

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Г.П. Двойченковой
**«Развитие теории и совершенствование процессов глубокой переработки
кимберлитовых руд сложного вещественного состава на основе
электрохимического модифицирования поверхностных свойств алмазов»,**
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальностям: 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых»

Россия входит в состав лидеров-стран (Российская Федерация, Ботсвана, Канада, Ангола, ЮАР, Австралия), разрабатывающих коренные алмазосодержащие месторождения в мире. По разным оценкам, на Россию приходится до 30% мировой алмазодобычи, которая осуществляется АК «АЛРОСА», горно-обогатительные предприятия которой находятся в Западной Якутии и в Архангельской области.

Основные месторождения алмазов в России представлены кимберлитовыми трубками, в кимберлитах которых 45% извлекаемых алмазов представлены кристаллами крупностью $-5 + 1 (0,5)$ мм, на которые приходится 15% и более стоимости товарной продукции.

При этом, невозвратные потери кристаллов алмаза этого класса крупности, превышающие 20% происходят в операциях пенной и липкостной сепараций, основным признаком разделения в которых является гидрофобность кристалла алмаза.

Снижение природной гидрофобности поверхности кристаллов алмаза обусловлено образованием на поверхности кристаллов гидрофильных минеральных пленок как в результате протекания вторичных процессов в рудном теле, так и при воздействии технологических минерализованных оборотных вод в процессах обогащения алмазосодержащих кимберлитов.

В связи с этим, установление причин формирования гидрофильных минеральных образований на поверхности кристаллов алмаза, природы таких образований и научное обоснование способов очистки от них поверхности

кристаллов алмаза перед их извлечением в черновые алмазные концентраты пенной сепарацией и в доводочных операциях липкостной сепарации черновых гравитационных концентратов является актуальной научной задачей, решение которой позволит повысить извлечение мелких классов алмазов при обогащении алмазосодержащего кимберлитового минерального сырья.

Из всего многообразия процессов деструкции гидрофильных пленок на поверхности кристаллов алмаза (механическая оттирка, ультразвуковая обработка пульп и т.д.) автором научно обоснован метод электрохимического кондиционирования оборотных и технологических вод, продукты которого способствуют растворению большей части таких пленок. Данное направление работ развито научной школой академика РАН В.А. Чантурия и показало свою эффективность при обогащении алмазосодержащего сырья при непосредственном участии автора настоящей работы.

Объектом исследований явились кристаллы алмазов мелких классов, извлеченные из концентратов и хвостов пенной и липкостной сепарации, обладающие различной гидрофобностью своей поверхности. Подробное изучение их поверхностных свойств и состава и дисперсности гидрофильных пленок и образований современными физическими и физико-химическими методами позволило научно обосновать и разработать новую классификацию поверхностных образований на алмазах, имеющих различное происхождение и свойства.

Использование предложенной классификации кристаллов алмаза позволило теоретически обосновать способ повышения контрастности технологических свойств природных алмазов и породообразующих минералов кимберлита, заключающейся в использовании продукта бездиафрагменного электролиза оборотной воды для деструкции и растворения гидрофильных пленок на поверхности кристаллов алмаза, восстанавливая их природную гидрофобность и усиливая действие аполярных собирателей при пенной сепарации мелких классов алмазов.

Разработанные технологические схемы и аппаратное оформление электрохимического кондиционирования оборотных и технологических вод испытаны и внедрены в циклах пенной и липкостной сепараций на обогатительных фабриках №3 и №12 АК «АЛРОСА».

Автором по теме диссертации опубликовано 74 научных трудов, в изданиях рекомендованных ВАК РФ – 27.

По своей структуре диссертационная работа объемом 361 страниц машинописного текста состоит из введения, семи глав, выводов и заключения и приложений. Список использованных источников содержит 244 наименований, из которых 21 – иностранный.

В главе 1 дан подробный анализ состояния сырьевой базы, технологии обогащения и методов интенсификации процессов переработки кимберлитовых руд.

