

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на автореферат и диссертационную работу Сабановой Маргариты Николаевны «Интенсификация процесса флотации медного шлака в условиях водооборота», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13-«Обогащение полезных ископаемых»

Представленная на отзыв диссертационная работа Сабановой М.Н. представляет собой результат научных и практических исследований, посвященных установлению закономерностей флотуемости различных фаз труднообогатимого лежалого медного шлака, определению оптимальных режимов подготовки и флотации шлака с целью интенсификации процесса флотационного извлечения меди и сопутствующих драгоценных металлов.

Актуальность диссертационной работы

Социально-экономическое развитие страны неразрывно связано с освоением ее минерально-сырьевых ресурсов. При современных темпах добычи богатые месторождения быстро истощаются, в разработку вынужденно вовлекаются бедные и забалансовые руды и техногенное сырье. Не обошла стороной эта тенденция и уральские ГОКи, перерабатывающие медные и медно-цинковые руды. В настоящее время стала очевидной исчерпаемость рудной базы меди. В Уральском регионе открытие новых месторождений практически не происходит. Переработка медной и медно-цинковой руды из дальних регионов страны не выгодна по причине высокой доли транспортных расходов. Таким образом, снижение разведанных рудных запасов при росте объемов современного потребления меди в перспективе создают угрозу существования уральских ГОКов и, следовательно, актуальность диссертационной работы и её практическая значимость не вызывает сомнений, поскольку переработка труднообогатимых лежалых медных шлаков, которых в Уральском регионе накоплено значительное количество, в условиях предприятий, страдающих от недозагрузки сырьем, позволила бы решить часть экономических, экологических, социальных проблем малых промышленных моногородов, повысить комплексность и рациональность использования минеральных ресурсов, что соответствует Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ.

Цель, идея и задачи диссертации

Целью диссертационной работы Сабановой Маргариты Николаевны является разработка способов интенсификации флотации труднообогатимых лежалых медных шлаков в условиях замкнутого водооборота обогатительной фабрики, перерабатывающей медные и медно-цинковые руды.

Идея работы заключается в использовании выявленных механизмов и закономерностей селективного флотационного разделения техногенных фаз медных шлаков в зависимости от их морфологических и структурных особенностей для разработки режимов подготовки и флотации шлака с целью

совершенствования технологии флотации медных шлаков в условиях водооборота и повышения эффективности извлечения ценных компонентов.

Задачи, поставленные в диссертационной работе, решаются последовательно, системно, начиная с анализа теории и практики флотационной переработки медных шлаков в России и за рубежом и заканчивая расчетом экономического эффекта от предложенного технологического решения по интенсификации флотации труднообогатимого медного шлака Медногорского медно-серного концентрата в условиях обогатительной фабрики Сибайского филиала АО «Учалинский ГОК».

Обоснованность, полнота и достоверность результатов

Обоснованность и достоверность результатов, научных положений, выводов, заключений, полученных в диссертации, подтверждаются корректным использованием современных физико-химических методов и методик анализа, большим объемом экспериментальных исследований, сопоставимостью теоретических выводов и экспериментальных результатов, многократной апробацией результатов работы на международных конгрессах, конференциях и совещаниях.

Защищаемые научные положения в полной мере доказаны представленными результатами исследований.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 152 наименований, содержит 165 страниц машинописного текста, два приложения, 56 рисунков и 48 таблиц.

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулированы цель исследований, суть научной проблемы и защищаемые положения.

В *первой главе* дана ресурсная характеристика медных шлаков и сделан аналитический обзор теории и практики их переработка методом флотации в России и за рубежом. Анализ литературных источников, сопоставление априорных экспериментальных данных, мониторинг промышленной переработки шлаков различных металлургических предприятий в условиях водооборота, показали, что при флотации шлака извлечение меди варьирует от 45% до 90% и одним из основных параметров, влияющих на извлечение меди, является качество оборотной воды. Сформулированы стратегия и задачи исследования.

