

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ МИНЕРАЛОВ И ИХ АССОЦИАЦИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗОВ И В ПРОДУКТАХ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЁННЫХ КИМБЕРЛИТОВ

В.А.Чантурия¹,
Г.П.Двойченкова¹,
О.Е.Ковальчук²,
А.С.Тимофеев¹,
Ю.А.Подкаменный¹

¹ ФГБУН Институт проблем комплексного освоения
недр РАН, г. Москва

² НИГП АК «АЛРОСА», г. Мирный

В результате теоретических и экспериментальных исследований выяснены закономерности распределения вторичных минералов и их ассоциаций в метасоматически изменённых алмазосодержащих кимберлитах и продуктах их переработки. На основе комплекса минералогических исследований установлена идентичность составов изменённых кимберлитов и образованных в процессе их переработки тонкодисперсных глинистых шламов, являющихся основой гидрофильных плёнок на поверхности алмазных кристаллов, не извлекаемых методами липкостной и пенной сепараций.

Ключевые слова: вторичные минералы, ассоциации, кимберлиты, фракции, шламы, алмаз, гидрофильный.

Существующие закономерности в смене химического и петрографического составов пород создают определённую вертикальную зональность коренных месторождений алмазов. Верхние горизонты кимберлитовых трубок хорошо изучены, и для них отработана технология добычи алмазов на обогатительных фабриках. При переходе на разработку более глубоких горизонтов обнаружены блоки руды интенсивно изменённых кимберлитовых пород сложного вещественного состава. Преобразование пород постмагматическими процессами иногда настолько велико, что отдельные образцы легко рассыпаются при сжатии, а крепость других увеличивается в зонах сплошного окварцевания настолько, что они практически не поддаются разрушению ударными воздействиями.

В изменённых рудных блоках кимберлиты в различной степени преобразованы метасоматическими процессами в глинистые минералы и

тальк, составляющие до 96% связующей массы. Общим для всех образцов изменённых кимберлитовых пород является наличие в их составе глинистых минералов со смектитовыми пакетами: Na-смектит, смешанослойные тальк-смектит и хлорит-смектит. Частицы данных минералов, как правило, концентрируются в тонкодисперсных шламовых продуктах переработки кимберлитовых руд и обладают свободным зарядом. Это делает их поверхностно-активными, способными к катионному обмену, взаимодействию с поверхностью кристаллов, вследствие которого снижается извлечение алмазов методами с использованием их природных физико-химических свойств [6, 8, 9, 11, 13, 14].

Исследованиями институтов ИПКОН РАН, НИГП АК «АЛРОСА» и Якутнипроалмаз АК «АЛРОСА» установлено, что на поверхности неизвлечённых алмазов, содержащихся в хвостовых продуктах основных операций обогащения, при-

существует значительное количество гидрофильных образований с вышеуказанными глинистыми минералами [5, 12, 15, 16].

Таким образом, вторичные минералы, а особенно тонкодисперсные глины, представленные тальком, смектитом, тальк-смектитом и смешанослойными образованиями, существенно изменяют природные свойства кимберлитов [3, 4], что, соответственно, требует другой технологии их переработки.

В условиях возрастания объёмов подземной добычи алмазонасных руд – метасоматически изменённых кимберлитовых пород – в целях максимального извлечения алмазов необходимо повысить контрастность технологических свойств алмазов и породообразующих минералов в процессах их сепарации. Для обоснованного решения поставленной задачи качественно и количественно оценивается степень изменения вовлекаемых в переработку кимберлитовых руд, а также образованных из них тонкодисперсных шламов, минеральные компоненты которых являются основной составляющей твёрдой фазы хвостовых продуктов обогащения и гидрофильных минеральных образований на поверхности алмазных кристаллов.

В настоящее время к основным месторождениям алмазов Западной Якутии относятся кимберлитовые трубки Мир, Интернациональная, Айхал, Юбилейная, Нюрбинская, Ботубинская, Удачная. Вещественный состав кимберлитов и степень вторичных преобразований основных минералов обусловлены не только строением вмещающих пород кимберлитовых трубок, но и особенностями гидрогеологических условий их залегания, характеризующихся интенсивностью контакта с сильноминерализованными подземными водными системами [1, 3–5].

Как уже отмечалось, изменение основного вещественного состава кимберлитов с образованием тонкодисперсных глинистых минералов усложняет их переработку при применении действующих технологий и делает труднообогащаемыми для стандартных процессов извлечения алмазных кристаллов. С учётом этого факта цель настоящих исследований – диагностирование и установление закономерностей распределения вторичных минералов и их ассоциаций в изменённых кимберлитах, тонкодисперсных продук-

тах их переработки и на поверхности алмазов, не извлекаемых физико-химическими методами обогащения; определение состава и формы закрепления на поверхности алмазных кристаллов гидрофильных образований для последующей разработки методов их растворения и, как следствие, повышения извлечения алмазов в процессах пенной и липкостной сепараций.

В работах ведущих специалистов [1, 3, 4] вторичными принято называть минералы, возникшие в кимберлитах на постмагматической стадии в процессе гидротермального преобразования пород при температурах ниже 600°C. Эти минералы составляют основной объём пород (90–95%), главные из которых – серпентин и карбонаты.

