

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на автореферат и диссертационную работу Анашкиной Наталии Евгеньевны на тему «Экспериментальное обоснование механизма модифицирования физико-химических, структурных и технологических свойств алмазов и породообразующих минералов кимберлитов при нетепловом воздействии высоковольтных наносекундных импульсов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых»

Диссертационная работа Анашкиной Наталии Евгеньевны представляет собой законченный результат научных теоретических и практических исследований, посвященных экспериментальному обоснованию механизма модифицирования физико-химических, структурных и технологических свойств алмазов и породообразующих минералов кимберлитов, основанного на применении импульсных энергетических воздействий. Работа изложена на 183 стр. текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 170 наименований.

Актуальность работы

Основным источником повреждений алмаза является процесс их самоизмельчения. Автор диссертации указывает, что при существующей в России технологии добычи и переработки алмазоносных кимберлитов повреждаемость кристаллов алмаза приводит к потере полезной массы кристаллов по разным оценкам от 12 до 29%. Кроме того, использование в данном процессе высокоминерализованных оборотных вод, а также дополнительное растворение компонентов из рудной массы приводит к образованию примесных гидрофильных пленок на поверхности кристаллов и, как следствие, изменению их технологических свойств. Одним из путей повышения эффективности процесса дезинтеграции минерального сырья, разделения минералов с близкими физико-химическими и технологическими свойствами является использование в подготовительных операциях нетрадиционных методов энергетических воздействий, таких как радиационные, ультразвуковые, электрохимические, лазерные, плазменные, микроволновые, электроимпульсные и другие виды воздействий. Автор предлагает решить проблему повышения эффективности разупрочнения породообразующих минералов кимберлитов путем использования нетеплового воздействия мощных наносекундных электромагнитных импульсов. Такое воздействие приводит к направленному изменению структурных, физико-химических и электрических свойств поверхности природных минералов-диэлектриков, входящих в состав породы и минеральных пленок на поверхности кристаллов алмазов, что позволит, в итоге, сократить время пребывания кристаллов алмазов в мельницах самоизмельчения, повысить эффективность процессов липкостной сепарации и флотации.

Научная новизна

Научная новизна представленной работы заключается в следующем:

1. Получены новые экспериментальные данные о влиянии МЭМИ на комплекс структурных, механических, электрических, физико-химических и технологических свойств алмазов и породообразующих минералов кимберлитов, подтверждающие развиваемые в диссертации представления о механизме нетеплового воздействия наносекундных импульсов высокого напряжения на геоматериалы:

- снижение микротвердости породообразующих минералов в целом на 40 – 66% при сохранении целостности и природных свойств кристаллов алмазов и контрастное (разнонаправленное) изменение функционально-химического состава поверхности, электрических и физико-химических (гидрофобность) свойств алмазов и минералов породы;

- увеличение извлечения алмазов при флотации за счет предварительной обработки МЭМИ, вызывающей деструкцию и удаление с поверхности кристаллов гидрофильных минеральных пленок, увеличение абсолютного значения электрокинетического потенциала и гидрофобных свойств алмазов.

2. Впервые выявлены и экспериментально обоснованы механизмы изменения структурно-химических, механических, физико-химических и технологических свойств природных минералов-диэлектриков – алмаза, оливина, серпентина и кальцита из кимберлитов в результате воздействия мощных электромагнитных импульсов (МЭМИ). Основными из этих механизмов являются следующие:

- разупрочнение породообразующих минералов вследствие образования микроканалов электрического пробоя вблизи тонкодисперсных металлосодержащих включений (сульфидов, оксидов), разупорядочения структуры (деструкции) поверхностного слоя минералов в результате высоковольтной поляризации минерального вещества и воздействия на минеральную поверхность активных продуктов излучения плазмы искрового разряда, вызывающее существенное уменьшение микротвердости минералов-диэлектриков;

- дисперсионное упрочнение алмазов вследствие образования новых дефектов типа В2 (плейтлетс) без глубокой структурной перестройки кристаллов, что, предположительно, вызывает повышение прочностных свойств алмазов и способствует большей сохранности ценных кристаллов при измельчении кимберлитов;

- поглощение энергии импульсного электромагнитного излучения в процессе стадийных структурно-химических преобразований поверхности минералов, вызывающих контрастное (разнонаправленное) изменение электрических, физико-химических и технологических (флотационных) свойств алмазов и минералов породы.

