

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИК-ФУРЬЕ-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И КАЧЕСТВА АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ

Н.Е.Анашкина

ФГБУН Институт проблем комплексного
освоения недр РАН,
г. Москва

Г.К.Хачатрян

ФГУП Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов,
г. Москва

Показано влияние структурных примесей в составе алмазов на технологические свойства и качество алмазов из россыпей Нижне-Ленского района Восточной Сибири. По содержанию структурных примесей выделены две популяции алмазов: высоко- и среднеазотная. Выявлена корреляция между содержанием структурных примесей, характером люминесценции и степенью сохранности кристаллов алмазов в россыпях.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, примеси в алмазе, азот, технологические свойства, люминесценция, водород.

Один из наиболее информативных методов изучения минерального состава шлиховых и технологических проб – ИК-Фурье-спектроскопия (ИКФС). В работе [14] была предложена экспрессная методика анализа порообразующих и аксессуарных минералов золоторудных месторождений, позволяющая идентифицировать минералы, полуколичественно оценивать относительное содержание в пробе, определять типоморфные свойства некоторых из них. Дополнительное достоинство методики – отсутствие предварительной пробоподготовки. Кроме того, отмечено, что ИК-Фурье-спектроскопия может успешно применяться для определения прозрачных минералов в шлихах при поисках месторождений алмазов [15, 18]. С ее помощью устанавливаются минеральный состав шлиховой пробы, типоморфные свойства алмаза и его спутников и на этой основе выявляются индикаторные минералы кимберлитов. Очевидно, что эта же методика может использоваться для изучения минералов алмазоносных проб при оценке их обогатимости. Например, извлечению алмаза методом рентгенолюминесцентной сепарации мешают люминесцирующие минералы –

кальцит, циркон, апатит, доломит, плагиоклаз и др., которые предварительно могут быть зафиксированы с помощью ИК-Фурье-спектроскопии.

В настоящей статье рассмотрены возможности применения ИК-Фурье-спектроскопии при исследовании технологических свойств и параметров качества алмазов. К технологическим свойствам относятся удельный вес, размер зерен, поверхностные свойства, прочностные характеристики, рентгенолюминесценция, поглощение рентгеновских лучей. Многие из этих свойств зависят от состава и концентрации примесей: структурных (азот в различных формах, водород) и фазовых (графит, карбонаты, вода, углеводороды). Поэтому изучение дефектно-примесного состава алмаза может способствовать разработке и усовершенствованию методов его извлечения. Для анализа структурных дефектов ИК-спектроскопия имеет первостепенное значение. Этот метод – количественный, неразрушающий, позволяет регистрировать шесть оптически активных центров, характерных для природных алмазов. Кроме того, в ИК-спектрах алмаза проявляются фазовые примеси минера-

лов, органического вещества и адсорбированной H_2O , отрицательно влияющие на технологические свойства сырья.

Среди структурных примесей главную роль играет азот, который в большинстве алмазов кимберлитового типа находится в А- и В-формах. Общепринятой моделью А-центров является пара смежных, замещающих углерод, атомов азота [11]. В-дефекты представляют собой четыре атома азота, тетраэдрически сгруппированных вокруг вакансии [16]. В отличие от азотных центров, в которых азот изоморфно замещает углеродные атомы, водород химически связан с углеродом алмазной решетки. Модель водородных центров (C_2H_2) включает два углеродных атома с двойной связью ($C=C$) и два присоединенных к ним атома водорода [12, 20].

Как упоминалось выше, структурные примеси влияют на многие физические свойства алмаза. С точки зрения промышленного использования наиболее ценными электронно-оптическими свойствами обладают так называемые безазотные алмазы с суммарным содержанием этой примеси $<40 \text{ at. ppm}$ (спектральные типы IIa и IIb), а среди безазотных алмазов – соответственно кристаллы, содержащие примесь бора (спектральный тип IIb). Азотные и безазотные алмазы разных типов легко различаются по ИК-спектрам, что может быть учтено при предварительной оценке качества алмазного сырья. Как показано в работе [2], при содержании азота в А-форме $>1000 \text{ at. ppm}$ происходит «тушение» люминесценции алмаза. Примесь азота в В-форме влияет на прочностные характеристики алмаза – микротвердость, работоспособность алмазного инструмента и др. [9]. Так, при высоких содержаниях В-дефектов в кристаллах их микротвердость может увеличиваться в 1,75 раза [2].

