



«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ФГБУ «ВИМС»

О.В. Казанов

«07» февраля 2024 г.

ОТЗЫВ

**ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья
им. Н.М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС») на диссертационную работу
Горячева Андрея Александровича «Обоснование и разработка
термогидрохимической технологии переработки медно-никелевых руд и
техногенных продуктов с использованием сульфата аммония», представленную на
соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. —
«Обогащение полезных ископаемых»**

Рецензируемая научная работа посвящена актуальной для современной России проблеме, связанной с истощением запасов легкообогатимого минерального сырья. В этой связи возникает необходимость поиска новых способов извлечения ценных металлов из нетрадиционных источников сырья, в том числе техногенных объектов (отвалов забалансовых и некондиционных руд), а также отходов недропользования. Эти объекты, с одной стороны, содержат десятки миллионов тонн цветных металлов, с другой — являются долговременным источником загрязнения окружающей среды. Для их эффективной переработки необходимо создание эффективных технологий обогащения и дальнейшей химико-металлургической переработки по сравнению с исходным минеральным объектом.

Основными задачами диссертационной работы А.А. Горячева являлись:

- установление фазовых превращений сульфидных минералов, происходящих при взаимодействии с сульфатом аммония в процессе низкотемпературного обжига;
- разработка научных основ химико-металлургического обогащения медно-никелевых руд методом низкотемпературного обжига с сульфатом аммония;
- исследование процесса извлечения ионов меди, железа, никеля и кобальта из продуктивных растворов выщелачивания обожженной смеси;
- определение способов безопасной утилизации твердой фазы и растворов после выщелачивания и извлечения цветных металлов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы из 137 наименований. Содержит 140 страниц машинописного текста, включая 68 рисунков и 4 таблицы.

Выявленные автором закономерности позволили получить следующие наиболее существенные, по нашему мнению, результаты, определяющие научную новизну диссертационной работы:

- выявлен механизм взаимодействия сульфидов медно-никелевых руд с сульфатом аммония в процессе обжига. Конечным продуктом взаимодействия являются водорастворимые сульфаты никеля и меди;
- в процессе водного выщелачивания обожженной смеси медно-никелевого сырья и сульфата аммония образованные при обжиге сульфаты цветных металлов полностью растворяются при выщелачивании в подогретой воде;
- установлены технологические параметры, приводящие к образованию сульфатов в процессе обжига чернового концентрата: массовое соотношение концентрата и сульфата аммония, крупность частиц обжигаемой смеси, температура обжига, время обжига. Для

растворения сульфатов цветных металлов в процессе водного выщелачивания установлены следующие параметры: соотношение Т:Ж, температура, интенсивность перемешивания, время. Разработанные параметры обеспечивают извлечение меди и никеля в раствор более 90 % от исходного содержания в концентрате;

– представленная схема, включающая извлечение меди методом цементации на железе, последующее осаждение железа известью, а также никеля и кобальта с помощью гидроксида магния, обеспечивает извлечение цветных металлов из раствора при оптимальных параметрах выше 99 %.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что:

– определены эффективные технологические параметры химико-металлургической переработки различных видов медно-никелевого сырья: чернового медно-никелевого флотационного концентрата, руд Аллареченского техногенного месторождения и месторождения Нюд II, обеспечивающие упрощение процесса обогащения, снижение потерь никеля, меди и кобальта, минимизацию негативного воздействия газодымовых выбросов на атмосферный воздух;

– обоснованы режимы извлечения металлов из продуктивных технологических растворов;

– предложена схема обращения с отработанными растворами и остатками после выщелачивания.

К достоинствам диссертационной работы относятся данные по вещественному составу ряда медно-никелевых объектов Мурманской области, на основании которых проведена оценка перспективности их вовлечения в переработку. Установлено, что руда отвала Аллареченского месторождения наиболее благоприятна для переработки методом низкотемпературного обжига. В процессе обжига активно формируются сульфаты цветных металлов, которые растворяются на стадии выщелачивания, извлечение металлов при этом составляет более 90 %.

В работе исследованы процессы превращения сульфидных минералов, происходящие при обжиге в смеси с сульфатом аммония при температуре 400 °С. Установлено, что в процессе обжига железо-, никель- и медьсодержащие сульфидные минералы вступают в реакцию с сульфатом аммония и образуют сульфаты соответствующих металлов. Остаток после выщелачивания может являться перспективным сырьем для получения строительных материалов. Сделаны выводы о влиянии типа медно-никелевого сырья на извлечение металлов в раствор, а также о перспективности использования метода цементации для извлечения меди из раствора. Предложена принципиальная схема обращения с отходящими в процессе обжига газами, заключающаяся в их возможном улавливании с последующей регенерацией основного реагента — сульфата аммония.