В данной работе анализ сырьевой базы алмазодобывающей отрасли выполнен применительно к алмазоносным кимберлитовым месторождениям Западной Якутии. Такое ограничение вполне обусловлено основной целью работы, заключающейся в повышении извлечения именно мелких классов алмаза в процессах пенной и липкостной сепарации. Известно, что первый процесс теоретически обоснован в работах советских и российских ученых-обогащителей – В.А. Малиновского, В.И. Мелик-Гайказяна, В.Н. Злобина и внедрен на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА». Процесс липкостной сепарации успешно используется в мировой практике при доводке гравитационных алмазосодержащих концентратов крупностью $-5 + 1$ мм.

К достоинствам анализа сырьевой базы необходимо отнести то, что помимо хорошо известного описания строения, геологии и минералогии основных кимберлитовых трубок Западной Якутии, в работе проанализирована их гидрогеология и химический состав высоко минерализованных подземных вод, контакт с которыми способствует образованию на поверхности кристаллов алмаза различных гидрофильных образований. Как показано в главе 3 диссертации, именно такие образования приводят к снижению природной

гидрофобности таких кристаллов и являются основной причиной потерь мелких классов алмаза с отвальными хвостами.

С позиций поставленных задач, наиболее интересным является параграф 1.3 данной главы диссертации, который посвящен анализу причин снижения извлечения кристаллов алмаза крупностью -5 мм. Из анализа литературы, выполненного автором следует наличие нескольких причин снижения извлечения мелких кристаллов алмаза физико-химическими методами:

- высокое содержание в кимберлитах измененной фазы, с элементами карбонитизации, хлоритизации и серпентинизации,
- гидрофилизация поверхности кристаллов алмаза связана с окислением, разложением и карбонитизацией кимберлита,
- вторичным воздействием высокоминерализованных подземных вод на поверхности кристаллов алмаза.

Именно от этих основных причин зависит состав и текстурно-структурные характеристики пленок, снижающих природную гидрофобность кристаллов алмаза, что и приводит к их потерям с отвальными хвостами пенно и липкостной сепараций.

Далее в литературном обзоре подробно рассмотрены вопросы обоснования и использования электрохимических технологий, позволяющих реставрировать природную гидрофобности кристаллов алмаза.

Следует согласиться с основными выводами автора по 1 главе диссертации, из которых вытекают основные научные и практические задачи исследований.

К недостаткам выполненного анализа можно отнести следующее некоторую перегруженность материалами геолого-минералогического, характера по отдельным трубкам Якутии, напрямую не связанными с предметом данной работы, например геологические разрезы трубок. Касаясь технологической части анализа можно отметить наличие в обзоре хорошо известных из литературы и диссертаций, защищенных в ИПКОН РАН,

технологических схем обогатительных фабрик №3, №12 АК «АЛРОСА», на которые можно было бы просто сослаться.

Глава 2 носит методический характер, в которой, исходя из целей, поставленных в работе, обоснован выбор основных физических и физико-химических методов анализа поверхностных соединений на гранях кристаллов алмаза и исследования ионного состава жидкой фазы минеральных пульп и суспензий. В первом случае автор применил физические методы рентгенографического фазового анализа (РФА), электронной и оптической микроскопии и романовской спектроскопии. Данные методы сочетаются с использованием инфракрасной спектрофотометрией (ИКС). Для исследования характеристик жидкой фазы применен стандартный метод измерения рН и окислительно-восстановительного потенциала. Для оценки гидрофобности поверхности кристаллов алмаза использован метод измерения краевого угла смачивания.

Выбранный автором набор методов представляется вполне достаточным для детального исследования как поверхностных соединений, находящихся и образующихся на гранях кристаллов алмаза, так и характеристик жидкой фазы пульп в операциях пенной и липкостной сепараций алмазосодержащих кимберлитов.

Глава 3 посвящена исследованию состава, свойств и закономерностям формирования минеральных образований на поверхности природных алмазов, итогом которых явилась разработанная автором классификация таких образований.

Предпосылками для исследования состава, свойств и закономерностей формирования минеральных образований на поверхности кристаллов алмазов явился опыт работы обогатительных фабрик и результаты исследований ряда авторов, которыми установлено, что высокая степень измененности кимберлитов, связанная с содержанием до 90% вторичных минералов, приводит к снижению извлечения алмазов до 40% в процессах липкостной и пенной сепараций. Тогда как из кимберлитов с низкой степенью метаморфизма

и содержанием вторичных минералов менее 50% извлечение алмазов составляет более 90%.

