

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский
национальный исследовательский
технический университет», д.т.н., доцент



М.В. Корняков

«14» января 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на диссертационную работу Светлова Антона Викторовича на тему «Научное и экспериментальное обоснование методов повышения извлечения цветных металлов из некондиционных медно-никелевых руд и техногенного сырья», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых».

Актуальность темы исследования

Ухудшение и сокращение разведанных запасов полезных ископаемых, снижение их качества на разрабатываемых и проектируемых месторождениях, усложнение их промышленного освоения – это важнейшие проблемы минерально-сырьевой отрасли нашей страны. Не менее серьезные вопросы возникают при рассмотрении экологических аспектов добычи и переработки полезных ископаемых, которые связаны со значительным количеством образующихся отходов, предназначенных к размещению в отвалах, хвостохранилищах и шламонакопителях и представляющих постоянно долгосрочно действующую угрозу состоянию окружающей среды.

Одним из наиболее опасных агентов загрязнения экосистем в районе техногенных объектов горно-обогатительного и металлургического производства являются сульфидсодержащие продукты, подверженные окислению и частичному растворению, что способствует миграции тяжелых металлов в природную среду.

Образованные техногенные месторождения в то же время представляют собой перспективный источник дополнительного получения продукции при условии применения эффективных методов переработки.

Сложность состава, непостоянство и изменчивость свойств техногенного сырья, вызванные воздействием различного рода факторов при длительном хранении, особенно в условиях Севера, приводят к необходимости научного обоснования и разработки специальных комбинированных обогатительно-гидрометаллургических технологий для сырья техногенных месторождений.

Для решения указанных проблем предлагаются разработанные комбинированные методы, обеспечивающие интенсификацию процесса обогащения, повышение извлечения цветных металлов и вовлечение в переработку некондиционных медно-никелевых руд и отходов горно-металлургического комплекса.

Актуальность тематики подтверждается финансовой поддержкой выполнения данной работы грантами РФФИ и программами РАН.

Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 185 наименований. Общий объем диссертации составляет 164 страницы. В диссертации представлены 72 рисунка и 17 таблиц.

Основные результаты

К основным научным и практическим результатам работы следует отнести следующие.

Автор впервые выявил особенности окисления и изменения поверхностных свойств сульфидных минералов некондиционных руд медно-

никелевых и отходов различных стадий горно-металлургического производства. Показано, что данные процессы зависят от формы и размеров сростков сульфидов, состава нерудных минералов (силикатной матрицы), рН и окислительно-восстановительного потенциала поровых растворов, от воздействия атмосферных агентов выветривания (кислотных дождей).

В частности установлено увеличение пористости рудосодержащих пород и повышение скорости выветривания на техногенных месторождениях. Показано, что важную роль в процессах разрушения руд играет естественное бактериальное выщелачивание. Установлено, что контакт сульфидсодержащих отвальных продуктов с почвой приводит к достаточно интенсивному переводу тяжелых металлов в водорастворимую форму, причем образующиеся органоминеральные комплексы устойчивы и не поддаются очистке традиционными реагентами.

Диагностированы новообразованные сульфиды и сульфаты никеля, кобальта и меди, что в конечном итоге приводит к миграции различных соединений и прогрессирующей деградации экосистем.

Выявленные факты и закономерности позволили автору установить критерии пригодности сырья, в частности, некондиционных медно-никелевых руд, вскрышных пород, хвостов обогащения и отвальных шлаков к переработке комбинированными обогатительно - металлургическими и геотехнологическими методами.

Автором на основе экспериментальных исследований разработана технология переработки хвостов обогащения медно-никелевых руд и отвальных гранулированных шлаков, основанная на использовании флотации для доизвлечения из них цветных металлов. Показано, что применение флотации с предварительным обесшламливанием хвостов на гидроциклоне по классу 20 мкм с доизмельчением песков гидроциклона до 90 % -71 мкм и использованием электроимпульсного дробления гранул шлака с последующим измельчением до 100 % -40 мкм обеспечивает прирост извлечения цветных

металлов и позволяет получить концентраты, пригодные для дальнейшей гидрометаллургической переработки.

