

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**на автореферат и диссертацию Смайлова Берика Болатовича «Разработка способа оценки обогатимости и моделирования флотационных схем переработки труднообогатимых свинцово-цинковой руд», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых»**

Представленная на отзыв диссертационная работа Смайлова Б.Б. представляет собой результат научных и практических исследований, посвященных разработке способа оценки обогатимости полиметаллических руд и прогноза технологических показателей различных схем флотации, основанного на применении средств автоматизированной минералогии и параметров кинетики флотации, с целью повышения эффективности переработки упорных свинцово-цинковых руд.

### ***Актуальность диссертационной работы***

Мировой тенденцией является все большее участие, наряду с обычными обогатительными процессами, гидрометаллургических методов в первичной переработке труднообогатимых медных, медно-цинковых, свинцово-цинковых руд. Их разработка и использование в рамках комбинированных технологий требует детального изучения состава руды и некондиционных продуктов ее обогащения. При этом для удовлетворения возросших требований к уровню исследований необходимо разрабатывать новые способы оценки обогатимости, базирующиеся на современных средствах аппаратного анализа вещественного состава и компьютерных моделях.

### ***Цель и задача диссертации***

Целью работы является разработка способа оценки обогатимости полиметаллических руд и прогноза технологических показателей для различных схем флотации, основанного на данных анализа руд и продуктов с применением средств автоматизированной минералогии и параметров кинетики флотации.

Основными задачами исследования являются: - выявление и моделирование поведения раскрытых частиц и сростков в процессе флотации на основании анализа продуктов флотации средствами автоматизированной минералогии, разработка методики прогноза показателей обогащения, основанной на использовании спектров флотируемости сортов частиц; использование разработанных методик для выбора оптимальной

комбинированной технологической схемы переработки упорной свинцово-цинковой руды.

### ***Обоснованность, полнота и достоверность результатов***

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

Защищаемые научные положения в полной мере доказаны представленными результатами исследования.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, литературы из 144 наименований, содержит 182 страниц машинописного текста, включая 38 таблиц и 79 рисунков.

Во *введении* обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследования, суть научной проблемы и защищаемые положения.

В *первой главе* автором представлены данные о современном состоянии технологий переработки труднообогатимых сульфидных полиметаллических руд и современных способов оценки обогатимости руд.

Во *второй главе* автором представлены методы исследований и использованное оборудование в работе, а также дана характеристика объекта исследования. Используемые в работе исследовательские методы и аппаратура отвечают современным требованиям и могут обеспечить разработку способов оценки обогатимости руд на новой материальной базе.

В *третьей главе* представлены результаты исследований по раскрытию минералов при измельчении свинцово-цинковой высокосульфидной руды. Установлено, что раскрытие частиц, оцениваемое по долям поверхности частиц, для минералов с низким содержанием (галенит, сфалерит) происходит в основном за счет уменьшения доли бедных сростков, а минералов с высоким содержанием (пирита, несульфидных) - за счет уменьшения доли богатых сростков.

В *четвертой главе* представлены закономерности поведения минеральных частиц в процессе обогащения, основанные на представлении разделяемого материала в виде совокупности сортов частиц. Для анализа эффективности флотационного разделения

автором предложен метод определения кинетики флотации и расчета спектра флотуемости для каждого сорта частиц, что позволяет количественно установить активность флотации минералов в их различных формах.

Выявлены механизмы потерь целевых минералов и загрязнения концентратов нецелевыми минералами. Установлено, что основной причиной низкого качества концентратов является наличие как в свинцовом, так и в цинковом цикле флотации флотоактивной части пирита, в существенно меньшей степени - наличие двойных сростков пирита с галенитом (в свинцовом цикле) и со сфалеритом (в цинковом цикле).

В *пятой главе* автор дает обоснованный прогноз показателей обогащения свинцово-цинковой руды при использовании различных схем флотации. Предложен метод расчета, основанный на полираспределенном представлении флотуемого материала по сортам частиц, различающихся крупностью и минеральным составом поверхности, по флотуемости в каждом цикле флотации, что является развитием подхода О.Н. Тихонова.

Прогнозным расчетом по предложенному методу показано преимущество открытого цикла флотации перед замкнутым для получения более качественного цинкового концентрата и уменьшения выхода свинцово-цинкового продукта.

Автором обоснована и экспериментально проверена комбинированная технология переработки упорной свинцово-цинковой руды, включающая флотационный передел с получением качественного цинкового концентрата и свинцово-цинкового промпродукта, направляемого в гидрометаллургический передел.

В целом, Смайловым Бериком Болатовичем проделана большая по объему и трудоемкая в экспериментальном отношении работа, выполненная на высоком теоретическом и экспериментальном уровне.

