

УДК 549.211

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ АГРЕГАТЫ АЛМАЗА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА, РОССИЯ

Ю.М. Базарова

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет,
Москва, bazdim@mail.ru*

Г.Ю. Криюлина

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет;
Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН, Москва, galinadiamond@gmail.com*

В.К. Гаранин

*Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, РАН,
Москва, vgaranin@mail.ru*

Проведено исследование поликристаллических агрегатов алмаза из трубки Архангельская месторождения им. М.В. Ломоносова Архангельской алмазоносной провинции методами оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии, инфракрасной Фурье-спектроскопии, цветной катодной люминесценции. По результатам изучения морфологии и внутреннего строения образцов было выделено две группы, относящиеся к VIII и IX разновидностям алмазов, по минералогической классификации Ю.Л. Орлова (1984). В основном, коллекция представлена алмазами с высоким содержанием азота, но встречаются и низкоазотные кристаллы. В изученных образцах присутствуют поликристаллические сростки двух генетических типов, имеющие однородное или зональное внутреннее строение, связанное с различными периодами формирования сростка.

В статью 1 таблица, 4 рисунка, список литературы из 5 названий.

Ключевые слова: алмаз, поликристаллические сростки алмаза, VIII разновидность алмаза, IX разновидность алмаза, структурно-примесные дефекты, включения.

Как монокристаллы, так и поликристаллические разновидности алмаза (Орлов, 1984) находят все более широкое применение в различных отраслях современной промышленности, поэтому проблема генезиса алмаза является одной из наиболее актуальных в геологии. Данные о морфологии и внутреннем строении алмаза могут являться источником уникальной информации о геологических процессах, происходящих на глубинах порядка 150 км. Поликристаллические агрегаты в настоящее время изучены в гораздо меньшей степени, чем монокристаллы алмаза (Смелова, 1991). В связи с этим, изучение их внешней и внутренней морфологии позволяет получить качественно новую информацию об условиях алмазообразования, что и обуславливает актуальность настоящего исследования.

Для исследования было отобрано 20 образцов поликристаллических сростков алмаза размером 3–4 мм из трубки Архангельская. Образцы были изучены методами оптической микроскопии, сканирующей электронной микроскопии, методом цветной катодной люминесценции, инфракрасной Фурье-спектроскопии.

Изученные поликристаллические агрегаты состоят из кристаллитов октаэдрической, комбинационной и додекаэдрической формы, цвет кристаллов от светло- до темно-серого,

также присутствуют зеленовато-серые, розовые и желтые прозрачные и полупрозрачные индивиды.

Большинство образцов данной коллекции (12 сростков) представляют собой агрегаты многочисленных хорошо ограниченных мелких кристаллитов почти одинакового размера. Сростки имеют овальную и шаровидную форму. Форма отдельных индивидуумов — кристаллиты комбинационных форм и додекаэдровиды. Внутри прозрачных сростков присутствует темное зернистое ядро. Это ядро представляет собой агрегат зерен алмазов неправильной формы, темных от включений графита. Цвет агрегатов в основном светло-серый, зеленовато-серый, присутствуют розовые, а также зональные различия (рис. 1а–с). Такие агрегаты были отнесены к VIII разновидности, по минералогической классификации алмаза Ю.Л. Орлова (1984).

Меньшая часть образцов (8 сростков) изучаемой коллекции представляет собой агрегаты, имеющие вид неправильных угловатых кусков. Составляющие их зерна хорошо различимы; в основном имеют форму октаэдров. Агрегаты непрозрачные, темно-серые. В кристаллитах присутствуют темноцветные включения неправильной формы, вероятно, являющиеся графитом, что характерно для алмазов Архангельской алмазоносной про-