В лабораториях НИГП АК «АЛРОСА» исследованы образцы изменённых кимберлитов, отобранных из различных горизонтов кимберлитовых трубок, оценено среднее содержание вторичных минералов и их ассоциаций в исходных кимберлитовых образцах, шламовых фракциях их переработки и минеральных образованиях на поверхности алмазов. Экспериментальный анализ минерального состава объектов выполнен с помощью полуколичественного рентгенографического и термографического методов с использованием рентгеновских дифрактометров ДРОН-2,0 (Буревестник), D/MAX-2400 (Rigaku), ARL X'TRA-155 (Thermo Scientific), термоанализатора DTG-60AH (Shimadzu). На первой стадии исследований изучались исходные образцы труднообогащаемых изменённых кимберлитов, взятых из различных горизонтов кимберлитовых трубок Западной Якутии, переработка которых ведётся в схемах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА». На основе полученных результатов в образцах изменённых кимберлитов диагностированы следующие приведённые в порядке убывания их содержания минералы, %:

- трубка Мир – серпентин (45), кальцит (34), слюда (7), хлорит, тальк (2), смектиты, смешанослойные образования (незначительные количества);
- трубка Интернациональная – серпентин (36), доломит, хлорит (14), галит (7), ангидрит, кальцит (5), слюда (4), тальк (3), пироаурит (1), смешанослойные образования (2), смектиты (1);

- трубка Ботубинская – кальцит (31), серпентин (19), доломит (17), слюда (10), хлорит (8), тальк (2), кварц, гипс (1);
- трубка Нюрбинская – доломит (20), слюда (19), серпентин (18), тальк (10), хлорит (7), кварц (2), смектиты, гипс (1);
- трубка Юбилейная – кальцит (41), серпентин (35), пироаурит (13), слюда (3);
- трубка Айхал – доломит (47), кальцит (20), серпентин (11), слюда (11), хлорит, кварц, гипс (1), тальк (0,4), смектиты, смешанослойные образования (0,1).

Для более полной характеристики изменённости рассматриваемых образцов труднообогатимых кимберлитов проанализировано распределение в них также ассоциаций вторичных минералов: серпентин–карбонаты, хлорит–серпентины, тальк–серпентины, смектит–серпентины, тальк–карбонаты, смектит–карбонаты. Ассоциации выбирались с учётом известных данных [1–4, 7], согласно которым неизменённым кимберлитам свойственны парагенетические ассоциации серпентин–карбонаты и хлорит–серпентины. При частичном изменении кимберлитов под воздействием гидротермальных процессов и выветривания формируются ассоциации тальк–серпентин и смектит–серпентин, обусловленные метасоматическими изменениями серпентина и образованием по нему смектита, талька и тальк–смектитового смешанослойного образования. При высокой степени изменения серпентин полностью изменяется и возникают ассоциации тальк–карбонаты и смектит–карбонаты.

На рис. 1 приведены средние результаты экспериментальных исследований состава кимберлитовых образцов и анализа распределения в них основных диагностированных вторичных минералов (см. рис. 1, а) и их ассоциаций (см. рис. 1, б). Совместный анализ диаграмм позволил сделать заключение не только о минеральном составе, но и степени изменения кимберлитовых образцов. Так, установлено:

- образцы кимберлитов трубки Юбилейная представляют собой наименее изменённые карбонатизированные породы при наибольшем распространении парагенетических ассоциаций с преобладанием серпентин–кальцита и отсутствии ассоциаций тальк–сер-

пентин, смектит–серпентин, тальк–карбонаты, смектит–карбонаты;

- образцы кимберлитов трубки Интернациональная по отношению к остальным определены как наиболее изменённые, в которых присутствуют практически все диагностированные вторичные минералы и их ассоциации с преобладанием доломит–серпентина и развитием серпентинизации породы. Образцы изменённых кимберлитов трубки интенсивно хлоритизированы, содержат тальк;
- образцы кимберлитов трубок Мир, Айхал и Удачная классифицируются как частично изменённые; парагенетические ассоциации в них встречаются несколько реже, распространены ассоциации кальцит–серпентин, тальк–серпентин, смектит–серпентин и хлорит–серпентин при отсутствии тальк–карбонатов и смектит–карбонатов. В образцах изменённых кимберлитов трубки Мир преобладает ассоциация кальцит–серпентин, породы серпентинизированы; в образцах изменённых кимберлитов трубок Айхал и Удачная доминирует ассоциация серпентин–доломит, породы интенсивно карбонатизированы. Тальк и хлорит в изученных кимберлитах развиты слабо, что свидетельствует об относительно небольшой степени изменения пород;
- для образцов кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботубинская характерна достаточно высокая степень изменения. Изученные пробы кимберлитов трубок сильно карбонатизированы с преобладанием ассоциаций серпентин–кальцит и серпентин–доломит. Присутствие в образцах изменённых кимберлитов большинства диагностированных вторичных минералов, талька, смектита и смешанослойных образований позволяет отнести их к группе интенсивно изменённых кимберлитов.

Таким образом, согласно результатам минералогического анализа кимберлитовых проб, труднообогатимые рудные блоки в кимберлитовых трубках для последующих исследований классифицированы по двум признакам – характеру вторичной минерализации и степени изменения, которые необходимо учитывать при проектировании или корректировке технологических схем их переработки.

