

УДК 622.7

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА АЛМАЗОВ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ
ИЗМЕНЕННЫХ КИМБЕРЛИТОВ И ИХ МОДИФИКАЦИЯ
В УСЛОВИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

В. А. Чантурия¹, Г. П. Двойченкова¹, О. Е. Ковальчук²

¹*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: dvoigp@mail.ru,
Крюковский тупик, 4, 111020, г. Москва, Россия*

²*Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие АК "АЛРОСА" (ОАО),
Чернышевское шоссе, 16, 678174, г. Мирный, Россия*

На основе комплекса минералогических исследований установлена идентичность состава измененных кимберлитов и образованных в процессе переработки шламов. Выявлен высокий процент содержания глинистых минералов типа талька, тальк-сапонита, хлорит-сапонита, На-сапонита и рентгеноаморфной фазы до 50 %. Присутствует кальцит, доломит, серпентин. Методами оптической микроскопии, инфракрасной спектроскопии и микрорентгеноспектрального анализа изучен состав поверхности природных алмазов при взаимодействии с диагностированными минералами. Установлена последовательность и условия формирования минеральных образований на поверхности кристаллов в условиях переработки метасоматически измененных кимберлитов.

Кимберлит, шламы, алмаз, минерал, анализ, минеральные образования, примеси, гидрофобность, поверхность

При обогащении преобразованных алмазоносных кимберлитов вследствие взаимодействия порообразующих минералов с минерализованными водами резко снижается извлечение алмазов методами липкостной и пенной сепарации за счет образования на их поверхности гидрофильных минеральных пленок. Экспериментально доказано [1–4], что потери алмазных кристаллов в указанных переделах обогащения могут достигать 20–30 % и более в зависимости от вещественного состава перерабатываемого сырья.

Термодинамический анализ и экспериментальные исследования позволили обосновать в качестве основного фактора формирования гидрофильных минеральных образований на поверхности природных алмазов процессы осаждения и кристаллизации химических соединений при контакте кристаллов с продуктами выщелачивания кимберлитов в минерализованных водных системах и рудных пульпах [5].

Поверхность алмазов характеризуется содержанием атомов углерода, имеющих "свободные" валентности, расположение и направление которых зависит от ориентации граней относительно кристаллической решетки кристалла. В алмазе у каждого поверхностного атома углерода на гранях октаэдра и ромбододекаэдра имеется по одной свободной валентности, а на гра-

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН ПП-5 и Научной школы под руководством академика РАН В. А. Чантурия НШ 74820145.

ни куба — по две [6]. Согласно данным [7, 8], эти валентности не остаются свободными и, как правило, участвуют в реконструкции поверхности кристалла за счет взаимодействия с соседними атомами с образованием двойных C=C-связей и изменением валентности этих атомов до sp²-состояния. Однако, по мнению авторов [9–11], насыщение этих валентностей различными атомами и функциональными группами происходит в процессах рудообразования с образованием на поверхности алмазных кристаллов пленок различного состава, что тесно связано с процессами рудообразования, при котором на содержащихся в кимберлитах алмазах формируются полиминеральные пленки и функциональный покров, представленный молекулами соединений CO, CO₂, N, H₂O и т. д., сорбированными поверхностью алмазов. Природа функционального покрова, зависящая от условий его формирования, оказывает сильное влияние на физические и химические свойства поверхности алмаза [11]. Высокая изменчивость кимберлитов, связанная с содержанием вторичных минералов до 80–90 %, приводит к снижению извлечения алмазов в процессе пенной сепарации до 20 %, тогда как из кимберлитов с низкой степенью метаморфизма и содержанием вторичных минералов менее 50 % извлечение алмазов составляет 80–90 % [12, 13].

С целью получения дополнительных данных для установления закономерностей и стадий формирования гидрофильных образований на поверхности алмазных кристаллов в лабораториях ИПКОН РАН, НИГП АК “АЛРОСА” и ЦАЛ БГРЭ АК “АЛРОСА” выполнены последовательно исследования по изучению:

- труднообогатимых кимберлитов измененного вещественного состава;
- тонкодисперсных шламов, образующихся в процессах переработки исследуемых кимберлитов;
- поверхностных свойств алмазных кристаллов в условиях переработки исследуемых минеральных объектов.

Идентификация состава и количественный минеральный анализ образцов кимберлита, определение структурных особенностей выявленных слоистых минералов выполнено с применением методов рентгеновской дифракции на дифрактометре X'tra-155.

Химический состав минеральных компонентов определялся методом микрорентгеноспектрального анализа с использованием микроанализатора JXA-8800R.

Диагностирование минеральных образований на поверхности исследуемых кристаллов проведено методом инфракрасной спектроскопии путем сравнения эталонных инфракрасных спектров пропускания слоистых минералов с полосами примесей на алмазах. В проводимых исследованиях спектры оптической плотности регистрировались на ИК-фурье спектрометре VERTEX 70 (Bruker), оснащенном ИК-микроскопом Hyperion 2000.

Согласно методике проведения экспериментальных работ, в НИГП АК “АЛРОСА” с использованием микроанализатора Superprobe JXA-8800-R выполнен рентгеноспектральный анализ исследуемых образцов кимберлита измененного вещественного состава, внешний вид которых представлен на рис. 1.

