

ВЫДЫШ Алла Владиславовна

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
СУЛЬФАТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ВЫСОКОМЕДИСТОГО
ФАЙНШТЕЙНА**

Специальность: 05.16.02 – Metallургия черных, цветных
и редких металлов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург

2005

Работа выполнена в Заполярном филиале ОАО "ГМК "Норильский никель"

Научный руководитель:

Доктор технических наук,
профессор

Морачевский Андрей Георгиевич

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук,
профессор

Белоглазов Илья Никитич

Кандидат технических наук,
доцент

Андреев Юрий Владимирович

Ведущая организация:

ОАО "Институт Гипроникель"

Защита состоится " ____ " _____ 2005 года в ____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.14 в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный политехнический университет" по адресу: 195251, г.Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29, СПбГПУ, химический корпус, ауд. № 51.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ГОУ "СПбГПУ"

Автореферат разослан " ____ " _____ 2005 г.

Ученый секретарь

д.т.н., проф.

Кондратьев С.Ю.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одним из наиболее ответственных пределов комплексной технологии переработки высокомедистых фанштейнов является технология сульфатного выщелачивания фанштейна, обеспечивающая получение никель-кобальтового раствора с содержанием меди и железа не более 1 мг/дм^3 и сульфидного медного продукта (СМП), содержащего $\sim 0,5\%$ никеля и железа, пригодного для прямой бесконвертерной плавки на черную медь. В связи с разработкой технологии выщелачивания высокомедистого сырья ($\text{Cu:Ni} \approx 2:1$), основанной на использовании новых режимов и сочетаний основных операций, наработанный экспериментальный материал по переработке традиционных "никелистых" фанштейнов и развитые на его основе теоретические представления были недостаточны для качественного и количественного описания химических закономерностей выщелачивания высокомедистого фанштейна.

Цель работы Оптимизация режимов операций и определение физико-химических закономерностей процессов сульфатного выщелачивания высокомедистого фанштейна.

Основные задачи:

1. Поиск оптимальных режимов проведения операций атмосферной медочистки, окислительного выщелачивания и автоклавного рафинирования.
2. Исследование фазовых преобразований, протекающих в процессах атмосферного и автоклавного выщелачивания высокомедистого фанштейна.
3. Определение группы основных химических реакций, уточнение степени их протекания в реальных условиях операций сульфатной технологии выщелачивания высокомедистого фанштейна.

Методы исследований Испытания технологических режимов операций технологии сульфатного выщелачивания высокомедистого фанштейна и их сочетаний проводились на лабораторных и полупромышленных установках в периодическом и непрерывном режимах. Результаты работы получены с применением комплекса современных методов исследования: рентге-

нодифракционного анализа, растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа. Экспериментальные данные были обработаны с использованием элементов математической статистики. Теоретические балансовые показатели были получены в режиме замкнутых расчетов в программе Microsoft Excel с применением циклических ссылок с высоким количеством предельных итераций вычисления.

Научная новизна работы.

1. Получены новые данные об особенностях выщелачивания элементов триады железа и осаждения меди в операции атмосферной медеоочистки.

2. Впервые расчетным путем определена степень протекания химических реакций и количественный фазовый состав твердых продуктов для процессов атмосферной медеоочистки, атмосферного окислительного выщелачивания, автоклавно-окислительного выщелачивания, автоклавного рафинирования высокомедистого фанштейна.

3. Впервые установлены этапность протекания основных химических взаимодействий в операции автоклавно-окислительного выщелачивания высокомедистого фанштейна и количественные показатели динамики распределения металлов и серы в данном процессе.

4. Получены новые сведения в области закономерностей окисления сульфидной серы.

Практическая ценность работы. Основные выводы работы обеспечивают надежную основу для разработки критериев и принципов управления процессами медеоочистки, окислительного выщелачивания и автоклавного рафинирования. Результаты работы позволили значительно углубить понимание физико-химических закономерностей процессов, протекающих при выщелачивании медно-никелевых фанштейнов и были использованы при выполнении балансовых расчётов в Технологическом регламенте, при разработке технического проекта и технико-экономического обоснования эффективности технологии гидрометаллургической переработки высокомедистого фанштейна в ЗФ ОАО "ГМК" Норильский никель".

На защиту выносятся

1. Результаты исследований процессов атмосферной медочистки, окислительного выщелачивания и автоклавного рафинирования высококомедистого фанштейна в лабораторном и полупромышленном масштабах.
2. Динамика изменения рационального состава твердой фазы пульпы автоклавно-окислительного выщелачивания на различных стадиях процесса.
3. Распределение никеля, меди и серы между продуктами обработки на различных стадиях автоклавно-окислительного выщелачивания.
4. Химизм основных операции технологии сульфатного выщелачивания высококомедистого фанштейна с количественными значениями степени протекания основных химических реакций.