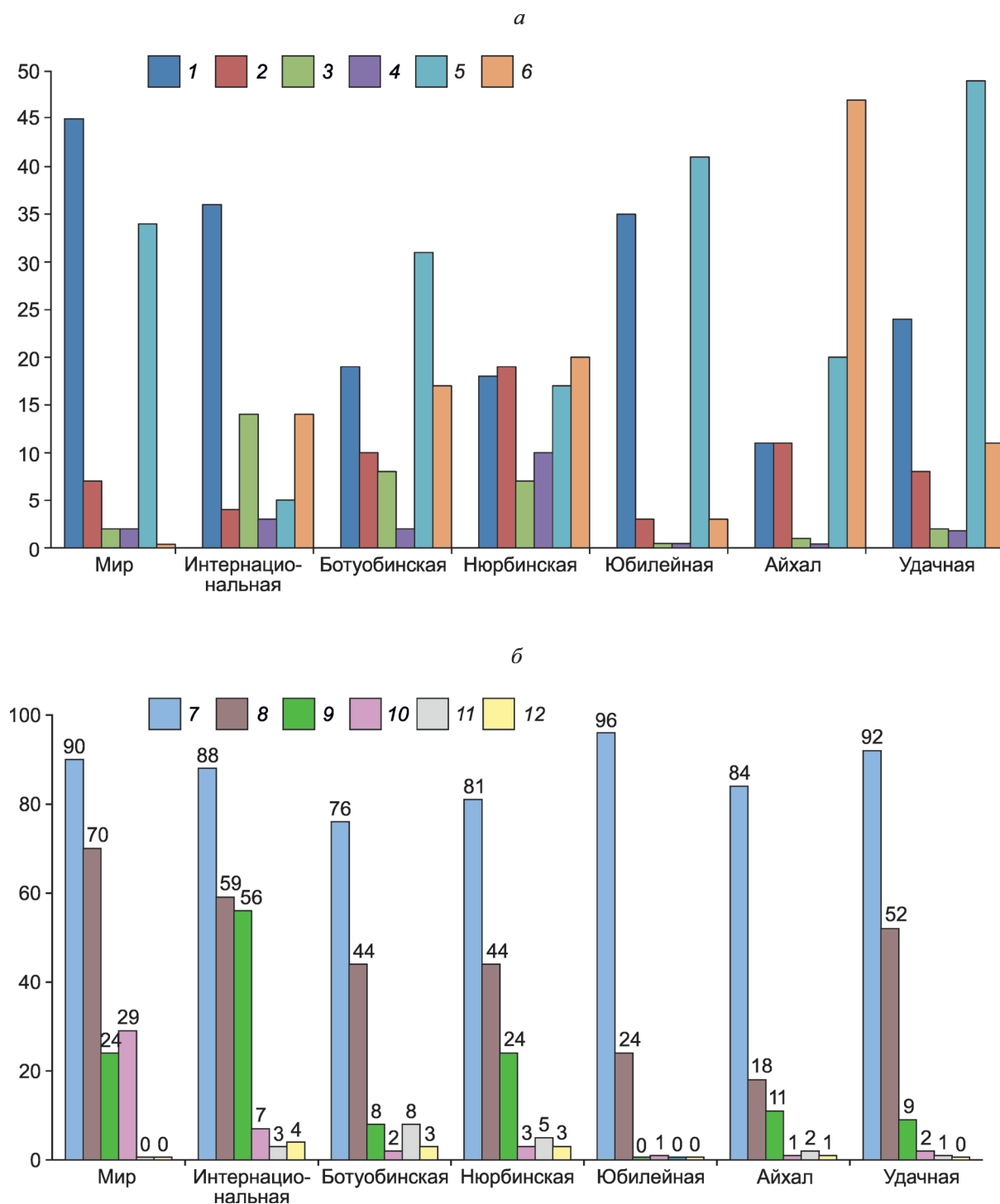


Рис. 1. Содержание вторичных минералов (а) и их ассоциаций (б) в образцах изменённых кимберлитов, %:

1 – серпентин; 2 – слюда; 3 – хлорит; 4 – тальк; 5 – кальцит; 6 – доломит; 7 – серпентин-карбонаты; 8 – хлорит-серпентин; 9 – тальк-серпентин; 10 – смектит-серпентин; 11 – тальк-карбонаты; 12 – смектит-карбонаты

По характеру вторичной минерализации в соответствии с экспериментальными данными названные выше объекты подразделены на четыре группы:

- серпентизированные и хлоритизированные, представленные образцами изменённых кимберлитов трубок Мир и Интернациональная;
- карбонатизированные при доминировании кальцита (трубки Юбилейная, Удачная);
- карбонатизированные при преобладании доломита (трубка Айхал);
- серпентизированные, хлоритизированные и карбонатизированные с одинаковым распространением кальцита и доломита (трубки Нюрбинская, Ботуобинская).

В соответствии с содержанием глинистых минералов и распределением ассоциаций вторичных минералов изученные объекты для последующих исследований классифицированы по степени изменения кимберлитовых пород на две основные группы: изменённые и слабо изменённые. К первым отнесены образцы кимберлитов трубок Интернациональная, Ботуобинская, Нюрбинская, Мир, в составе которых достаточно часто и в большем количестве диагностированы вторичные минералы и их ассоциации. Вторая группа представлена образцами кимберлитов трубок Удачная, Айхал, Юбилейная, в минеральном составе которых вторичные минералы и их ассоциации диагностированы гораздо реже и в меньшем количестве.

Итак, с учётом общих результатов исследований кимберлитовые трубки по степени изменения и, соответственно, эффективности (трудности) обогащения изменённых рудных блоков различных горизонтов при последующем изучении можно выстроить в таком порядке: Интернациональная, Нюрбинская, Ботуобинская, Мир, Айхал, Удачная, Юбилейная (рис. 2).

Как указывалось выше, продукты переработки изменённых кимберлитов – тонкодисперсные шламы – наиболее активные элементы, блокирующие поверхность алмазных кристаллов при их извлечении. Кроме того, выведенные с хвостами основных циклов обогащения из производственных процессов алмазоизвлекающих фабрик шламовые фракции накапливаются в отвалах, подлежащих вторичной пере-

работке, поступают вместе с ними в технологические схемы и вновь создают при обогащении вышеописанные проблемы.

Для решения проблемы нейтрализации отрицательного влияния шламовых фракций изменённых кимберлитов на технологические свойства алмазных кристаллов на второй стадии исследований выполнены эксперименты по изучению распределения вторичных минералов и их ассоциаций в тонкодисперсных продуктах переработки труднообогатимых кимберлитовых руд различного класса крупности.