Кимберлит исследуемой пробы представляет собой мелкообломочную кимберлитовую брекчию неоднородной структуры с основной массой серого цвета, на фоне которой выделяются вкрапленники темно-зеленого, почти черного цвета, представляющие собой псевдоморфозы вторичных минералов по оливину, выполненные серпентином, частично замещенным сапонитом, кальцитом и тальком. На изломах отмечаются тонкие кристаллы кальцита молочно-белого цвета. Карбонат и тальк отмечаются в виде прожилков в серпентине, подчеркивающих форму вкраплений, присутствуют немногочисленные мягкие бесцветные тальк-кальцитовые пластинки, образующие тонкие корочки в породе.

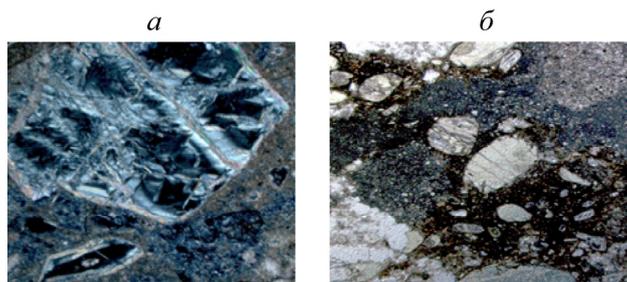


Рис. 1. Шлиф образца кимберлита измененного вещественного состава: *а* — псевдоморфоза серпентина, талька и кальцита по оливину; *б* — неоднородная структура кимберлита

Минералогический анализ связующей массы исследуемых образцов кимберлита выполнен по методикам с количественным определением содержания карбонатов [14], диагностированием глинистых минералов [15] и оценкой их соотношения в исследуемых объектах.

С использованием рентгенографических исследований (табл. 1) установлено соответствие состава исследуемых образцов кимберлита выветрелым породам, в которых серпентин частично преобразован в глинистые минералы и тальк.

ТАБЛИЦА 1. Результаты количественного определения минералов связующей массы исследуемых кимберлитовых пород, %

Минералы	Номер образца		
	1	2	3
Кальцит	8	4	3
Доломит	4	2	—
Глины и пр.	87	96	97
В том числе:			
тальк-сапонит	50	—	—
тальк	34	31	26
Na-сапонит	—	20	50
хлорит-сапонит	—	40	—
слюда	—	1	12
серпентин	1	4	—
хлорит	1	—	—
галит	1	—	—
гематит	—	—	9

При этом выявлено, что 87–97% связующей массы исследуемого кимберлита представлено глинистыми минералами, основными из которых являются: тальк (26–34%), тальк-сапонит, хлорит-сапонит или Na-сапонит (до 50), слюда (до 12%), серпентин (до 4%), хлорит (около 1%), галит (около 1%).

Карбонатная составляющая исследуемых образцов кимберлитов представлена кальцитом и доломитом, силикатная — серпентином, сапонитом и тальком.

Общим для всех изученных образцов кимберлитов является присутствие в их составе глинистых минералов со смектитовыми пакетами: Na-смектит, смешанослойные тальк-смектит и хлорит-смектит, что свидетельствует о способности диагностированных глинистых минералов к разбуханию и о наличии в них отрицательно заряженных структурных слоев, компенсируемых, как правило, положительными обменными катионами межслоевых промежутков.

Глинистые минералы исследуемого кимберлита диагностированы по изменению дифрактограмм (рис. 2), полученных в условиях последовательного использования препаратов в естественном состоянии, при насыщении глицерином и в условиях прокаливании при $T = 550^\circ\text{C}$.