На относительно чистой поверхности алмазов формируется адсорбционный слой, представленный молекулами CO, CO₂, N, H₂O и т.д. В процессах рудообразования и гипергенеза на алмазах образуются полиминеральные пленки. Процессы в рудном теле оказывают сильное влияние на состояние и, соответственно, физические и химические свойства поверхности алмазных кристаллов. На поверхности кристаллов алмазов, не извлекаемых в процессах липкостной и пенной сепарации, установлены первичные и техногенные минеральные образования, которые приводят к гидрофилизации их поверхности, ослаблению контакта с реагентами и воздушными пузырьками и, соответственно, снижению извлечения алмазных кристаллов в соответствующие концентраты.

В результате комплекса электронно-микроскопических и спектральных исследований, выполненных под руководством и при участии автора диссертации установлено, что гидрофобные кристаллы алмаза имеют гладкую поверхность и содержат поверхностные минеральные образования в виде микроглобул и примазок, которые состоят из минералов силикатной природы переменного состава, в которых преобладают гидрофобные алюмосиликаты и магниевые силикаты. Микроглобулы и примазки сходны по составу и строению с гидрофобными шламовыми классами и относительно слабо связаны с поверхностью алмаза. При этом, гидрофильные кристаллы алмазов имеют нарушенную неоднородную поверхность с распространенными рельефными минеральными образованиями, генетически родственными кимберлитовой породе, представленными магниевыми силикатами, карбонатами кальция, магния и железа и образующими с кристаллом алмаза механически прочный комплекс. Диагностируются присутствие хлоридов кальция и натрия, характерных для измененных кимберлитов зоны гипергенеза, что указывает на не техногенное происхождение полиминеральных поверхностных образований. Подтверждена схожесть элементного состава минеральных образований на

поверхности гидрофильных алмазов, извлеченных из кимберлитов различного вещественного состава, что указывает в свою очередь на идентичность механизма их образования.

Экспериментально установлено, что в процессах переработки изменённых кимберлитов контакт алмазов с минерализованной водной фазой приводит к их техногенной гидрофилизации, обусловленной образованием или ростом гидрофильных пленок на поверхности кристаллов, формирование состава которых во многом сходно с процессами, протекающими в объеме рудного тела при гипергенных процессах. Природно-гидрофобные алмазы с умеренным количеством минеральных пленок и природно гидрофильные алмазы склонны к техногенной минерализации. Распространение пленок увеличивается в 1,5-2 раза, толщина – в 1,5 раза, что снижает гидрофобность поверхности алмаза.

В работе показано, что в условиях технологического процесса обогащения реализуются два механизма техногенного формирования гидрофилизующих минеральных примесей на поверхности алмазов: как за счет кристаллизации минеральных образований из пересыщенной жидкой фазы пульпы, а также вследствие адгезии химических соединений – продуктов растворения породообразующих минералов на предварительно гидрофилизованной поверхности алмаза.

Итогом выполненных экспериментальных исследований явилось создание классификации минеральных образований на поверхности алмаза, имеющих различное происхождение и свойства, позволяющей выделить:

- адгезионно закрепившиеся на гидрофильной поверхности алмаза конгломераты (примазки) и единичные зерна шламовых классов гидрофильных минералов;
- адгезионно закрепившиеся на гидрофобной поверхности алмаза конгломераты (примазки) и единичные зерна шламовых классов гидрофобных минералов;

- остатки породы, сохранившейся на кристаллах алмаза и имеющих общий генезис или одновременно подвергшиеся гипергенным изменениям;
- пленочные продукты процессов кристаллизации солеобразных минералов (карбонатов, гидроксидокарбонатов и др.) из пересыщенных водных систем, протекающих в подготовительных и обогатительных процессах в результате взаимодействия с технологической высокоминерализованной водой.

