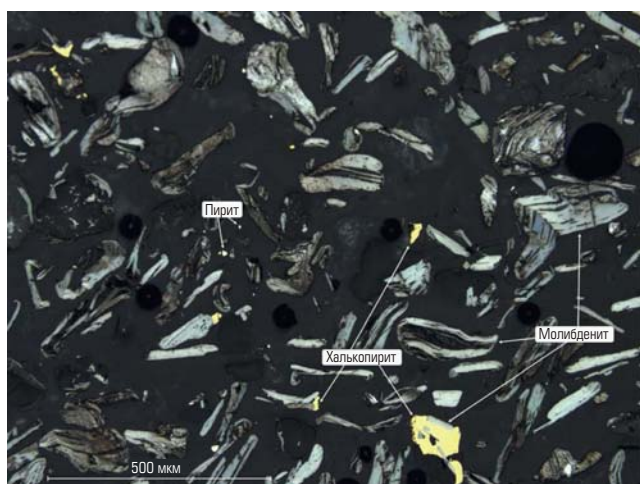


Рис. 1. Молибденовый концентрат VI перечистки. Отраженный свет, николи параллельны

Освещен опыт работы по повышению эффективности разделения коллективных концентратов на примере медно-молибденовых. Подход реализован на рудах Каджаранского месторождения. В основе предлагаемого подхода — комбинированное механическое воздействие на минеральную массу пульпы.

Ключевые слова: медно-молибденовые руды, флотация, селекция, механоактивация

DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.07](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.11.07)

Основные причины взаимного засорения: переход минералов в несоответствующий продукт в составе сростков; состояние поверхности разделяемых минералов перед селекцией; нарушение режимных параметров операции селекции и т. п. Представляется целесообразным рассмотреть варианты технических решений по оптимизации процессов селекции, адаптированные к условиям конкретных предприятий [11, 12].

Методы селекции коллективных концентратов

На Каджаранской обогатительной фабрике перерабатывают медно-молибденовые руды с реализацией первого варианта технологической схемы [12]. Коллективную флотацию проводят после двухстадиального измельчения руды до крупности 55–58 % фракции –80 мкм. Объединенный со всех секций коллективный концентрат трижды перечищают и подают на пропарку и далее на молибденовую флотацию, камерный продукт которой является питанием медного цикла. Молибденовый концентрат перерабатывают в собственном перечистном цикле, предусматривающем проведение семи перечистных операций. Периодически отмечается повышенное (0,45–0,7 %) содержание меди в молибденовом концентрате, что прежде всего обусловлено поступлением на фабрику руды с определенных участков рудного тела.

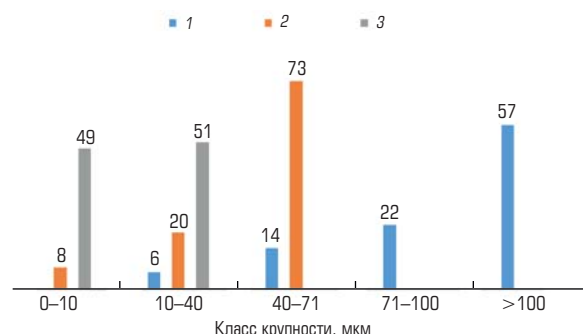


Рис. 2. Распределение свободных зерен молибденита (1), халькопирита (2) и пирита (3) по классам крупности в молибденовом концентрате VI перечистки, %

В качестве объекта исследования использовали пробу фабричного молибденового концентрата основной флотации, доведенную в лабораторных условиях после шести перечисток (стандартные условия) до требований к товарному концентрату с содержанием молибдена 53,5 % и меди 0,55 %. На **рис. 1** представлено фото соответствующего шлифа.

Минералогический анализ шлифа, показал, что:

- большая часть пробы состоит из молибденита — 90 % (абс.); также в пробе присутствуют халькопирит — 1,5 % (абс.) и пирит — 0,75 % (абс.), нерудные минералы — 7,75 % (абс.) и единичные зерна вторичных сульфидных минералов меди — ковеллина (халькозина) и борнита;

