



## К ПРОБЛЕМЕ ГЕНЕЗИСА КАРБОНАДО



*Д. г.-м. н.*

**В. А. Петровский**

*petrovsky@geo.komisc.ru*



*Д. ф.-м. н.*

**Е. Н. Яковлев\***

*vdavydov@hppi.troitsk.ru*



*К. т. н.*

**В. П. Филоненко\***



*К. г.-м. н.*

**Ю. В. Глухов**

*glukhov@geo.komisc.ru*



*Аспирант*

**А. Е. Сухарев**

*petrovsky@geo.komisc.ru*



*Докторант*

**М. Мартинс\*\***

*maximilianomartins@yahoo.com.br*

Карбонадо представляет собой редко встречающиеся разновидности алмазов. Ввиду своего необычного строения, уникальных механических свойств и загадочной природы эта алмазная разновидность привлекает интерес геологов и материаловедов. Исследуя микроструктуру природных карбонадо, Л. Ф. Труэб (L. F. Trueb) показал, что они состоят из беспорядочно ориентированных алмазных кристаллитов и по строению напоминают керамику [21]. По современной классификации [6] карбонадо определяется как тонкозернистые (скрытокристаллические) образования алмаза, не имеющие правильной формы, которые на рентгенограммах дают гало, как от аморфных тел. Алмазные агрегаты, имеющие микроструктуру и механические свойства, сходные с микроструктурой и механическими свойствами природных карбонадо, впервые синтезированы в СССР в 1969 году в ИФВД РАН. До недавнего времени считалось, что, наряду со сходством природных карбонадо и их синтетических аналогов, между ними есть существенные различия, главным из которых является присутствие в синтетических карбонадо значительного количества металлов-катализаторов (МК). Однако в последнее время на ос-

нове исследований современными методами высоколокальной аналитической электронной микроскопии в природных карбонадо выявлены металлические включения [1, 7], которые, по видимому, играют важную роль в генезисе данной разновидности алмаза.

Известны попытки синтезировать карбонадо без примесей МК. Одним из способов получения поликристаллов без примесей является спекание чистых алмазных порошков [13, 15, 19]. Несмотря на достигнутые успехи в получении прочных поликристаллов этим методом, их структура отличается от структуры карбонадо.

В лабораторных условиях технические карбонадо синтезируются в реакционной ячейке аппаратов высокого давления типа «тороид» [22] при давлении более 7.5 ГПа. «Переохлаждение» при таком давлении составляет 420—750 К, а движущая сила процесса — 1.5—2.8 кДж/моль. Размеры алмазных зерен в данном случае составляют 5—10 мкм. На них ясно видны отпечатки от более мелких частиц, имеющих размеры около 0.5—1.0 мкм, которые, по видимому, характеризуют размеры критического зародыша при давлении около 8.0 ГПа.

Электронно-микроскопические исследования синтетических карбонадо

показали, что связь между алмазными кристаллитами обусловлена взаимным срастанием и прорастанием алмазных частиц. Важную роль в образовании связи между кристаллитами играет МК. Транспорт расплавленного МК происходит по дефектам и порам графита, а также алмаза и, возможно, вследствие микроразрушений в графите, появляющихся во время превращения графита в алмаз. Транспорт металла происходит не только по графиту, но и по границам зерен образующегося поликристалла (для изучения распределения металла использовались рентгеновское просвечивание и рентгеновская компьютерная томография). Неоднородность распределения МК по объему во многом определяет большой разброс в значениях физико-механических свойств образцов.

Роль металла-катализатора не ограничивается лишь ускорением процесса превращения графита в алмаз, но влияет на формирование особой структуры поликристаллов. Механизм этого процесса, так же как и механизм действия МК на превращения графита в алмаз, остается не вполне ясным. Описание этих взаимодействий можно дать в рамках теории поверхности потенциальной энергии (ППЭ) и теории протекания [8—10]. Особая роль в процессе алмазообразования принадлежит структуре и степени упорядочения распла-

\* Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, Троицк.

\*\* Federal University of Minas-Gerais, Belo Horizonte, Brazil.