Автором разработан способ, приводящий к раскрытию сульфидных сростков, разрушению рудного материала с образованием трещин и увеличению проницаемости, улучшению доступа выщелачивающих растворов. Данный геотехнологический способ основан на сернокислотной агломерации, что приводит к существенному улучшению показателей выщелачивания некондиционных медно-никелевых руд и обеспечивает высокую степень извлечения металлов в продуктивный раствор за счет интенсификации процесса. Способ переработки некондиционных медно-никелевых руд, хвостов обогащения и шлаков позволяет получить селективные продукты меди, никеля и кобальта, выделить железо в отдельный продукт и снизить потери цветных металлов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы детально обоснована и обеспечена применением действующих государственных стандартов, современного экспериментального оборудования, использованного в рамках подготовки диссертационной работы, применением стандартных методик, обеспечивающих достаточную точность полученных результатов, а также последующей апробацией результатов исследований.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы Светлова А.В. заключается в следующем:

1. Выявлены механизмы окисления и изменения поверхностных свойств сульфидных минералов различных отходов медно-никелевого производства:

- при хранении отвалов некондиционных медно-никелевых руд и хвостов обогащения происходит окисление сульфидов в сростках в последовательности моноклинный пирротин → гексагональный пирротин → пентландит → халькопирит за счет гальванических взаимодействий с образованием серной кислоты и ионов трехвалентного железа при окислении пирротина и последующим переходом цветных металлов в растворимые формы;

- при хранении хвостов обогащения медно-никелевых руд характерна стадия, заключающаяся в миграции сульфатных растворов и их взаимодействие с серпентинами и хлоритами, повышении рН и осаждении цветных металлов в составе слоистых гидросиликатов и гидроксидов;

- гальванические взаимодействия при хранении отвальных гранулированных шлаков руднотермической плавки оказывают минимальное влияние на кинетику окисления, так как сульфиды представлены пентландитом с различным соотношением железа и цветных металлов. Умеренный кислотопродуцирующий потенциал +4.84 и нахождение сульфидных включений в силикатной оболочке состава оливинового стекла определяет низкую скорость окисления.

2. Установлены критерии пригодности природного и техногенного медно-никелевого сырья к переработке геотехнологическими методами, основанные на содержании продуцирующего серную кислоту и ионы трехвалентного железа пирротина, а также химически активных нейтрализующих серную кислоту минералов, скорости фильтрации, склонности к коагуляции в процессе фильтрации выщелачивающих растворов:

- к наиболее благоприятным объектам отнесены отвалы Аллареченского месторождения, некондиционные руды месторождений НКТ, Нюд II и Морошковое озеро, характеризующиеся инертными нерудными минералами в составе и не снижающие фильтрационных характеристик;

- к наименее благоприятным объектам отнесены хвосты обогащения

медно-никелевых руд Печенгского рудного поля с низкими фильтрационными характеристиками и повышенным расходом серной кислоты из-за наличия серпентинов и хлоритов, а также отвальные гранулированные шлаки из-за потерь фильтрационных свойств при выщелачивании.

3. Обоснованы направления интенсификации комбинированных обогатительно-металлургических и геотехнологических методов доизвлечения цветных металлов:

- для флотации отвальных шлаков целесообразно применение предварительного электроимпульсного дробления гранул с целью межфазных разрушений минеральных сростков и выделения сульфидной части с последующим измельчением до 100% класса -40 мкм;

- для некондиционных руд месторождений НКТ, Нюд II, Морошковое озеро и Нюд Терраса с целью улучшения раскрытия сульфидных сростков и повышения извлечений цветных металлов при кучном выщелачивании целесообразны измельчение до -1+0 мм, сернокислотная агломерация и последующее выщелачивание 1%-ной серной кислотой;

- для хвостов обогащения медно-никелевых руд с целью улучшения перколяционных свойств и повышения извлечений цветных металлов при кучном выщелачивании необходима сернокислотная агломерация 10%-ной кислотой при соотношении Т : Ж = 3 : 1, выщелачивание предпочтительно вести 1%-ной серной кислотой.

Научная и практическая ценность диссертации

Автором установлены особенности и выявлены закономерности окисления сульфидных минералов медно-никелевых руд на различных стадиях горно-металлургического производства; установлены разделительные признаки поверхностных и объемных свойств окисленных минералов техногенных месторождений, позволяющие предложить в качестве основных методов в

комбинированных схемах применение флотации, а также использование технологии выщелачивания.

Диссертационная работа имеет практическую ценность, которая заключается в разработке комбинированных методов, обеспечивающих повышение извлечения цветных металлов и вовлечение в переработку некондиционных медно-никелевых руд и отходов горно-металлургического комплекса. Кроме того некондиционные медно-никелевые руды, хвосты обогащения и отвальные шлаки ранжированы по степени потенциальной экологической опасности, что позволяет оценить их возможное воздействие на экосистемы горно-промышленных районов.

Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Значимость результатов исследований заключается в том, что применение разработанной комбинированной технологии позволит вовлекать в переработку некондиционные медно-никелевые руды и отходы горно-металлургического комплекса и при этом повысить извлечение цветных металлов.

Автором впервые разработан способ геотехнологической переработки некондиционных медно-никелевых сульфидных рудных материалов, обеспечивающий высокие извлечения металлов в продуктивный раствор, что позволяет получить селективные товарные продукты, содержащие медь, никель и кобальт с осаждением железа в отдельный продукт и тем самым способствует снижению потерь цветных металлов. Способ защищен патентом РФ № 2502869.