Автором использованы современные методы и методики исследования, включающие оптическую микроскопию (Nikon Eclipse LV 100 с цифровой системой регистрации изображений); рентгено-флюоресцентный метод (Excalibur и Elvax); автоматизированную минералогию (комплекс MLA System); гранулометрический анализ (микросита Fritsch); математическую обработку данных и математическое моделирование с (Delphi 10.1 Berlin Professional).

### ***Научная новизна***

К научной новизне работы следует отнести:

- разработанный способ оценки предельно возможных показателей обогащения измельченной руды, определяемых только раскрытием минералов, основанный на минералогических характеристиках частиц измельченного исходного материала;

- разработанный способ прогноза результатов обогащения руды, основанный на представлении каждого из продуктов в виде совокупности сортов, отличающихся друг от друга крупностью частиц, раскрытием и флотоактивностью;

- выявление кинетики флотации и спектров флотируемости отдельных сортов сырья (раскрытых частиц галенита, сфалерита, пирита, а также их сростков) в классах крупности -71+45; -45+20; -20+10 и -10 мкм, выявлении сортов, которые в наибольшей степени влияют на снижение качества концентратов.

**Практическое значение** работы заключается в разработке комбинированной технологии переработки упорной свинцово-цинковой руды, заключающейся в сочетании открытой прямой селективной флотации с добавлением реагента-депрессора пирита в перечистные операции с получением кондиционного цинкового концентрата и гидрометаллургической переработки свинцово-цинкового промпродукта. Это дало возможность получить 53 %-ный цинковый концентрат при его извлечении 52 %, и извлечь в продуктивный раствор свинца 43,6 % и цинка 22,2 %, суммарное извлечение цинка составило 74,6 %.

Разработанная методика прогноза показателей обогащения при использовании различных схемных решений внутри цикла флотации принята к использованию инжиниринговой компанией ООО «НОРД Инжиниринг».

**Полнота опубликования основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации, апробация работы**

Основные положения, результаты и выводы достаточно полно раскрыты в 4 научных работах, из них: 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

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

### ***Соответствие автореферата содержанию диссертации***

Автореферат построен по принципу доказательства положений, выносимых на защиту, что позволило автору достаточно полно раскрыть содержание диссертации. Основное содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

### ***Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации***

Все исследования, постановка цели и задач, анализ литературных источников, организация и проведение экспериментальных исследований, обработка и анализ полученных результатов, подготовка публикаций, написание статей и апробация материалов на конференциях различного уровня выполнены автором лично или при его непосредственном участии.

### ***Соответствие содержания диссертации указанной специальности***

Анализ объекта, предмета диссертации, цели и задач работы, содержания основных разделов позволяет утверждать, что диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 25.00.13 - «Обогащение полезных ископаемых».

### ***По содержанию диссертации имеются замечания:***

1. Представляются не совсем корректными используемые в работе термины, в частности, «автоматизированная минералогия» и «предельные показатели обогащения», автору надо было в данном случае дать их методическое определение.

2. Автором не используется термин степень раскрытия (руды/минерала), как соотношения свободной и сростковой поверхностей, анализ этого показателя мог быть более показательным при рассмотрении поведения частиц и их связи с флотоактивностью.

3. Разработанный метод прогноза показателей обогащения не адаптирован пока на всю технологическую схему, в частности, не учитывается цикл доизмельчения концентрата.

4. В работе отсутствует анализ полученного свинцово-цинкового промпродукта, что могло бы дать дополнительное подтверждение разработанной прогнозной оценки.

5. Введение гидрометаллургического цикла в схему переработки данного сырья должно было быть подтверждено экономическими расчетами.

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

### *Заключение*

В целом, представленная Смайловым Бериком Болатовичем диссертационная работа «Разработка способа оценки обогатимости и моделирования флотационных схем переработки труднообогатимых свинцово-цинковых руд» на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, представляет собой законченное исследование, направленное на решение актуальной научной задачи разработки нового способа оценки обогатимости руд на основе данных автоматизированной минералогии, полностью соответствует паспорту научной специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых» и требованиям, изложенным в п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительством РФ от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Смайлов Берик Болатович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Генеральный директор  
ООО «Исследовательская группа «Инфомайн»,  
доктор технических наук



A handwritten signature in blue ink, appearing to be "И.М. Петров".

Петров И.М.