Во *второй главе* изучены вещественный состав и технологические особенности медных шлаков различного генезиса, определены их основные отличительные свойства. Показано, что медные шлаки могут быть разделены на легкообогатимые (извлечение меди более 80%), среднеобогатимые (извлечение меди более 70%), труднообогатимые (извлечение меди менее 70%). Установлено, что технология генезиса шлака, приводящая к возрастанию доли магнетита в шлаке более 15% и появлению пирита, способствует формированию средне- и труднообогатимого шлака. Дано определение понятию «пиритовая медьсодержащая глобула». Впервые разработана типизация медных шлаков, в качестве классификационного признака в которой заложено соотношение силикатных, оксидных, сульфидных соединений железа в матрице, влияющее на морфометрические и технологические свойства шлака. Рассмотрены

характерные особенности каждого из трех типов - фаялит-ферритового, фаялит-феррито-магнетитового, фаялит-магнетито-пиритового.

В *третьей главе* дан анализ переработки медного шлака в условиях обогатительной фабрики на оборотной воде, охарактеризованы технологические воды горно-обогатительного производства, представлены результаты изучения флотации шлака в зависимости от физико-химических параметров используемых технологических вод и точек подачи, предложена методика кондиционирования оборотной воды. Установлено, что максимальные показатели по извлечению меди, золота и серебра достигаются при подаче кондиционированной до pH 5,5 оборотной воды в операцию измельчения.

В *четвертой главе* предложена и изучена гипотеза механизма интенсификации флотации труднообогатимого лежалого медного шлака, путем механохимической активации при измельчении его в кислой подотвальной технологической воде при pH 5,5, что способствует повышению гидрофобности и селективному агрегированию частиц медьсодержащей фазы, сульфидизации окисленных форм меди, активации пиритовых медьсодержащих глобул при депрессии силикатов за счет выделяющейся с поверхности фаялита кремниевой кислоты. Представлены результаты потенциометрического, термографического и спектроскопического изучения состояния поверхности медного шлака, подтверждающие данную гипотезу. Механизм повышения извлечения меди при флотации плохо раскристаллизованных, тонкоизмельченных фаялит-магнетито-пиритовых медных шлаков заключается в: пептизации и депрессии фаялита за счет адсорбции продуцируемых при растворении фаялита продуктов метакремниевой кислоты в ДЭС; гидрофобизирующей модификации поверхности «медистого пирита» адсорбирующимся на нем по сродству сульфидом железа, который образуется при контакте ионов Fe^{2+} и продукта разложения свежееобнаженной поверхности пирита в кислой среде – сероводорода; гидрофобизации поверхности окисленных медьсодержащих фаз элементной серой и сероводородом, образующимися при разложении поверхности пирита в кислой среде; активации ионами меди пиритовых медьсодержащих глобул «медистого пирита»; повышении контрастности поверхности измельченных частиц шлака за счет растворения известкового налета.

В *пятой главе* представлено технологическое решение вопроса интенсификации флотации труднообогатимого лежалого медного шлака в условиях действующего водооборота обогатительной фабрики, приведены сравнительные показатели флотации по фабричной технологии и по предлагаемой с комбинированным кондиционированием воды.

В целом, Сабановой Маргаритой Николаевной проделана огромная по объему и трудоемкая в экспериментальном отношении работа, выполненная на высоком теоретическом и экспериментальном уровне. Автором использованы современные методы и методики исследования, включающие минераграфический, гранулометрический, седиментационный, рентгенофазовый, микроскопический (анализатор изображения Минерал С-7), электронно-микроскопический (JEOL JSM-6460 LV) анализы, pH-метрию, термогравиметрию, измерение электрокинетического потенциала,

инфракрасную Фурье-спектроскопию (ИКФС, спектрометр Shimadzu IR-Affinity); лабораторные эксперименты на флотационных установках.