Состав и структурные особенности выявленных в образцах изменённых кимберлитов слоистых минералов установлены полуквантитативным рентгенографическим и термографическим методами анализа. Химический состав минеральных компонентов определён методом микрорентгеноспектрального анализа с использованием микроанализатора JXA-8800R (Jeol).

Сравнительный анализ минерального состава изменённых кимберлитов и образованных из них шламовых фракций показал, что в шламовых песках содержится меньше вторичных минералов – серпентина, хлорита, талька, кальцита. При этом в них возрастает содержание доломита, кварца, появляется значительное количество рентгеноаморфных и аморфных фаз, представленных тонкодисперсными смектитом и смешанослойными образованиями, а также увеличивается доля тальк–смектит–серпентиновых ассоциаций, обладающих повышенной способностью к взаимодействию с поверхностью алмазных кристаллов. Эксперименты выполнены с изучением шламовых фракций различной крупности, образованных в процессах переработки образцов изменённых кимберлитов.

В результате сравнительного анализа распределения вторичных минералов во фракциях различных гранулометрических классов крупности ($-0,05...+0,01$, $-0,01...+0,001$, $<0,001$ мм) установлено, что с уменьшением размера шламовых частиц в них повышается содержание смектита и рентгеноаморфных фаз (рис. 3, а). Анализом распределения ассоциаций вторичных минералов в шламовых фракциях выявлено интенсивное увеличение в мелких классах ассоциаций тальк–серпентин и смектит–сер-

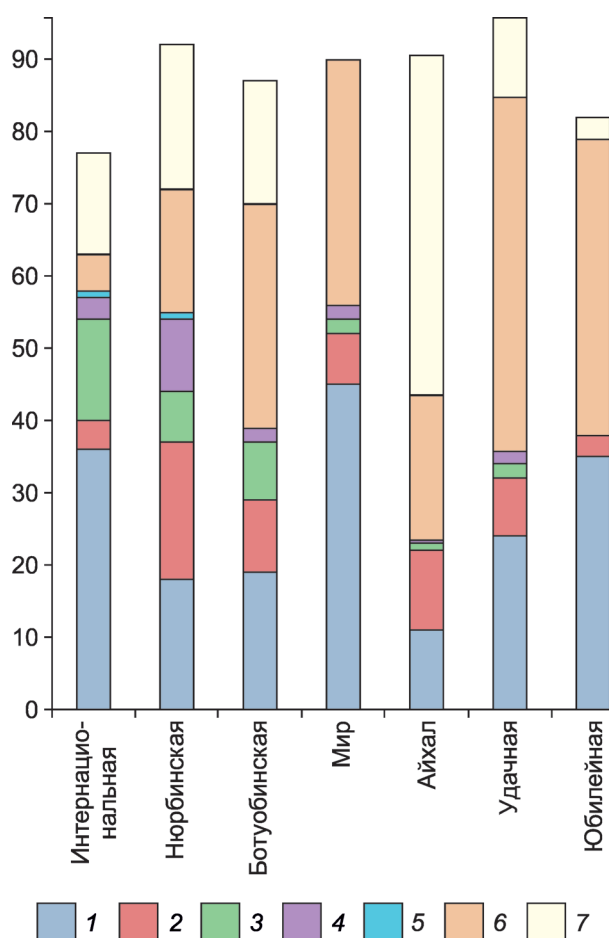


Рис. 2. Содержание образцов изменённых кимберлитов по эффективности (трудности) их обогащения, %:

1 – серпентин; 2 – слюда; 3 – хлорит; 4 – талек; 5 – смектиты, смешанослойные образования; 6 – кальцит; 7 – доломит

пентин, характерных для изменённых кимберлитов (см. рис. 3, б). При этом в тонких классах крупности песков количество ассоциаций талек–серпентин по отношению к исходным образцам кимберлитов возрастает приблизительно в два, а смектит–серпентин – в восемь раз.

Таким образом, в шламовых продуктах переработки изменённых кимберлитов существенно возрастает степень распространения смектита, смешанослойных образований, кварца, талька, рентгеноаморфных (тонкодисперсных) фаз при более низком содержании основных вторичных минералов – карбонатов, серпентина, хлорита. В образованных мелкодисперсных

шламовых фракциях уменьшается количество парагенетических ассоциаций вторичных минералов кимберлитов и существенно возрастает число ассоциаций, свойственных изменённым кимберлитам.

Для подтверждения идентичности минерального состава изменённых кимберлитов и продуктов их переработки в лабораториях ИПКОН РАН и НИГП АК «АЛРОСА» проведён отдельный цикл исследований образцов наиболее интенсивно изменённых кимберлитов и шламовых фракций их переработки. Содержания и соотношения диагностируемых минералов в образцах определялись петрографически и рентгенографическими методами. Установлено, что глинистые минералы, в основном талек, сепиолит, слюда, серпентин, смешанослойные образования талек–сапонита и хлорит–сапонита, составляют почти 90% связующей массы изменённых кимберлитовых образцов. Внешний вид образцов изменённых кимберлитов представлен на рис. 4, а.

Минеральный состав исследуемых шламов соответствует исходным кимберлитовым образцам по содержанию серпентина, хлорита, талька, смектита с преобладанием до 50% тонкодисперсных (рентгеноаморфных) фаз (табл. 1).