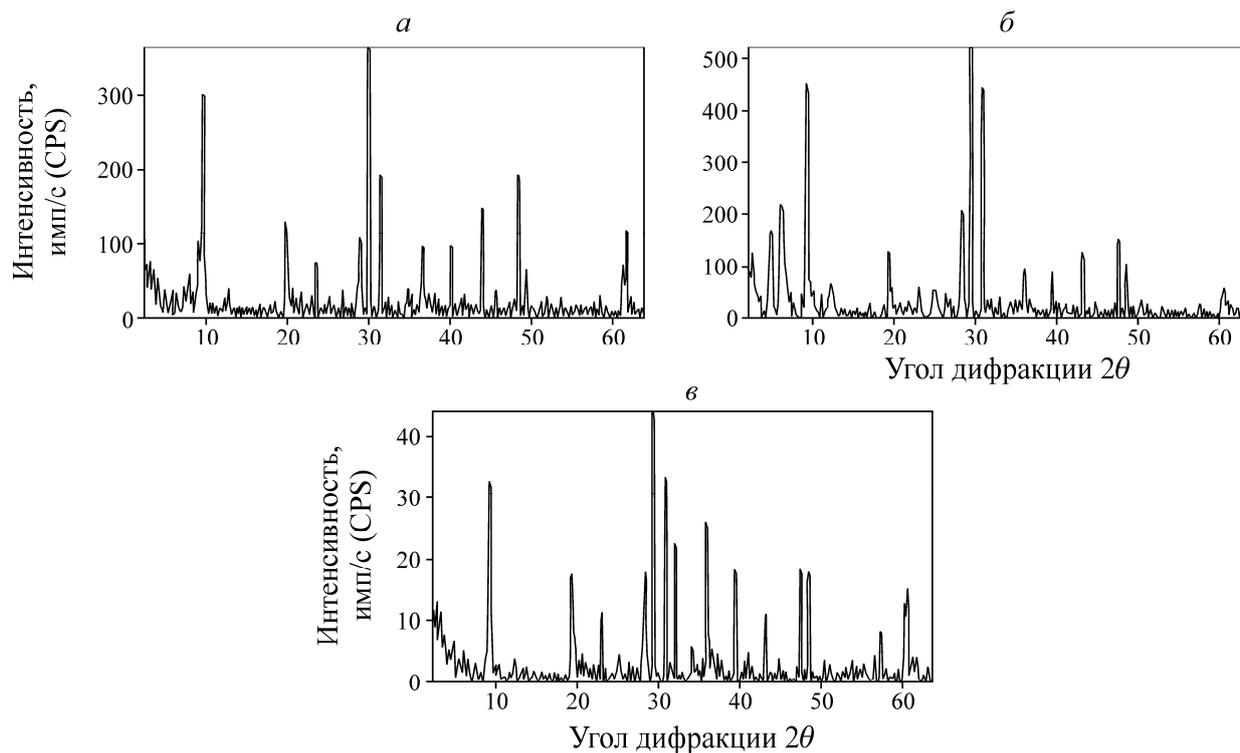


Рис. 2. Дифрактограммы связующей массы кимберлита в исследуемых условиях: *a* — естественное состояние; *b* — насыщение глицерином; *c* — прокаливание при $T = 550^\circ\text{C}$

Наблюдающееся на дифрактограммах увеличение межплоскостных расстояний, происходящее после насыщения глицерином, и последующее их уменьшение после прокаливания указывают на наличие подвижных сапонитовых пакетов. Неравномерность значений увеличения межплоскостных расстояний позволяет диагностировать наличие трех видов глинистых минералов:

— Na-сапонита (в естественном состоянии $d = (11.66, 4.52, 1.516)$ Å. После насыщения глицерином линия $d = 11.66$ Å сдвигается до значения 18.47 Å, а после прокаливания — в область 9.5 Å, где перекрывается линией талька);

— хлорит-сапонита (в естественном состоянии второй порядок отражения налагается на линию Na-сапонита $d = 11.68$ Å, далее следует $d = 7.19$ Å. После насыщения глицерином происходит упорядочение структуры хлорит-сапонита и появляются интенсивное отражение $d = 14.39$ Å, а также широкие размытые линии $d = 4.74$ и 3.58 Å. После прокаливания структура минерала разрушается и остаются только слабые рефлексы $d = 7.18$ и 3.54 Å);

— талька (в естественном состоянии имеет межплоскостные расстояния $d = (9.48, 4.52, 3.164, 2.620, 1.532)$ Å. Существенно не изменяет положения линий после обработки глицерином и прокаливания).

Установлено, что глинистые минералы в изученных образцах имеют размер кристаллов $0.001 - 0.01$ мкм, т. е. являются наночастицами, отличающимися от обычных материалов высококоразвитой поверхностью и уникальными электрическими, термодинамическими, механическими и химическими свойствами [16]. При этом малая интенсивность дифракционных линий указывает на высокое содержание рентгеноаморфных частиц, создающих основные проблемы в процессах извлечения алмазных кристаллов из кимберлитовых руд.

С целью изучения минерального состава породообразующих минералов отобраны и исследованы пробы тонкодисперсных шламов из различных технологических процессов в условиях переработки метасоматически измененных кимберлитов.

Анализ материала проб (табл. 2, рис. 3) позволил установить соответствие минерального состава исследуемых шламов с исходными кимберлитовыми образцами. В изученных пробах диагностированы серпентин, хлорит, тальк, смектит с преобладанием до 50 % тонкодисперсной (рентгеноаморфная) фазы.

ТАБЛИЦА 2. Минеральный состав исследуемых шламов (по данным РФС)

Номер пробы	Содержание минералов, %								Сумма	Рентгеноаморфная фаза
	Слоистые силикаты					Карбонаты		Прочие		
	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.	—	»	Пр.	4.6	4.6	78.2	92.4	7.6
3	9.1	>1	>1	»	—	1.9	5.8	34.8	53.6	46.4
4	12.1	0.7	Пр.	»	Сл.	10.7	10.8	46.9	81.2	18.8

В связи с трудностью определения рентгеноаморфных фаз стандартным рентгенофазовым анализом глинистая фракция исследована также с использованием методов дифрактограмм и ИК-спектроскопии.

Характер пиковых скачков на дифрактограммах рис. 3 позволил диагностировать в исследуемых образцах хлорит, смешанослойные образования, смектиты, минералы группы слюд и гидрослюд, а также тонкодисперсный кварц с примесью талька. Кроме того, на ИК-спектрах поглощения, представленных на рис. 4, также установлено присутствие линий, диагностирующих слоистые силикаты. В области валентных ОН-колебаний (диапазон частот 3400–3750 см⁻¹) отмечены узкие полосы на 3687, 3650 см⁻¹ и широкая полоса на 3410 см⁻¹. В спектрах выделены две линии с максимальной интенсивностью на 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, присутствуют максимумы на 610, 462, 446 см⁻¹.

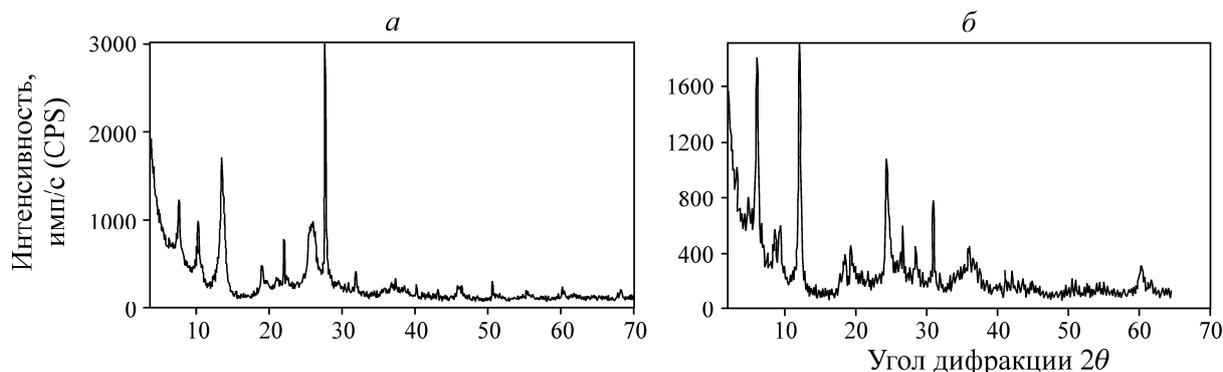


Рис. 3. Дифрактограммы исследуемых образцов шламов: *а* — естественное состояние; *б* — насыщение глицерином