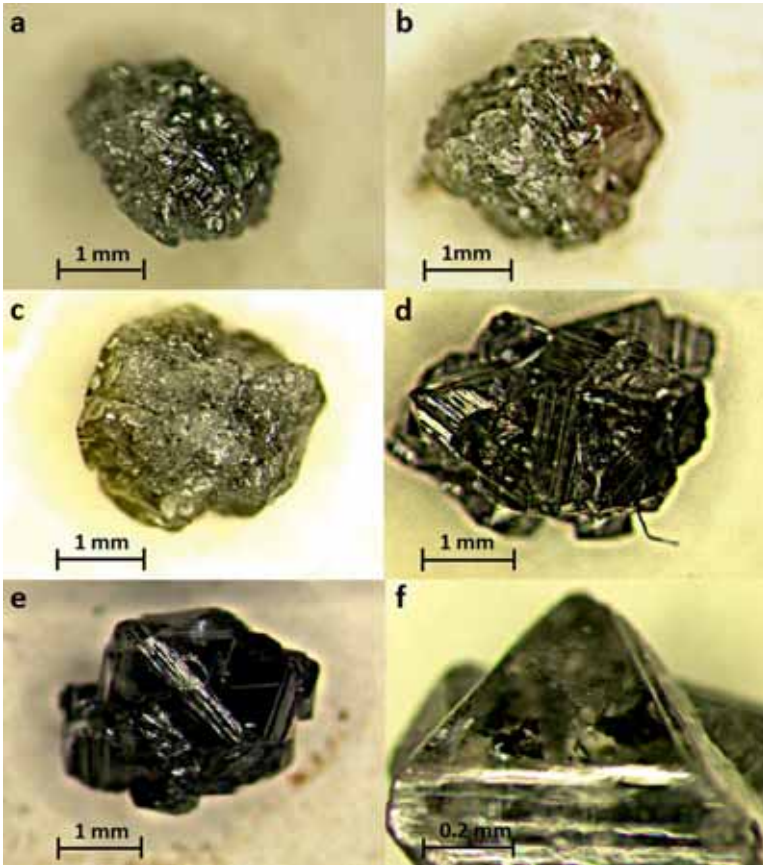


Рис. 1. Поликристаллические сростки алмаза из трубки Архангельская (в проходящем свете): а – поликристаллический сросток, VIII разновидности; б – кристалл алмаза розового цвета с оболочкой из мелких кристаллитов; с – зональный поликристаллический сросток, VIII разновидности; д – сросток октаэдров, черный от большого количества включений, с хорошо выраженной штриховкой роста, IX разновидности; е – агрегат со сколом, IX разновидности; ф – включение неправильной формы в кристаллите агрегата, IX разновидности.

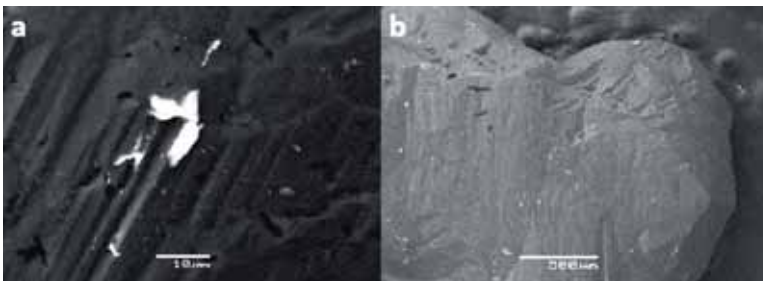


Рис. 2. Поверхность кристаллитов (в отраженных электронах, сканирующий электронный микроскоп): а – фрагмент поликристаллического сростка со следами травления – трещины, ямки, шероховатость грани; б – фрагмент поликристаллического сростка с кавернами вытравливания и отрицательными пирамидами травления.

винции. При значительном их количестве кристаллы приобретают почти черную окраску (рис. 1d – f). На отдельных кристаллитах (октаэдрах) видны зеленые пятна (области пигментации), которые являются следствием природного радиоактивного облучения, хорошо проявлена параллельная штриховка роста, связанная с послойным нарастанием граней (рис. 1d). На некоторых образцах прослеживается расщепление вершин, что говорит о смене условий при их росте. Полицентрический характер роста граней на исследуемых

образцах свидетельствует о пересыщении среды и смещении центра роста грани (Криулина, 2012). Следов преобразования формы в додекаэдроид не отмечается. Данный вид поликристаллических сростков был определен как IX разновидности, по минералогической классификации Ю.Л. Орлова.