В связи с трудностью определения рентгеноаморфных фаз стандартным рентгенофазовым анализом глинистая фракция исследована дополнительно с использованием ИК-спектроскопии. Анализом ИК-спектров поглощения (см. рис. 4, б) обнаружено наличие линий, диагностирующих слоистые силикаты. В области валентных ОН-колебаний (диапазон частот 3400–3750 см⁻¹) отмечены узкие полосы на частотах 3687, 3650 см⁻¹ и широкая полоса на 3410 см⁻¹. В спектрах выделены две линии с максимальной интенсивностью на частотах 998 и 963 см⁻¹, ответственные за валентные колебания группы Si-O (диапазон 700–1200 см⁻¹). В области частот 150–650 см⁻¹, соответствующих деформационным колебаниям связи Si-O, имеются максимумы на частотах 610, 462, 446 см⁻¹. По совокупности результатов анализа полос поглощения ИК-спектров в изученных пробах идентифицированы слоистые силикаты – серпентин, талек и смектит. Кроме слоистых силикатов, в образцах в небольшом количестве при-

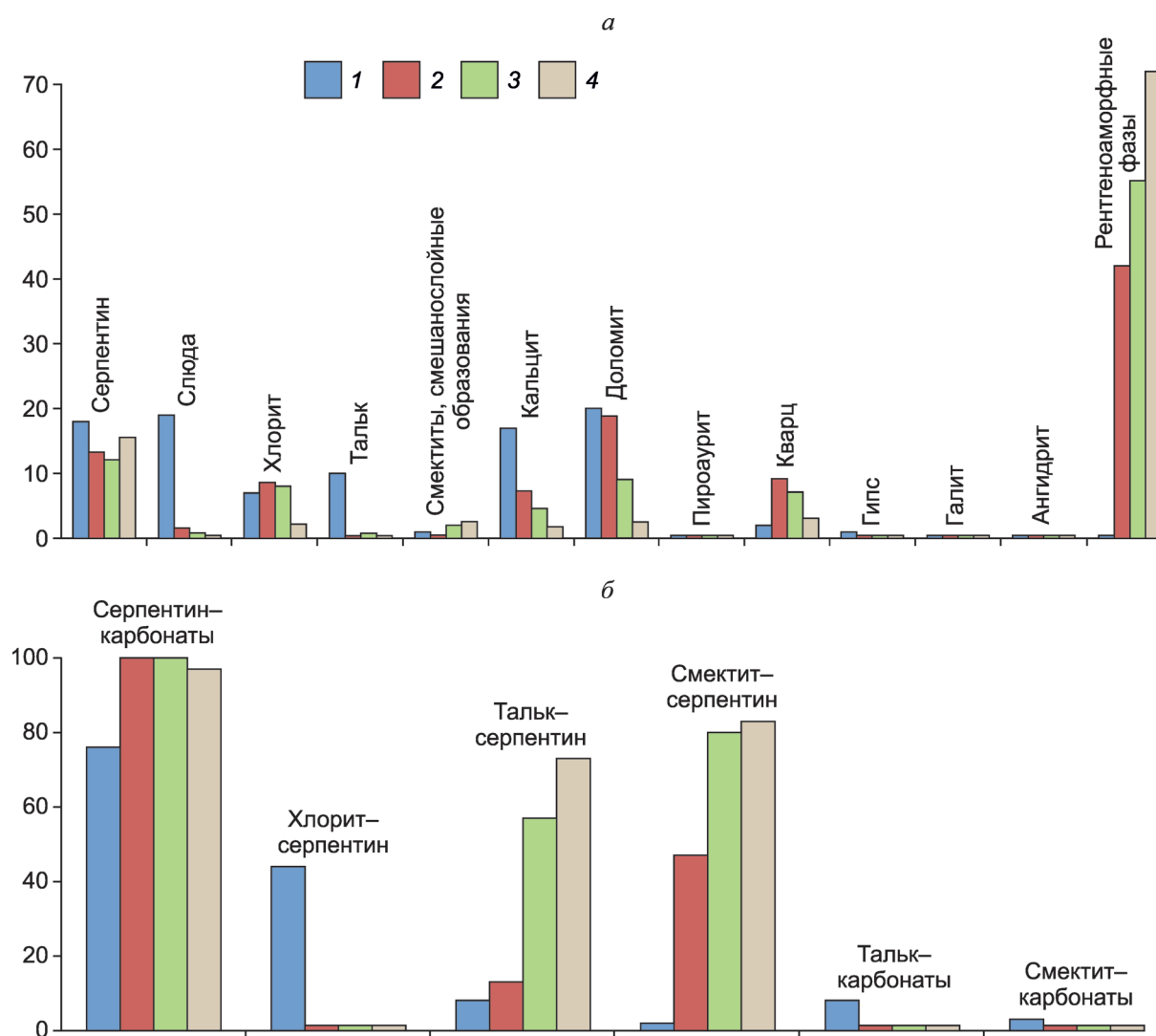


Рис. 3. Содержание вторичных минералов (а) и их ассоциаций (б) по классам крупности шламовых фракций переработки изменённых кимберлитов, %:

1 – исходное; 2 – пески (-0,05...+0,01 мм); 3 – пески (-0,01...+0,001 мм); 4 – пески (<0,001 мм)

существуют карбонатные породы – кальцит и доломит (табл. 2).

Исходя из опыта обогащательных фабрик, перерабатывающих изменённые кимберлитовые руды, основные потери алмазов – это кристаллы крупностью -5 мм, стоимость которых составляет >15% от стоимости товарной продукции [8, 11]. В стандартных технологических схемах переработки кимберлитовых руд алмазы такой крупности извлекаются методами липкостной и пенной сепараций. Эффективность методов резко снижается вследствие появления на поверхности кристаллов гидрофильных

плёнок. Механизм возникновения и закрепления последних определяется, в первую очередь, минералогическим составом перерабатываемых кимберлитов [2], степень изменения которых обусловлена закономерностями, установленными в результате выполненного цикла исследований.