Апробация работы. Результаты диссертации рассматривались на II Международной конференции "Металлургия цветных и редких металлов" (Красноярск, 2003 г.), на Международной конференции «ALTA-2005 Nickel/Cobalt and copper conference» (Перт, Австралия, 2005 г.). Материалы диссертации были доложены на Всероссийской конференции "Новые технологии в металлургии, химии, обогащении и экологии" (Санкт-Петербург, 2004 г.), на научно технических конференциях в Норильском индустриальном институте (Норильск, 2001, 2005 г.г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе патент на изобретение.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 125 наименований и трех приложений, содержит 153 страницы основного текста, в том числе 20 таблиц, 52 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1. Обзор литературы по переработке плавяных сульфидных материалов по сульфатной технологии

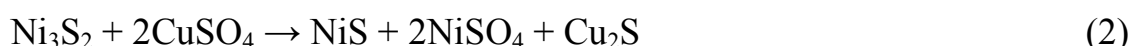
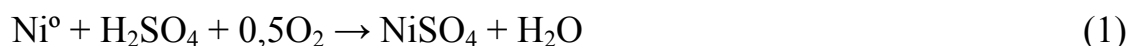
В данном разделе рассмотрены имеющиеся сведения в области фазовой минерализации медно-никелевых файнштейнов и атмосферно-автоклавной гидрометаллургии плавяных сульфидов никеля и меди. Представлены краткая характеристика и химизм основных гидрометаллургических операций сульфатной технологии переработки медно-никелевых файнштейнов.

Глава 2. Изучение особенностей процесса атмосферной медочистки

Данный раздел посвящен определению влияния параметров операции атмосферной медочистки (АМО) на степень очистки раствора от меди и извлечение никеля из файнштейна. Степень очистки раствора от меди определялась остаточной концентрацией меди в растворе АМО, величина которой должна составлять значение ≤ 1 мг/дм³.

В результате проведенных исследований установлено, что для глубокого осаждения меди с остаточной концентрацией в растворе 1 мг/дм³ достаточно 20-ти минутной продолжительности АМО. Максимальное извлечение никеля в раствор составило 30,19% при продолжительности медочистки 60 минут. Минимальный удельный расход файнштейна, обеспечивающий достижение заданной остаточной концентрации меди в растворе, составлял 17,78 кг/кг Cu.

Известно, что извлечение никеля в раствор обеспечивается протеканием реакций растворения металлической фазы и "цементационного" осаждения меди:



Существенное влияние на величину извлечения никеля в раствор оказывает степень металлизации файнштейна, величина которой определяется содержанием серы. При содержании серы более 22% решающее влияние на степень извлечение никеля в раствор оказывает удельный расход файнштейна, поскольку никель переходит в раствор в основном по механизму (2). При

пониженном содержании серы в фанштейне получает развитие реакция (1), а извлечение никеля в раствор в большей степени определяется расходом серной кислоты и в меньшей степени - удельным расходом фанштейна (рис.1).

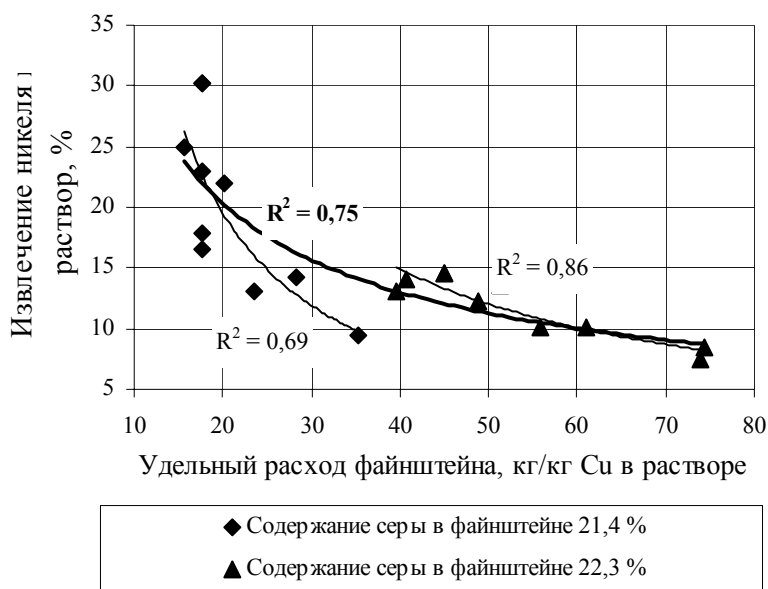


Рис.1. Влияние удельного расхода фанштейна на извлечение никеля в раствор в операции атмосферной медочистки

Глава 3. Изучение особенностей процессов двухстадийного автоклавного выщелачивания

В ходе лабораторных исследований варьировали значения следующих параметров операции автоклавно-окислительного выщелачивания (АОВ): удельного расхода серной кислоты, температуры, парциального давления кислорода и определяли их влияние на процесс автоклавного выщелачивания в целом. Критерием оценки результатов экспериментов являлась величина остаточного содержания никеля в СМП (менее 0,5% Ni и Fe), а также величина извлечения серы и меди в раствор автоклавного рафинирования.