Для алмазов из реальных природных объектов взаимосвязь «состав–свойство» не однозначна. Это обусловлено неоднородностью внутреннего строения кристаллов, наличием включений, минеральных пленок, примазок, особенностями скульптуры поверхности. Более всего это относится к россыпным алмазам, претерпевшим длительное воздействие внешней среды.

Для изучения возможностей ИК-спектроскопии при оценке технологических свойств и па-

раметров качества алмаза авторы воспользовались коллекцией алмазов (93 кристалла) из триасовых россыпей Нижне-Ленского района, предоставленной Ю.М.Сибирцевым. Подобный выбор объектов не случаен, так как аналогичные кристаллы широко распространены не только в названном районе, но и во многих промышленно значимых россыпях других районов Северо-Востока Якутии (в том числе Эбеляхской алмазоносной площади) [4]. Нами исследованы кристаллы класса крупности $-2+1 \text{ мм}$ со средней массой 20,1 мг участков Булкур (26 обр.), Усат-Хая (27 обр.) и Ольховый (40 обр.).

Для алмазов этих участков характерно преобладание кристаллов ромбододекаэдрического габитуса. При этом в коллекции из россыпи Булкур доминируют черные и серые ромбододекаэдры, а также переходные между ромбододекаэдром и октаэдром формы со слоистым строением граней – V разновидность, по Ю.Л.Орлову (рис. 1, а) [7]. Среди кристаллов из россыпей Ольховый и Усат-Хая преобладают типично округлые додекаэдроиды (см. рис. 1, г) I разновидности, по Ю.Л.Орлову. Более половины кристаллов характеризуются низкой сохранностью: обломаны, расколоты, представлены бесформенными осколками (см. рис. 1, в, г), многие имеют трещины, шрамы и каверны – признаки природного травления.

В целом изученные образцы, особенно из россыпи Булкур, отличаются повышенным относительным содержанием двойников и сростков, в основном относящихся к алмазам VII разновидности, по Ю.Л.Орлову (см. рис. 1, б). Коллекция из россыпи Булкур состоит преимущественно из окрашенных индивидов. Преобладает окраска черная, серая, серо-коричневая, обусловленная включениями графита, а также дымчатая и коричневая, связанная с пластическими деформациями. Отмечается повышенное количество ожелезненных кристаллов. В алмазах из россыпей Усат-Хая и Ольховый доля окрашенных не превышает 50% от общего количества кристаллов каждой из выборок. По внешним признакам и кристалломорфологическим свойствам изученные алмазы сходны с алмазами из этих же россыпей, охарактеризованными ранее [3, 4].