ва. Металл-катализатор влияет на деформацию решетки графита. Графит становится таким же сопряженным с ГЦК-решеткой катализатора, как и алмаз. Сопряжение деформированных слоев графита наступает при увеличении расстояния С—С в гексагональных слоях графита от 0.142 до 0.154 нм. При определенных Р—Т-условиях в результате взаимодействия атомов углерода в графите и металле (Ме) образуются различные карбидные комплексы (КК): Ме—С, Ме—МеС, МеС—С. Образование комплексов возможно только в случае, если симметрии Ме, карбидных комплексов и алмаза имеют схожие элементы. С позиции теории протекания, в системе МК—графит возникают кластеры конечного размера (карбидные комплексы). Потенциальные барьеры в силу соответствия элементов симметрии КК, графита и металла понижаются. Соответственно увеличивается скорость переноса КК сквозь металлическую пленку, что объясняет противоре-

чие между скоростью роста кристалла и диффузионными процессами (расчетная величина скорости роста кристалла, определяемая только диффузией углерода, значительно ниже реальной). Согласно модели ППЭ, на границе алмаз—металлическая пленка за счет фононного взаимодействия между кристаллом и расплавом происходит изменение топологии ППЭ в соответствии с симметрией алмаза (рис.1). В присутствии МК энергия активации КК вдоль координаты кристаллогенетического процесса в этой области уменьшается и соответственно уменьшается растворимость алмаза. Изменение симметрии нормальных колебаний КК происходит в седловой точке пути кристаллогенетического процесса. В этой точке в результате перестройки происходит разделение атомов МК и углерода. Атом углерода в результате взаимодействия с фононным скин-слоем кристалла встраивается в матрицу алмаза, а МК остается в области металлической пленки.

В результате структурных исследований поликристаллов карбонадо установлено, что на их строение влияет также давление [2], характеристики используемого графита и схема сборки ячейки для синтеза поликристалла [3]. Не только размер кристаллитов, определение которых имеет значительные трудности, но и их направленность может быть положена в основу классификации алмазных поликристаллов. Кроме этого, зависимость текстуры от условий синтеза поможет прояснить механизм образования поликристаллов как искусственным путем, так и в природных условиях.

Рассмотрим некоторые аспекты термодинамических условий образования карбонадо [16, 18]. Скорость образования зародышей алмаза при синтезе поликристаллов определяется выражением:

$$W_a \sim \theta \cdot \exp(-\delta G/RT) \cdot \exp(-E/RT). \quad (1)$$

График функции  $W_a$  представлен на рис. 2, где  $T_{равн}$  — температура термодинамического равновесия графита и алмаза, а  $T_{пл}$  — температура плавления МК. При  $T_{пл} \leq T_{равн}$  скорость образования зародышей близка к нулю, что благоприятно для роста монокристаллов, а при увеличении разности  $\Delta T = T_{равн} - T_{пл}$  создаются условия для образования поликристаллов с различной структурой. Форма линии  $W_a$  при  $T > T_{пл}$  определяется величинами  $\delta G$  и  $E$ , которые зависят от давления и температуры.

Одной из задач является определение термодинамической движущей силы процесса, т. е. разности энергии Гиббса графита и алмаза ( $G_r - G_a$ ) и сопоставление этой величины со структурой поликристаллов.