Научные результаты достаточно полно изложены в 9 научных публикациях, из которых 7 работ опубликовано в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень рецензируемых научных изданий), и 2 работы опубликовано в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus и Web of Science.

По основным результатам работы сделаны доклады на 14 научно-технических конференциях международного, всероссийского и регионального значения.

Работа получила финансовую поддержку двух грантов РФФИ и двух проектов в рамках программ фундаментальных исследований РАН.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Основные результаты и выводы диссертации Светлова А. В. могут быть использованы:

- при разработке технологических схем переработки бедного и техногенного медно-никелевого сырья, в том числе некондиционных руд, хвостов обогащения и шлаков металлургического производства;
- при разработке программ снижения экологической опасности горно-металлургического производства.

Соответствие содержания автореферата диссертации

Содержание автореферата соответствует полностью главным положениям диссертации.

Основные замечания по диссертации

По работе имеются следующие замечания:

- 1) Диссертантом предложена классификация некондиционных медно-никелевых руд и техногенных образований по их потенциальной экологической опасности и пригодности к переработке методом физико-химической геотехнологии. К сожалению, в работе не обсуждено, является ли данная классификация универсальной, насколько выявленные автором критерии экологической опасности и технологичности применимы к другим, не рассмотренным в работе природным и техногенным объектам, какие критерии

будут определяющими при оценке воздействия на окружающую среду и выборе технологий переработки.

2) В работе не представлен обоснованный выбор оптимального режима агломерации рудных материалов. Автору следовало бы с применением математического планирования эксперимента получить зависимость целевой функции – прочности окатышей (гранул) от крупности сырья, концентрации кислоты, соотношения Т : Ж и других входных параметров. Кроме того, не приведены данные по изменению прочностных характеристик окатышей в процессе выщелачивания, влияние на данный параметр вещественного состава руд и техногенного сырья, расхода серной кислоты, введения связующих добавок, режима выщелачивания и т.д.

3) Предложенный автором геотехнологический способ переработки природного и техногенного медно-никелевого сырья не подкреплен экономическими расчетами, что не позволяет оценить его эффективность. В диссертации не приведены данные об актуальности и востребованности геотехнологии для АО «Кольская горно-металлургическая компания» - крупного горнопромышленного предприятия региона.

Оценка диссертации в целом

Отмеченные замечания по диссертации не снижают общего положительного впечатления от работы.

Диссертационная работа имеет завершённый характер. Вопросы, представленные соискателем, изложены достаточно чётко и подробно.

Диссертация написана доступным языком, хорошо оформлена, результаты представлены достаточным количеством рисунков и таблиц, удобных для анализа.

Содержание диссертации достаточно полно отражено в опубликованных работах.

Заключение по диссертационной работе

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Светлова Антон Викторовича на тему «Научное и экспериментальное обоснование методов повышения извлечения цветных металлов из некондиционных медно-никелевых руд и техногенного сырья» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Светлов Антон Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры Обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С. Б. Леонова федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» «10» января 2019 года. Протокол заседания № 6 от «10» января 2019 г.

Заведующий кафедрой Обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», д.т.н., профессор



