

Ф.А.ВАСИЛЬЕВ, магистрант, *vafyodor@ya.ru*

Г.И.ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСКАЯ, д-р геол.-минерал. наук, профессор, *kafmetall@mail.ru*

С.Н.САЛТЫКОВА, канд. техн. наук, доцент, *ssn_58@mail.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

F.A.VASILYEV, under-graduate student, *vafyodor@ya.ru*

G.I.DOLIVO-DOBROVOLSKAYA, Dr. in geol. & min. sc., professor, *kafmetall@mail.ru*

S.N.SALTYKOVA, PhD in eng. sc., associate professor, *ssn_58@mail.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОБЖИГ ТРУДНООБОГАТИМОЙ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЙ РУДЫ

В работе представлены результаты исследования влияния предварительной биологической обработки силикатными бактериями на протекание процесса обжига труднообогащаемой забалансовой медно-молибденовой руды.

Ключевые слова: медно-молибденовая руда, биообработка, силикатные бактерии, обжиг.

ROASTING OF DIFFICULT FOR CONCENTRATION COPPER-MOLYBDENUM ORE

The article analyses the research results of preliminary biological treatment by silicate bacteria influence on roasting process of refractory off-balance copper-molybdenum ore.

Key words: copper-molybdenum ore, biotreatment, silica bacteria, roasting.

В существующей к настоящему времени практике переработки кондиционных медно-молибденовых руд есть традиционный способ, в соответствии с которым на первом этапе происходит флотационное разделение меди и молибдена в медный и молибденовый концентраты. В дальнейшем из них раздельно получают медь и молибден по пиро- или гидрометаллургической технологии.

Одним из направлений научно-технического прогресса в области переработки минерального сырья является применение комбинированных технологий переработки минерального сырья, позволяющих значительно повысить комплексность использования этого сырья, снизить стоимость его переработки и обеспечить эффективную защиту окружающей среды. Примером таких технологий может быть сочетание процессов обогащения и металлургии с бактери-

альным выщелачиванием или бактериальной обработкой, которые относятся к процессам биотехнологии металлов [1, 2].

Наряду с хорошо изученными тионовыми бактериями в промышленной практике можно использовать и обработку руд и концентратов со значительной долей силикатной составляющей бактериальными растворами силикатных бактерий. Данный вид микроорганизмов воздействует на микроструктуру кварцсодержащих минералов, разрушая ее и увеличивая пористость и вскрываемость руды [3].

При использовании предварительной обработки руд растворами силикатных бактерий можно добиться снижения энергетических затрат в процессах дальнейшей их переработки, например при доизмельчении отвальных руд [5].

Объектом исследования в данной работе является исходная труднообогащаемая за-

лансовая сульфидная медно-молибденовая руда и та же руда, прошедшая биообработку силикатными бактериями. Исследовалось влияние предварительной биообработки руд на процессы, протекающие при дальнейшей термической обработке этих руд. Содержание основных элементов исследуемой руды следующее, %: Cu 0,55; Mo 0,017; Fe 2,86; S 2,58.

По проведенным минералогическим и химическим анализам сульфидная составляющая руды представлена следующими минералами: пирит (FeS_2), халькопирит (CuFeS_2), халькозин (Cu_2S), ковеллин (CuS), борнит (Cu_5FeS_4).

Минералогический состав медно-молибденовой руды следующий:

Минералы	Содержание, % (по массе)
Халькопирит (CuFeS_2)	0,17
Пирит (FeS_2)	4,3
Борнит (Cu_5FeS_4)	0,016
Оксид железа (FeO)	0,984
Халькозин (Cu_2S)	0,25
Ковеллин (CuS)	0,32
Молибденит (MoS_2)	0,028
SiO_2 общ	65,5
Породообразующие	28,4
Итого:	100

Приведенные минералы обладают либо слабомагнитными, либо немагнитными свойствами.

Температура обжига была выбрана на основе анализа литературных источников

[4, 7], согласно которым химические превращения при обжиге медно-молибденовых руд протекают в температурном диапазоне 250-900 °С, но из-за значительной летучести молибдита MoO_3 обжиг таких руд при температуре выше 600 °С проводить нецелесообразно.