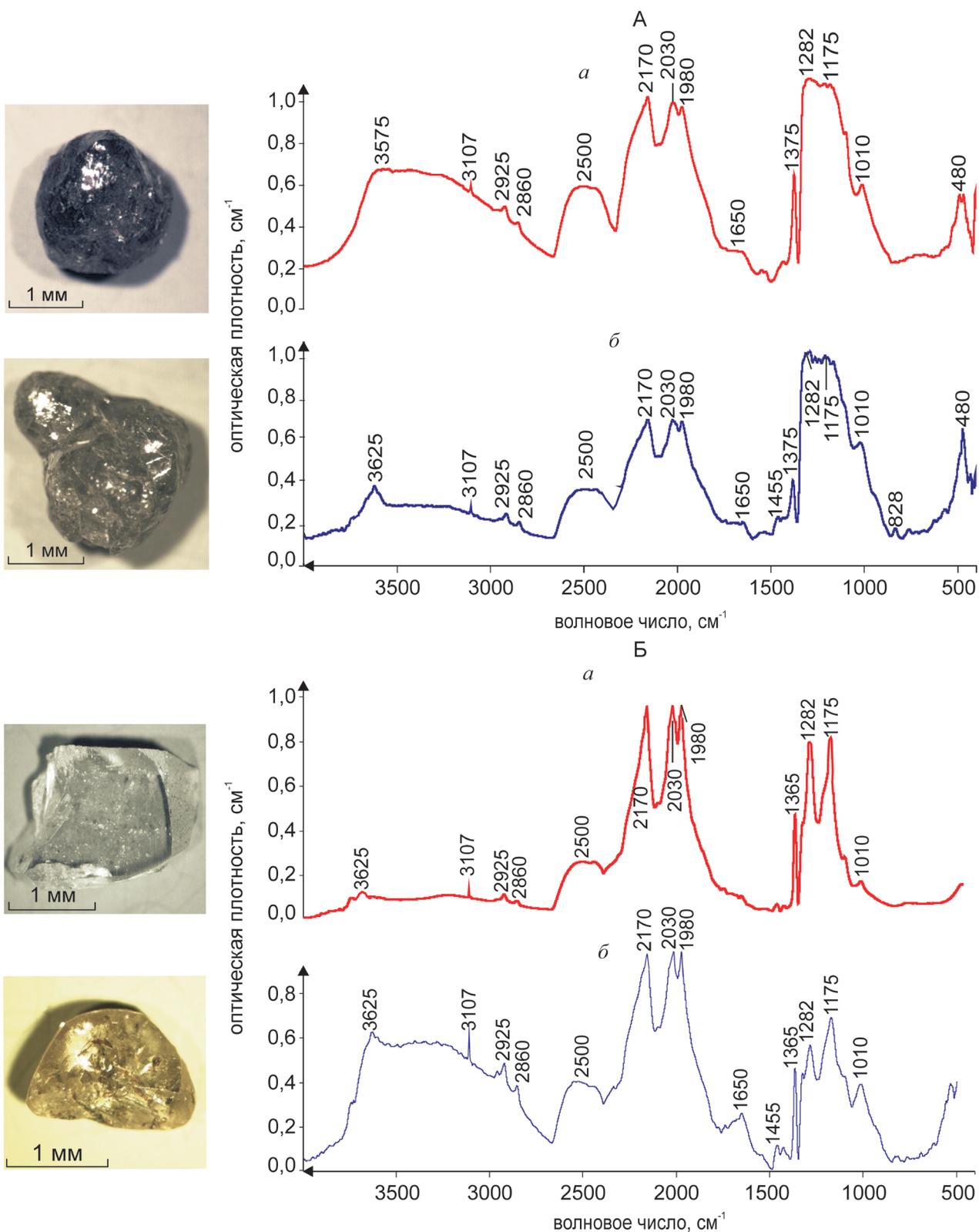


Рис. 1. Характерный облик алмазов высокоазотной (А) и среднеазотной (Б) популяций и их ИК-спектры: пояснения в тексте

Основным методом исследования была ИК-Фурье-спектроскопия. Спектры кристаллов регистрировались на приборе марки Nicolet 380 с микроосветительной приставкой фирмы Karl Zeiss в диапазоне $400\text{--}4000\text{ см}^{-1}$ и микроскопом Centaurus компании THERMO Scientific в диапазоне $650\text{--}4000\text{ см}^{-1}$. Концентрации структурных дефектов оценивались по ИК-спектрам, согласно методике [13]. Дополнительно изучались кристалломорфологические особенности образцов – целостность, трещиноватость, габитус, скульптура поверхности, окраска, прозрачность, наличие включений. Кроме того, определялось свечение образцов в УФ-лучах (длина волны 365 нм).