По совокупности результатов анализа полос поглощения в ИК-спектре изученных проб идентифицированы слоистые силикаты, такие как серпентин, тальк и смектит. Кроме того, в образцах присутствуют небольшие содержания карбонатных пород — кальцита и доломита (табл. 3).

Таким образом, на основе анализа выполненного комплекса исследований установлена идентичность минерального состава измененных кимберлитов и образованных в процессах их переработки тонкодисперсных шламов. Особенность изученных минеральных объектов заклю-

чается в содержании высокого процента рентгеноаморфных фаз, образующих гидрофильные пленки на поверхности алмазов и обуславливающих увеличение их потерь с хвостами липкой и пенной сепараций. При этом наибольшее их количество выявлено в рудной пульпе питания пенной сепарации (пробы 3 и 4, табл. 2), в которой рентгеноаморфные минералы представлены слоистыми силикатами в виде серпентина, талька и смектитов.

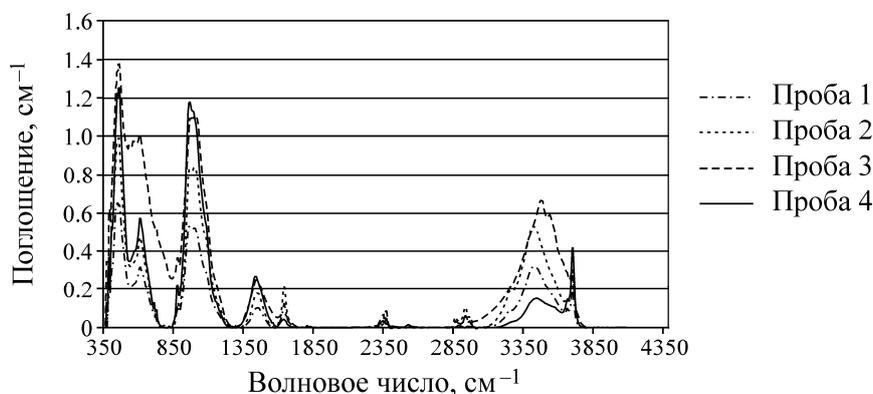


Рис. 4. ИК-спектры поглощения исследуемых образцов шламов

ТАБЛИЦА 3. Минеральный состав исследуемых шламов (по данным ИКС)

Номер пробы	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

Идентификация примесей на поверхности алмазных кристаллов при взаимодействии с диагностированными минералами кимберлитов и образованных из них шламов проведена как в условиях залегания, так и в процессах переработки минерального сырья при контакте с рудной пульпой на обогатительных алмазоизвлекающих фабриках. Исследования выполнены с помощью методов оптической микроскопии, инфракрасной спектроскопии и микрорентгеноспектрального анализа. При изучении поверхности алмазных кристаллов, извлеченных из кимберлитов преобразованного вещественного состава, в качестве объектов исследований приняты:

- минеральные пленки, включающие глинистые минералы, хлориды, карбонаты, сульфаты;
- химические соединения и газы, включающие группы CH_3 , CH_2 , CH , CO_2 , OH .

Коллекция природных алмазов, используемых в исследованиях их поверхности, представлена на рис. 5. На фотографиях видно, что часть исследуемых алмазов отличается практически полным отсутствием минеральных образований на их поверхности (кристаллы 2 и 4) либо небольшим их количеством (кристаллы 1 и 3). Однако большинство извлеченных из проб измененных кимберлитов кристаллов покрыты плотными отложениями минеральных образований (кристаллы 5–8).

На рис. 6 показаны обнаруженные на поверхности алмазов минеральные пленки в режимах оптической микроскопии и электронного микроскопа JXA-8800R в отраженных электронах.

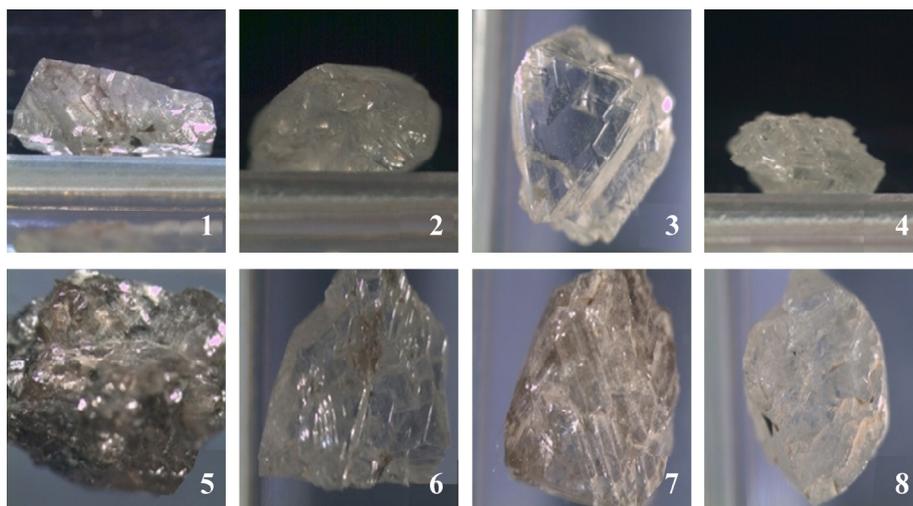


Рис. 5. Фото алмазных кристаллов, используемых в исследованиях минеральных пленок на их поверхности: 1–4 — природно-гидрофобные алмазы; 5–8 — природно-гидрофильные алмазы