Все изученные кристаллы алмаза имеют следы «локального» растворения. Поверхности граней отдельных кристаллитов матовые, шероховатые, пронизаны каналами травления (рис. 2). Матировка представляет собой

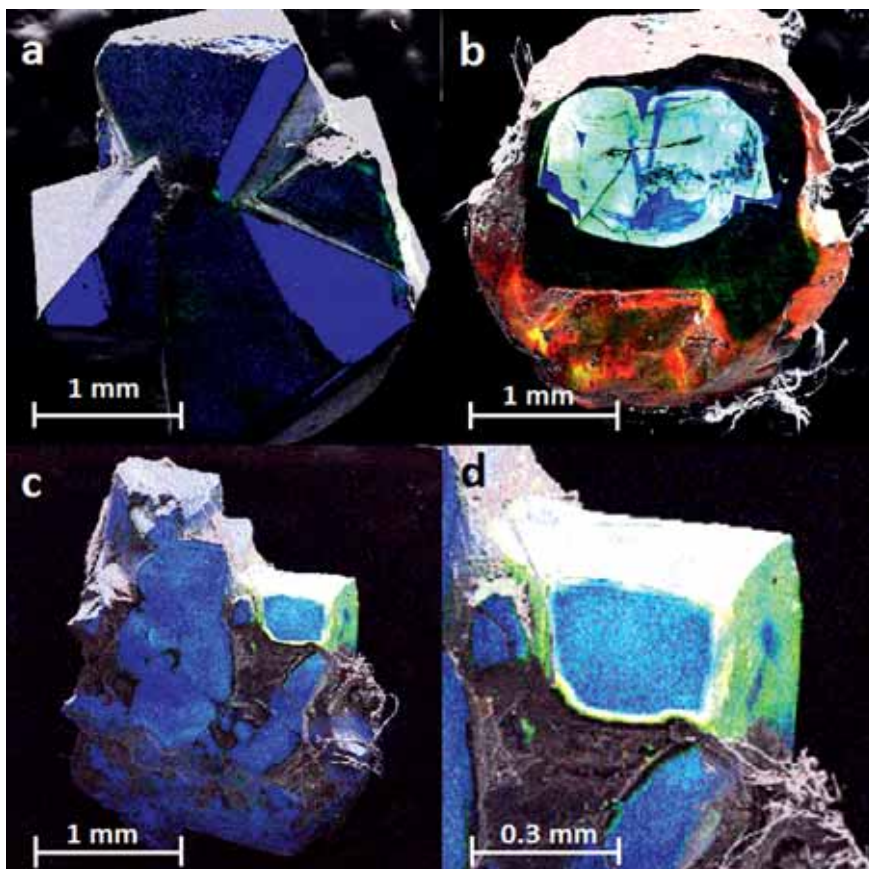


Рис. 3. Свечение алмазов в лучах цветной катодной люминесценции: а — однородная синяя люминесценция; б — синяя люминесценция, осложненная линиями зеленой люминесценции; с — однородная синяя люминесценция с зеленым свечением люминесценции отдельного кристаллита; д — зеленая люминесценция отдельного кристаллита, осложненная пятнами синей люминесценции.

результат воздействия на кристалл подвижного реагента, действовавшего примерно с одинаковой силой во всех точках поверхности алмаза и свободно проникавшего во все впадины на кристалле. Естественно предположить, что в природных условиях таким реагентом являлась флюидная среда (Гневушев, Щеманина, 1975).

В исследованных поликристаллических агрегатах интенсивность и распределение свечения в лучах ЦКЛ различны (рис. 3). В основном, изученные поликристаллические агрегаты имеют синюю люминесценцию разной интенсивности проявления, осложненную линиями и пятнами зеленого и красного цвета (рис. 3а, б). Встречаются агрегаты, в которых наряду с однородной синей люминесценцией наблюдается зеленое свечение отдельных кристаллитов (рис. 3с). Такие кристаллиты часто осложнены пятнами синей люминесценции (рис. 3д). Вероятно, это связано с разными генерациями и этапами роста агрегатов. Зональное строение кристаллитов проявлено в разном цвете свечения центральной части

агрегата и его внешних зон (рис. 3б). Неравномерное свечение в картинах ЦКЛ говорит о разных условиях при формировании поликристаллических агрегатов.