По характеру ИК-спектров алмазная коллекция представлена исключительно типом Ia, безазотные разности (тип IIa) среди них не обнаружены. ИК-спектры (см. рис. 1) состоят из нескольких систем спектральных линий. Полосы поглощения в области $1900\text{--}2600\text{ см}^{-1}$ обусловлены собственными колебаниями кристаллической решетки алмаза [9]. Согласно работе [5], система линий $2860, 2930$ и 2960 см^{-1} связана с колебаниями CH_3^- и CH_2^- – групп алифатических структур (предельные углеводороды или их фрагменты). Судя по тому что указанные линии присутствуют даже в спектре бесцветного прозрачного осколка кристалла без видимых поверхностных загрязнений (см. рис. 1, в), можно предполагать наличие углеводородных фаз внутри кристалла. Широкая диффузная полоса с максимумом $\sim 3400\text{ см}^{-1}$ и сопряженная с ней линия $\sim 1650\text{ см}^{-1}$ связаны с поглощением ОН-групп, вероятно, входящих в состав адсорбированной H_2O [5]. Последняя может входить как в состав минеральных фаз, выполняющих каверны и трещины на поверхности кристаллов алмаза, так и, подобно углеводородам, находиться внутри кристалла. Группа линий в области $3700\text{--}3600\text{ см}^{-1}$, по-видимому, связана с примесями глинистых минералов [8], заполняющих совместно с оксидами железа каверны, трещины и другие углубления на поверхности кристаллов.

ИК-спектры проанализированных алмазов фиксируют наличие азота в формах А (линии 480 и 1282 см^{-1}) и В (линии 1010 и 1175 см^{-1}),

плейтлетс (линия $\sim 1365\text{--}1375\text{ см}^{-1}$) и структурной примеси водорода в виде узких пиков 1405 и 3107 см^{-1} . Концентрации азота в А-форме варьируют в широких пределах от 50 до 1800 ат. ppm , в форме В – от 23 до 773 ат. ppm , достигая в одном образце 1103 ат. ppm . Концентрации плейтлетс весьма значительны – до $30,6\text{ см}^{-1}$ (условные единицы). Содержания водорода, напротив, относительно невелики и не превышают $5,2\text{ см}^{-1}$ (условные единицы).

По распределению азотных центров кристаллы россыпей Ольховый, Усат-Хая и Булкур разделяются на две популяции. Первая (I) – среднеазотная со значениями $\text{NA}+\text{NB}$ $300\text{--}700\text{ ат. ppm}$ и повышенной степенью агрегированности азота $\% \text{NB} \sim 50$, вторая (II) – высокоазотная с $\text{NA} > 1100\text{ ат. ppm}$ и $\% \text{NB} \sim 30$. Усредненные концентрации структурных дефектов в кристаллах каждой из популяций приведены в таблице. Наиболее четко наличие двух популяций кристаллов проявляется для алмазов россыпи Булкур, где они представлены почти в равных пропорциях. В россыпи участка Ольховый присутствуют главным образом алмазы популяции I.

Алмазы популяции I – преимущественно расколотые и обломанные додекаэдрониды, осколки кристаллов (см. рис. 1, в, г). Для них характерна сине-голубая люминесценция в УФ-области, обусловленная присутствием N3-центров, представляющих собой три азотных атома в комбинации с вакансией [11]. Следует отметить, что люминесцируют не все, а только прозрачные с малым количеством включений алмазы. Алмазы популяции II с общим содержанием азота $> 1100\text{ ат. ppm}$ – в основном целые монокристаллы и сростки кристаллов, многие из которых малопрозрачны и имеют темную окраску (см. рис. 1, а, б). Значительная их часть относится к V и VII разновидностям, по Ю.Л. Орлову.

Для алмазов из россыпей Нижне-Ленского района Якутии прослеживается взаимосвязь между распределением азотных центров в кристаллах и их технологическими свойствами (прочностные свойства, люминесценция). Алмазы высокоазотной популяции не люминесцируют в УФ-лучах. Отмеченное явление обусловлено повышенным содержанием в кристаллах азота в А-форме, составляющим $1000\text{--}1200\text{ ат. ppm}$, ко-

Усредненные концентрации структурных дефектов в кристаллах среднеазотной (I) и высокоазотной (II) популяций алмаза из россыпей Нижне-Ленского района Якутии

Объект, популяция	Число образцов	NA+NB	%NB	Плейтлетс, см ⁻¹	H, см ⁻¹
Ольховый, I	40	462±163	48±13	7,5±3,6	1,1±1,0
Усат-Хая, I	27	417±177	52±13	12,0±9,3	1,4±1,2
Усат-Хая, II	27	(1315±214)	(28±6)	(10,0±6,1)	(0,9±0,5)
Булкур, II	26	1468±324	27±7	8,3±2,9	0,9±0,7
Булкур, I	26	(543±183)	(50±9)	(6,0±3,5)	(1,2±0,6)

Примечание. Приведены средние по выборкам значения и их среднеквадратические отклонения. Без скобок – данные по главной (доминирующей) популяции, в скобках – по второстепенной.