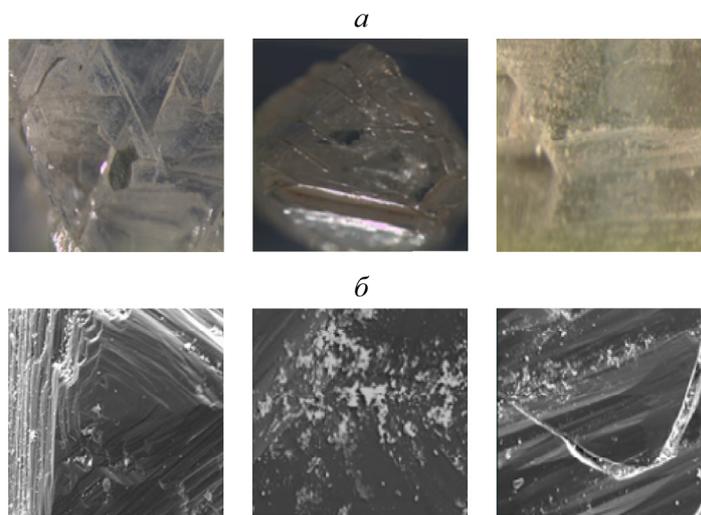


Рис. 6. Фото исследуемых алмазных кристаллов и внешний вид минеральных образований на их поверхности: *а* — оптический микроскоп; *б* — электронный микроскоп

Минеральные примеси, зафиксированные на поверхности алмазных кристаллов с использованием методов оптической микроскопии, инфракрасной спектроскопии и микрорентгеноспектрального анализа, представляют собой слой тонкодисперсных (менее 10 мкм) глинистых минералов. На фотографиях видно, что практически все исследуемые кристаллы характеризуются наличием минеральных пленок на их поверхности, которые располагаются как на плоскости кристаллов, так и в области различных дефектов их поверхности. Выявлены также микрочастицы кальцита (редкие единичные зерна или дисперсные массы совместно с силикатными образованиями), кварца (единичные зерна), диоксида (единичные зерна).

В ИК-спектрах основной массы исследуемых алмазов зафиксированы резкие дополнительные полосы в области 670, 1010 и 3675 см^{-1} , относящиеся не к структурным дефектам кристаллов, а к минеральным примесям на их поверхности (рис. 7).

На основании программного анализа полученных спектров поверхностей алмазов сделан вывод о преимущественно силикатной природе рельефных минеральных образований. По характеру расположения линий в ИК-спектрах идентифицировано наличие на алмазах силикат-

ных минералов, аналогичных тальку, которым, как правило, соответствуют две резкие полосы в области 1000 и 600 см^{-1} . Спектр талька имеет характеристическую полосу в области 1010 см^{-1} , ответственную за колебания Si-O связи.

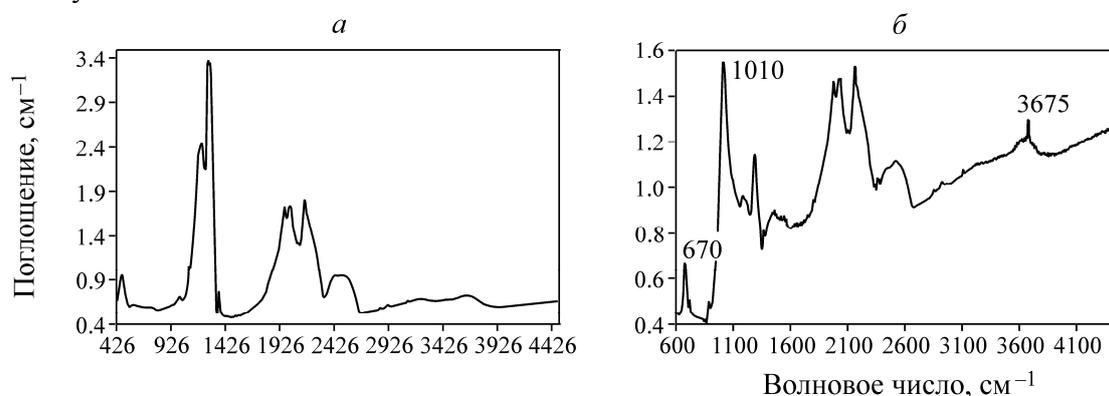


Рис. 7. ИК-спектры поглощения поверхности исследуемых алмазов: *a* — чистый алмаз; *б* — алмаз с минеральными примесями

Обнаруженные минеральные образования оказывают существенное влияние на состояние поверхности алмазных кристаллов в процессах их извлечения методами липкостной и пенной сепарации. Тальк-силикатные минералы имеют слоистую структуру, при которой существенная гидрофильность краевых участков частиц обусловлена наличием в его структуре ионов OH^- .