- доля свободных зерен молибденита в данном продукте составляет 82,8 % (отн.), эти зерна наблюдаются (**рис. 2**) во всех классах крупности, но преобладают зерна размером более 100 мкм (57,08 %); наиболее распространены сростки молибденита с халькопиритом — 6,84 % (отн.), также отмечаются сростки с нерудными минералами — (4,49 % (отн.), полиминеральные сростки с молибденитом — 4,02 % (отн.), сростки молибденита с пиритом — 1,77 % (отн.) и сростки с вторичными сульфидными минералами меди — 0,08 % (отн.); зерна молибденита во всех сростках преимущественно крупные (от 40 мкм);

- халькопирит в продукте находится в основном в сростках с молибденитом — 49,67 % (отн.) и полиминеральных сростках — 40,32 % (отн.); в этих сростках зерна халькопирита крупные, более 50 % имеют крупность свыше 71 мкм; доля зерен халькопирита крупностью менее 10 мкм составляет 2,34 % — в сростании с молибденитом; 1,65 % — в полиминеральных сростках; свободные зерна халькопирита — 9,39 % (отн.) имеют размер от 0 до 71 мкм, их основная масса (72,53 %) попадает в класс 40–71 мкм;

- пирит в пробе раскрыт на 57,3 % (отн.); зерна пирита имеют размер от 0 до 40 мкм как в свободных зернах, так и в сростках; сростки пирит образует с молибденитом — 12,64 % (отн.), халькопиритом — 8,27 % (отн.) и входит в полиминеральные сростки — 21,79 % (отн.).

Минералогический анализ молибденового концентрата позволяет вычленить ряд особенностей, которые могут быть положены в основу технологических рекомендаций:

- перевод в камерный продукт в операции селекции только полиминеральных сростков халькопирита (порядка 40 % всех сростков этого минерала) позволит на сопоставимую величину (в отн. ед.) снизить содержание меди в молибденовом концентрате;

- доля свободных зерен халькопирита порядка 70 % во флотационном классе крупности –71 +40 мкм свидетельствует о нарушениях режимных параметров в операции селекции.

Таким образом, принципиальные технологические задачи конкретизируются следующим образом:

- необходимость обеспечения доступа молекул депрессора к поверхности;

- обновление поверхности минеральной массы, находящейся в «уставшем» состоянии.

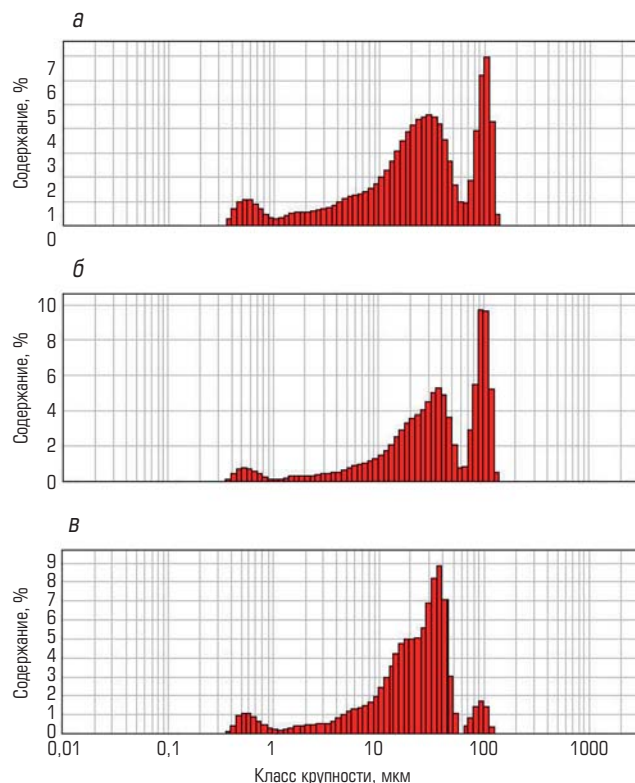


Рис. 3. Шламовый анализ черного концентрата после оттирки (а), механоактивации (б) и измельчения (в)

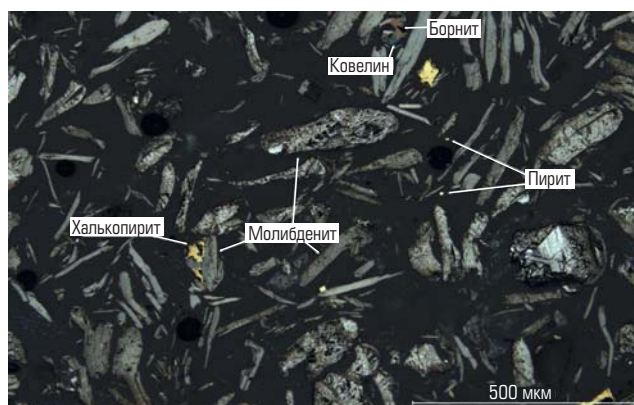


Рис. 4. Молибденовый концентрат VI перечистки. Отраженный свет, николи параллельны