Такая классификация позволила автору не только вычленить в отдельные группы как гидрофобные, так и гидрофильные кристаллы алмаза, но и наметить пути повышения гидрофобности поверхности кристаллов, с целью предотвращения их потерь с хвостами операций липкостной и пенной сепарации.

Необходимо отметить, что в качестве объектов исследований были выбраны кристаллы алмаза из продуктов обогащения. Автор относит алмазы из концентратов пенной и липкостной сепараций к категории природно гидрофобных. Это не совсем так. Такие алмазы, в процессе их извлечения, прошли операции рудоподготовки и гравитационного обогащения, где имелся контакт поверхности с неконтролируемой жидкой фазой пульпы, а перед операцией пенной сепарации все раскрытые кристаллы мелких классов алмаза подвергались кондиционированию с реагентами – собирателями. Поэтому, на наш взгляд, более точно говорить не о природной гидрофобности поверхности кристаллов, извлеченных из концентратов, а просто о гидрофобности поверхности таких кристаллов.

Для выделения действительно природно-гидрофобных кристаллов алмаза было бы целесообразно воспользоваться геологическими коллекциями природных алмазов мелких классов, не прошедших реагентную обработку перед их извлечением и изучить их состав поверхности и поверхностные свойства.

В главе 4 выполнено теоретическое и экспериментальное обоснование параметров электрохимически обработанных водных систем для активации поверхности природных алмазов.

Для решения проблемы выбора методов и технологий восстановления природной гидрофобности алмазов необходима информация о составе, условиях образования, закрепления и растворения гидрофильных минеральных образований на их поверхности, которая была рассмотрена в главе 3.

На основе комплекса экспериментальных исследований было установлено, что основными факторами, определяющими состав и строение минеральных образований на поверхности алмазных кристаллов, является:

- кристаллографическое соответствие подложки и кристаллизующегося вещества минеральных соединений на поверхности алмаза;

- превышение относительно равновесных значений концентраций в жидкой фазе пульпы ионно-молекулярных компонентов, из которых формируется кристаллизующийся минерал;

- физико-химические параметры технологического процесса, обусловленные значениями величины рН и ОВП жидкой фазы рудной пульпы.

Основным теоретическим методом прогнозирования состава поверхностных соединений и пленок на поверхности гидрофобных и гидрофильных кристаллов алмаза, использованным в работе явился метод термодинамического моделирования процессов образования и растворения минеральных пленок.

На основе термодинамического анализа возможности образования кальций-, магний- и железосодержащих соединений установлено, что в оборотной воде и жидкой фазе пульпы вероятно образование карбоната кальция, магния, тригидрогидрокарбоната магния ($MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$) и карбоната железа(II). Образование указанных осадков может быть замедленно или прекращено путем снижения концентраций катионов кальция, магния и железа путем снижения рН технологических вод.

Химический анализ минерализованных оборотных вод обогатительных фабрик №3, №12 и №16 показал, что все они характеризуются своей общей минерализацией, превышающей 22 г/дм³ (табл. 4.8). Пересчет массовых концентраций на г-ионные показал, что для хлора такая концентрация

составляет 0,48 г-и/л, для магния и кальция – примерно 0,08 г-и/л. Именно наличие высоких концентраций указанных ионов в жидкой фазе пульпы предопределило выбор автором электрохимического способа водоподготовки, обоснованного научными школами чл-корр АН СССР И.Н.Плаксина и академика РАН В.А.Чантурия.

Экспериментально установлено, что при бездиафрагменной обработке хлоридных модельных растворов и оборотных вод в жидкой фазе в 2,5 – 7 раз увеличивается концентрация кислорода и хлора, а измеренные значения E_h среды (до +480 мВ) становятся существенно положительнее, чем электродные потенциалы реакций окисления гидросернистых $-120 \div -180$ мВ и тиосульфатных $-140 \div -235$ мВ ионов, что создает условия для протекания окислительных процессов с участием серосодержащих ионов.

Детальное изучение влияния режимов бездиафрагменной электрохимической обработки на ионный состав технических и технологических вод показал, что при плотности тока в электролизере 200 А/м^2 и расходе электричества около $2,4 \text{ А}\cdot\text{ч}$ наблюдается максимальное снижение концентрации Cl^- ионов с 7,9 г/л до 3,7 г/л или на 53% относительных. При этом наблюдается незначительное снижение значения рН раствора с рН = 7,8 до рН = 7,4 при существенном росте его окислительной способности (ОВП исходного раствора равен 245 мВ, ОВП раствора после электролиза 890 мВ).