В результате лабораторных исследований процесса АОВ установлено, что одним из наиболее важных режимных параметров операции автоклавно-окислительного выщелачивания является отношение Ж/Т в питании операции, т.е. объем подаваемого в процесс АОВ никелевого анолита. Активной составляющей никелевого анолита является свободная серная кислота, обеспечивающая протекание процессов выщелачивания. Из рисунка 2 следует, что зависимость остаточного содержания никеля в СМП от удельного расхо-

да кислоты имеет экстремальный характер. При этом с увеличением удельного расхода кислоты сквозное извлечение меди в раствор автоклавного рафинирования (АР) возрастало линейно.

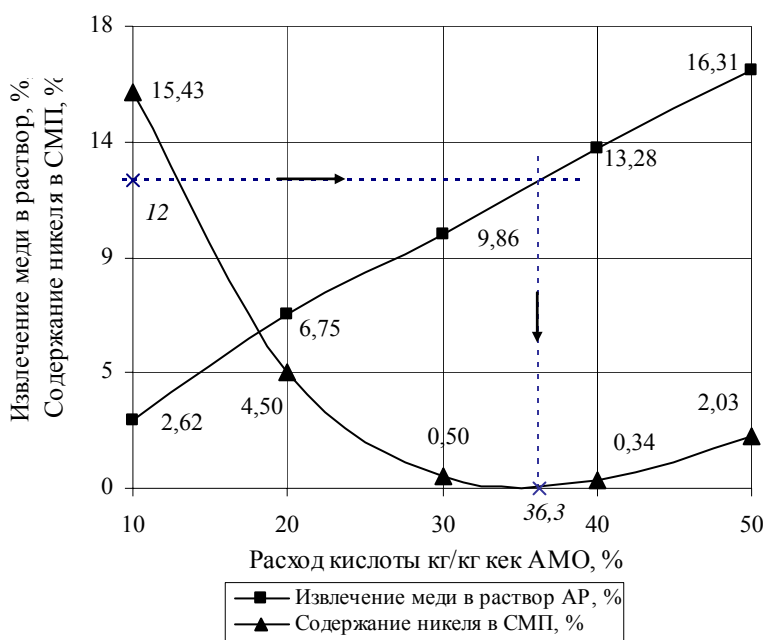


Рис.2. Влияние удельного расхода кислоты в операции АОВ на сквозное извлечение меди в раствор и остаточное содержание никеля в СМП.

При увеличении температуры автоклавно-окислительного выщелачивания со 110°C до 130°C имело место резкое увеличение сквозного извлечения серы в раствор АР с 25,4% до 42,0%, что свидетельствует о нецелесообразности повышения данного параметра.

Увеличение парциального давления кислорода также приводило к росту сквозного извлечения серы в раствор АР, но позволило снизить продолжительность АОВ до 25 минут. В результате исследований в зависимости от парциального давления кислорода и продолжительности АОВ определено 2 режима работы.

Глава 4. Результаты проведения полупромышленных испытаний

В течение 1998÷2003 г.г. на малой полупромышленной установке (МППУ) Лаборатории автоклавных процессов (ЛАП) были проведены три кампании полупромышленных испытаний, в ходе которых осуществлялась отработка режимов операций АМО, АОВ и АР.

В результате проведения I-ой кампании полупромышленных испытаний был отработан периодический режим операции АМО при массовых от-

ношениях твердой и жидкой фазы в питании АМО в условиях имитации работы передела электроэкстракции никеля с $\Delta Ni = 30 \text{ г/дм}^3$.

Во II-ой кампании полупромышленных испытаний была проведена отработка режимов операций АМО, АОВ и АР при имитации работы процесса электроэкстракции никеля с использованием диафрагменных анодных ячеек и повышенным значением показателя $\Delta Ni=50 \text{ г/дм}^3$. При этом АМО проводили в периодическом режиме, а АОВ и АР – в непрерывном.