Спектр азотно-примесных дефектов в кристаллической решетке природных алмазов чрезвычайно обширен и многообразен (Соболев, 1978). По данным инфракрасной Фурье-спектроскопии, было установлено, что исследуемые поликристаллические агрегаты, отнесенные к IX разновидности, имеют более высокое содержание азотных дефектов, чем агрегаты VIII разновидности (рис. 4). Среднее содержание А и В дефектов в высокоазотных кристаллах значительное — 1000 ppm, в низкоазотных — невелико, 260 ppm. Присутствие С-центров не установлено. Для всех исследованных поликристаллических агрегатов характерна степень агрегации азота от 5 до 25%, со средним содержанием 15%. Содержание В2 дефектов варьирует от 2.18 до 10.36 см⁻¹. У кристаллов с высоким содержанием азотных дефектов среднее содержание В2 дефектов — 10 см⁻¹, у кристаллов с низким

содержанием азотных дефектов — 2.3 см^{-1} . Для высокоазотных и низкоазотных алмазов характерно содержание водорода (таблица).

Для сравнительной характеристики были рассмотрены поликристаллические агрегаты алмаза из трубки Удачная Якутской алмазоносной провинции. Сростки из трубки Удачная, в основном, представлены бортом (IX разновидность). Эллипсоидная и близкая к округлой формы агрегатов, в которых равномерно развитые ограниченные вершинки индивидов алмаза наблюдаются по всей поверхности, свидетельствуют о росте их в среде, способствующей равномерному притоку питающего вещества, что возможно только в подвижной среде. По данным Г.Б. Смеловой (1991), результаты исследования химического состава сингенетических включений минералов (оливин, рихтерит, магнезит, флогопит) и их парагенезисов в поликристаллических агрегатах показывают принадлежность последних к ультраосновной среде.

Заключение

Изученные поликристаллические агрегаты можно подразделить на две группы. Для одной из них характерны агрегаты с хорошо ограниченными кристаллитами октаэдрической формы темно-серого и почти черного цвета. Сростки данной группы характеризуются равномерным распределением включений. Такие агрегаты относятся к IX разновидности алмаза, по минералогической классификации Ю.Л. Орлова (1984). Для сростков данной группы характерно однородное свечение в лучах цветной катодной люминесценции, характеризующее одноэтапный рост агрегатов. Высокое содержание азота, низкая степень агрегации говорят о непродолжительном посткристаллизационном отжиге.

Для другой группы характерны агрегаты с мелкими кристаллитами почти одинакового размера, представленные, в основном,