Научная новизна

К научной новизне диссертационной работы следует отнести:

- разработку технологической типизации медных шлаков, основанной на соотношении техногенных силикатных, оксидных и сульфидных соединений железа в шлаке;

- установление комплексного механизма механохимической активации медьсодержащих фаз шлака фаялит-магнетито-пиритового типа при измельчении его при pH 5,5, заключающегося в растворении известкового налета, разрыхлении поверхности и повышении контрастности частиц, сульфидизации окисленных минералов меди элементной серой, образующейся при разложении пирита, активации поверхности сульфидных фаз ионами меди;

- обнаружение в водной среде при pH 5,5-6 эффекта пептизации силикатных тонкодисперсных частиц, агрегации медьсодержащих сульфидных тонкодисперсных частиц шлака, и установлении механизма, заключающегося в продуцировании при поверхностном растворении фаялита в кислой среде (pH 5,5) метакремниевой кислоты H_2SiO_3 , продукты которой (мицеллы и ионы SiO_3^{2-}) за счет физической адсорбции во внешней обкладке ДЭС на поверхности силикатных составляющих шлака, приводят к увеличению отрицательного ζ – потенциала его поверхности, способствуя их депрессии и пептизации;

- установление новых зависимостей изменения величины ζ -потенциала и адсорбции собирателя бутилового ксантогената калия на поверхности частиц тонкодисперсного шлака фаялит-магнетито-пиритового типа в зависимости от pH водной фазы.

Практическая значимость

К практическим результатам диссертационной работы следует отнести:

- установление параметров (ионный состав, pH) кондиционирования оборотной воды, позволяющих реализовывать технологическое решение интенсификации флотации в условиях водооборота. Показано, что каждому типу шлака соответствует pH оборотной воды, при котором наблюдается максимальное извлечение меди в продукт. Для шлака фаялит-ферритового типа pH 11, для фаялит-феррито-магнетитового типа pH 10, фаялит-магнетито-пиритового типа pH 5,5. Показано, что при измельчении труднообогатимого шлака до содержания класса минус 0,044 мм – 95% в области pH 5,5 наблюдается максимальное извлечение меди, золота и серебра в продукт;

- выявление причин потерь меди с отвальными хвостами при флотации медного шлака фаялит-магнетито-пиритового типа с использованием оборотной воды обогатительной фабрики, заключающихся в недораскрытии нераскристаллизованных медьсодержащих фаз шлака даже при измельчении до 100% класса минус 0,044 мм, наличии "пиритовых медьсодержащих глобул", депрессируемых в щелочной среде, наличии окисленных форм меди, требующих сульфидизации поверхности, наличии известкового налета на минералах шлака;

-разработку способа кондиционирования оборотной воды с использованием кислой подотвальной воды для интенсификации извлечения меди из шлака; разработку реагентного режима флотации, что в совокупности позволило повысить извлечение в концентрат меди на 10%, золота на 5,0%, серебра на 5,0% при сохранении качества медного продукта, а также в снижении экологической нагрузки на окружающую среду и уменьшении затрат на очистку вод за счет вовлечения кислой подотвальной воды в общий водооборот обогатительной фабрики и снижения сброса ненормативно очищенных вод.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в разработке стратегии исследования, организации и непосредственном участии в научных экспериментах, анализе и обобщении полученных результатов и обосновании выводов, подготовке публикаций.

Предложенные автором диссертационной работы технологические решения аргументированы и совместимы с современным обогатительным производством.

Апробация работы

Содержание диссертации полностью отражено в автореферате и в 14 научных публикациях, в т.ч. рекомендованных ВАК РФ – 6, из них 2 в базе цитирования Scopus.

Результаты исследований доложены на различных научно-технических конференциях, симпозиумах, совещаниях, обсуждены и одобрены научной общественностью.

Диссертация изложена четко и ясно, хорошим научно-техническим языком, составлена и оформлена в соответствии с требованиями ВАК.

