

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертацию и автореферат  
Двойченковой Галины Петровны

«Развитие теории и совершенствование процессов глубокой переработки кимберлитовых руд сложного вещественного состава на основе электрохимического модифицирования поверхностных свойств алмазов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

### **1. Актуальность темы диссертации, ее связь с государственными научными программами**

Россия обладает значительными запасами кимберлитовых руд, значительная часть которых расположена в районах Западной Якутии. Руды указанных месторождений характеризуются высоким содержанием алмазных кристаллов крупностью менее 5 мм, что составляет 15% стоимости товарной продукции. Основные потери, более 20 %, связаны с процессами липкостной и пенной сепарации. Причина столь больших потерь ценного минерала обусловлена снижением природной гидрофобности алмазов вследствие образования на их поверхности гидрофильных минеральных пленок.

В связи с вышеуказанным, диссертантом сформулирована цель работы: научное обоснование механизмов образования и деструкции гидрофильных соединений с поверхности алмазов, выбор рациональных параметров бездиафрагменного электрохимического кондиционирования минерализованных оборотных вод, обеспечивающих повышение извлечения алмазных кристаллов за счет модифицирования их свойств в процессах липкостной и пенной сепарации. Также автором диссертации сформулированы задачи для достижения поставленной цели.

Исследования автора тесно связаны с выполнением проектов программ фундаментальных исследований Президиума РАН (ПП-4) и Отделения наук о Земле РАН (ОНЗ-5) 2015-2017 гг.

### **2. Оценка внутреннего единства диссертации и полученных результатов**

В диссертации представлен логически построенный комплекс решений научных задач, который отвечает требованию внутреннего единства работы: ее актуальности, поставленной цели, полученным результатам. Выполняемые диссертантом исследования отличаются целенаправленностью, взаимосвязанностью и необходимостью для достижения практических результатов и рекомендаций по предотвращению потерь алмазов крупностью

менее 5 мм. Диссертантом последовательно раскрываются причины потерь алмазов в процессах липкостной и пенной сепарации и предлагаются меры по их предотвращению за счет удаления гидрофильных пленок минералов с поверхности алмазов. Предложены меры по повышению эффективности работы тяжелосредной сепарации.

### **3. Основные результаты исследования и научная новизна работы в рамках требований к диссертациям**

Научная значимость работы заключается в теоретическом и экспериментальном обосновании механизмов образования на поверхности алмазов минеральных гидрофильных микро - и макропримесей и их деструкции на основе электрохимического регулирования ионно-молекулярного состава оборотных вод в процессах пенной и липкостной сепарации алмазосодержащего сырья, что позволяет использовать полученные знания при разработке технологий обогащения минерального сырья.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в том, что с использованием комплекса современных методов исследований впервые достоверно определен состав и строение гидрофилизирующих соединений на поверхности алмазных кристаллов. Развитие теории процессов обогащения алмазосодержащего сырья заключается также в установлении механизма образования минеральных примесей на поверхности алмазных кристаллов как в условиях гипергенеза, так и в условиях технологических процессов рудоподготовки и обогащения. Все это позволило автору предложить новую классификацию поверхностных образований на алмазах, имеющих различное происхождение и свойства, и обосновать способ повышения контрастности технологических свойств природных алмазов и породообразующих минералов кимберлита, основанный на использовании продукта бездиафрагменного электролиза оборотной воды.

### **4. Степень обоснованности и достоверности результатов, научных положений, выводов и заключения соискателя**

Достоверность результатов обеспечена представительностью и надежностью исходных данных, использованием комплекса современных методов исследований и современных приборов, апробированных стандартных методик, совпадением теоретических закономерностей с данными экспериментальных исследований, значительным повышением показателей процессов пенной и липкостной сепараций алмазосодержащего сырья. Следует отметить комплексный подход, заключающийся в



одновременном использовании целого спектра физических и химических исследований: ИК, РФЭС и ОЖЕ-спектроскопия, рентгенометрический анализ кимберлитов, шламов и минеральных образований на поверхности алмазов, электронно-микроскопические исследования состава и рельефа поверхности кристаллов алмазов, химический анализ жидкой фазы пульпы и оборотных вод.