Автором предложена технологическая схема переработки руды, включающая стадии флотационного обогащения с получением чернового медно-никелевого концентрата, обжиг концентрата в смеси с сульфатом аммония, выщелачивание обожженной смеси, извлечение цветных металлов из раствора, а также рассчитан экономический эффект, который может быть достигнут при переработке медно-никелевого сырья по данному способу. Апробация предложенной технологии в опытно-промышленном масштабе позволит оценить возможность переработки некондиционного сырья, что приведет к улучшению экологического состояния в районах этих месторождений, а также потенциальному обеспечению предприятий запасами медно-никелевого сырья на длительную стратегическую перспективу.

По диссертационной работе имеются замечания и вопросы, не затрагивающие сути научных положений и основных выводов работы:

– в разделе 1.4. Главы 1 целесообразно было бы более детально обосновать выбор сульфата аммония в качестве реагента, учитывая избыток образующейся на предприятиях медно-никелевой отрасли (в частности — АО «Кольская ГМК») серной кислоты;

– в Главе 3 приводятся результаты рентгенофазового анализа образцов сульфидных минералов и описываются новообразованные фазы. Указано, что после обжига пирротинов моноклинной и гексагональной сингонии выявлены некоторые различия в новообразованных фазах, однако не делается вывод о возможном влиянии этих различий на степень извлечения металлов в раствор;

– в Главе 4 не приводится зависимость извлечения металлов в раствор от температуры и времени выщелачивания обожженной смеси;

– в Главе 5 представлен ожидаемый экономический эффект от внедрения технологии, желательно привести схему аппаратурного оформления предлагаемой технологической схемы;

– автором отмечено, что для снижения негативного воздействия отвалов сульфидных руд требуется их максимально полное вовлечение в переработку. В этой связи целесообразно было бы привести для руды Аллареченского техногенного месторождения расчет предотвращенного экологического ущерба в соответствии с методическими указаниями к постановлению Правительства РФ от 13.09.2016 г. № 913 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления».

Оценивая в целом диссертационную работу А.А. Горячева, следует отметить:

– ее актуальность и научную новизну в связи с важной для России проблемой использованием техногенных отходов недропользования;

– практическую значимость, которая определяется разработанными эффективными комбинированными обогатительно-химико-металлургическими технологиями.

Материалы диссертации А.А. Горячева отражены в 14 публикациях, получен патент на изобретение, материалы доложены и обсуждены на представительных международных и российских конференциях.

В диссертационной работе А.А. Горячева предлагается решение актуальной научной задачи вовлечения в переработку отвалов забалансовых и некондиционных руд, а также отработанных месторождений на основе альтернативной термогидрохимической технологии. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Работа соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (в редакции постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор, Горячев Андрей Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9 — «Обогащение полезных ископаемых» (технические науки).

Диссертационная работа и положительный отзыв ведущего предприятия рассмотрены на заседании технологической секции Ученого Совета ФГБУ «ВИМС» (протокол № 1 от 07 февраля 2024 г.).

Заведующий технологическим отделом
ФГБУ ВИМС, к.х.н.

Ануфриева С.И.

Ведущий научный сотрудник
ФГБУ ВИМС, к.т.н.

Каплин А.И.

Собственноручную подпись сотрудника ФГБУ «ВИМС»	
Ануфриевой С.И., Каплина А.И.	
удостоверяю:	
Помощник генерального директора	
ФГБУ «ВИМС» Чиженека А.Н.	
«09» декабря 2024 г.	



СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»
Сокращенное наименование организации в соответствии с уставом	ФГБУ «ВИМС»)
Ведомственная принадлежность	Федеральное агентство по недропользованию - Роснедра
Почтовый индекс, адрес организации	119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 31
Веб-сайт	http://vims-geo.ru
Телефон	(495) 951-50-43
Адрес электронной почты	vims@vims-geo.ru