Для восстановления гидрофобных свойств алмазов за счёт разрушения на поверхности кристаллов гидрофильных минеральных образований необходимо знать их состав и формы закрепления [10]. Поэтому на завершающем этапе проводимых исследований была постав-

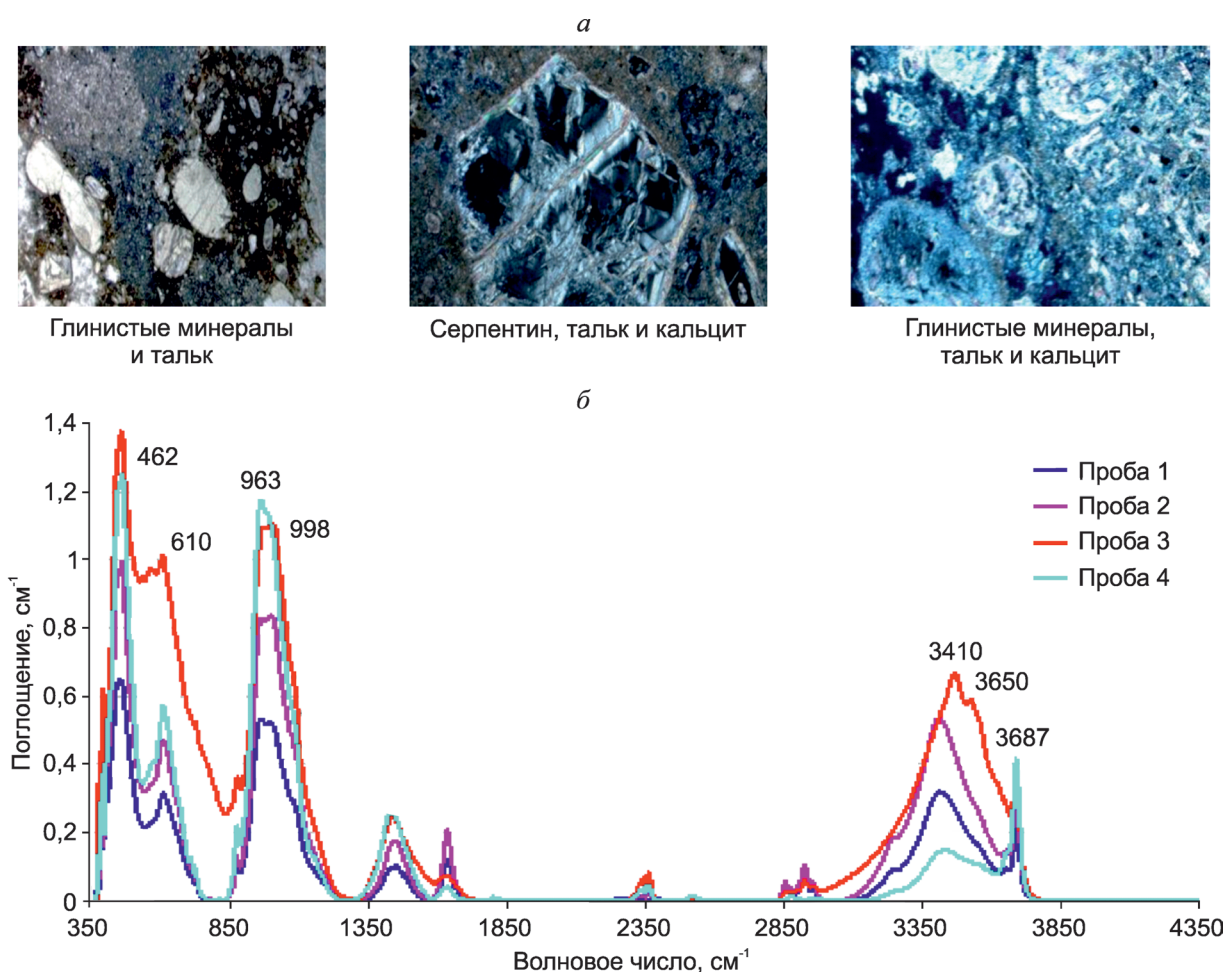


Рис. 4. Внешний вид образцов изменённого кимберлита (*a*) и ИК-спектры полученных из них шламов (*б*)

лена задача диагностирования поверхности природных алмазов, не извлекаемых в процессах пенной сепарации изменённых кимберлитов. Изучение поверхности алмазов осуществлялось путём сравнения эталонных инфракрасных спектров пропускания слоистых минералов с полосами примесей на алмазах. Выявленные особенности строения поверхностных образований алмазов изменённых кимберлитов, отличающихся степенью изменения и характером вторичной минерализации, иллюстрируются рентгеновскими спектрами на рис. 5.

Анализ электронного спектра полиминерального макрообразования (см. рис. 5, *a*) указывает на его кальций-магний-силикатно-карбонатный состав. Заметные содержания Fe, Ti и S, небольшое количество Na и Cl свидетельствуют об участии в строении поверхностного образования галита или хлорида кальция. Дан-

ный состав соответствует диагностированному элементному составу исходных образцов гидротермально изменённых кимберлитов.

Поверхностное полиминеральное образование (см. рис. 5, *б*) состоит из разноструктурных объектов и множества микроглобул. Имеет кальций-магний-силикатно-карбонатный состав при заметном содержании Fe и S. Отсутствие Na и Cl говорит о неучастии в строении рассматриваемого шламового образования галита или хлорида кальция. Такой состав отвечает диагностированному элементному составу шламовых классов образцов гидротермально изменённых кимберлитов, для которых характерны большая массовая доля Si и меньшая Ca.