В ходе опытов были проведены две серии обжигов в муфельной печи. В первой серии проводился обжиг материала (исходного и после биообработки) при температуре 400, 500 и 600 °С. Во второй серии обжиг материала (исходного и после биообработки) проводился по следующей схеме: обжиг при температуре 400 °С, отделение магнитной фракции, обжиг при 500 °С немагнитной фазы, вновь магнитная сепарация, снова обжиг немагнитной фазы при 600 °С и заключительная магнитная сепарация. После каждого обжига в обеих сериях материал проходил магнитную сепарацию и взвешивался. Начальная масса навески в обеих сериях 5 г.

В качестве характеристик, показывающих изменения в материалах, взяты убыль массы и выход магнитной фазы. Убыль массы определялась по формуле

$$Y = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\%,$$

где m_1 – масса материала, поставленного в печь; m_2 – масса материала после обжига.

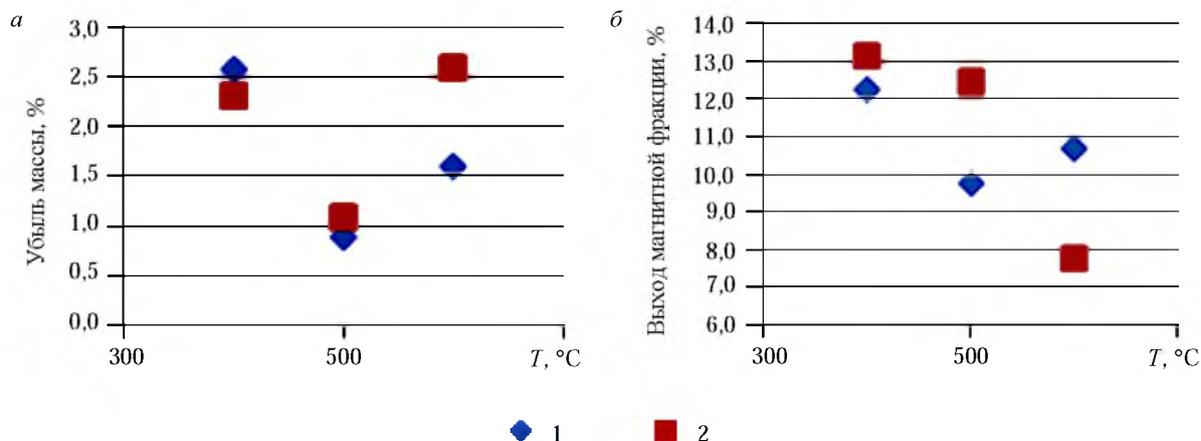


Рис.1. Убыль массы (а) и выход магнитной фракции (б) при обжиге исходного материала и материала, прошедшего биообработку (1-я серия)

1 – исходная руда; 2 – после биообработки

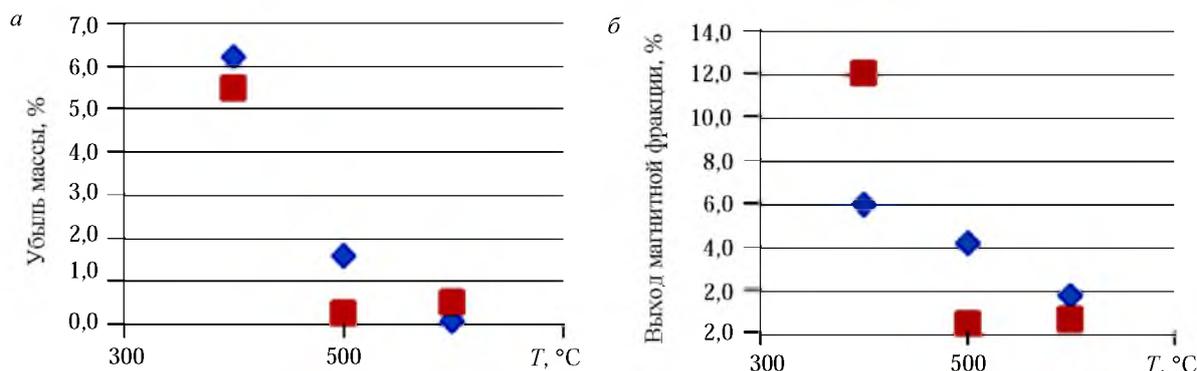


Рис.2. Убыль массы (а) и выход магнитной фракции (б) при обжиге исходного материала и материала, прошедшего биообработку (2-я серия)