В III-й кампании оценивалась возможность проведения процесса АМО в непрерывном режиме с полупромышленным тестированием твердого продукта АМО в периодическом режиме.

В результате полупромышленных испытаний операции атмосферной медеоочистки, проведенных в периодическом и непрерывном режимах, подтверждена возможность достижения регламентных показателей – обеспечение остаточной концентрации меди в никель-кобальтовом растворе не более 1 мг/дм^3 .

Сравнение показателей АМО в непрерывном и периодическом режимах свидетельствовало о том, что во избежание «обратного перехода» меди в раствор загрузка измельченного фэйнштейна в операцию АМО должна осуществляться одновременно с подачей окислителя (воздуха).

Согласно результатам полупромышленных испытаний при осуществлении АМО в непрерывном режиме процесс осаждения меди до регламентного уровня (1 мг/дм^3) протекал за ~ 40 минут.

При проведении полупромышленных испытаний двухстадийного автоклавного выщелачивания в непрерывном режиме был получен кондиционный по никелю сульфидный медный продукт, %: 0,34 Ni; 68,30 Cu; 0,06 Co; 0,80 Fe; 24,4 S. В операциях АОВ (Ж/Т пульпы $\sim 5,5:1$, расход H_2SO_4 – 358,7 кг/т твердого, Po_2 - 0,22 МПа, t - 110°C , продолжительность стадии аэрации пульпы кислородом – 21 мин.) и АР (t - 150°C , время пребывания пульпы – 2,0 ч.) были сняты динамические характеристики процессов (рис.3).

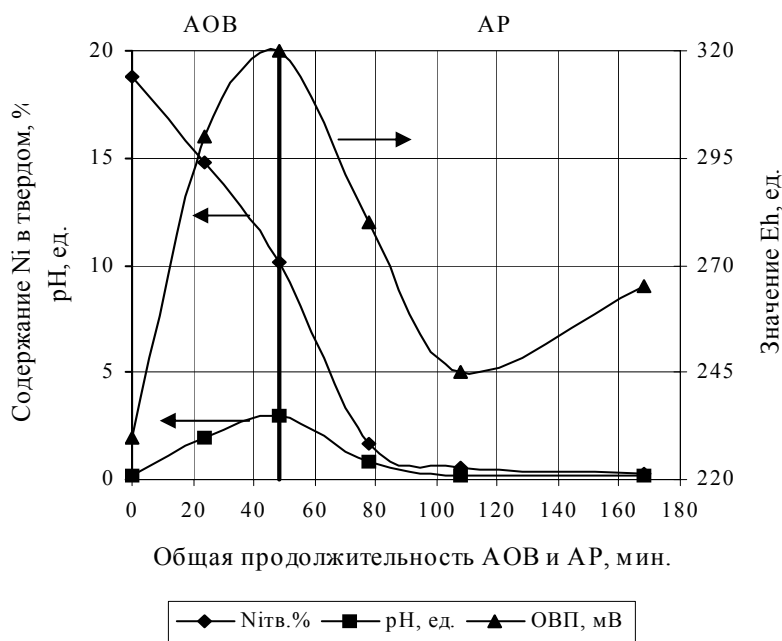


Рис.3. Динамика изменения показателей двухстадийного автоклавного выщелачивания.

При полупромышленном тестировании твердого продукта непрерывной атмосферной медочистки по схеме двухстадийного автоклавного выщелачивания (АОВ+АР) получен СМП с содержанием 0,45% никеля и 0,83% железа.

Балансовые лабораторные опыты, проведенные в замкнутом цикле, показали, что разработанная технология сульфатного противоточного выщелачивания высокомедистого фاینштейна обеспечивает практически полное коллектирование драгоценных металлов в конечном сульфидном медном продукте.

Глава 5. Теоретические расчеты по определению основных химических реакций, уточнению степени их протекания и распределению металлов и серы в операциях АМО, АОВ и АР

Согласно результатам балансовых экспериментов по переработке высокомедистого фاینштейна, постадийного фазового анализа образующихся продуктов и выполненных на их основе расчетов основными процессами, протекающими в операции атмосферной медочистки, являются: кислотное выщелачивание металлической фазы фاینштейна, "цементационное" осаждение меди в виде Cu_2S , выщелачивание железа из борнита с частичной пе-

рекристаллизацией последнего, выщелачивание кобальта, изоморфно присутствующего в хизлевудите.

Установлена этапность протекания основных химических реакций в операции АОВ. Основными процессами, протекающими в период нагрева пульпы и на **начальной** стадии АОВ, являются: "цементационное" осаждение халькозина с последующим его выщелачиванием; кислотное растворение плавленных сульфидов меди; полное растворение металлической фазы и частичное прямое окисление моносульфидов. Для **средней** стадии процесса АОВ характерны реакции оксигидролиза железа, осаждения основных сульфатов меди, окисления дигенита и образования элементарной серы в результате окисления ковеллина. На **заключительном** этапе АОВ в основном протекают реакции прямого окисления моносульфидов.