Поверхностные образования, спектры которых представлены на рис. 5, *в, г*, отличаются выборочной концентрацией минералов с выраженными гидрофобными или гидрофильными

1. Минеральный состав исследуемых шламов по данным рентгенофазовой спектроскопии, %

Номера проб	Слоистые силикаты					Карбонаты		Прочие	Сумма	Рентгеноаморфная фаза
	Серпентин	Слюда	Тальк	Смектит	Хлорит	Кальцит	Доломит			
1	3,0	сл.	пр.	возм.	-	3,7	2,5	48,8	58,0	42,0
2	5,0	сл.	-	возм.	пр.	4,6	4,6	78,2	92,4	7,6
3	9,1	>1	>1	возм.	-	1,9	5,8	34,8	53,6	46,4
4	12,1	0,7	пр.	возм.	сл.	10,7	10,8	46,9	81,2	18,8

2. Минеральный состав исследуемых шламов по данным инфракрасной спектроскопии, %

Номера проб	Общее содержание кальцита и доломита	Присутствующие минералы
1	4,6	Слоистые силикаты (серпентин, тальк, смектит), кальцит, доломит, гипс
2	8,1	Слоистые силикаты (серпентин, тальк, смектит), кальцит, доломит, гипс
3	11,4	Слоистые силикаты (серпентин, тальк, смектит), кальцит, доломит
4	12,4	Слоистые силикаты (серпентин, тальк, смектит), кальцит, доломит

свойствами. Пример поверхностного образования, которое содержит гидрофобные компоненты, – достаточно крупная шламовая примазка (конгломерат) тальк-смектитового состава (см. рис. 5, в). Примером поверхностного гидрофильного образования серпентин-карбонатного состава служит шламовая примазка (конгломерат) кальций-магний-алюмосиликатного состава (см. рис. 5, г). Диагностируется К, но в пределах погрешности метода определения. Хлор не определён, практически отсутствует S. Сопоставление полученного спектра со спектрами породных минералов позволяет диагностировать поверхностное образование как смесь серпентин-карбонатных минералов.

Дополнительно методом рентгеноспектрального микроанализа на поверхности всех исследуемых кристаллов выявлено повышенное содержание кислорода.

Таким образом, на основе комплексных минералогических исследований установлена взаимосвязь и идентичность составов изменённых кимберлитов, шламов, возникающих в процессе их переработки, и минеральных образований на поверхности природных алмазов, не

извлекаемых физико-химическими методами обогащения.

Особенность изученных минеральных объектов – высокое содержание рентгеноаморфных фаз, которые образуют на поверхности алмазов гидрофильные плёнки, характерные для кристаллов, теряемых в процессах липкостной и пенной сепараций.

Минеральные образования на поверхности алмаза имеют различное происхождение и представляют собой: остатки кимберлитовой породы, сохранившиеся на кристаллах алмаза адгезионно закрепившиеся на гидрофильной или гидрофобной поверхности алмаза микроконгломераты и единичные зёрна гидрофильных минералов или соединений, продукты процессов осадкообразования и кристаллизации солеобразных минералов (карбонатов и гидроксидакарбонатов), протекающих в высокоминерализованных водных системах и при взаимодействии поверхности кристаллов с компонентами рудной пульпы.

Диагностированные состав и свойства гидрофильных образований на поверхности алмазных кристаллов обуславливают выбор методов