торое приводит к «тушению» центров N3 голубой фотолюминесценции. По данным Е.В.Соболева [2, 11], в кристаллах с содержанием азота 1000 at. ppm и более голубая фотолюминесценция практически отсутствует. Помимо структурных дефектов, «тушение» и ослабление люминесценции происходят из-за многочисленных включений графита, характерных для алмазов высокоазотной популяции, а также из-за окисных пленок на поверхности алмазов из россыпей Нижне-Ленского района. Все эти факторы, в свою очередь, приводят к снижению эффективности рентгенолюминесцентной сепарации.

Относительно высокая степень сохранности алмазов высокоазотной популяции косвенно указывает на их повышенные прочностные характеристики. В работе [9] основная роль в упрочнении кристаллов алмаза отводится азотным агрегациям – В-центрам и сопутствующим им плейтлетс. Как видно из таблицы, по содержанию плейтлетс высоко- и среднеазотная популяции кристаллов практически не различаются, но абсолютное содержание азота в В-форме в алмазах высокоазотной популяции выше (350–700 at. ppm), чем в алмазах среднеазотной (150–350 at. ppm), что, по-видимому, и определяет их более высокие прочностные свойства.

Алмазы среднеазотной популяции, содержащие N3 азотные центры, лишь отчасти люминесцируют в УФ-лучах. Подобное явление связано с сочетанием двух основных факторов. С одной стороны, концентрация азота в А-форме в кристаллах популяции невелика и не превышает 400 at. ppm, т.е. эффект «тушения» голубого свечения кристаллов отсутствует. С другой сто-

роны, поверхность кристаллов популяции имеет сложный рельеф (сколы, трещины, каверны, шрамы, матировка и т.д.). Это способствует скоплению на ней вторичных минералов (гидроксиды железа, глинистые минералы и др.), что снижает интенсивность фотолюминесценции.

Другой аспект исследования влияния состава алмаза на его свойства – выявление взаимосвязи между распределением структурных примесей в кристаллах и их качеством. Данная проблема мало изучена несмотря на огромный фактический материал, накопленный за полувековой период изучения азотных и водородных центров в алмазах из различных месторождений.

Как установлено одним из авторов ранее, химически адсорбированный растущими гранями алмаза водород блокирует их послойное развитие, что приводит к формированию высокодефектной волокнистой или столбчатой внутренней структуры [1]. Кристаллы с повышенным содержанием водорода, как правило, имеют неоднородное внутреннее строение [17]. Им свойственна смена механизмов роста, что снижает прочность кристаллов и ухудшает оптические характеристики. Таким образом, высокое содержание водорода может быть признаком низкого качества и пониженных прочностных свойств алмазов.

Вхождение азота в структуру алмаза способствует формированию крупных кристаллов (за исключением алмазов-гигантов массой >100 карат) с более совершенной огранкой [7, 19]. При этом алмазы с общим содержанием азота <100 at. ppm обладают пониженными прочностными характеристиками, что способствует ро-