По мнению автора, бездиафрагменная обработка электролитов, содержащих хлориды и сульфокислоты, приводит к протеканию двух противоположных процессов: подщелачиванию жидкой фазы за счет электролиза хлористого натрия и подкислению жидкой фазы вследствие окисления серосодержащих слабых кислот. Суммарное направление изменения рН среды определяется соотношением концентраций ионов хлора, гидросульфидных и тиосульфатных ионов.

По нашему мнению данные представления являются упрощенными, для объяснения основных процессов, протекающих при бездиафрагменной обработке технологических вод такого сложного ионного состава. Например, на рисунке 4.17 показано существенное увеличение рН растворов в процессе

такой обработки с 7,8 до 9. Это может свидетельствовать о разложении воды на катоде электролизера.

В работе приведены материал электродов используемого в исследованиях электролизера и его некоторые технические характеристики. Однако известно, что при бездиафрагменной обработке пульп и растворов существенную роль играет соотношение площадей катода и анода электролизера, которое предопределяет конечный результат обработки. Данные характеристики электролизера в работе отсутствуют, что снижает ценность полученных результатов и повышает неоднозначность их интерпретации.

В главе 5 экспериментально обосновано применение продуктов электрохимической бездиафрагменной обработки минерализованных вод для модифицирования поверхности алмазов.

В данной главе представлены результаты экспериментальных исследований модификации гидрофобно-гидрофильного состояния поверхности алмазных кристаллов с использованием продуктов бездиафрагменного электролиза минерализованных вод.

Для решения поставленных задач автором был разработан аппаратный комплекс, позволяющий выполнить экспериментальные исследования гидрофобно-гидрофильного состояния поверхности алмазных кристаллов в условиях применения электрохимически обработанных вод.

Исследования проводились на отдельных алмазных кристаллах и их коллекций, поверхность которых содержала гидрофильные минеральные образования., степень гидрофобности которых оценивалась с использованием методик, описанных в главе 2 диссертации.

К наиболее значимым результатам исследований можно отнести полученные зависимости краевого угла смачивания поверхности кристаллов алмаза от массовых долей, углерода, кислорода, кремния, кальция, магния и железа на поверхности кристаллов. Спектральными методами показано, что максимальная гидрофобность поверхности кристаллов алмаза наблюдается при массовой доле углерода на поверхности более 75%. При таком характере

поверхности кристаллов алмаза измеренное значение краевого угла смачивания достигает 105° (рис. 5.7, рис.5.10). Наличие на поверхности кристаллов примесей кремния, кальция, магния и железа резко снижает ее гидрофобность со 105° до 40° (рис. 5.11). При этом при массовой доле таких примесей на поверхности кристалла, равной 15% краевой угол смачивания составляет всего 40° . Обобщенные результаты таких исследований представлены на рис. 5.12 и носят несомненный научный интерес. Как следует из рисунка, наибольшее влияние на гидрофобность поверхности кристаллов алмаза является площадь поверхностных гидрофильных пленок. Данный факт полностью подтверждает ранее высказанные идеи других авторов о влиянии химической неоднородности поверхностей минеральных зерен на их гидрофобность. Тор экспериментально подтвердил целесообразность использования бездиафрагменной электрохимической обработки технологических вод, способствующей изменению состава поверхностных соединений на кристаллах алмаза и повышению гидрофобности таких поверхностей (табл. 5.3 – 5.5).

Полученные результаты об увеличении гидрофобности поверхности кристаллов алмаза при использовании обработанных вод подтверждены технологическими исследованиями беспенной флотации алмазов и пенной сепарацией мелких классов алмаза.

Установлено, что наилучшие технологические показатели достигаются при использовании схемы с подачей продуктов электролиза оборотной воды непосредственно в камеру пенного сепаратора, обеспечивающей в условиях эксперимента прирост извлечения труднофлотируемых алмазов в концентрат на 17%.