ООО «Исследовательская группа «Инфомайн»  
109028, Москва, Певческий пер., д. 4, стр. 4, пом. I, комн. 1-4, 6-11  
тел/факс: +7 (495) 988-1123  
e-mail: info@infomine.ru

## Список статей д.т.н. И.М. Петрова (2014-2018 гг.):

1. Анализ современного состояния добычи и переработки железных руд и железорудного сырья в Российской Федерации // Горный журнал, 2015, №1, с. 41-47 (в соавторстве с Юшиной Т.И., Авдеевым Г.И., Валавиным В.С.).
2. Мировой рынок и технологии переработки редкоземельных металлов: современное состояние и перспективы // Горный журнал, 2015, №2, с.59-64, №3, с.76-81 (в соавторстве с Юшиной Т.И., Гришаевым С.И., Черным С.А.).
3. Современное состояние и перспективы использования флотационных машин в России // Горный журнал, 2016, №3, с. 61-67 (в соавторстве с Т.И. Юшиной, Е.Б. Белоусовой)
4. Основные тенденции использования флотационных реагентов в России//Прогрессивные методы обогащения и комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья: материалы Международного совещания (Плаксинские чтения – 2014), А-А, 2014, с. 240-241 (в соавторстве с Огрель Л.Д.).
5. Анализ современных технологий переработки и обогащения редкоземельного сырья//Цветная металлургия, 2014, №5, с. 61-63 (в соавторстве с Юшиной Т.И., Гришаевым С.И., Черным С.А.).
6. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья// ГИАБ, 2015, отдельный выпуск №1, с.577-605 (в соавторстве с Юшиной Т.И., Гришаевым С.И., Черным С.А.).
7. Тенденции и перспективы применения флотационных машин в России//ГИАБ, специальный выпуск 1, 2016, с.470-487 (в соавторстве с Т.И. Юшиной, С.Г. Паком, Е.Б. Белоусовой).
8. Обзор рынка рудного золота и технологий его переработки и обогащения//ГИАБ, специальный выпуск 1, 2018, с.408-437(в соавторстве с Т.И. Юшиной, А.И. Матвеевым).
9. Российский рынок редких металлов – пути развития //Минеральные ресурсы России, 2015, №1, с.78-81.
10. Перспективы и возможности использования вторичных ресурсов для производства редкоземельных металлов//Экологический вестник России, 2015, №12, с.44-48 (в соавторстве с С.А. Черным, А.И. Петровой)
11. Analysis of technologies and practice of limonite ore processing//CIS Iron and Steel Review, 2015 (10), p.5-8 (Т. I. Yushina, I. M. Petrov, I. O. Krylov, S. G. Pak).
12. «Критические» виды минерального сырья России/Материалы Международной конференции «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» (Плаксинские чтения – 2016), СПб, 2016, с. 361-362.
13. Современные тенденции мирового рынка металлов платиновой группы (МПГ)//Минеральные ресурсы России, 2016, №6, с.70-72.
14. Критические металлы России//Минеральные ресурсы России, 2018, №1, с. 51-53.
15. Основные тенденции использования флотационных реагентов в технологиях переработки минерального сырья в РФ//III Гео-аналитическая конференция «Качество данных в недропользовании: твердые полезные ископаемые» (27-29 марта 2018 г.), материалы конференции, М., 2018, с.79-81 (в соавторстве – с Т.И.Юшиной, Л.Д. Огрель).
16. О выборе технологий комплексной переработки руд цветных и редких металлов на основе глубокого селективного раскрытия минералов//III Гео-аналитическая конференция «Качество данных в недропользовании: твердые полезные ископаемые» (27-29 марта 2018 г.), материалы конференции, М., 2018, с.13-14 (в соавторстве - Бочаровым В.А., Юшиной Т.И., Игнаткиной В.А., Каюмовым А.А.).

17. Современные тренды мирового рынка РЗМ и перспективы России//Цветная металлургия, 2018, №4, с.31-44 (в соавторстве – с Гасановым А.А., Наумовым А.В., Юрасовой О.В., Литвиновой Т.Е.). Перевод Certain Tendencies in the Rare-Earth-Element World Market and Prospects of Russia// Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2018, Vol. 59, No. 5, pp. 502–511 (A. A. Gasanov, A. V. Naumov, O. V. Yurasova, , I. M. Petrov and T. E. Litvinova).

18. On the selection of technologies of comprehensive processing of ores of nonferrous and rare metals based on penetrative disclosure of minerals comprehensive processing/ Innovative technologies are key to successful mineral processing, IMPC-2018, Abstract Book, p.87 (V. A. Bocharov, T.I.Yushina, V. A. Ignatkina, A. A. Kayumov, I. M. Petrov).

19. Flotation of gold-bearing non-ferrous ores with acetylene alcohol-based Reagents/ Innovative technologies are key to successful mineral processing, IMPC-2018, Abstract Book, p.94 (T.I. Yushina, K. D'Elia, O.A. Malyshev, L.D. Ogrel, I.M. Petrov).

20. «Критические» дефицитные виды минерального сырья России//Рациональное освоение недр, 2018, №4, с. 28-30