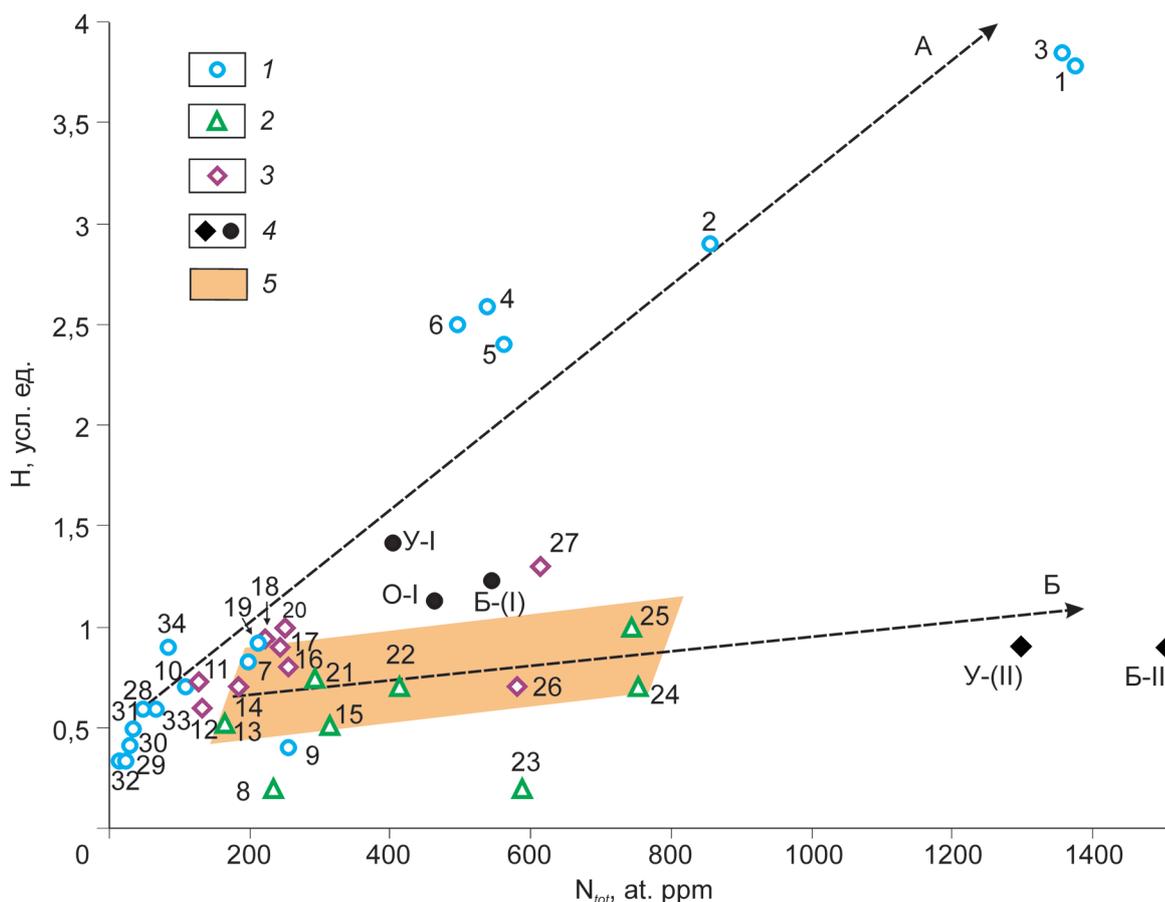


Рис. 2. Усредненные содержания азота и водорода в кристаллах главных популяций алмаза из трубок:

Архангельской области: 1 – Поморская, 2 – им. Карпинского-1, 3 – Архангельская, 4 – Снегурочка, 5 – Первомайская, 6 – Кольцовская, 7 – им. Ломоносова, 8 – им. Гриба; Якутии: 9 – Заполярная, 10 – Поисковая, 11 – Дальняя, 12 – Айхал, 13 – Сытыканская, 14 – Удачная, 15 – Юбилейная, 16 – Молодость-1, 17 – Комсомольская, 18 – Прогнозная, 19 – Зарница, 20 – Краснопресненская, 21 – Ленинград, 22 – Мир, 23 – Спутник, 24 – им. XXIII съезда КПСС, 25 – Интернациональная, 26 – Малокуонапская; Канады: 27 – ДО-27; Бразилии: 28–32 – Панреа-1, -2, -3, -6, -7 соответственно, 33 – Арипуана, 34 – Коллиер; доминантная форма кристаллов в трубках: 1 – округлые додекаэдрониды, 2 – слоистые ромбододекаэдрониды, 3 – октаэдрониды; 4 – алмазы высокоазотной (I) и среднеазотной (II) популяций из россыпей Булкур (Б), Усат-Хая (У) и Ольховый (О); 5 – область, соответствующая трубкам с алмазами ювелирного качества