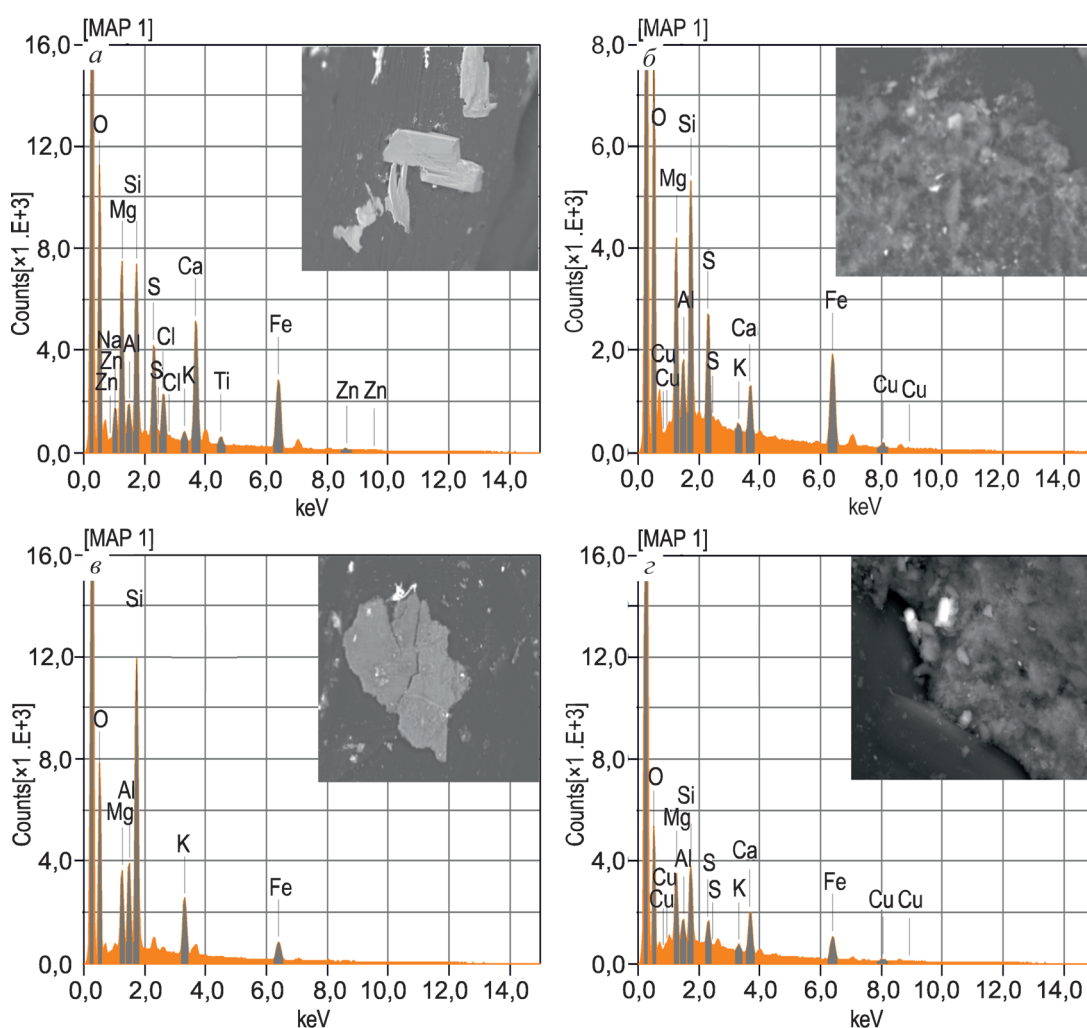


Рис. 5. Спектрограммы минеральных образований на поверхности алмазов, не извлекаемых процессом пенной сепарации изменённых кимберлитов (а–г)

их деструкции и растворения, обеспечивающих восстановление гидрофобных свойств алмазов и, соответственно, повышение их извлечения при липкостной и пенной сепарациях.

Работа выполнена при поддержке научной школы НШ-748.2014.5 под руководством академика В.А.Чантурия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология, прогнозирование, методика поисков и разведки коренных месторождений алмазов. Кн. 1. Коренные месторождения / В.М.Подчасов, В.Е.Минорин, И.Я.Богатых и др. – Якутск: ЯГ ФУ Издательство СО РАН, 2004.
2. Двойченкова Г.П. Формирование минеральных образований на поверхности природных алмазов и метод их деструкции на основе электрохимически модифицированных минерализованных вод // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 4. С. 159–171.
3. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и разработки алмазных месторождений). – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1994.
4. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. – М.: ООО Недр Бизнес-центр, 2000.
5. Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Мельник Ю.М., Мовчан Н.П. Вторичные минералы кимберлитов. – Киев: Наук. думка, 1993.
6. Механизм пассивации и активации поверхности алмазов при переработке алмазосодержащих

- руд / В.А.Чантурия, Э.А.Трофимова, Ю.П.Диков и др. // Обогащение руд. 1999. № 6. С. 14–18.
7. *Минералы* (справочник). Т. IV / Под ред. Ф.В.Чухрова. – М.: Наука, 1992.
8. Связь поверхностных и технологических свойств алмазов при обогащении кимберлитов / В.А.Чантурия, Э.А.Трофимова, Ю.П.Диков и др. // Горный журнал. 1998. № 11–12. С. 52–56.
9. Современные методы интенсификации процессов обогащения и доводки алмазосодержащего сырья класса -5 мм / В.А.Чантурия, Г.П.Двойченкова, Э.А.Трофимова и др. // Горный журнал. 2011. № 1. С. 71–74.
10. *Стрикленд-Констэбл Р.Ф.* Кинетика и механизм кристаллизации. Пер. с англ. – Л.: Недра, 1971.
11. Чантурия В.А., Горячев Б.Е. Обогащение алмазосодержащих кимберлитов // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья. М., 2008. С. 151–163.
12. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е. Особенности фазового минерального состава поверхности алмазных кристаллов, извлекаемых из хвостов обогащения алмазосодержащего сырья // Инновации и инвестиции. 2013. № 7. С. 264–267.
13. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е. Поверхностные свойства алмазов метасоматически измененных кимберлитов и их модификация в условиях переработки минерального сырья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 2. С. 137–148.
14. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Коваленко Е.Г. Изменение технологических свойств алмазов в условиях переработки вторично измененных кимберлитов // Руды и металлы. 2013. № 3. С. 48–54.
15. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Тимофеев А.С. Особенности минералогического состава и распределения минеральных компонентов в отвальных хвостах обогащения алмазосодержащего сырья // Руды и металлы. 2014. № 4. С. 67–73.
16. Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Ковальчук О.Е., Тимофеев А.С. Технологические свойства тяжелой фракции кимберлитовых руд и алмазов в отвальных хвостах обогащения // Руды и металлы. 2015. № 2. С. 67–74.
- Чантурия Валентин Алексеевич,
академик РАН, доктор технических наук
vchan@mail.ru
- Двойченкова Галина Петровна,
кандидат технических наук
dvoigp@mail.ru
- Ковальчук Олег Евгеньевич,
заведующий отделом
oleg.kovalchuk@mail.ru
- Тимофеев Александр Сергеевич,
младший научный сотрудник
timofeev_ac@mail.ru
- Подкаменный Юрий Александрович,
младший научный сотрудник
mirniy.yuriy@mail.ru

THE DISTRIBUTION ANALYSIS OF SECONDARY MINERALS AND THEIR ASSOCIATIONS ON DIAMOND SURFACE AND PROCESSING PRODUCTS OF METASOMATICALLY ALTERED KIMBERLITES

V.A.Chanturiya,
G.P.Dvoichenkova,
O.E.Kovalchuk,
A.S.Timofeev,
Yu.A.Podkamenny

The results of theoretical and experimental investigations have revealed distribution regularities of secondary minerals and their associations in the kimberlites processing products. Based on the complex of mineralogical studies, the identity of the changed kimberlite composition was established. Kimberlite processing causes formation of fine clay sludge, the basis of hydrophilic structures on the surface of diamond crystals unsuitable for extraction by methods of grease and foam separation.

Key words: secondary minerals, association, kimberlites, fractions, sludge, diamond, hydrophilic.