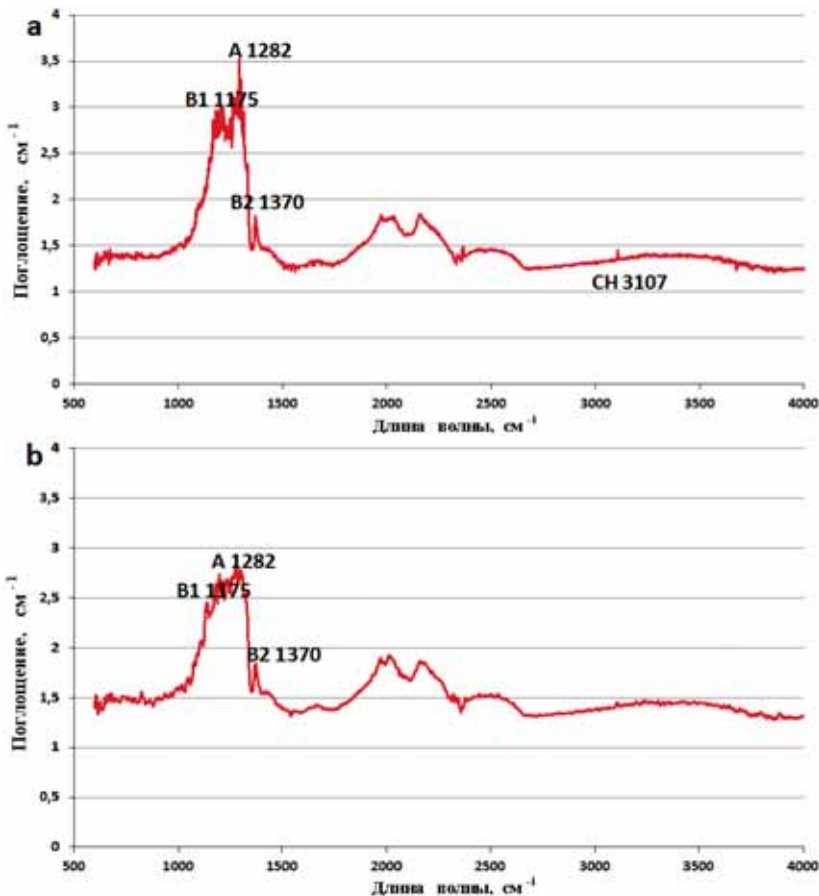


Рис. 4. ИК-спектры алмазов поликристаллических разновидностей: а — ИК спектр поликристаллического сростка IX разновидности (образец № 1787-3-2) с высоким содержанием азотных дефектов — А, В, В2 и водородного дефекта СН; б — ИК-спектр агрегата VIII разновидности (образец № 1787-3-17) с низким содержанием азотных дефектов.

Таблица. Концентрации структурно-примесных дефектов в поликристаллических агрегатах алмаза из трубки Архангельская, по данным инфракрасной Фурье-спектроскопии

№ образца	N_{tot} , at.ppm	A, at.ppm	B1, at.ppm	B1, %	B2, cm^{-1}
1787-3-2	1002	948	54	5.39	10,36
1787-3-17	267	208	59	22.09	2,18

Примечание: N_{tot} – общая концентрация азота в кристалле; A (at.ppm) – азотный дефект A (его содержание в атомных пропромлях); B1 (at.ppm) – азотный дефект B1 (его содержание в атомных пропромлях); B1 (%) – содержание дефекта B1 в процентах от общего содержания A + B1 (степень агрегации азота); B2 (cm^{-1}) – содержание дефекта B2 (планарный дефект). ИК-спектроскопические исследования алмаза проводились в СППИ им. Г.В. Плеханова (оператор к.г.-м.н. В.А. Васильев).

октаэдрами и додекаэдроидами. Цвет светло-серый. Данные образцы относятся к VIII разновидности, по минералогической классификации Ю.Л. Орлова. Для них характерно неоднородное свечение в лучах ЦКЛ, низкое содержание азота и более высокая степень агрегации, что свидетельствует о более продолжительном отжиге данной группы агрегатов. Можно предположить, что агрегаты, отнесенные к VIII разновидности, кристаллизовались раньше и в условиях более высокой температуры, чем сростки IX разновидности.

Сходство морфологии изученных поликристаллических агрегатов алмаза из трубки Архангельская и аналогичных индивидов из трубки Удачная может свидетельствовать о близости условий их образования в среде ультраосновного состава.

Литература

- Гневушев М.А., Щеманина Е.И. Опыт классификации кристаллов алмаза // Минерал. Сб. Льв. ун-та. **1975**. № 29. Вып. 3. С. 45–52.
- Криулина Г.Ю. Конституционные характеристики алмаза из месторождений Архангельской и Якутской алмазоносных провинций. Дисс. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, **2012**. 192 с.
- Орлов Ю.Л. Минералогия алмазов. М.: Наука, **1984**. 263 с.
- Смелова Г.Б. Морфология борта из кимберлитовых трубок Якутии // Минералогич. журнал. **1991**. № 3. С. 83–90.
- Соболев Е.В. Азотные центры и рост кристаллов природного алмаза // Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. Новосибирск: Наука, **1978**. С. 245–255.