стовым и эпигенетическим деформациям кристаллов, ухудшающим их качество. Примером служат алмазы из трубок кластера Пандреа (Бразилия) и трубки Аргайл (Австралия), отличающиеся низким качеством. В то же время, кристаллы с максимально высокими содержаниями азота, как правило, также не относятся к ювелирному сырью. Например, высокоазотная популяция алмазов Нижне-Ленского района

представлена в основном кристаллами V и VII разновидностей, по Ю.Л.Орлову (1983 г.). Эти алмазы отличаются повышенной степенью дефектности, блоковым строением и наличием большого количества флюидных включений [10]. Таким образом, можно заключить, что алмазы ювелирного качества отличаются некоторыми оптимальными содержаниями структурно связанного азота.

Эмпирический подход к решению поставленной задачи предполагает сопоставление данных о распределении азотных и водородных центров (мода, среднее, среднеквадратическое отклонение) в кристаллах с их качественными характеристиками (крупность, прозрачность, окраска и др.), известными из литературы [4]. Как показано ранее [6], параметры распределения концентраций примесных центров (азота в различных формах и водорода) в алмазах каждого из месторождений являются характеристическими и могут быть определены в случайной выборке кристаллов, составляющей не менее 30 образцов. Нами были установлены средние содержания азота (суммарное N_{tot} в А- и В-формах) и структурной примеси водорода в кристаллах главных популяций алмаза из 34 трубок Якутии, Архангельской области, Бразилии, Канады (рис. 2). На рисунке видна положительная корреляция между средними содержаниями водорода и азота в алмазах. По соотношению азота и водорода алмазы группируются в две серии, что проявляется на диаграмме в виде двух ветвей (А и Б). Ветвь А объединяет выборки алмаза с относительно повышенным содержанием водорода из трубок, в которых доминируют округлые кристаллы – додекаэдровиды. Вокруг ветви Б группируются выборки кристаллов алмаза с относительно более низким содержанием водорода из трубок, в которых преобладают кристаллы октаэдрического габитуса и слоистые ромбододекаэдры. Алмазы из месторождений с высоким содержанием ювелирного сырья группируются вокруг ветви Б и ограничены областью, выделенной цветом. В эту область попадают фигуративные точки, соответствующие алмазам трубок Мир, Интернациональная, им. XXIII съезда КПСС, Удачная, Комсомольская, Сытыканская и др. Как видно из диаграммы, алмазы ювелирного качества характеризуются усредненными содержаниями азота N_{tot} 200–800 ат. ppm и водорода 0,5–1,0 усл. ед. На диаграмме также отображены кристаллы среднеазотной и высокоазотной популяций из россыпей Булкур, Усат-Хая и Ольховый. По распределению азота и водорода все эти алмазы не соответствуют признакам ювелирного сырья.

Итак, метод ИК-Фурье-спектроскопии может быть использован для прогнозирования и оценки технологических свойств алмазного сырья и качества природных кристаллов алмаза.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ «Научная школа акад. В.А.Чантурия» НШ-748.2014.5 и РФФИ (проект № 14-05-00007).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинова Г.К. Структурные примеси как индикаторы механизма роста природных кристаллов алмаза // Докл. АН СССР. 1987. Т. 294. № 4. С. 868–871.
2. Геология и генезис алмазных месторождений. Кн. 2 / Б.М.Владимиров, Ю.М.Дауев, Б.М.Зубарев и др. – М.: ЦНИГРИ, 1989.
3. Граханов С.А. Геологическое строение и алмазность россыпей Севера Якутской алмазонасной провинции // Тр. АК «АЛРОСА» ЯНИГП ЦНИГРИ. Воронеж, 2000.
4. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. – М.: Недра, 2003.
5. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. – М.: Высшая школа, 1971.
6. Методическое руководство по комплексному исследованию типоморфных свойств алмазов при локальном прогнозировании и поисках коренных месторождений / Ф.В.Каминский, З.В.Бартошинский, Г.К.Блинова и др. – М.: ЦНИГРИ, 1988.
7. Орлов Ю.Л. Морфология алмаза. – М.: Наука, 1973.
8. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры силикатов / Под ред. Л.А.Грибова. – М.: МГУ, 1967.
9. Природные и синтетические алмазы / Г.Б.Бокий, Г.Н.Безруков, Ю.А.Клюев и др. – М.: Наука, 1986.
10. Рагозин А.Л., Шацкий В.С. Минералогия и вопросы генезиса округлых алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы // Проблемы прогнозирования, поисков и изучения месторождений полезных ископаемых на пороге XXI века. Мат-лы научно-практической конференции АК «АЛРОСА», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный, 2003. С. 245–249.
11. Соболев Е.В. Азотные центры и рост кристаллов природного алмаза // Проблемы петрологии зем-