Научное значение работы заключается в том, что вскрыт и экспериментально обоснован механизм изменения химического (фазового) состава поверхности, физико-химических, структурных и технологических свойств алмазов и породообразующих минералов кимберлитов при импульсном энергетическом воздействии, что позволяет обосновать рациональные режимы и условия электромагнитной импульсной обработки материалов, обеспечивающие повышение эффективности процессов дезинтеграции и

разупрочнения минералов породы при максимальной сохранности алмазных кристаллов и флотационного извлечения алмазов из руд и концентратов.

Для решения поставленных задач и достижения результатов автором проведен широкий комплекс исследований с привлечением множества современных физико-химических методов - рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии РФЭС, ИК-Фурье-спектроскопии, аналитической электронной, лазерной сканирующей, сканирующей зондовой и оптической микроскопии. Кроме того, применен метод определения гидрофильно-гидрофобного состояния поверхности алмаза с применением контактного прибора В.А. Глембоцкого, метод определения микротвердости минералов по методу Виккерса, а также метод Кельвина для определения электростатического потенциала природных алмазов.

Практическая значимость и реализация результатов работы

Практическое значение данной работы заключается в том, что представленный способ обработки геоматериалов может быть рекомендован к применению на действующем производстве для интенсификации процессов дезинтеграции минерального сырья, процессов флотации и липкостной сепарации алмазов.

В настоящей работе показано, что микротвердость оливина монотонно снижалась при увеличении времени электроимпульсной обработки (t_{reat}) от 10 до 150 с, относительное максимальное снижение HV составило 62%. Для кальцита максимальное снижение микротвердости на 66% наблюдалось в результате воздействия МЭМИ в течение 100 и 150 с. Микротвердость серпентина снизилась на 42% при $t_{\text{reat}} \sim 50$ с, и последующее увеличение продолжительности импульсного воздействия вплоть до 150 с не вызывало существенного изменения микротвердости минерала. Поэтому способ нетеплового воздействия наносекундных импульсов высокого напряжения на геоматериалы может быть рекомендован для интенсификации процесса разрушения и повышения селективности дезинтеграции кимберлитов.

Одним из значимых практических аспектов применения МЭМИ при обогащении алмазоносных кимберлитов является факт того, что при обработке МЭМИ не происходит повреждения природных алмазов, в том числе снижения их прочностных свойств, что подтверждается микроскопическими и спектроскопическими исследованиями кристаллов до и после электромагнитной импульсной обработки. По данным ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье, появление в структуре алмаза пластинчатых интерстициальных образований – плейтлетс (B2-центр), может способствовать увеличению прочностных свойств алмаза вследствие дисперсионного упрочнения кристаллов.

Наиболее существенным изменением технологических свойств алмаза под влиянием МЭМИ является разрушение пленок карбонатов, сульфатов, глинистых минералов и гидроокислов, что подтверждено данными оптической и электронной микроскопии. Удаление гидрофильных минералов с поверхности алмаза приводило к улучшению его флотационных характеристик. В результате экспериментов по беспенной флотации установлено, что флотационная активность природных алмазов увеличивалась на 14% после предварительной обработки МЭМИ в течение $t_{\text{reat}} = 150$ с, при этом

содержание гидрофильных нефлотируемых кристаллов значительно уменьшалось при $t_{reat} = 10 - 30$ с.

Полученные результаты свидетельствуют о положительном воздействии МЭМИ на эффективность процесса разделения алмаза и породообразующих минералов кимберлитов. Анализ экспериментальных данных позволил автору диссертации сделать вывод о целесообразности применения режимов кратковременных импульсных энергетических воздействий для интенсификации процессов дезинтеграции, направленного изменения структурно-химического и энергетического состояния поверхности минералов, а также изменения флотационных свойств кристаллов алмаза и минералов породы (кальцита, оливина и серпентина).

В результате проведенных исследований выбран технологический режим обработки геоматериалов на воздухе при стандартных условиях: соотношение Т : Ж от 5:1 до 3:1; электрофизические параметры МЭМИ – длительность импульса не более 10 нс, длительность фронта импульса – 1–5 нс, амплитуда импульса $U_a \sim 20 - 30$ кВ, напряженность электрического поля $\sim 10^7$ В/м, энергия в импульсе 0,1 Дж, частота повторения импульсов 100 Гц; рекомендованный диапазон изменения времени электроимпульсной обработки $t_{reat} = 10 - 30$ с (доза электромагнитного излучения – число импульсов $N_{imp} = 10^3 - 3 \times 10^3$). Рекомендованная крупность обрабатываемого материала – от 100 мкм до 2-3 мм (максимально – до 5 мм). Определены удельные энергозатраты на обработку МЭМИ в пересчете на 1 тонну руды в лабораторных условиях – $W_{уд} \approx 1,7$ кВт·ч.