Техническая реализация данных рекомендаций воплощается при введении в технологическую схему операции механоактивации черного молибденового концентрата, полученного после основной молибденовой флотации. Эта операция включает элементы, по существу, «щадящего» измельчения. При этом подобие процессов достигается применением в качестве измельчающей и, соответственно, истирающей сред шарового материала. Принципиальным отличием является отсутствие прироста контролируемого класса в разгрузке оттирочных комплексов. По существу, имеет место обновление поверхности минеральной массы. Дан-

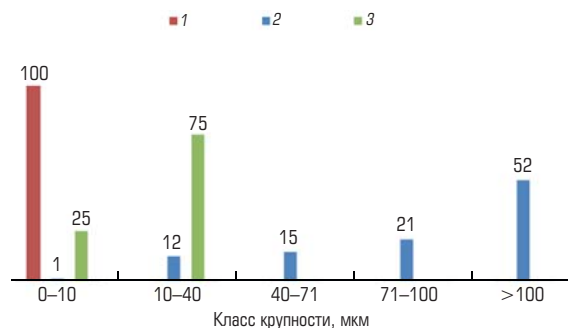


Рис. 5. Распределение свободных зерен халькопирита (1), молибденита (2) и пирита (3) по классам крупности в молибденовом концентрате VI перерешетки (с применением операции механоактивации)

ные шламового анализа черного концентрата после оттирки и после измельчения (рис. 3) иллюстрируют принципиальные изменения гранулометрического состава продукта после двух видов механического воздействия на материал.

В эксперименте на операцию механоактивации поступал концентрат первой молибденовой перерешетки. Поскольку в операции появляется обновленная минеральная поверхность, технологически целесообразно введение в пульпу жидкого стекла для подавления вскрывшихся сростков с пустой породой.

Минералогический анализ молибденового концентрата (содержание меди 0,23 %, молибдена 54 %), полученного по рекомендуемому режиму, показал следующее:

- основной составляющей данной пробы является молибденит — 90 % (абс.) (рис. 4); раскрытие молибденита составляет 84,74 % (отн.); распределение по крупности показано на рис. 5; основные сростки образуют с халькопиритом — 14,35 % (отн.), в которых 88,11 % зерен молибденита имеют размер более 100 мкм, на самый тонкий класс приходится 0,13 %; на осталь-

ные сростки (с пиритом, нерудными минералами, вторичными сульфидами меди и полиминеральные сростки) приходится менее 1 % (отн.), во всех этих сростках зерна молибденита преимущественно имеют размер от 10 до 40 мкм;

- свободных зерен халькопирита в концентрате содержится всего 1,35 % (отн.).

• в основном халькопирит образует сростки с молибденитом — 98,02 % (отн.), в которых размер халькопирита преимущественно от 10 до 71 мкм (96,28 %), доля халькопирита крупностью менее 10 мкм составляет 3,02 %;

- основная часть пирита в пробе — свободные зерна — 94,46 % (отн.), их размер от 0 до 40 мкм; в продукте наблюдаются сростки пирита с молибденитом — 5,54 % (отн.), в которых зерна пирита находятся в классе крупности менее 10 мкм.

Также в пробе присутствуют редкие единичные зерна вторичных сульфидных минералов меди — ковеллина (халькозина) и борнита.

Сопоставление данных рис. 2 и 5 свидетельствует о кратном (73 против 15 %) уменьшении свободных зерен халькопирита в конечном концентрате. Отмечается снижение содержания полиминеральных сростков халькопирита с 4,3 до 0,6 % (абс.).

Выводы

Полученные результаты показали принципиальную возможность значительного снижения содержания меди в молибденовом концентрате благодаря использованию оттирочных комплексов перед перерешетными операциями в цикле молибденовой селекции. Жидкое стекло способствует повышению качества молибденового концентрата.

Внедрение оттирочных комплексов в технологии селекции молибдена будет способствовать получению молибденового концентрата с содержанием молибдена и меди в нем, соответствующим I марки по ТУ, в постоянном режиме.