- ной коры и верхней мантии. Новосибирск, 1978. С. 245–255.
12. *Соболев Е.В., Лисойван В.И.* Примесные центры в алмазе // Тез. докл. XIII Отчетной научной конференции. Новосибирск, 1972. С. 60–61.
13. *Хачатрян Г.К.* Усовершенствованная методика оценки концентраций азота в алмазе и ее практическое применение // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы АК «АЛРОСА». Мирный, 2003. С. 319–321.
14. *Хачатрян Г.К., Кряжев С.Г.* Методика анализа породобразующих и акцессорных минералов рудных месторождений с использованием ИК-Фурье микроскопа // Руды и металлы. 2010. № 5. С. 64–72.
15. *Хачатрян Г.К., Щербакова Т.Е., Колесникова Т.И.* Методика исследования минералов-спутников алмаза с применением ИК-Фурье спектроскопии // Отечественная геология. 2011. № 4. С. 76–85.
16. *Bursill L.A., Glaisher R.W.* Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type I a diamond // Amer. Miner. 1985. Vol. 70. P. 608–618.
17. *Kaminsky F.V., Khachatryan G.K.* The relationship between the distribution of the nitrogen impurity centres in diamond crystals and their internal structure and mechanism of growth // Lithos. 2004. Vol. 77. № 1–4. P. 255–271.
18. *Khachatryan G.K., Kaminsky F.V., Anashkina N.E.* FTIR microanalysis of diamond and indicator minerals as a new tool in prospecting for diamond deposits // 10th International Kimberlite Conference. Bangalore, 2012. 10 IKC-50.
19. *Wild R.K., Evans T., Lang A.R.* Birefringence X-ray topography and electron microscope examination of the plastic deformation of diamond // Phillos. Mag. 1967. Vol. 134. № 15. P. 267–279.
20. *Woods G.S., Collins A.T.* Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in Type I diamonds // J. Phys. Chem. Solids. 1983. Vol. 44. № 5. P. 471–475.

Анашкина Наталия Евгеньевна
for_nataliya@list.ru

Хачатрян Галина Карленовна,
кандидат геолого-минералогических наук
khachatryan_g_k@mail.ru

STUDIES OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES AND QUALITY OF DIAMOND ORE USING FOURIER SPECTROSCOPY

**N.E. Anashkina,
G.K. Khachatryan**

The influence of structural impurities on technological properties and quality of diamonds from the Lower Lena places, East Siberia, is discussed. Two varieties of diamonds are distinguishable by the structural impurities content: highly nitrous and moderately nitrous. A correlation is established between the structural impurities content and preservation grade of the placer diamonds.

Key words: IR spectroscopy, impurities in diamonds, nitrogen, technological properties, luminescence, hydrogen.

Журнал «Руды и металлы» приглашает к сотрудничеству представителей геологических, горно-геологических, горнодобывающих организаций и предприятий, отраслевых научно-исследовательских, академических и образовательных институтов

По вопросам размещения рекламы или издания целевого номера, посвященного вашему предприятию, организации, ее продукции и услугам обращаться по телефону 8 (495) 315-06-29 или электронной почте rudandmet@tsnigri.ru
Реклама по заказам отраслевых организаций и высших учебных заведений выполняется по льготным расценкам