На основании проведенных исследований даны предварительные рекомендации по использованию импульсных энергетических воздействий (МЭМИ) в технологической схеме обогащения и доводки руды трубки «Интернациональная» на ОФ№3 МГОКа АК «АЛРОСА» для переработки хвостов обогатительных операций, направленных на доизмельчение (циркуляция), относящихся к классу крупности руды менее 5 мм, а также концентратов перед операциями липкостной сепарации и флотации.

Достоверность и обоснованность результатов работы

Научные положения, основные выводы и рекомендации диссертации Анашкиной Н.Е. представляются убедительными и достаточно обоснованными, что обеспечивается использованием комплекса современных физико-химических методов исследований, непротиворечивостью полученных результатов и выводов; достижением высокой эффективности процессов дезинтеграции (разупрочнения) породообразующих минералов кимберлитов, электроимпульсного разрушения минеральных пленок на поверхности алмазов, контрастного структурно-химического модифицирования свойств алмазов и минералов породы при нетепловом воздействии наносекундных импульсов высокого напряжения в интервале изменения установленных рациональных параметров МЭМИ; использованием методов математической статистики для обработки полученных экспериментальных данных.

Личный вклад автора заключается в анализе достижений науки, техники и технологии в области методов, применяемых при обогащении алмазоносных

кимберлитов, формировании эталонной коллекции минералов кимберлитов и алмазов, проведении кристаллохимической классификации природных технических алмазов и выполнении экспериментальных исследований по влиянию МЭМИ на структурно-химические, морфологические, физико-химические, механические, электрические, флотационные свойства алмазов и породообразующих минералов кимберлитов, анализе и обобщении полученных результатов.

Апробация работы

Материалы диссертации опубликованы в необходимом объеме в 35 работах, в том числе в 7-ми статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Автореферат по содержанию полностью соответствует диссертации. Диссертация и автореферат написаны четко и ясно, грамотным научно-техническим языком и оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ.

Основные результаты исследований доложены на различных научно-технических конференциях, семинарах, совещаниях и одобрены научно-техническим сообществом.

По диссертации и автореферату имеются вопросы и замечания:

1. В диссертационной работе рассмотрены результаты воздействия высоковольтных наносекундных импульсов (МЭМИ) на конкретные образцы оливина и серпентина фиксированного состава. Однако в кимберлитах из разных трубок и даже в пределах одной и той же трубки состав этих минералов может варьироваться (например, содержание форстерита в оливине и соотношение хризотила и лизардита в серпентине). Также, кроме кальцита в кимберлитовых трубках весьма распространен доломит (карбонат магния). Как эти факторы могут влиять на эффективность процесса разупрочнения породообразующих минералов кимберлита при воздействии МЭМИ?
2. Механизм изменения структурно-химических, электрических и технологических свойств алмазов в результате воздействия МЭМИ изучен автором на примере природных кристаллов низкого качества с округлой формой и темной окраской (техническое сырье), а также на синтетических алмазах с малым размером и характерными особенностями химического состава кристаллов. Возможно ли распространить полученные результаты на природные алмазы большей крупности и кристаллы, обладающие ювелирным качеством?
3. В работе проводились исследования изменения структурно-химических, физико-химических, механических и технологических свойств минералов в зависимости от продолжительности электромагнитной импульсной обработки (времени воздействия или суммарной «дозы» излучения МЭМИ). Каковы перспективы использования полученных результатов (установленных рациональных параметров импульсной обработки геоматериалов) для разработки практических рекомендаций по применению данного метода на производстве?
4. Автором использовано большое число современных методов исследований состава, структуры и свойств минералов, однако описание методик и приборов общего назначения в диссертации представлено излишне подробно.

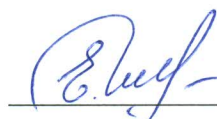
В целом, имеющиеся замечания не затрагивают основных результатов и не снижают ценности диссертационной работы, которая имеет научную новизну и

практическую значимость и по своему содержанию отвечает требованиям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки РФ к кандидатским диссертациям, и в целом производит весьма положительное впечатление.