Условные обозначения см. на рис.1

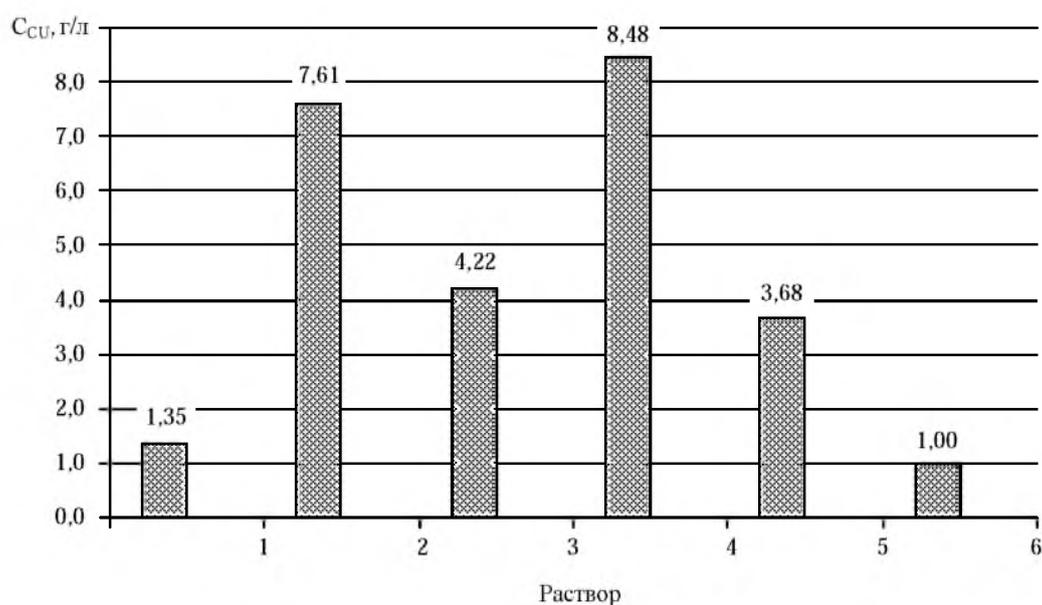


Рис.3. Результаты фотоколориметрического определения концентрации меди в растворах:

- 1, 3 – магнитная фаза исходной руды и руды после биообработки, обожженных при 500 °С;
- 2, 4 – немагнитная фаза исходной руды и руды после биообработки, обожженных при 500 °С;
- 5, 6 – необожженная руда после биообработки и исходная руда в растворе серной кислоты 2н

Выход магнитной фазы определялся по формуле

$$B = \frac{m_{\text{м.ф.}}}{m_1} 100 \%,$$

где $m_{\text{м.ф.}}$ – масса магнитной фазы, полученной при магнитной сепарации после обжига.

Зависимость убыли массы и выхода магнитной фракции от температуры обжига в первой серии показана на рис.1. Содержание магнитной фракции в исходных материалах 7,7 %.

Анализ выхода магнитной фракции в первой серии (рис.1, б) показал, что наибольшее количество магнитной фазы получается при 400 °С для обоих образцов руды (12,2 % для исходной руды и 13,2 % для руды после биообработки). При 500 °С наблюдается минимум выхода магнитной фракции в исходной руде 8,27 %. В материале после бактериальной обработки прослеживается тенденция снижения выхода магнитной фракции с повышением температуры в исследуемом интервале температур.