Замечания по диссертационной работе

По оформлению и содержанию диссертации имеются некоторые замечания:

1. Во второй главе слишком подробно описан минеральный состав медных шлаков.

2. Во второй главе в п.2.3.1. написано, что флотация медного шлака проводится по традиционным режимам и регламентам, но режимы, схемы, регламенты не приведены.

3. В третьей главе схема (рис.3.8) флотации шлака в условиях лаборатории отличается от схемы (рис.3. 9) в условиях обогатительной фабрики.

4. В четвертой главе, чем обоснован выбор методик изучения механизма влияния рН на флотиремость медного шлака?

5. В главе пятой по рис. 5.1 не понятно, какой расход собирателя был задан в эксперименте?

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, научной и практической значимости выполненных исследований.

В целом, представленная Сабановой Маргаритой Николаевной диссертационная работа «Интенсификация процесса флотации медного шлака в условиях водооборота» на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, представляет собой законченное исследование, направленное на решение актуальной научной задачи интенсификации флотации труднообогатимых лежалых медных шлаков в условиях водооборота на действующей ОФ; полностью соответствует паспорту научной специальности 25.00.13-«Обогащение полезных ископаемых» и требованиям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор Сабанова Маргарита Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Профессор, и.о. зав. кафедрой
«Обогащение и переработка
полезных ископаемых и техногенного сырья»
Горного института ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
технологический университет
«Московский институт стали и сплавов», доцент, к.т.н.

Юшина Т.И.

Проректор по безопасности
и общим вопросам ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
технологический университет
«Московский институт стали и сплавов»

Исаев И.М.

06.02.2017

**Список трудов и.о. зав. кафедрой Обогащения и переработки
полезных ископаемых и техногенного сырья, профессора кафедры ОПИ,
доцента, к.т.н. Юшиной Т.И.**

1. Melik-Gaikazyan V.I., Emel'yanova N.P., Yushina T.I. **INFLUENCE OF THE CAPILLARY PRESSURE IN BUBBLES ON THEIR ADHERENCE TO PARTICLES DURING FROTH FLOTATION** // Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2013. Т. 54. № 2. С. 119-127.

2. Melik-Gaikazyan V.I., Emel'yanova N.P., Yushina T.I. **INFLUENCE OF CAPILLARY PRESSURE IN BUBBLES ON THEIR ATTACHMENT TO PARTICLES DURING FROTH FLOTATION: PART TWO** // Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2013. Т. 54. № 4. С. 281-286.

3. Melik-Gaikazyan V.I., Emel'yanov V.M., Emel'yanova N.P., Moiseev A.A., Emel'yanov V.V., Yushina T.I. **INVESTIGATION INTO THE FROTH FLOTATION AND SELECTION OF REAGENTS ON THE BASIS OF THE MECHANISM OF THEIR ACTION REPORT 2. A COMPARISON OF FLOTATION PROPERTIES OF MILLIMETER, MICROMETER, AND NANOMETER BUBBLES BASED ON EQUATIONS OF CAPILLARY PHYSICS (PART TWO)** // Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2011. Т. 52. № 6. С. 463-468.

4. Melik-Gaikazyan V.I., Emel'yanov V.M., Emel'yanova N.P., Moiseev A.A., Emel'yanov V.V., Yushina T.I. **INVESTIGATION INTO THE FROTH FLOTATION AND SELECTION OF REAGENTS ON THE BASIS OF THE MECHANISM OF THEIR ACTION REPORT 2. A COMPARISON OF FLOTATION PROPERTIES OF MILLIMETER, MICROMETER, AND NANOMETER BUBBLES BASED ON EQUATIONS OF CAPILLARY PHYSICS (PART TWO)** // Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2011. Т. 52. № 6. С. 463-468.