#### **5. Основные защищаемые положения в основном доказаны представленными результатами исследований и состоят в следующем**

В результате проведенных обширных исследований с использованием самых современных методов анализа автором определен минеральный состав и структурные характеристики кимберлитов, минералов шламовых классов и поверхностных образований на алмазах трубок «Интернациональная», «Мир» и «Нюрбинская». Установлены механизм, условия и закономерности протекания процесса образования минеральных примесей на поверхности алмазных кристаллов в условиях гипергенеза и в условиях технологических процессов. С учетом полученных результатов диссертантом разработана новая классификация поверхностных образований на алмазах, учитывающая различное происхождение и свойства этих образований, включающих: - адгезионно закрепившиеся на гидрофильной поверхности алмаза конгломераты (примазки) и единичные зерна шламовых классов гидрофильных минералов или гидрофобных минералов; - остатки породы, сохранившейся на кристаллах алмаза и имеющих с ними общий генезис; - техногенные продукты кристаллизации карбонатов и гидроксидокарбонатов в технологических процессах.

Двойченковой Г.П. достоверно определены причины техногенной гидрофилизации поверхности алмазов, заключающиеся в кристаллизации карбонатов кальция, магния и железа. Показана роль ионов железа как активаторов кристаллизации. Определены условия предотвращения или снижения интенсивности техногенной гидрофилизации.

Автором убедительно обоснован механизм направленного регулирования поверхностных свойств алмазов продуктами бездиафрагменной электрохимической обработки минерализованных хлоридных оборотных вод, который заключается в увеличении растворяющей способности водной среды по отношению к карбонатным минералам. В результате проведенных исследований автором разработаны режимы и конструкции аппаратов для бездиафрагменной электрохимической обработки минерализованных водных систем.

Разработанные диссертантом режимы и аппараты применены для совершенствования процессов липкостной и пенной сепарации алмазосодержащих продуктов, в водных схемах которых предусмотрена подача электрохимически обработанной оборотной воды в указанные технологические операции. Результаты технологических испытаний, проведенных на обогатительных фабриках, подтверждают эффективность разработанных схем и технологических режимов, обеспечивающих повышение извлечения алмазов в концентрат липкостной сепарации на 4 - 4,2 % и в концентрат пенной сепарации на 5,2 – 8,8% при сокращении расходов реагентов.

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

Основные положения, результаты и выводы работы достаточно полно изложены в 74 научных работах, опубликованных в профильных журналах и сборниках статей, в том числе опубликованных в период с 1998 по 2017 и рекомендованных ВАК РФ изданиях – 27.

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Международных конгрессах по обогащению полезных ископаемых, Международных совещаниях «Плаксинские чтения», и других представительных научных конференциях. Результаты работы докладывались на Научно-технических Советах АК «АЛРОСА и научных семинарах ИПКОН РАН (1998–2017).

#### **7. Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Диссертация написана технически грамотным языком с использованием общепринятых терминов и понятий. Автореферат по содержанию соответствует диссертации. Стиль изложения понятный, правильно используются термины, хорошо оформлены иллюстрации.

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

Личный вклад автора состоит в постановке цели и задач исследования, проведении теоретического анализа и выборе принципиальных путей решения поставленной проблемы, разработке научно обоснованной классификации типов минеральных образований на поверхности алмазных кристаллов, расчетах в системе алмаз – жидкая среда. формулировке методологических принципов и обосновании комплексов и методик лабораторных исследований, разработке основных теоретических положений



диссертации, расширении теоретических представлений о механизме бездиафрагменного электролиза сильноминерализованных хлоридсодержащих оборотных вод и выборе рациональных параметров процессов, непосредственном участии в научных экспериментах, обработке, интерпретации и апробации результатов исследований, разработке эффективной бездиафрагменной электрохимической технологии водоподготовки для условий липкостной и пенной сепараций алмазосодержащего сырья, организации и проведении экспериментальных исследований, опытно-промышленных и промышленных испытаний, анализе и обобщении полученных результатов с обоснованием выводов, подготовке публикаций.