Федотов
Константин
Вадимович

Адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

E-mail: info@istu.edu

Тел.: +7 (3952) 405-100

Публикации ИРНТУ

1. Прокопьев Е.С., Федотов К.В., Прокопьев С.А. Существующие механизмы разделения минеральных частиц на винтовых сепараторах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S1-2. С. 3-20.(Перечень ВАК Импакт- фактор 0,081)
2. Федотов К.В., Сенченко А.Е., Куликов Ю.В. Метод расчета удельной энергии само-/полусамоизмельчения на основе комбинации рабочих индексов Бонда // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 11. С. 127-140.(Перечень ВАКИмпакт- фактор 0,081)
3. Верхотурова В.А., Елшин И.В., Немаров А.А., Толстой М.Ю., Островская Г.Х., Федотов К.В., Шеломенцева Т.В. Научное обоснование и выбор оптимального варианта по восстановлению гидрофобных свойств поверхности алмазов из руды трубки «Интернациональная» // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 8 (91). С. 50-56.(Перечень ВАК Импакт- фактор 0,241)
4. Федотов П.К. Моделирование процесса разрушения руды в слое частиц под давлением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 4. С. 71-77. (WebofScience, Scopus(Импакт фактор журнала 1,601, CA(pt), GeoRef) ,Перечень ВАК Импакт- фактор 0,174),
5. Федотов П.К. Моделирование основных параметров дезинтеграции руды в слое частиц под давлением // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 4. С. 226-231. (Перечень ВАК Импакт- фактор 0,164)
6. Ващенко Г.А., Гудков С.С., Емельянов Ю.Е., Ёлшин В.В., Богородский А.В. Совершенствование технологии переработки золотосодержащей руды Березняковского месторождения // Обогащение руд. 2014. № 6 (354). С. 7-10.(Перечень ВАК,Импакт-фактор 0,624), CA(pt),Scopus
7. Федотов П.К. Modeling fracture of ore particles in a layer under pressure // Journal of mining science. – 2015. № 4, Том 50. -P. 674-679 // Web of Science, SCOPUS
DOI: 10.1134/S1062739114040073
<https://link.springer.com/article/10.1134/S1062739114040073>
8. Лапшин В.Л., Рудых А.В., Глухов А.В. Математическое моделирование процесса вибрационного движения частиц материала по рабочему органу сепаратора // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 3 (98). С. 49-55. (Перечень ВАК,Импакт- фактор 0,241)
9. Федотов П. К., Петухов В. И., Зелинская Е. В., Бурдонов А. Е. Переработка хвостов Джидинского вольфрам-молибденового комбината для получения золотосодержащего товарного продукта. / Обогащение руд – 2016. – № 6. – С.44-50. (SCOPUS, CA(pt)) Перечень ВАК, импакт-фактор 0,624 DOI: 10.17580/or.2016.06.08
10. Федотов П.К., Петухов В.И., Федотов К.В., Бурдонов А.Е. Анализ направлений переработки лежалых хвостов Джидинского ВМК // Обогащение руд.

2016. № 1 (361). С. 40-46. Scopus, CA(pt), (Перечень ВАК Импакт- фактор 0,624), DOI: 10.17580/or.2016.01.07

11. Гудвилл М.Н., Богидаев С.А. Исследования взаимодействия реагента-собиранителя "Фомол" с поверхностью минерала в условиях водооборота // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. – 2016 № 4 (57). С.70-76 (Перечень ВАК, Импакт- фактор 0,141) DOI: 10.21285/0130-108X-2016-57-4-70-76

12. Федотов П.К., Сенченко А.Е., Федотов К.В., Бурдонов А.Е. Исследования обогатимости упорных первичных и смешанных руд золоторудного месторождения Красноярского края // Обогащение руд. 2017. № 3 (369). С. 21-26. Scopus, CA(pt) (Перечень ВАК Импакт- фактор 0,624), DOI: 10.17580/or.2017.03.04

13. Федотов П.К., Сенченко А.Е., Федотов К.В., Бурдонов А.Е. Технология переработки оловосодержащей руды месторождения Казахстана // Обогащение руд. 2017. № 1 (367). С. 8-14. Scopus, CA(pt) (Перечень ВАК Импакт- фактор 0,624), DOI: 10.17580/or.2017.01.02

14. Федотов К.В., Сенченко А.Е. Моделирование движения двухфазного потока пульпы в центробежном сепараторе // Экология и промышленность России. – 2017. – № 11. – С. 30-35. Scopus, CA(pt), GeoRef (Перечень ВАК импакт-фактор 0,450, <http://catalysis.kalvis.ru/katalog-izdaniy/zhurnalyi/ekologiya-i-promyshlennost-rossii/anons-sleduyushhego-nomera/%E2%84%96-11/https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7351> DOI: 10.18412/1816-0395-2017-11-30-35

15. Федотов П.К., Федотов К.В., Бурдонов А.Е., Сенченко А.Е. Изучение вещественного состава оловосодержащей руды одного из месторождений Казахстана // Цветные металлы. – 2017. - № 8.- С.15-22. DOI: 10.17580/tsm.2017.08.02 <http://www.rudmet.ru/journal/1654/article/28396/> Scopus, CA(pt), Перечень ВАК импакт-фактор 0,373, DOI: 10.17580/tsm.2017.08.02

16. Ёлшин В.В., Колодин А.А., Мельник С.А. Разработка и внедрение автоматизированной системы управления установкой непрерывной десорбции золота из активных углей // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5 (124). С. 79-86. (Перечень ВАК, Импакт- фактор 0,241) DOI: 10.21285/1814-3520-2017-5-79-86

17. Пелих В. В., Немчинова Н. В., Салов В. М., Лапшин В. Л. Результаты тестирования CVD-технологии при переработке тантал-ниобиевых руд // Устойчивое развитие горных территорий. - 2017. -Т.9, №4(34). – С. 432-442. DOI: 10.21177/1998-4502-2017-9-4-432-442(Перечень ВАК, Импакт- фактор 0,225)(Scopus)

18. Федотов П.К., Федотов К.В., Сенченко А.Е., Бурдонов А.Е. Анализ технологических исследований золотосодержащих руд месторождения Чукотки // Обогащение руд 2018. №2 С.23-29. <https://elibrary.ru/item.asp?id=32850637>