Поверхность алмазных кристаллов изучена на присутствие таких компонентов, как хлориды, сульфаты, карбонаты, химические соединения и газы. С использованием метода сканирования поверхности в режиме фазового контраста выявлено наличие отдельных кристаллов галита или прорастаний кристаллов в силикатных образованиях размером $1-10\text{ мкм}$. Кальцит CaCO_3 и ангидрит CaSO_4 , диагностированный методом ИК-спектроскопии и микрорентгеноспектрального анализа, присутствуют отдельными минеральными точками на поверхности исследуемых алмазов или рассеяны по ней совместно с силикатами (рис. 8).

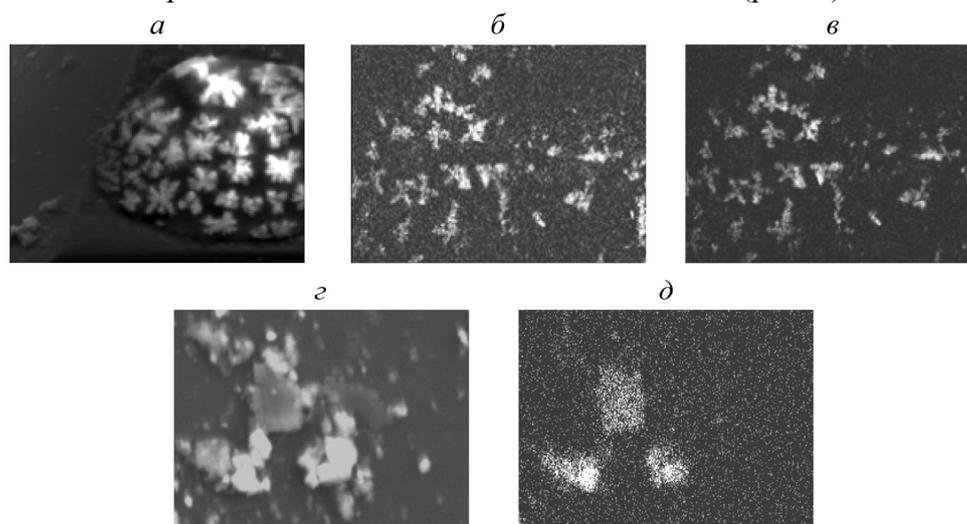


Рис. 8. Минеральные образования на поверхности исследуемых алмазов: *a* — галит; *б* — натрий; *в* — хлор; *г*, *д* — кальций

Результаты определения химического состава хлоридов, карбонатов и сульфатов на поверхности алмазов представлены в табл. 4 и 5.

ТАБЛИЦА 4. Химический состав хлоридов на поверхности исследуемых алмазов

Образец	Na	K	Al	Si	Cl	Ca	Mn	Fe
d3-2	42.4	21.21	0	0.403	36	0.24	0	0
d3-1	40.9	23.02	0.35	0.959	33	1.77	0.2	0.2

ТАБЛИЦА 5. Химический состав карбонатов и сульфатов на поверхности исследуемых алмазов

Образец	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe
d1-6	62.0	28.9	0.6	0.8	0.1	0.7	0.2	0.3	0.0	6.2	0.0	0.1
d4-1	—	—	—	—	—	—	1.6	—	—	2	—	—

Методом инфракрасной спектроскопии определены: молекулы H_2O , связи $C(алм)-H$, $C-H_2$, $C-H_3$ и $O-H$, коррелирующие с содержанием на поверхности обнаруженных минеральных примесей (рис. 9). При площадном сканировании поверхности методом микрорентгеноспектрального анализа зафиксированы также атомы кислорода.

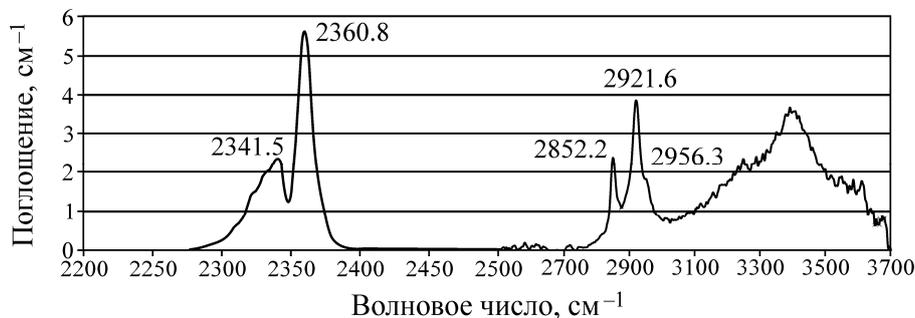


Рис. 9. Диагностирование на поверхности исследуемых алмазов групп с полосой поглощения CH , CH_2 , CH_3 , OH , CO_2

На основе измерения угла смачивания в исследуемых условиях выявлена зависимость гидрофобно-гидрофильных свойств поверхности алмазов от качественно-количественных характеристик примесей на их поверхности. Угол смачивания определяли методом сидящей капли [17], наносимой микрошприцем на поверхность алмаза. В качестве смачивающей жидкости использовали дистиллированную воду. Краевой угол смачивания рассчитан как среднее из не менее трех значений, различающихся не более чем на 5 %.

Во всех образцах колотые поверхности кристаллов, плотно и равномерно покрытые минеральной пленкой слоистых силикатов, характеризуются значительно меньшим углом смачивания по сравнению с ростовыми поверхностями алмаза, а значит, и более высокой степенью их гидрофильности.