С учетом установленного химизма операции АОВ расчетным путем была определена динамика изменения количества основных компонентов в твердых продуктах на различных стадиях передела сульфатного выщелачивания, исследованы закономерности распределения никеля, меди и серы между фазовыми составляющими пульпы на различных этапах АОВ (рис.4-7).

Анализ кривых рисунка 4 доказывает, что в начальном и среднем этапе АОВ происходит преобразование хизлевудита в миллерит, а на заключительном (35-45 мин.) - прямое окисление миллерита.

Выщелачивание сульфидной меди (рис.5) происходит максимально интенсивно с 0-й по 5-ю минуту АОВ, а после 25-й минуты этот процесс практически прекращается. На начальных стадиях АОВ выщелоченная медь накапливается в растворе. В период между 15-й и 25-й минутами выщелачивания наблюдается интенсивное образование основных сульфатов меди, вследствие чего происходит обеднение раствора, несмотря на активный процесс выщелачивания сульфидов. В период с 25-й по 45-ю минуту обработки доля сульфатной меди сохраняется приблизительно постоянной, основные изменения происходят в твердой фазе: сульфидная медь трансформируется в основной

сульфат через образование CuSO_4 . При этом указанные процессы протекают с близкими скоростями.

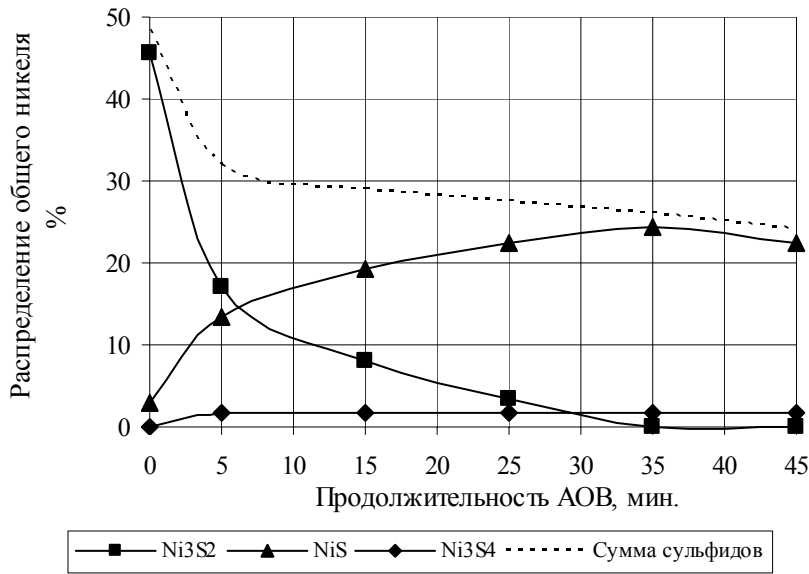


Рис.4. Динамика распределения никеля между никельсодержащими

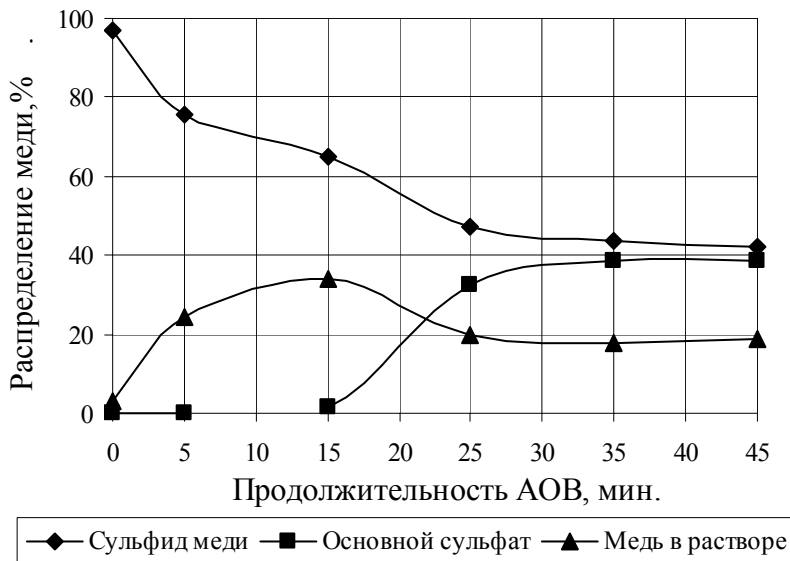


Рис.5. Динамика распределения меди между основным сульфатом, раствором и сульфидами¹.