Библиографический список

1. Бочаров В. А., Игнаткина В. А. Технология обогащения полезных ископаемых : в 2 т. — М. : ИД «Руда и Металлы», 2007. — 472 с.
2. Абрамов А. А. Теоретические основы интенсификации технологических процессов флотации // Цветные металлы. 2013. № 2. С. 17–21; № 3. С. 11–15; № 4. С. 12–17.
3. Карнаухов С. Н., Плясовица С. С., Вилкова Н. В. Технология переработки молибденосодержащих руд // Цветные металлы. 2011. № 8/9. С. 55–61.
4. Shuhua Dua, Zhenfu Luo. Flotation technology of refractory low-grade molybdenum ore // International Journal of Mining Science and Technology. 2013. Vol. 23. Iss. 2. P. 255–260.
5. Абрамов А. А. Собрание сочинений. — М. : Горная книга, 2012. Т. 7: Флотация. Реагенты-собиратели. — 656 с.
6. Сорокин М. М. Флотационные методы обогащения. Химические основы флотации. — М. : МИСиС, 2011. — 411 с.
7. Nakhael F., Irannejad M. Investigation of effective parameters for molybdenite recovery from porphyry copper ores in industrial flotation circuit // Physicochemical Problems of Mineral Processing. 2014. Vol. 50(2). P. 477–491.
8. Сатаев И. Ш., Баранов В. Ф. О мировой практике обогащения медно-порфировых руд (обзор) // Обогащение руд, 2011. № 4. С. 45.
9. Guang-yi Liu, Yi-ping Lu, Hong Zhong, Zhan-fang Cao, Zheng-he Xu. A novel approach for preferential flotation recovery of molybdenite from a porphyry copper-molybdenum ore // Minerals Engineering. 2012. Vol. 36–38. P. 37–44.
10. Vazifeh Y., Jorjani E., Bagherian A. Optimization of reagent dosages for copper flotation using statistical technique // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2010. Vol. 20. Iss. 12. P. 2371–2378.
11. Асончик К. М., Белова В. П. Совершенствование схемы переработки медно-молибденовой руды на Агаракской фабрике // Обогащение руд. 2010. №1. С. 20–21.
12. Арустамян А. М., Арустамян К. М. Совершенствование технологии обогащения медно-молибденовых руд Каджаранского месторождения // Горный журнал. 2010. Спец. выпуск. С. 44–47. [TX](#)

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 36–39
DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.07](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.11.07)

Higher efficiency of selection of copper and molybdenum minerals

Information about authors

M. G. Poloskov¹, Chief Executive Officer

M. A. Arustamyan², Chief Operating Officer, Candidate of Engineering Sciences, rivs@rivs.ru

Yu. P. Nazarov³, IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia, Director of Production Research Department, Candidate of Engineering Sciences

A. M. Arustamyan³, Chief Project Engineer, A_Arustamyan@rivs.ru

¹ Zangezur Copper and Molybdenum Plant, Kadzharan, Armenia

² IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia

³ RIVS-Project, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Mutual loss and inter-contamination of concentrates with different metals is one of the crucial difficulties in beneficiation of nonferrous metal ores. Moreover, the presence of an unwanted metal can result in considerable reduction in cost of the concentrates and, sometimes, in complete discard of the concentrates for there are chemical constraints that make impossible further hydro- or pyro-processing of the concentrates.

This difficulty is the feature of copper–molybdenum ore, particularly, concerning copper content of molybdenum concentrates. Hydrometallurgical processes are imposed with rigid constraints in terms of copper content of a marketable concentrate. As molybdenum concentrate reaches merchantability standards only after a few releaning stages (5–7), it is highly important to manage and control these selective operating stages.

The article describes an approach of including mechanical activation of bulk concentrate in the process circuit. Mechanical activation enables moderate, as against grinding, preparation of mineral surface for selective treatment with depressing agents towards perfectly higher efficiency of copper mineral deposition.

Keywords: copper-molybdenum ore, flotation, selection, mechanical activation.

References

1. Bocharov V. A., Ignatkina V. A. Mineral concentration technology : in two volumes. Moscow : "Ore and Metals" Publishing House, 2007. 472 p.
2. Abramov A. A. Theoretical basis of intensification of technological processes of flotation. *Tsvetnye Metall.* 2013. No. 2. pp. 17–21; No. 3. pp. 11–15; No. 4. pp. 12–17.

