

УДК 622.7.621.926.3

**М.И. Манцевич, Р.А. Малинский, Г.А. Лапшина,  
М.И. Херсонский**

**РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ РУД  
ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ, НАПРАВЛЕННОЕ  
НА ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

*Рассматриваются технологии обогащения руд цветных металлов, позволяющие путем очистки от сульфидов железа повысить качество флотационных концентратов и улучшить экологическую безопасность их переработки. Приводятся примеры развития технологических схем и реагентных режимов флотации сложного минерального сырья.*

*Ключевые слова: руда, обогащение, концентраты, экология, сульфиды.*

---

**Д**обыча и переработка полезных ископаемых связана с образованием твердых техногенных отходов, складываемых на ландшафте, а также, с загрязнением водных источников и атмосферы.

Сырьевая база цветной металлургии характеризуется возрастанием доли переработки труднообогатимых, тонковкрапленных руд, обедненных по содержанию ценных компонентов. Это приводит к увеличению объемов складываемых отвальных продуктов: вскрышных пород, забалансовых руд, хвостов обогатительных фабрик, металлургических шлаков и промежуточных продуктов. Повышается потребление водных ресурсов, и возрастают объемы металлургических газов.

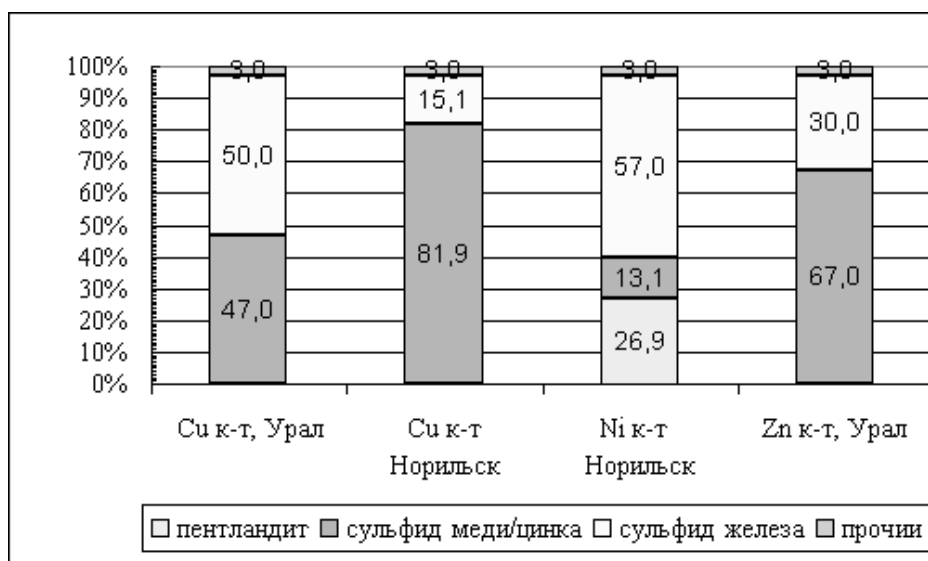
С точки зрения экологии особенно опасным является отравление водных источников ионами тяжелых цветных металлов и флотационными реагентами, а воздушной среды — диоксидом серы. Если складирование твердых продуктов (отвалы, хвостохранилища и др.) вызывает местные экологи-

ческие осложнения, то негативное действие промышленных вод и металлургических газов на окружающую среду распространяется на значительные расстояния.

Задачу очистки сточных вод в определенной мере решает оборотное водоснабжение. Для защиты воздушного бассейна необходима утилизация образующегося в металлургическом переделе диоксида серы. Влияние производственных газов на изменение климата делает эту задачу особенно актуальной, выводя её на ведущее место среди других экологических проблем.

Обычно диоксид серы используют для получения серной кислоты, возможна утилизация в виде элементной серы. Но самым дешевым способом, не требующим существенных затрат, является использование возможностей обогатительного процесса.