Список основных публикаций сотрудников организаций по теме диссертации

1. Броницкая Е.С., Ануфриева С.И., Иванова М.В., Лаптева А.М. Современное состояние и основные направления развития технологии переработки шеелитовых руд // Разведка и охрана недр. 2018. №6. С. 36-42.
2. Курков А.В., Ануфриева С.И., Лихникович Е.Г., Рогожин А.А. Комплекс современных технологических решений переработки сподуменовых руд // Разведка и охрана недр. 2018. №9. С. 44-52.
3. Рябкин В.К. К проблеме представительности лабораторных технологических проб твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. 2018. № 6. С. 42-46.
4. Скобелев Д.О., Марьев В.А., Шубов Л.Я., Иванков С.И., Доронкина И.Г. Аналитическая оценка оборудования для дробления и сепарации по крупности техногенного сырья // Экология промышленного производства. 2018. № 1 (101). С. 2-10.
5. Карпенко И.А., Цымбалист С.И., Рябкин В.К., Литвинцев Э.Г., Куликов Д.А., Хашковская Т.Н., Ратнер В.Б. Совершенствование технологии переработки вкрашенных сульфидных платиновых медно-никелевых руд Мончегорского рудного района // Разведка и охрана недр. 2018. №2. С. 50-55.
6. Горбатова Е.А., Раков Л.Т., Киселев А.А., Иоспа А.В., Чепрасов И.В. Оценка обогатимости хромовых руд Аккаргинского месторождения методами технологической минералогии // Разведка и охрана недр. 2019. № 12. С. 26-33.
7. Курков А.В., Мамошин М.Ю., Рогожин А.А. Прорывные гидрометаллургические процессы для устойчивого развития технологий переработки минерального сырья. М: ВИМС, 2019, 107 с. ISBN 978-5-6042742-1-7
8. Курков А.В., Ануфриева С.И., Лихникович Е.Г., Рогожин А.А. Экологически щадящие энергосберегающие гидрометаллургические процессы селективного вскрытия упорного минерального сырья. XII Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. -М.: ИТЕП, 2019, С. 149- 154.
9. Курков А.В., Ануфриева С.И., Рогожин А.А. Технологическое обеспечение переработки нетрадиционных видов минерального сырья. Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения - 2019): Материалы Международного совещания. Иркутск, ООО «Репроцентр А1», 2019, С. 42-45.
10. Лихникович Е.Г., Курков А.В., Ануфриева С.И., Рогожин А. Гидрометаллургические процессы селективного вскрытия минерального сырья // Цветные металлы. — 2020. — №3, —С. 27-31.
11. Лихникович Е.Г., Курков А.В., Пермякова Н.А., Соколова Н. Новая гидрометаллургическая технология комплексной переработки золото-сурьмяных

- руд // Сборник докладов 2-ой научно-практической конференции «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование». 7-8 декабря 2021 г., Москва. С. 201-206.
12. Курков А.В., Ануфриева С.И., Темное А.В. Перспективы разработки и внедрения комплексных технологий переработки отходов недропользования. Устойчивое развитие горных территорий, т. 13, №2(48), 2021, С. 179 -187. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-179-187
13. A.V. Kurkov, S.I. Anufrieva. and A.A. Rogozhin. Flotation technologies for the extraction of complex beryllium ores. XXX International Mineral Processing Congress 18-22 October 2020 Cape Town, South Africa (IMPC 2020). IMPC Congress Proceedings, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy (SAIMM), 2021, pp. 1775-1785. ISBN 978-1-928410-21-8. www.impc2020.com
14. Курков А.В., Мамошин М.Ю. Рогожин А.А. Литий: технологии прямого извлечения из растворов (ключевое значение, новое поколение решений, перспективные объекты). М.: ВИМС, 2021, 136 с. ISBN 978-6046868-0-5.
15. Курков А.В., Мамошин М.Ю., Ануфриева С.И., Рогожин А. Прорывные технологии прямого извлечения лития из гидроминерального сырья. Труды Второй научно-практической конференции с международным участием «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование». М.: ФГБУ «ВИМС», 2021, С. 175-189. ISBN 978-5-6046868-5-0
16. Лихникович Е.Г., Курков А.В., Пермякова Н.А., Соколова В.Н., Ануфриева С.И. Новая гидрометаллургическая технология комплексной переработки золотосурьмянных руд. Труды Второй научно-практической конференции с международным участием «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Освоение, воспроизводство, использование». М.: ФГБУ «ВИМС», 2021, С.201-2005. ISBN 978-5-6046868-5-0
17. Курков А.В., Ануфриева С.И., Рогожин А.А. Создание технологий комплексной переработки руд редких металлов на основе флотационного разделения сложных минеральных комплексов. Материалы международной конференции «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения» (Плаксинские чтения 2022), 04-07 октября 2022 г., Владивосток, Изд-во ДВФУ, 2022, С.49 -56. ISBN 978-5-7444-5340-4, DOI <https://doi.org/10.24866/7444-5340-4>.
18. Лихникович Е.Г., Пермякова Н.А., Курков А.В., Соколова В.Н. Современные технологические подходы к переработке золотосурьмянного сырья. Разведка и охрана недр, 2022, №12, С. 27-30.