Необходимо отметить, что в данной главе не рассмотрено влияние времени кондиционирования электрохимически подготовленной воды ни на гидрофобность поверхности кристаллов алмаза, ни при проведении технологических исследований процесса пенной сепарации (рис. 5.18). Хотя хорошо известно, что свойства водных растворов после их электролиза могут

релаксировать во времени, что может привести к нежелательным потерям алмазов с хвостами пенной сепарации.

Главы 6 и 7 диссертации носят технологический характер и отражают результаты промышленных испытаний бездиафрагменной электрохимической обработки технологических вод в цикле пенной сепарации мелких классов алмаза.

Полупромышленные испытания процесса пенной сепарации с использованием электрохимической технологии водоподготовки показали, что при удельных затратах электроэнергии от 0,2 до 0,4 кВт*ч/м³ и плотности тока на электродах 100 ÷ 150 А/м² достигается смещение параметров оборотной воды: рН с 8,4 до 6,8 ÷ 7,3, Ен с 220 до 750 ÷ 780 мВ, увеличение концентрации растворенного кислорода с 6,3 до 15 ÷ 18 мг/л, активного хлора с 0 до 45 мг/л.

В процессе проведения промышленных испытаний определены параметры работы промышленного электролизера ЭКВБ-50: производительность – 30 ÷ 50 м³/час, линейная токовая нагрузка – 3000 А, плотность тока на электродах – от 100 до 150 А/м² в режиме перемены полярности электродов. В этих условиях наблюдается максимальное насыщение обработанной воды кислородом и хлором, минимальное растворение и зарастание рабочих электродов. При этом обработанная оборотная вода характеризуется наибольшим смещением рН в кислую область (на 0,9-2,3) и наиболее положительными значениями окислительно-восстановительного потенциала (740 ÷ 760 мВ).

В результате промышленных испытаний и внедрения технологии бездиафрагменной обработки оборотной воды с использованием промышленного кондиционера ЭКВБ-50 в цикле пенной сепарации на ОФ №3 Мирнинского ГОКа при переработке кимберлитов трубок «Мир» и «Интернациональная» достигнуто увеличение извлечения алмазов класса -2 +0,5 мм на 5,2% - 8,8% соответственно при сокращении расхода собирателя на 20-25%.

Подтвержденный экономический эффект от реализации электрохимического метода кондиционирования высокоминерализованных оборотных вод в процессах липкостной и пенной сепарации труднообогатимых

кимберлитовых руд на обогатительных фабриках №3 Мирнинского ГОКа и №12 Удачинского ГОКа за период с 1999 по 2005 гг. составил более 32,8 млн. руб; и за период с 2013 по 2016 гг. - более 83,3 млн. руб.

В целом диссертационная работа Г.П. Двойченковой представляет собой законченный труд, посвященный научному обоснованию возможности применения одной из разновидностей электрохимического кондиционирования технологических вод и пульп – бездиафрагменной электрохимической обработке технологических вод, используемых в процессах пенной и липкостной сепараций мелких классов алмаза при обогащении кимберлитовых алмазосодержащих руд.

Внедрение в промышленную эксплуатацию операций данного вида водоподготовки позволит существенно повысить извлечение мелких классов алмазов при обогащении алмазосодержащих руд, что положительно скажется на росте производства шлифовальных порошков и паст для нужд машиностроительных отраслей Российской Федерации.

Работа отражает системный подход автора к решению поставленной им проблемы, который начинается с минералого-технологических исследований, выявивших природу и структурно-текстурные особенности гидрофилизирующих поверхность кристаллов алмаза пленок и покрытий, обоснования и исследования способа их деструкции и растворения с использованием технологических вод, прошедших электрохимическую водоподготовку и завершившегося его промышленными испытаниями в циклах пенной и липкостной сепараций при извлечении мелких классов алмаза на обогатительных фабриках №3 и №12 АК «АЛРОСА» с явно выраженным экономическим эффектом..

Научное значение работы заключается в теоретическом и экспериментальном обосновании механизма 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.

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.