Количество диоксида серы, образующего в процессе металлургической плавки, напрямую связано с качеством получаемых концентратов. Кроме целевых минералов в концен-



**Рис. 1. Содержание основных минералов в концентратах**

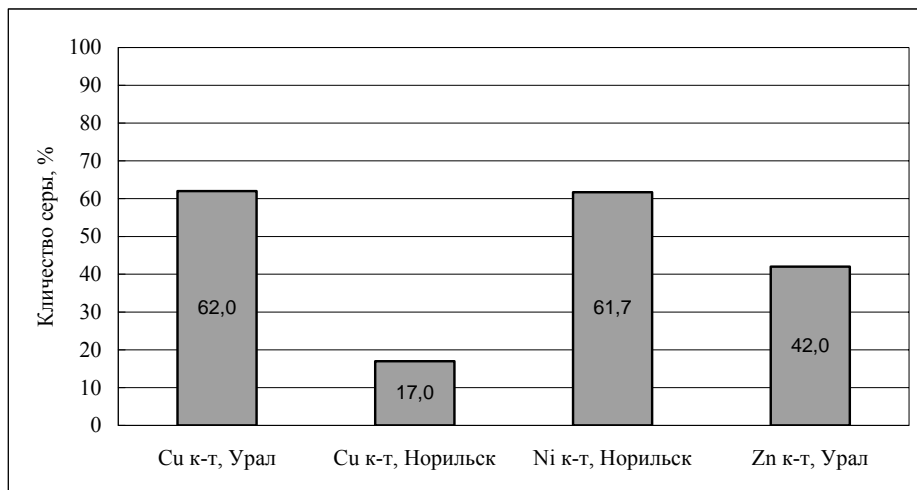
тратах присутствуют загрязняющие их балластные составляющие, главным образом сульфиды железа. Медные концентраты, перерабатываемые на заводах Урала, содержат 15–16% меди или 45% халькопирита и около 50% пирита. В цинковых концентратах содержание пирита доходит до 30%. В никелевых концентратах Норильска содержание пирротина достигает 70%, при 5–9% никеля, что соответствует всего 15–38% пентландита, и только медные концентраты, получаемые из богатых медно-никелевых руд, имеют более 80% халькопирита (рис. 1).

Все руды цветных металлов обогащаются с использованием флотации. Практика обогащения показывает, что приоритетными направлениями повышения качества концентратов являются: глубокое вскрытие рудного сырья, доизмельчение промежуточных продуктов и реагентные режимы, обеспечивающие эффективную депрессию сульфидов железа. Для очистки концентратов от сульфидов же-

леза в частности может использоваться диоксид серы или реагенты, получаемые на его основе [1]. Повышение качества медного концентрата в Норильске было достигнуто за счет применения бисульфита натрия, получаемого путем взаимодействия диоксида серы и соды на одном из предприятий комбината. Содержание меди в медном концентрате было увеличено на 3–4% и достигло 28–29%, при соответствующем сокращении количества пирротина.

Аналогичные исследования были проведены и на пиритсодержащих рудах [2]. Установлена возможность использования диоксида серы в качестве модификатора при флотации медно-цинковых руд.

Очевидно, что полностью удалить из концентратов сульфиды железа не удастся, но снижение их содержания даже на 25–30% позволит сократить затраты не только на утилизацию диоксида серы, но и уменьшит расходы на плавку за счет снижения объемов перерабатываемых концентратов.