На заключительной стадии исследований поверхность кристаллов алмазов была изучена до и после их нахождения в технологических процессах обогатительной фабрики в условиях контакта с минерализованной водной фазой рудной пульпы. В качестве объектов исследований использованы алмазные кристаллы исходной коллекции, рассортированные на гидрофобные и гидрофильные кристаллы. Дополнительно гидрофобные кристаллы были разделены на группы алмазов, поверхность которых не содержит визуально определяемых примесей и поверхность которых содержит их в незначительном количестве.

Таким образом, в последующих экспериментах использованы три типа природных алмазных кристаллов, извлеченных из исследуемых образцов измененных кимберлитов [2]:

— природно-гидрофобные кристаллы, не содержащие на поверхности минеральные образования;

— природно-гидрофобные кристаллы с незначительным количеством минеральных образований на поверхности;

— природно-гидрофильные кристаллы, поверхность которых покрыта плотными минеральными образованиями.

В качестве жидкой фазы взята высокоминерализованная оборотная вода технологических процессов обогатительной фабрики.

В табл. 6 приведены данные рентгенофотоэлектронной спектроскопии минеральных образований на поверхности выделенных групп алмазных кристаллов (с использованием результатов [2]) в условиях их контакта с компонентами рудной пульпы, образованной в процессах переработки исследуемых кимберлитов.

Установлено, что обработка исследуемых алмазов в условиях рудоподготовки и обогащения при контакте с минерализованной водной фазой рудной пульпы практически не изменяет поверхность чистых кристаллов типа 1 (табл. 6, строка 1.2). Однако при этом в различной степени увеличиваются количественные параметры пленки полиминеральных примесей (Mg, Si, Fe) в виде карбонатов, магниевых силикатов типа талька, гидратированной формы окиси Fe на поверхности кристаллов типов 2 и 3 (табл. 6, строки 2.2 и 3.2).

ТАБЛИЦА 6. Характеристика поверхностной пленки на исследуемых алмазах

Тип, № п/п	Элементы, % ат.					Поверхностная пленка	
	Si	Fe	Mg	C _{алм.}	O	Площадь распространения, %	Глубина проникновения, Å
Тип 1	Природно-гидрофобные алмазы (пленки практически отсутствуют)						
1.1	До обработки в условиях рудоподготовки и обогащения						
	0.2	0.0	0.1	92.6	6.1	6.0	30 (поверхн.)
1.2	После обработки в условиях рудоподготовки и обогащения						
	0.2	0.0	0.2	92.1	6.5	6.1	30 (поверхн.)
Тип 2	Природно-гидрофобные алмазы (незначительное количество пленок)						
2.1	До обработки в условиях рудоподготовки и обогащения						
	1.6	0.8	1.4	84.6	17.9	25.0	800
2.2	После обработки в условиях рудоподготовки и обогащения						
	2.7	1.4	3.2	70.9	23.9	51.0	1400
Тип 3	Природно-гидрофильные (пленки образованы вследствие гипергенных процессов)						
3.1	До обработки в условиях рудоподготовки и обогащения						
	6.4	5.8	8.1	44.5	36.2	75.0	1800
3.2	После обработки в условиях рудоподготовки и обогащения						
	9.2	8.5	12.3	32.1	43.2	87.0	2200

Полученные данные подтверждаются результатами анализа спектров поглощения алмазов в исследуемых условиях (рис. 10). На поверхности обработанного минерализованной водной фазой рудной пульпы гидрофобного алмаза (рис. 10, спектр 2) диагностировано появление слоистых силикатов, о чем свидетельствуют дополнительные полосы спектра в области 963, 998 и 3687 см⁻¹. Угол смачивания в данном эксперименте снижается с 95 до 40°, что свидетельствует о снижении гидрофобности поверхности.

Спектр поверхности гидрофобного алмаза с поверхностью без природных примесей и угол смачивания в аналогичных условиях эксперимента остаются практически без изменений.

Математическая обработка массива полученных данных позволила установить зависимость, близкую к прямо пропорциональной, уменьшения гидрофобности поверхности алмазов при увеличении суммы содержаний на ней минеральных компонентов (табл. 7).

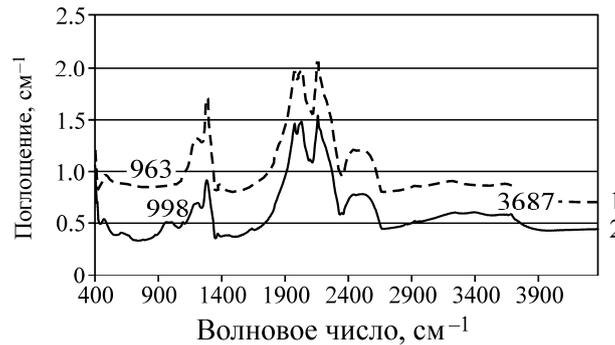


Рис. 10. ИК-спектры поглощения поверхности исследуемых алмазов

ТАБЛИЦА 7. Зависимости краевого угла смачивания (y , град) от массовой доли элементов (x) в поверхностном слое исследуемых алмазов

x	Уравнение связи	Коэффициент корреляции R^2
Массовая доля углерода	$y = -0.5x^2 + 11.9x + 58.5$	96.6
Массовая доля кислорода	$y = -1.5x^2 + 0.7x + 104.3$	95.6
Суммарная массовая доля минеральных примесей	$y = -0.71x^2 - 6.71x + 122$	97.6

ВЫВОДЫ

На основе выполненного комплекса исследований с использованием современных физических методов изучения геоматериалов установлена взаимосвязь между минералогическим составом метасоматически измененных кимберлитов, шламов, образующихся в процессах их переработки, и элементами минеральных образований на поверхности природных алмазов.