Анализ результатов опыта во второй серии проводился по той же методике. Значительная убыль массы (примерно 6 %) отмечалась при 400 °С (рис.2, а). При более высокой температуре во второй серии убыль массы была меньше (1 %).

Максимальный выход магнитной фракции во второй серии (рис.2, б) отмечался после обжига при 400 °С, при этом для образца после биообработки этот показатель в 2 раза больше, чем для образца исходной руды. Также наблюдается картина постепенного извлечения магнитной фракции из исходного материала с повышением температуры обжига, в то время как из образца после биообработки магнитная фракция в значительной мере извлечена уже при 400 °С.

Таким образом, предварительная биообработка позволяет уже при 400 °С отделить от основного материала максимальное количество (12 % от массы навески) магнитной фракции. Эксперимент показал, что материал можно обжигать при 400 °С, добиваясь удовлетворительных результатов, таким образом можно добиться существенной экономии в затратах на нагрев материала.

В эксперименте по выщелачиванию необожженных и обожженных руд наблюдается увеличение перехода меди в раствор из обожженной руды после биообработки (рис.3).

По результатам микроанализа в магнитных фракциях исходной руды и руды после биообработки медь не обнаруживается, в то время как после обжига в магнитных фракциях содержание меди 0,3 % (в исходной руде 0,55 %). После обжига значительная часть меди (94 % меди исходной руды) сосредотачивается в немагнитной фракции обожженной руды, прошедшей предварительную биообработку.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адамов Э.В.* Бактериальное и химическое выщелачивание металлов из руд. Итоги науки и техники / Э.В.Адамов, В.В.Панин // Обогащение полезных ископаемых. 1974. Т.8.
2. *Адамов Э.В.* Биогидрометаллургические процессы в технологии переработки минерального сырья / Э.В.Адамов, В.В.Панин. Л., 1990.
3. Воздействие силикатных бактерий на минеральные составляющие промышленных руд / М.Пурьвадш, С.Н.Салтыкова, Е.С.Афанашченко, Н.М.Теляков // Обогащение руд. 2011. № 1.
4. *Киндяков П.С.* Химия и технология редких и рассеянных элементов: Учеб. пособие для вузов. Ч.3. М., 1976.
5. *Пурьвадш М.* Бактериальное выщелачивание медно-молибденовой труднообогатимой руды месторождения «Эрдэнэтийн Оовоо»: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПбТИ. СПб, 2011.
6. *Саргсян Л.Е.* Фазовые превращения в медном концентрате с высоким содержанием пирита при поли-термическом нагреве / Л.Е.Саргсян, А.М.Оганесян // Цветные металлы. 2006. № 7.
7. *Хамхаш А.* Изменения фаз минералов при переработке сульфидного медного концентрата / А.Хамхаш, А.С.Медведев, Л.Н.Крылова // Цветная металлургия. 2007. № 1.

REFERENCES

1. *Adamov E.V., Panin V.V.* Bacterial and chemical leaching of metals from ores. Results of Science and Technology // Enrichment of Mineral resources. 1974. Vol.8.
2. *Adamov E.V., Panin V.V.* Biohydrometallurgical processes in the processing of mineral raw materials. Leningrad, 1990.
3. *Purevdash M., Saltykova S.N., Afanashchenko E.S., Telyakov N.M.* Effects of bacteria on silicate mineral components of industrial ore // Ore dressing. 2011. N 1.
4. *Kindyakov P.S.* Chemistry and technology of rare and trace elements: Textbook. Allowance for higher education. Part 3. Moscow, 1976.
5. *Purevdash M.* Bacterial leaching of copper-molybdenum ore deposits of refractory «Erdenetiyn Oovoo»: The author ... PhD in eng. sc. Saint Petersburg, 2011.
6. *Sargsyan L.Ye., Oganesyana A.M.* Phase transformations in copper concentrate with a high content of pyrite in polythermal heating // Nonferrous metals. 2006. N 7.
7. *Khamkhash A., Medvedev A.S., Krylova L.N.* Changes in mineral phases in the processing of sulphide copper concentrate // Nonferrous metals. 2007. N 1.