**Рис. 2. Количество серы, поступающей в металлургический передел с сульфидами железа**

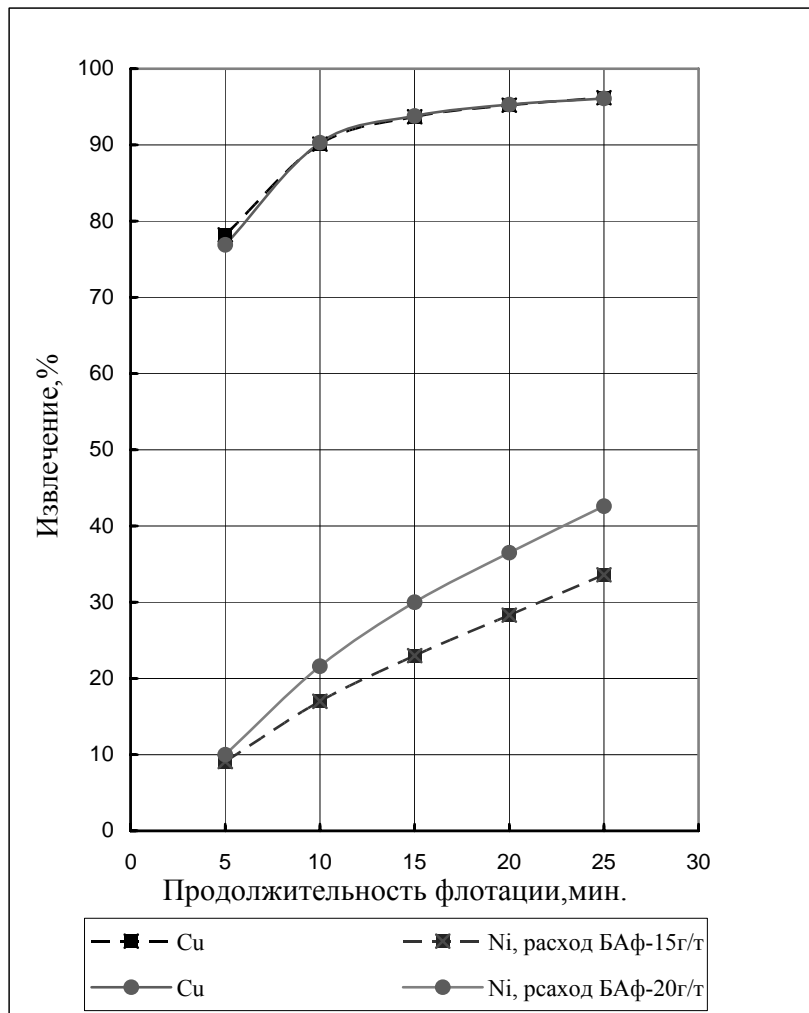
Из всего горно-металлургического комплекса металлургический передел является самым затратным [3]. В этой связи сокращение объемов концентратов за счет повышения их качества существенно сокращает производственные расходы.

На рис. 2 показано, какое количество серы, от общего количества, содержащегося в концентратах, поступает в металлургический передел с сульфидами железа. Сложность очистки концентратов от сульфидов железа заключается в том, что подавление их флотиремости не должно снижать извлечение основных ценных компонентов. Среди предприятий цветной металлургии России по объемам производства ведущее место занимают промышленные объекты Норильского региона.

Выбросы серы в атмосферу в Заполярном филиале ОАО «ГМК «Норильский никель» оцениваются в 1

млн т/год [4]. Основными источниками загрязнения являются пирометаллургические переделы, перерабатывающие флотационные концентраты. Утилизация газов требует больших капитальных и эксплуатационных затрат.

Качество концентратов определяется возможностями флотационного процесса, для которого основным является максимальное извлечение халькопирита, пентландита и драгметаллов, а также удаление пирротина и пустой породы. Наиболее существенными результатами, достигнутыми при обогащении богатых руд в последние 5—10 лет, оказались: применение бисульфита натрия в медной флотации, диметилдитиокарбамата — в никель-пирротиновой и переход на селективно-коллективно-селективную технологическую схему. Достигнутое перераспределение никеля и драгметаллов между никелевым и пирротиновым концентратами по-



**Рис. 3. График зависимости извлечения никеля и меди от продолжительности флотации при разных расходах бутилового аэрофлота (БАф)**

зволило направить основные ценные составляющие в пирометаллургический передел, минуя автоклавную технологию. Извлечение никеля в никелевый концентрат вместо 56% составило 73%. Содержание никеля в концентрате возросло с 7,5% до 9,5—10%. Соответственно

количество пирротина снизилось с 65% до 50%.