Диагностированы две основные формации исследуемых кимберлитов с измененным вещественным составом:

- с преобладанием силикатной составляющей, включающей серпентин, сапонит и тальк;
- с преобладанием карбонатной составляющей, включающей кальцит, доломит и сидерит.

Глинистые минералы характеризуются присутствием смешанослойных тальк-сметита и хлорит-сметита с повышенным содержанием рентгеноаморфной фазы.

Выявлены различия в морфологии и фазовом составе минеральных образований на алмазах исследуемых метасоматически измененных кимберлитов:

- поверхность природно-гидрофобных алмазов относительно однородна, покрыта образованиями из слоя CO_2 -газа и радикалов HCO_3 , а также микрообразованиями, представленными магниевыми силикатами серпентиновой группы;
- поверхность природно-гидрофильных алмазов неоднородна, минеральные примеси выражены преимущественно микрообразованиями, которые связаны с макрообразованиями, сконцентрированными на неровностях поверхности, и представлены карбонатами кальция и магния, ассоциированными с магниевыми силикатами тальковой группы;
- доля минеральных образований на гидрофобных алмазах не превышает 25 % площади поверхности, а на гидрофильных алмазах достигает 70 %.

При этом толщина минеральных пленок на гидрофильных алмазах в 2–3 раза больше, чем на гидрофобных кристаллах. Снимки поверхности алмазных зерен показывают, что поверхностные образования содержат диагностированные минералы, носят смешанный “плоско-островной” характер и концентрируются вблизи нарушений геометрически неоднородной поверхности.

Пленочные минеральные образования на поверхности алмаза имеют различное происхождение и являются:

— остатками кимберлитовой породы, сохранившимися на кристаллах алмаза и имеющими общий генезис с рудной массой или одновременно с ней прошедшие процессы гипергенных изменений;

— адгезионно закрепившимися на гидрофильной или гидрофобной поверхности алмаза макроагломератами и единичными зёрнами гидрофобных или гидрофильных минералов;

— продуктами процессов осадкообразования и кристаллизации солеобразных минералов (карбонатов и гидроксидокарбонатов и др.), протекающих в высокоминерализованных водных системах технологических процессов переработки кимберлитов при взаимодействии поверхности кристаллов с компонентами рудной пульпы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В. А., Трофимова Э. А., Диков Ю. П., Богачев В. И., Двойченкова Г. П. Связь поверхностных и технологических свойств алмазов при обогащении кимберлитов // Горн. журн. — 1998. — № 11–12.
2. Чантурия В. А., Трофимова Э. А., Диков Ю. П., Богачев В. И., Двойченкова Г. П., Миненко В. Г. Механизм пассивации и активации поверхности алмазов при переработке алмазосодержащих руд // Обогащение руд. — 1999. — № 3.
3. Дюкарев В. П., Калитин В. Т., Махрачев А. Ф., Зуев А. В., Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Трофимова Э. А., Бычкова Г. М. Разработка и внедрение электрохимической технологии водоподготовки при обогащении алмазосодержащих кимберлитов // Горн. журн. — 2000. — № 7.
4. Чантурия В. А., Трофимова Э. А., Двойченкова Г. П., Богачев В. И., Миненко В. Г., Диков Ю. П. Теория и практика применения электрохимического метода водоподготовки с целью интенсификации процессов обогащения алмазосодержащих кимберлитов // Горн. журн. — 2005. — № 4.
5. Двойченкова Г. П. Формирование минеральных образований на поверхности природных алмазов и метод их деструкции на основе электрохимически модифицированных минерализованных вод // ФТПРПИ. — 2014. — № 4.
6. Кулакова И. И., Руденко А. П. Гетерогенный катализ в превращениях алмаза // Катализ: фундаментальные и прикладные исследования. — М.: Изд-во МГУ, 1987.
7. Tabor D. The physical aspect of the diamond surface, Diamond Research, 1975.
8. Алешин В. Г., Смехнов А. А., Крук В. Б. Химия поверхности алмаза. — Киев: Наук. думка, 1990.
9. Thomas J. M., Evans E. L. Surface chemistry of diamond: a review, Diamond Research, 1975.
10. Shergold H. L., Harley C. J. The surface chemistry of diamond, Int. Miner. Process., 1982, Vol. 9, No. 3.
11. Кулакова И. И. Химия поверхности наноалмазов // Физика твердого тела. — 2004. — Т. 46. — Вып. 4.
12. Чантурия В. А., Горячев Б. Е. Обогащение алмазосодержащих кимберлитов // Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / под. ред. В. А. Чантурия. — М.: Изд. дом “Руда и металлы”, 2008.
13. Чантурия В. А., Двойченкова Г. П., Трофимова Э. А., Чаадаев А. С., Зырянов И. В., Островская Г. Х. Современные методы интенсификации процессов обогащения и доводки алмазосодержащего сырья класса – 5 мм // Горн. журн. — 2011. — № 1.
14. Бровкин А. А., Сидоренко Г. А. Рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА) с использованием метода внутреннего стандарта: метод. указания. — М.: ВИМС, 1984.
15. Градусов Б. П. Минералы со смешанослойной структурой в почвах. — М.: Наука, 1976.
16. Максимовский Е. А., Файнер Н. И., Косинова М. Л., Румянцев Ю. М. Исследование структуры тонких нанокристаллических пленок // Журн. структур. химии. — 2004. — Т. 45.
17. Холмберг К., Йенссон Б., Кронберг Б., Линдман Б. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.

Поступила в редакцию 5/II 2015