5. Т.И. Юшина, Рафиенко В.А. **Технологии переработки шунгитовых пород с получением дисперсных шунгитовых концентратов высокого качества** // Горный журнал//, 2013, № 10, с.94-97 0,25 0,13

6. Т.И. Юшина, Крылов И.О., Епихин А.Н., Строков А.А. **Расширение ресурсной базы марганецсодержащего сырья на основе использования руд окисленного типа в теплоэнергетике и производстве наноматериалов** // Горный журнал, № 12, 2014 г. с. 70-74 0,31 0,08

7. Yushina T.I., Krylov I.O., Valavin V.S., Dunaeva V.N. **Material constitution and features of low-grade and rebellious iron ore in processing and preparation for ROMELT direct iron ore smelting reduction process** // Gornyi Zhurnal. 2015. №12. pp. 14-20.

8. Yushina, T.I., Petrov, I.M., Avdeev, G.I., Valavin, V.S. **Analysis of state-of-the-art in iron ore mining and processing in Russian Federation** // Gornyi Zhurnal. 2015. №1. pp. 41-47. (Sc)

9. Yushina, T.I., Petrov, I.M., Grishaev, S.I., Chernyi, S.A. **International rare earth metals market and processing technologies: State-of-the-art and future prospects** // Gornyi Zhurnal. 2015. №3. pp. 76-82. (Sc)

10. Yushina, T.I., Petrov, I.M., Grishaev, S.I., Chernyi, S.A. **International rare earth metals market and processing technologies: State-of-the-art and future prospects** // Gornyi Zhurnal. 2015. №2. pp. 59-64. (Sc)

11. Yushina, T.I., Krylov, I.O., Didovich, L.Y., Dunaeva, V.N. **Increase in recoverable value of Russian manganese ore by utilization in fuel-and-energy industry and nano industry** // Gornyi Zhurnal. 2015. №11. pp. 4-7. (Sc)

12. Shchelkunov S. A., Malishev O. A., Yushina T. I., Dunaeva V. N. **Flotation properties of additional collectors, foaming agents based on acetylenic alcohols** // Non-ferrous Metals. 2015. №2. pp. 3-10.

13. Бочаров В.А., Игнаткина В.А., Чантурия Е.Л., Юшина Т.И. **Технология комплексной переработки упорных колчеданных руд и пиритных техногенных продуктов с извлечением цветных и редких металлов** // Цветные металлы.-2016. -№9. -с.16-21.2016.09.01

14. Shepeta E.D., Samatova L.A., Alushkin I.V., Yushina T.I. **Prospect of preliminary beneficiation use in the poor tungsten ores processing practice** // Russian Journal of Non-Ferrous Metals -2016, -№1 (40), с.9-15

15.Юшина Т.И., Петров И.М., Белоусова Е.Б. **Современное состояние и перспективы использования флотационных машин в России** // Горный журнал. -2016,-№3, -с.61-67

16.Т.И. Юшина, И.М. Петров, Г.И. Авдеев. **Железная руда: производство, продажи, цены** // Журнал «Металлы Евразии» 2016г. №3. стр. 50-54.

17.Yushina T.I., Krylov I.O., Popova K.S., Vinnikov V.A. **Technology of separation of carbon nanotubes from natural ferriferous manganese catalysts with the aid of agents made of acetylene alcohols** // CIS iron and Steel Review – Vol. 12 (2016), p. 4 – 8.

18.Yushina T.I., Malyshev O.A., Shchelkunov S.A., Khrustalev D.P. **Peculiarities of the DC-80 reagent based on acetylenic alcohols effect in flotation processes** // Non-Ferrous Metals №2, 2016, p. 7 - 11.

19.Yushina T.I., Malyshev O.A., Shchelkunov S.A., Popova K.S. **Flotation of carbonaceous material with reagents based on acetylene alcohols** // Eurasian mining. – №2. – 2016, p. 23-28.

Профессор, и.о. зав. каф. ОПИ

Юшина Т.И.