3. Karnaukhov S. N., Plyasovitsa S. S., Vilkova N. V. Technology of processing of molybdenium-bearing ores. *Tsvetnye Metall.* 2011. No. 8/9. pp. 55–61.
4. Shuhua Dua, Zhenfu Luo. Flotation technology of refractory low-grade molybdenum ore. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2013. Vol. 23, Iss. 2. pp. 255–260.
5. Abramov A. A. Collection of proceedings. Volume 7 : Flotation. Collecting agents. Moscow : Gornaya kniga, 2012. 656 p.
6. Sorokin M. M. Flotation methods of concentration. Chemical basis of flotation. Moscow : MISIS, 2011. 411 p.
7. Nakhael F., Irannajad M. Investigation of effective parameters for molybdenite recovery from porphyry copper ores in industrial flotation circuit. *Physicochemical Problems of Mineral Processing.* 2014. Vol. 50(2). pp. 477–491.
8. Sataev I. Sh., Baranov V. F. About the global practice of concentration of copper-porphyric ores (review). *Obogashchenie Rud.* 2011. No. 4. p. 45.
9. Guang-yi Liu, Yi-ping Lu, Hong Zhong, Zhan-fang Cao, Zheng-he Xu. A novel approach for preferential flotation recovery of molybdenite from a porphyry copper–molybdenum ore. *Minerals Engineering.* 2012. Vol. 36–38. pp. 37–44.
10. Vazifeh Y., Jorjani E., Bagherian A. Optimization of reagent dosages for copper flotation using statistical technique. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China.* 2010. Vol. 20, Iss. 12. pp. 2371–2378.
11. Asonchik K. M., Belova V. P. Improvement of scheme of processing of copper-molybdenum ore at Agarak plant. *Obogashchenie Rud.* 2010. No. 1. pp. 20–21.
12. Arustamyan A. M., Arustamyan K. M. Improvement of technology of concentration of copper-molybdenum ores of Kadzharan deposit. *Gornyi Zhurnal.* 2010. Special issue. pp. 44–47.

УДК 622.7

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Е. Н. ШУМСКАЯ¹, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук, rivs@rivs.ru
О. Ю. ПОПЕРЕЧНИКОВА¹, заведующая сектором
А. В. КУПЦОВА¹, минералог

¹ СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Полиметаллические руды отличаются большим разнообразием по стадиям и условиям минералообразования, соотношению главных рудных и породообразующих минералов, форме рудных тел, текстурно-структурным особенностям [1].

Руды могут относиться к разному генетическому типу, но некоторые особенности вещественного состава руд определяют их технологические свойства:

- вкрапленность и крупность сульфидных минералов, степень взаимного прорастания их между собой;
- соотношение извлекаемых и неизвлекаемых минеральных форм;
- неблагоприятное для селективного разделения соотношение минералов Cu:Pb:Zn:Py;
- присутствие глинисто-слюдистых минералов;
- наличие химически активных гидрофильных пород, интенсивно поглощающих собиратель (пироксены, углесодержащие карбонаты, тальк, серицит и др.);
- наличие в руде минералов, способствующих образованию в пульпе ионов тяжелых металлов;

Комплексный минералогический анализ полиметаллических руд позволил определить основные технологические параметры их переработки: стадильность и циклы извлечения минералов, применение селективных реагентов, анализ жидкой фазы минеральной пульпы в процессах измельчения и флотации, использование технологической машины Zimar для пульпоподготовки. На основании большого числа лабораторных исследований разработана технология переработки полиметаллических руд, которая позволяет обеспечивать высокую селективность разделения свинцовых, медных и цинковых минералов независимо от вещественного состава руд и не оказывает негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: полиметаллические руды, селекция медно-свинцового концентрата, флотационные реагенты.

DOI: [dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.08](https://doi.org/10.17580/gzh.2016.11.08)

- кислотно-щелочные свойства горных пород, способные изменять pH пульпы.

Результаты исследований флотиремости минералов меди, свинца и цинка из полиметаллических руд

В статье приведены результаты исследований флотиремости минералов меди, свинца и цинка из крупновкрапленной бедной по меди шихты, состоящей из руд гидротермальных месторождений Джурково и Дружба, перерабатываемых на Лакинской обогатительной фабрике (Республика Болгария) и тонковкраплен-