Диссертационная работа Анашкиной Наталии Евгеньевны «Экспериментальное обоснование механизма модифицирования физико-химических, структурных и технологических свойств алмазов и породообразующих минералов кимберлитов при нетепловом воздействии высоковольтных наносекундных импульсов» является научно-квалификационной работой, представляющей завершённые научные исследования, и посвящена решению важной научно-технической задачи – повышению эффективности технологии переработки алмазосодержащих руд. Работа выполнена на высоком теоретическом и экспериментальном уровне; соответствует паспорту научной специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых». Выводы автора основаны на анализе большого фактического материала и не вызывают сомнений. Полученные научные данные вносят вклад в дальнейшее развитие теории и технологии обогащения алмазосодержащего сырья, а предложенный способ и режим обработки геоматериалов МЭМИ может быть использован на фабриках, перерабатывающих алмазосодержащие руды. Это повышает значение работы, делая ее важной для алмазной подотрасли в целом.

Автор работы – Анашкина Наталия Евгеньевна зарекомендовала себя как сложившийся ученый-исследователь и заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых».

Кандидат технических наук,
Инженер-технолог ООО «Коралайна Инжиниринг»



Чернышева Е.Н.

Подпись канд. техн. наук, Чернышевой Елены Николаевны удостоверяю:

Генеральный директор
ООО «Коралайна Инжиниринг»



Чудновец А.В.

Дата

16 января 2019

Список научных трудов Чернышевой Е.Н.

1 ВЛАГА В УГЛЯХ КАК ПАРАМЕТР КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ Чернышева Е.Н. Уголь. 2016. № 8 (1085). С. 125-128.

2 ИННОВАЦИОННАЯ СУШКА "КРОНОС". ГЛУБОКОЕ НЕТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ УГЛЯ И МИНЕРАЛОВ Кириллов К.М., Козлов В.А., Чернышева Е.Н. Уголь. 2015. № 6 (1071). С. 56-60.

3 ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯЖЕЛОСРЕДНЫХ ГИДРОЦИКЛОНОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ Чернышева Е.Н. Уголь. 2015. № 2 (1067). С. 58-61.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ Двойченко Г.П., Тимофеев А.С., Чернышева Е.Н., Ковальчук О.Е. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 9. С. 41-48.

5 АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ Чернышева Е.Н., Двойченко Г.П., Миненко В.Г., Тимофеев А.С., Интогарова Т.И. В сборнике: Наука и инновационные разработки - Северу. Сборник докладов. Министерство образования и науки Российской Федерации; Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВПО "Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова" в г. Мирном; Муниципальное образование "Мирнинский район"; Акционерная компания "АЛРОСА" (ОАО); Общая редакция: А. А. Гольдман, И. В. Зырянов, И. С. Томский. 2014. С. 326-330.

6 РАЗРАБОТКА НОВОГО СПИРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ УГОЛЬНОГО ШЛАМА ПРИ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ. ЧАСТЬ I Козлов В.А., Чернышева Е.Н. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 7. С. 122-129.

7 ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СУСПЕНЗИИ НА РАБОТУ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ГИДРОЦИКЛОНА Козлов В.А., Чернышева Е.Н., Пикалов М.Ф. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 6. С. 165-175.

8 РАЗРАБОТКА НОВОГО СПИРАЛЬНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ УГОЛЬНОГО ШЛАМА ПРИ НИЗКОЙ ПЛОТНОСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ. ЧАСТЬ II Козлов В.А., Чернышева Е.Н. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 8. С. 91-98.

9 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ Чернышева Е.Н. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 2. С. 403-404.

10 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ Авдохин В.М., Чернышева Е.Н Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № S1. С.465-477.

11 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ Чернышева Е.Н. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный горный университет. Москва, 2009

12 ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯЖЕЛОСРЕДНОГО ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ФЕРРОСИЛИЦИЕВОЙ СУСПЕНЗИИ Чернышева Е.Н. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный горный университет. Москва, 2009

13 ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ РУДОПОДГОТОВКИ И ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ТРУБКИ "НЮРБИНСКАЯ" Двойченкова Г.П., Чернышева Е.Н., Савицкий Л.В., Воронцов В.С . Горный журнал. 2009. № 10. С. 77-78.

14 СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ ФЕРРОСИЛИЦИЯ В ПРОЦЕССЕ ТЯЖЕЛОСРЕДНОЙ СЕПАРАЦИИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ Авдохин В.М., Чернышева Е.Н. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2003. № 4. С. 240-244.