УДК 622.765

# ПРИМЕНЕНИЕ НУКЛЕОФИЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ ПРИ ФЛОТАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОЙ РУДЫ

Г. Ю. ГОЛЬБЕРГ, О. Г. ЛУСИНЯН, Д. Ю. МАРЧЕНКО,
А. С. КОРЗИНОВА, А. А. ЛАВРИНЕНКО
Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н. В. Мельникова РАН
Москва, Россия

В настоящее время в связи с вовлечением в переработку бедных малосульфидных руд сложного вещественного состава становится актуальной задача повышения эффективности обогащения таких руд, включая увеличение извлечения меди и никеля путем совершенствования реагентного режима флотации. Это достигается, в частности, применением органических реагентов, образующих комплексные соединения с ионами меди и никеля, в композиции с основным собирателем, как показано в [1, 2]. Механизм действия этих реагентов, согласно [3], основан на донорно-акцепторных взаимодействиях неподеленных электронных пар с вакантными *d*-орбиталями атомов и ионов переходных металлов, в том числе меди и никеля. По нашему мнению, из многочисленных реагентов, содержащих нуклеофильные атомы азота и способных к образованию комплексных соединений с ионами меди и никеля, интерес представляют азолы [4], а также азосоединения, содержащие ароматическое кольцо с гидроксильной группой в орто-положении к азогруппе [1], образующие прочные комплексы с названными металлами.

В данной работе выполнены экспериментальные исследования с целью определения влияния органических соединений, содержащих систему нуклеофильных атомов, на флотацию медно-никелевой руды.

Исследовали пробу медно-никелевой руды Кольского полуострова, содержащую 0,25 % меди, 0,44 % никеля, 17,2 % кремния. Минеральный состав: сульфиды (пентландит, виоларит, никеленосный пирротин), силикаты (антигорит, кордиерит в сростках с сульфидными минералами и др.). Медь содержится преимущественно в халькофиллите.

Были выбраны следующие реагенты:

– Р1 из класса азолов, с сопряженной системой атомов азота;

– Р2 – азосоединение с гидроксильной группой в орто-положении;

– Р3 – арсеназо I, также содержащий азогруппу и гидроксильную группу в орто-положении.

Лабораторные опыты по флотации осуществляли по двухстадиальной схеме, предусматривающей последовательное выполнение операций основной флотации всей пробы руды и контрольной флотации хвостов. Последовательность подачи реагентов на каждой из операций: модификатор → собиратель (бутиловый ксантогенат калия, БКК) → пенообразователь (метилизобутил-

карбинол, МИБК). Суммарный расход БКК составил 112 г/т, МИБК – 21 г/т. Расход модификатора варьировали в пределах от 0 до 5 г/т. По результатам опытов определяли: выход концентрата, извлечение меди и никеля (соответственно γ, εCu и εNi). На рис. 1 представлены графики зависимости εCu и εNi от расхода исследованных модификаторов.

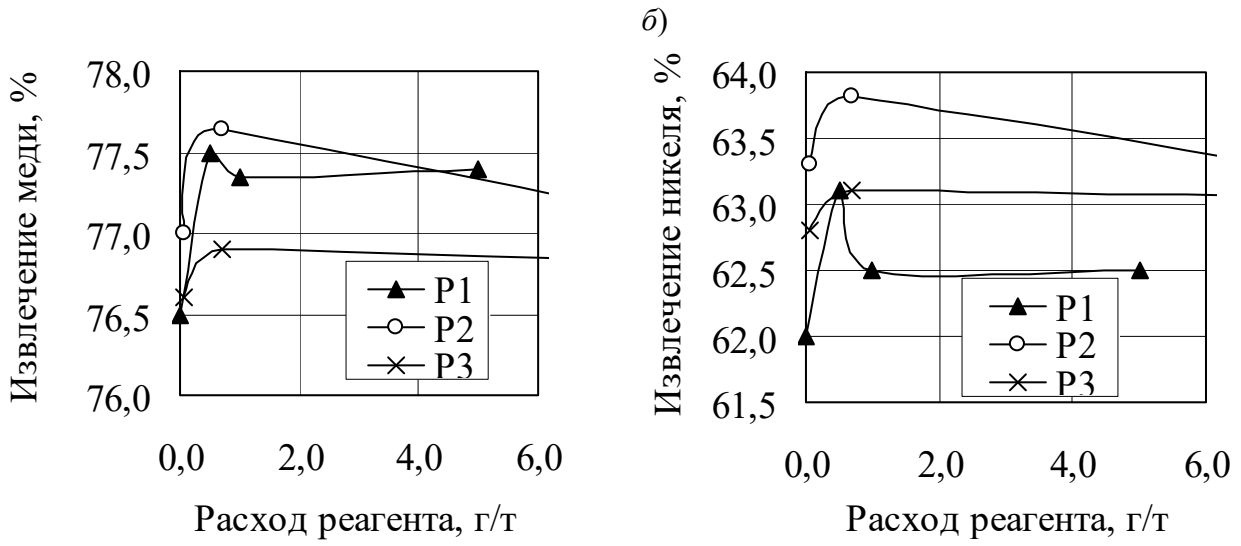


Рис. 1. Влияние расхода модификаторов на извлечение металлов: *а* – медь; *б* – никель

Как видно на рис. 1, наибольшие значения εCu и εNi достигаются при расходе модификаторов примерно 1 г/т, причем наиболее эффективен Р2. Меньшие значения εCu и εNi для Р3 по сравнению с Р2 обусловлены, вероятно, большими размерами молекулы Р3, поэтому для этого реагента прочность комплексов с металлами меньше, чем для Р2.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований выявлена перспективность применения при флотации медно-никелевых руд модификаторов: реагента из класса азолов с сопряженной системой атомов азота и азосоединения с гидроксильной группой в орто-положении.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гусев, В. Ю.** Азопроизводные пирокатехина, резорцина и салициловой кислоты как собиратели для флотации сульфидных руд / В. Ю. Гусев, Е. В. Байгачева, В. О. Гоголишвили // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92, № 12. – С. 1598–1609.

2. **Базарова, Е. А.** Возможности использования бифункциональных азотсодержащих собирателей при флотации медно-никелевых руд / Е. А. Базарова, Е. В. Черноусенко, Г. В. Митрофанова // Цветные металлы. – 2025. – № 11. – С. 24–29.

3. **Рябой, В. И.** О поверхностных реакциях флотореагентов с минералами на основе их донорно-акцепторного взаимодействия / В. И. Рябой // Обогащение руд. – 2008. – № 6. – С. 24–30.

4. **Кузнецов, Ю. И.** Физико-химические аспекты защиты металлов ингибиторами коррозии из класса азолов / Ю. И. Кузнецов, Л. П. Казанский // Успехи химии. – 2008. – Т. 77, № 3. – С. 227–241.