Возможности флотации определяются содержаниями в извлекаемых минералах ценных компонентов. В халькопирите содержится 34,6% меди и 34,9% серы, в пентландите — 34,2% никеля и 33,2% серы, в пир-

ротине — 39,6% серы, в пирите — 53,5% серы.

Минералогические и технологические исследования богатых и медистых медно-никелевых руд месторождений Норильска и практика их переработки показывают, что достигнутый к настоящему времени уровень извлечения ценных компонентов в селективные концентраты, медный и никелевый, и их качество не являются предельными. Особенность этих руд состоит в том, что при измельчении первыми освобождаются от сростков медные и породообразующие минералы. Для раскрытия сростков пентландита и пирротина требуется более тонкое измельчение. Сверхтонкие включения пентландита отделяются от пирротина весьма трудно. В связи с этим, а также с учетом лучшей флотуемости медьсодержащих минералов, в качестве базовой была принята селективно-коллективно-селективная (СКС) схема, которая основана на природных свойствах сульфидов, в частности на более крупной вкрапленности и активной флотуемости медных минералов.

Скорость флотации халькопирита существенно выше флотуемости сульфидов железа и никеля (рис. 3). Выделение халькопирита при минимальных расходах собирателя позволяет получать богатые медные концентраты при минимальных расходах депрессоров и без использования извести. Подавляемые сульфиды никеля и пирротин в цикле селективной флотации меди практически не взаимодействовали с собирателем, который целиком сорбирован халькопиритом. Главный принцип, заложенный в основу развития технологии, в частности схемы обогащения, состоял в стадийном измельчении и селективном извлечении минералов по мере раскрытия

сростков. Преимущество стадийной схемы обогащения состоит в том, что в каждом цикле флотации выделяют минералы определенного спектра крупности, при необходимой продолжительности процесса и расходе реагентов.

Доизмельчение грубого медного концентрата до 85% содержания класса — 44 мкм и двукратная его перемелка, позволили получить медный концентрат, содержащий 28—30% меди при извлечении 85—90%.

После получения медного концентрата, сосредоточив в пенных продуктах сульфидные составляющие (пентландит и пирротин), выделяют породные хвосты.

Никельсодержащие сульфиды от пирротина отделяют в две стадии, последовательно проводя никелевую и никель-пирротинную флотацию. Первый никелевый концентрат получают после доизмельчения концентрата основной никелевой флотации, объединенного с камерными продуктами перемелки медного концентрата. Второй — после доизмельчения концентрата основной никель-пирротинной флотации и камерных продуктов перемелки никелевого цикла. Получение двух никелевых концентратов обеспечивает повышение показателей обогащения по извлечению ценных компонентов и качеству суммарного никелевого концентрата. Качество никелевого концентрата можно регулировать за счет второй стадии, согласно требованиям металлургического передела.

Для удаления пирротина в схеме использованы открытые циклы, не позволяющие накапливаться пирротину в циркулятах. В никель-пирротинном цикле из процесса выводят малоникелистый пирротин.