Анализ распределения меди между медьсодержащими сульфидами (рис.6) приведен с учетом различного поведения сульфидов меди, находящихся в фазе «сульфида меди» и в «матрице сульфида никеля». Халькозин, содержащийся в никелевой матрице (Cu_2S никелевый), выщелачивается до ковеллина без формирования промежуточного дигенита. Сульфид меди (+1), содержащийся в фазе «сульфида меди» (Cu_2S медный), полностью преобразуется в дигенит, только частично окисляющийся до ковеллина (CuS мед-

¹ Общее содержание меди в пульпе АОВ равно 100% в любой период.

ный). На заключительном этапе окислительной стадии (35-45 мин.) ковеллин, частично подвергается прямому окислению.

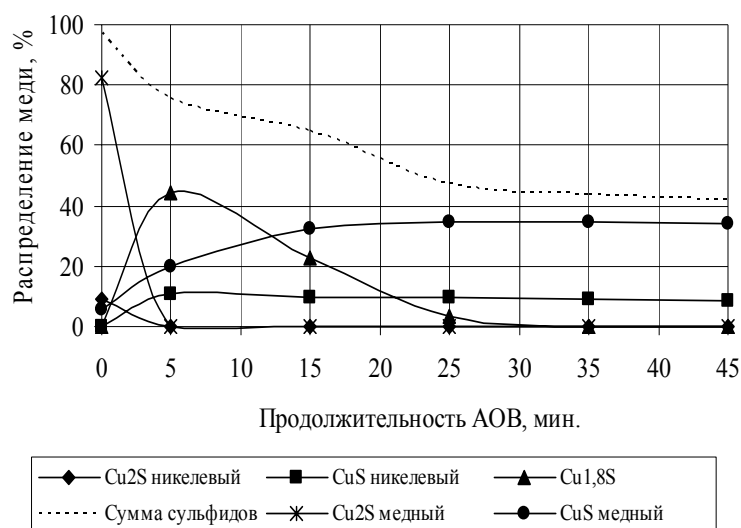


Рис.6. Динамика распределения меди между медьсодержащими сульфидами.

Скорость окисления сульфидной серы до сульфатной максимальна на начальной и конечной стадиях АОВ. В средней стадии АОВ сульфидная сера преимущественно окисляется до элементной (рис.7).

Основными процессами, протекающими в операции автоклавного рафинирования, являются: взаимодействие сульфата меди с ковеллином с образованием свободной серной кислоты и дигенита; кислотное растворение антлерита; обменные реакции между сульфидами никеля и сульфатом меди; растворение железогидратных соединений; восстановление железа (3+) новообразованным дигенитом до Fe(2+); частичное сульфидирование сульфатной меди элементной серой. Установлено, что в исследованных режимах операций АОВ и АР окисление сульфидной серы до сульфатной формы происходит приблизительно в равной степени ~10%.

В технологии гидрометаллургической переработки высокомедистых фанштейнов, процессы АОВ и АР проходят в режиме, близком к "стехиометрическому кислотному выщелачиванию", поскольку формирующийся на стадии АОВ антлерит является эффективным нейтрализатором вторичной кислоты, образующейся в операции автоклавного рафинирования.

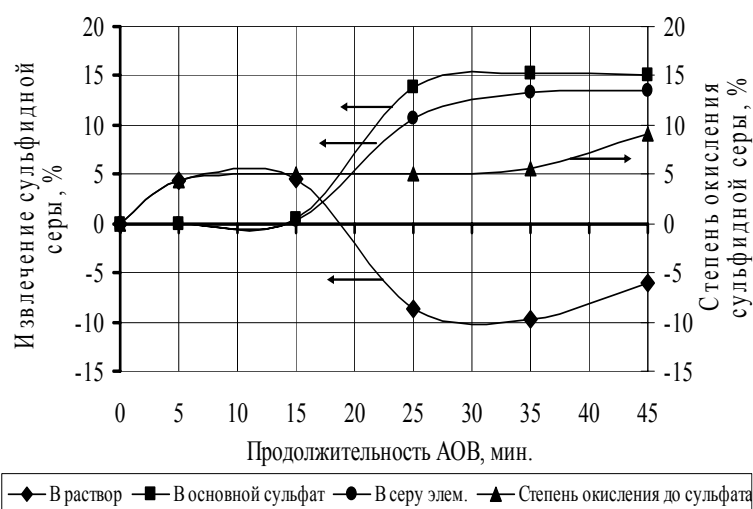


Рис.7. Динамика окисления сульфидной серы в операции АОВ и ее распределение между продуктами окисления¹.