Достоверность полученных результатов обоснована комплексом современных физических, физико-химических, химических, минералогических методов исследований вещественного состава дунитов (масс-спектрометрия, рентгено-флуоресценция, атомно-абсорбционная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, имидж-анализ), большим объемом лабораторных, полупромышленных исследований и опытно-промышленных испытаний, предложенной автором технологии водоподготовки в процессах пенной и липкостной сепараций мелких классов алмаза из алмазосодержащих кимберлитовых руд.

Представленные автором публикации отражают основное содержание диссертации. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту и основным выводам диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Выполненный литературный обзор перегружен материалами геолого-минералогического, характера по отдельным трубкам Якутии, напрямую не связанными с предметом данной работы, например геологические разрезы трубок. Касаясь технологической части обзора можно отметить наличие в обзоре хорошо известных из литературы и диссертаций, защищенных в ИПКОН РАН, технологических схем обогатительных фабрик №3, №12 АК «АЛРОСА», на которые можно было бы просто сослаться.

2. В методической главе 2 имеются фотографии общих видов используемых в работе приборов, которые не несут научной информации. Целесообразно было бы обосновать применимость использованного в работе приборного комплекса для решения поставленных в работе задач.

3. Необходимо отметить, что в качестве объектов исследований были выбраны кристаллы алмаза из продуктов обогащения. Автор относит алмазы из концентратов пенной и липкостной сепараций к категории природно гидрофобных. Это не совсем так. Такие алмазы, в процессе их извлечения, прошли операции рудоподготовки и гравитационного обогащения, где имелся контакт поверхности с неконтролируемой жидкой фазой пульпы, а перед операцией пенной сепарации все раскрытые кристаллы мелких классов алмаза подвергались кондиционированию с реагентами – собирателями. Поэтому, на наш взгляд, более точно говорить не о природной гидрофобности поверхности кристаллов, извлеченных из концентратов, а просто о гидрофобности поверхности таких кристаллов.

4. По мнению автора, бездиафрагменная обработка электролитов, содержащих хлориды и сульфокислоты, приводит к протеканию двух противоположных процессов: подщелачиванию жидкой фазы за счет электролиза хлористого натрия и подкислению жидкой фазы вследствие окисления серосодержащих слабых кислот. Суммарное направление изменения рН среды определяется соотношением концентраций ионов хлора, гидросульфидных и тиосульфатных ионов. По нашему мнению данные представления являются упрощенными.

В процессе обработки может протекать осадкообразование карбонатов кальция и железа(II), их гидроксидов и интенсивное окисление компонентов раствора растворенным в нем хлором. Кроме того может происходить разложение воды с выделением водорода на катоде и кислорода на аноде электролизера.

5. В работе приведены материал электродов используемого в исследованиях электролизера и его некоторые технические характеристики.

Однако известно, что при бездиафрагменной обработке пульп и растворов существенную роль играет соотношение площадей катода и анода электролизера, которое предопределяет конечный результат обработки. Данные характеристики электролизера в работе отсутствуют, что снижает ценность полученных результатов и повышает неоднозначность их интерпретации.

6. Необходимо отметить, что в работе не рассмотрено влияние времени кондиционирования электрохимически подготовленной воды на гидрофобность поверхности кристаллов алмаза, а при проведении технологических исследований процесса пенной сепарации – на извлечение алмазов в концентрат пенной сепарации. Хорошо известно, что свойства водных растворов после их электролиза могут релаксировать во времени, что может привести к нежелательным потерям алмазов с хвостами пенной сепарации.

Указанные замечания не снижают ценности полученных автором результатов. Диссертационная работа Г.П.Двойченковой является законченным научным трудом, практическая реализация научных положений которой позволит существенно повысить извлечение мелких классов алмаза в концентраты пенной и липкостной сепараций при обогащении алмазосодержащих кимберлитов.

Оппонируемая диссертация полностью соответствует требованиям ВАК РФ к докторским диссертациям по специальности 25.00.13 – «Обогащение полезных ископаемых», а сам автор Двойченкова Галина Петровна – искомой ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
профессор кафедры обогащения полезных ископаемых
и переработки техногенного сырья НИТУ «МИСиС»,
д.т.н.

Б.Е.Горячев