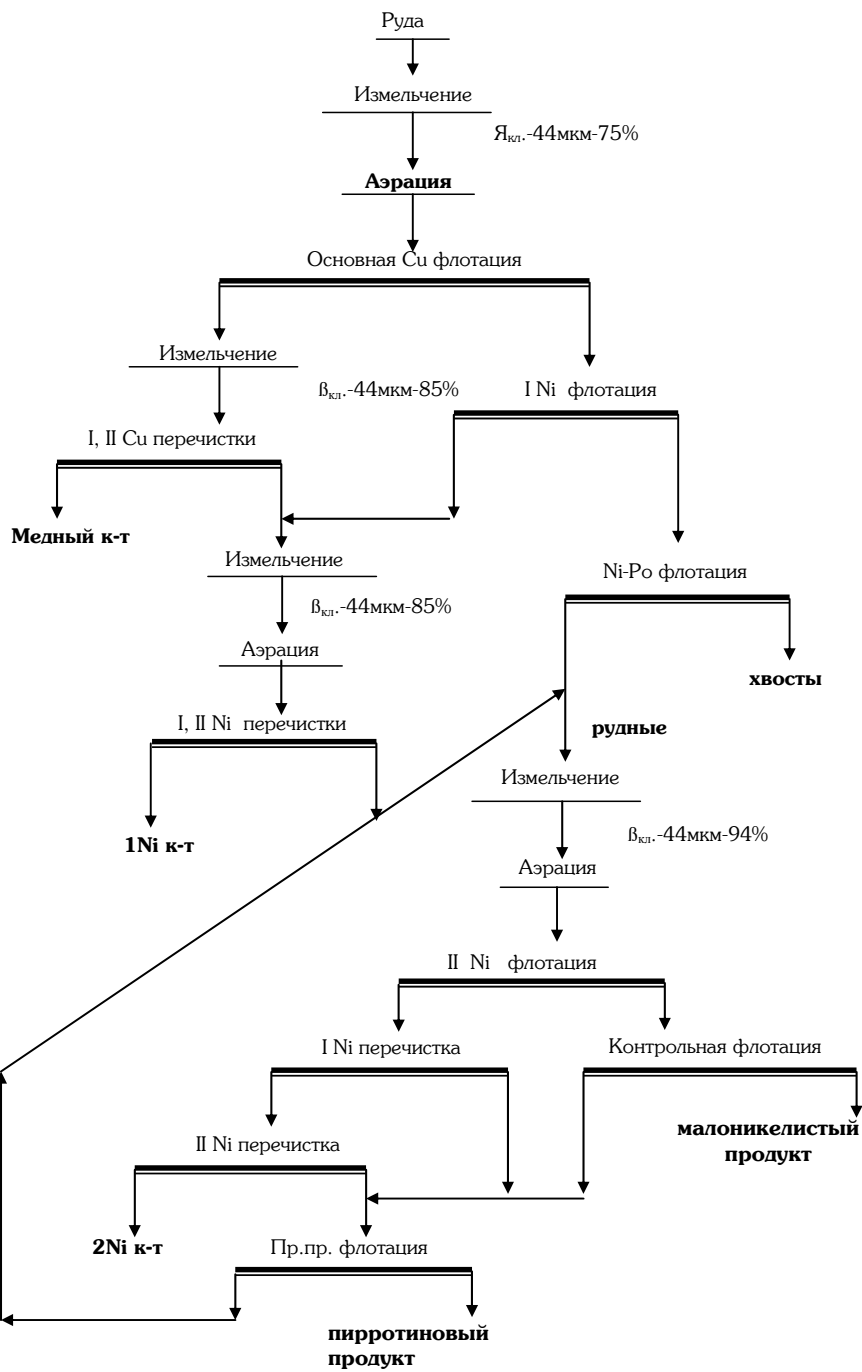


Рис. 4. Технологическая схема флотации

Таблица 1

**Технологические показатели обогащения**

Продукт	Выход %	Содержание, %				Извлечение, %			
		Ni	Cu	Fe	S	Ni	Cu	Fe	S
Сu к-т	13,1	0,86	29,2	33,4	34,7	4,5	88,6	11,6	21,2
Ni к-т	12,3	15,02	3,2	43,5	34,6	73,6	9,1	14,1	19,9
Po к-т	14,6	2,06	0,2	54,6	30,8	12,0	0,8	21,1	21,0
Малоникелистый к-т	22,4	0,78	0,1	55,6	32,2	7,0	0,6	32,9	33,6
Хвосты	37,6	0,19	0,1	20,5	3,1	2,9	0,9	20,4	5,4
Исходное	100	2,51	4,3	37,9	21,4	100	100	100	100

Пирротиновый концентрат получают в виде камерного продукта промпродуктового цикла, суммарное содержание никеля в котором составляет 1,8—2% при извлечении на уровне 10—12%.

При флотации используют реагенты, применяемые в практике обогащения руд Норильска: аэрофлоты, ксантогенаты, ДМДК, МИБК и известь, а также пиросульфит натрия, который можно рассматривать как аналог бисульфита натрия. Отличие состоит в том, что вместо бутилового ксантогената применен амилловый. Технологическая схема обогащения смеси богатых и медистых руд показана на рис. 4, технологические показатели приведены в табл. 1.