Расчетным путем были определены степени протекания основных химических реакций в операциях АМО, АОВ и АР.

Глава 6. Поисковые исследования по проведению окислительной стадии выщелачивания в атмосферных условиях

При проведении атмосферного окислительного выщелачивания (АтОВ) были определены оптимальные режимы операции АтОВ и АР, при реализации которых удалось достичь содержания никеля в СМП менее 1,0%. Было установлено, что решающим условием снижения остаточного содержания никеля в СМП является проведение АтОВ при отношении Ж/Т=5, отвечающем удельному расходу кислоты ~41% к весу твердого. Существенное, но меньшее по значимости влияние на остаточное содержание никеля в СМП имеет повышение температуры стадии АР.

Величина растворения сульфидов цветных металлов в операции АтОВ ниже, чем при АОВ, а степень окисления сульфидной серы до сульфатной формы составляет 3,78% против 9,4%, характерных для АОВ (рис.7). Сквозное извлечение серы в раствор при проведении процесса АтОВ в оптимальном режиме составило 13,9%, что существенно ниже, чем при проведении АОВ. Снижение сквозного извлечения серы обеспечивается за счет более мягкого атмосферного окисления, а степень перехода серы в раствор в опе-

¹ Отрицательные значения означают протекание процесса осаждения компонентов из раствора.

рации АР независимо от параметров окислительной стадии составляет постоянную величину ~10%.

Минералогическими исследованиями установлено, что при атмосферном окислительном выщелачивании не происходит осаждения основных сульфатов меди и оксидных соединений железа. Присутствия элементарной серы в кеках АТОВ также не зафиксировано. Особенностью СМП, полученного при проведении окислительной стадии в атмосферных условиях, является образование дополнительного количества полидимита на стадии АР, при этом процесс автоклавного рафинирования характеризуется повышенным осаждением меди из раствора и образованием существенных количеств свободной серной кислоты.

Расчетным путем были определены степени протекания основных химических реакций в операциях атмосферного окислительного выщелачивания и последующего автоклавного рафинирования.

Выводы

1. В результате проведения исследований процесса атмосферной медно-очистки найдены режимы, обеспечивающие максимальное извлечение никеля из высокомедистого фанштейна при сохранении высокого качества конечных растворов АМО. Установлено, что для сернистых фанштейнов решающее влияние на степень извлечения никеля в раствор оказывает удельный расход фанштейна на медь в исходном растворе, для более металлизированных фанштейнов – количество вводимой в процесс кислоты.

2. Уточнены параметры операции автоклавного окислительного выщелачивания высокомедистого фанштейна, обеспечивающие получение сульфидного медного продукта требуемого качества. Установлено, что зависимость остаточного содержания никеля в СМП от удельного расхода кислоты в операцию АОВ носит экстремальный характер, а оптимальным является расход кислоты в пределах 30÷36,3% к массе кека АМО.

3. При проведении трех кампаний полупромышленных испытаний получены конечные показатели, подтверждающие результаты лабораторных

исследований. Показана принципиальная возможность реализации процесса АМО, АОВ и АР в непрерывном режиме и получения сульфидных медных продуктов высокого качества.

4. На основании изучения структурно-текстурных особенностей, фазового и химического состава твердых продуктов отдельных операций технологии сульфатного выщелачивания высокомедистого файнштейна определены химические закономерности соответствующих процессов. Получены новые данные о протекании химических реакций выщелачивания элементов триады железа в операции АМО. Расчетным путем установлены этапность протекания основных химических взаимодействий в операции АОВ и закономерности распределения никеля, меди и серы между продуктами обработки. Показано, что формирующийся на стадии АОВ антлерит является эффективным нейтрализатором кислоты, образующейся в операции автоклавного рафинирования. Рассчитан количественный фазовый состав твердых продуктов, образующихся в операциях АМО, АОВ и АР и определена величина степени окисления сульфидной серы до сульфатной формы в операции АОВ.

5. В результате проведения поисковых исследований процесса атмосферного окислительного выщелачивания найдены режимы, обеспечивающие остаточное содержание никеля в сульфидном медном продукте менее 1%. При реализации окислительной стадии в атмосферных условиях изменяется ее химизм: не происходит формирования основных сульфатов меди, элементной серы и оксидных соединений железа.

6. Основываясь на максимальном приближении теоретических количественных показателей к показателям, определенным в результате лабораторных экспериментов, с учётом данных, полученных в ходе инструментального изучения строения и состава исследуемых продуктов, были определены степени протекания основных химических реакций в операциях атмосферной медочистки, атмосферного и автоклавного окислительного выщелачивания и автоклавного рафинирования.