#### **9. Практическая ценность результатов и рекомендации по использованию полученных результатов и выводов диссертации**

Практическое значение работы заключается в выборе параметров технологических режимов и разработке аппаратного комплекса для электрохимического кондиционирования оборотных вод в процессах пенной и липкостной сепарации алмазосодержащего сырья, обеспечивающих повышение извлечения алмазов в концентрат липкостной сепарации на 4 - 4,2 % и в концентрат пенной сепарации на 5,2 – 8,8% при сокращении расходов реагентов.

#### **10. Замечания по диссертации**

1. Глава 2 полностью посвящена подробному описанию возможностей серийно выпускаемых приборов. Эту информацию следовало бы изложить применительно к особенностям исследования минеральных образований на алмазах, шламов обогащаемого материала и оборотных вод.

2. Рассматривался ли вариант подачи газообразного хлора в изолированную накопительную емкость с оборотной водой для ее дальнейшего использования в целях гидрофобизации алмазов? Взаимодействие хлора с водой приведет к образованию соляной и хлорноватистой кислот (согласно реакции 4.2 диссертации). Как показано автором понижение рН приведет к растворению гидрофильных техногенных отложений и очищению поверхности алмаза, что подтверждается выявленным автором увеличением массовой доли углерода на поверхности алмазного кристалла (Рисунок 5.7).

3. Автор не указал, какие физические силы участвуют в закреплении химических соединений на поверхности кристаллов. Знание природы этих

сил даст возможность управления ими и возможность предотвращения формирования гидрофильных пленок на алмазах.

4. При рассмотрении происхождения минеральных образований на алмазах в виде адгезионно закрепившихся на гидрофильной поверхности алмаза конгломератов (примазки) и единичные зерна шламовых классов гидрофильных минералов необходимо учитывать следующее:

гидрофильное осаждение в предположении, что дисперсионные составляющие поверхностного натяжения всех взаимодействующих фаз равны, возможно, если кислотно - основное взаимодействие шламовых минералов и алмаза с жидкостью меньше кислотно - основного взаимодействия между тонкими шламовыми минералами и алмазом. Для этого электронно-донорная (основание Льюиса) и электронно-акцепторная (кислота Льюиса) компоненты поверхностного натяжения минерала и алмаза должны превышать соответствующие составляющие поверхностного натяжения воды.

В рассматриваемом случае можно предположить, что осаждение гидрофильных частиц глины на окисленных гидрофильных минералах происходит за счет электростатического осаждения. Приближение частиц к минеральной поверхности, имеющей отличающийся заряд того же знака, сопровождается перестройкой диффузионного и поверхностного зарядов двойного электрического слоя и появлением сил притяжения при некоторой критической толщине прослойки.


5. В работе рассмотрены варианты подачи обработанной воды: в операции оттирки и пенной сепарации; в камеру пенного сепаратора и при удалении шламов. Подача электрохимически обработанной воды в подпенный слой сепаратора дала лучшие результаты, но она исключает снятие минеральных пленок с алмазов, по причине недостатка времени на обработку (гидрофобизацию). Рассматривал ли диссертант возможность повышения показателей пенной сепарации в результате применения тонких пузырьков, которые в условиях гистерезисного механизма разделения минералов обеспечивают большую несущую способность пены

6. Выполнялась ли проверка растворения шламовых покрытий электрохимически обработанной водой? Каким образом производилась идентификация (отличие) природно-гидрофильных кристаллов алмазов и техногенно-гидрофилизированных?

Данные замечания не снижают огромную научную и практическую значимость работы Двойченковой Г.П., а лишь предполагают уточнение некоторых положений диссертации.



В целом диссертация Двойченковой Галины Петровны «Развитие теории и совершенствование процессов глубокой переработки кимберлитовых руд сложного вещественного состава на основе электрохимического модифицирования поверхностных свойств алмазов» является завершенной научно-квалификационной работой, обладает научной новизной и практической значимостью, соответствует пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней и требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Двойченкова Галина Петровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых».

Заведующий лабораторией обогащения  
полезных ископаемых и технологической  
экологии ИГД СО РАН, д.т.н.  Сергей Александрович Кондратьев



Подпись С. А. Кондратьева заверяю  
Ученый секретарь ИГД СО РАН, к.т.н. А. П. Хмелинин



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт  
горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии  
наук (ИГД СО РАН)

Телефон: 8 (383) 205-30-30; E-mail: mailigd@misd.ru