Оценка снижения выбросов серы за счет повышения содержания никеля в никелевом концентрате с 9,2

до 15 % приведена в табл. 2.

Повышение содержания никеля в концентрате с 9,2 до 15 % снижает количество, поступающей в металлургический передел, серы на 170 тыс. т/год, и соответственно на 40 % уменьшает выбросы диоксида серы при плавке никелевых концентратов, получаемых из богатых медно-никелевых руд. Содержание пирротина в никелевом концентрате сокращается до 22,4 %.

При получении богатых никелевых концентратов труднообогатимая часть ценных компонентов будет сосредоточена в пирротиновом продукте, флотацией не обогащаемом. Химическое обогащение этого продукта в настоящее время осуществляют по окислительно-автоклавной технологии, основной недостаток которой заключается в низком из-

Таблица 2

**Снижение выбросов серы при повышении содержания никеля в никелевом концентрате до 15%**

Содержание никеля в концентрате, %	Выход к-та, %	Выбросы серы, тыс. т/год	Сокращение выбросов серы		Содержание пирротина в концентрате, %
			тыс. т/год	%	
9,2	21,0	425	-	-	52,4
12,0	15,8	320	105	24,7	27,9
15,0	12,6	255	170	40,0	22,4

влечении платиноидов. Этот недостаток можно устранить, если применить ангидридную технологию, позволяющую, кроме того, утилизировать отходящие серосодержащие газы. Утилизация сернистого ангидрида из отходящих газов пирометаллургии определяет целесообразность применения этой технологии [5].

Технология обеспечивает снижение затрат на металлургический передел и утилизацию образующегося диоксида серы. Первое достигается снижением объемов никелевого концентрата, поступающих в пирометаллургический передел, за счет повышения содержания никеля до 12—14%, второе — использованием образующегося диоксида серы для химического обогащения выделяемого при получении богатого никелевого концентрата, пирротинового продукта.

Технология состоит из трех самостоятельных переделов:

- обогатительного, обеспечивающего получение богатого никелевого концентрата, содержащего 12—14% никеля и пирротинового продукта с содержанием никеля около 2% и пирротина 70—75%;

- пирометаллургического, перерабатывающего богатый никелевый концентрат и концентрат химического обогащения пирротинового продукта;

- гидрометаллургического (химическое обогащение), обеспечивающего утилизацию диоксида серы путем выщелачивания пирротина из пирротинового продукта и получение сульфидного концентрата и элементной серы. Использование диоксида серы, выделяющегося при плавке богатого никелевого концентрата, для гидрометаллургического выщелачивания пирротинового продукта, исключает затраты на его утилизацию.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шубов Л.Я., Иванков С.И. Запатентованные флотационные реагенты. — М.: Недра, 1992. — 361 с.

2. Бочаров В.А., Рыскин М.Я. Технология кондиционирования и селективной флотации руд цветных металлов. — М.: Недра, 1993. — 287 с.

3. Мушкатин Л.М., Рябко А.Г., Абрамов Н.П. // Новые процессы в металлургии никеля, меди и кобальта: науч. тр. / Гипро-

никель. — М.: Изд. дом «Руда и металлы» 2000. С. 3—11.

4. Филиппов В.С., Барышев А.А. Проблемы производства серы из отходящих газов металлургических агрегатов // Цветные металлы. — 2009. — № 8. — С. 36—41.

5. Соболев С.И., Фраш Т.М. Сернистый ангидрид в автоклавной технологии переработки сульфидного сырья. // Цветные металлы. — 1974. — № 2. — С. 14—21. **ГИАБ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Манцевич Марк Иосифович – доктор технических наук, зав. лабораторией,  
e-mail: m.mantsevich@gintsvetmet.ru;

Малинский Р.А. – кандидат технических наук,  
Херсонский М.И. – кандидат технических наук,

Лапшина Г.А. –  
ФГУП «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», gintsvetmet.msk@gmail.com