7. Результаты работы были использованы при выполнении балансовых расчётов в Технологическом регламенте, при разработке Технического проекта и Технико-экономического обоснования эффективности технологии гидрометаллургической переработки высокомедистого фاینштейна в ЗФ ОАО "ГМК" Норильский никель".

Список публикаций по теме диссертации

1. Нафталь М.Н., Шестакова Р.Д. Выдыш А.В. Петров А.Ф., Бацунова И.В., Шаповалов В.А., Кожанов А.Л. Особенности поведения сульфидов меди на стадии окислительного выщелачивания гранулированного фاینштейна // Материалы II Международной конференции Metallургия цветных и редких металлов. В 2-х томах. - Красноярск: ИХХТ СО РАН. – 2003. - Т.2.– С. 261-263.
2. Нафталь М.Н., Шестакова Р.Д. Выдыш А.В. Петров А.Ф., Бацунова И.В., Шур М.Б., Рылеев Е.А., Кожанов А.Л. Разработка технологии рафинирования медного концентрата от флотационного разделения медно-никелевого фاینштейна // Материалы II Международной конференции Metallургия цветных и редких металлов. В 2-х томах. - Красноярск: ИХХТ СО РАН. – 2003. - Т.2.– С. 255-256.
3. Выдыш А.В., Нафталь М.Н., Шестакова Р.Д., Петров А.Ф., Бацунова И.В. Об условиях образования антлерита и его влиянии на процесс выщелачивания гранулированных фاینштейнов // Материалы II Международной конференции Metallургия цветных и редких металлов. В 2-х томах. - Красноярск: ИХХТ СО РАН. – 2003. - Т.2.– С. 259-261.
4. Выдыш А.В. Нафталь М.Н., Шестакова Р.Д., Петров А.Ф. Снижение потерь никеля с железогидратным кеком, формирующимся в технологии гидрометаллургической переработки фاینштейна // Тез. Докл. науч.-техн. конф., посвящ. Дням науки (24-26 апр. 2001 г.). – Норильск, 22001. – С. 19. ISBN 5-89009-155-2.
5. Выдыш А.В. Нафталь М.Н., Бацунова И.В. Влияние удельного расхода кислоты в операции автоклавно-окислительного выщелачивания на остаточ-

ное содержание никеля в сульфидном медном продукте // Сб. науч. тр. Добыча и переработка руд Норильского промышленного района / Норильского индустр. ин-та. – 2005. – С. 92-96. ISBN 5-89009-275-8.

6. Выдыш А.В. Нафталь М.Н., Петров А.Ф. О выборе оптимального режима кислотности для автоклавных операций технологии гидрометаллургической переработки высокомедистого фанштейна // Сб. науч. тр. Добыча и переработка руд Норильского промышленного района / Норильского индустр. ин-та. – 2005. – С. 96-100. ISBN 5-89009-275-8.

7. Выдыш А.В., Нафталь М.Н., Петров А.Ф., Бацунова И.В. Особенности химических взаимодействий при атмосферной медочистке никель-кобальтового раствора // Журнал прикладной химии РАН. – 2005. - Т 78. - С. 705-711. ISSN 0044-4618.

8. Vidysh A., Naftal M., Petrov A., Batsunova I. Study into the regularities of nonferrous metals and sulfur distribution in the autoclave oxidizing leaching of high copper converter matte. ALTA 2005. Nickel/cobalt conference. – May 16÷18, 2005. Rendezvous Observation City Hotel, Perth, Australia.-15p.

9. Пат. 2252270 РФ, МКП⁷ С 22 В 3/00. Способ переработки плавящихся сульфидных медно-никелевых материалов, содержащих кобальт, железо и металлы платиновой группы / Нафталь М.Н., Петров А.Ф., Шестакова Р.Д., Галанцева Т.В., Котухов С.Б., Линдт В.А., Захаров Д.Н., Выдыш А.В., Риб А.К., Цуканова Т.Л., Дмитриев И.В., Бацунова И.В., Казанцева Г.Е., Григорьева Л.Г., Кожанов А.Л., Блейле О.Л. (РФ); ОАО «Горно-металлургическая компания «Норильский Никель» (РФ). – 2003132673/02: Заявлено 11.11.03; Опубл. 20.05.05; Приоритет 11.11.03, Бюл. № 14.

10. Выдыш А.В., Ерцева Л.Н., Нафталь М.Н. Морачевский А.Г., Петров А.Ф., Бацунова И.В. Изменение структуры и минералогического состава твердого продукта при автоклавно-окислительном выщелачивании высокомедистого фанштейна / Цветные металлы.– 2005 – №7.– С.54÷59.