Зависимость от давления  $\Delta T = T_{равн} - T_{пл}$ . Разность равновесной

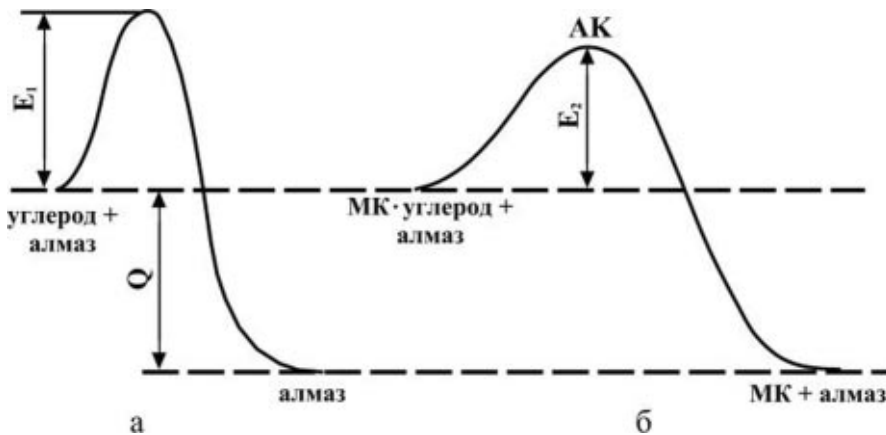


Рис. 1. Изменение потенциальной энергии вдоль координаты кристаллогенетического процесса алмазообразования [10]: а — без МК; б — с МК;  $E_1$  — энергия активации при прямом встраивании углерода в матрицу алмаза,  $E_2$  — энергия активации, разделяющая исходное (МК · графит + алмаз) и конечное состояние системы (МК + алмаз),  $Q$  — тепловой эффект

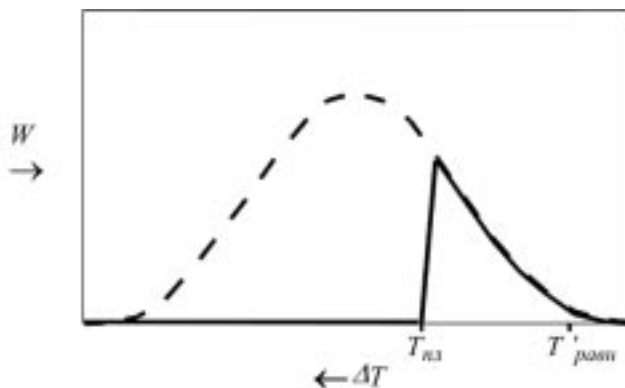


Рис. 2. Зависимость скорости образования зародышей от “переохлаждения”: — — — классическая модель для кристаллизации жидкости; — — — образование алмазов из графита в присутствии МК

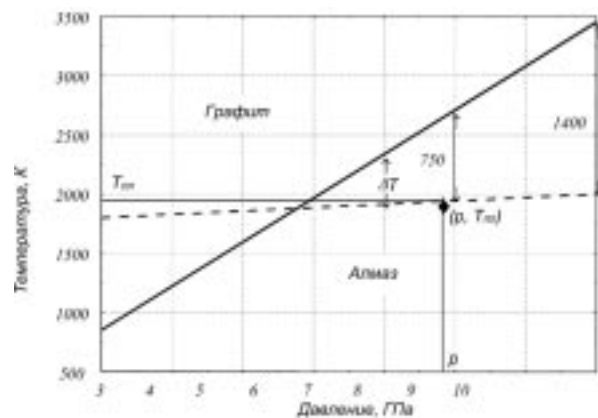


Рис. 3. Зависимость “переохлаждения” от параметров синтеза алмазных поликристаллов: — — — линия равновесия графит—алмаз; - - - — линия плавления металла-катализатора  $Ni_{0,8}Cr_{0,2}$



температуры превращения графит—алмаз и температуры плавления МК определяет удаленность от линии равновесия температуры начала синтеза. Определена зависимость  $T_{\text{равн}} - T_{\text{пл}}$  от давления.

Температура равновесия графит—алмаз и температура плавления МК ( $\text{Ni}_{0,8}\text{Cr}_{0,2}$ ) как функции давления имеют вид (рис. 3):

$$T_{\text{равн}} \approx 370p - 250, [p] = \text{ГПа}, [T] = \text{К}; \quad (2)$$

$$T_{\text{пл}} \approx 37p + 1663. \quad (3)$$

Соответственно имеем:

$$\Delta T = T_{\text{равн}} - T_{\text{пл}} = 333p - 1913. \quad (4)$$

Из соотношения (4) можно видеть, что каждому давлению соответствует определенное значение  $\Delta T$ . Некоторая аналогия термодинамических условий выращивания алмазных поликристаллов в присутствии МК и кристаллизации жидкости, позволяет применять для  $\Delta T$  термин «переохлаждение». Для системы графит + МК этот термин использован в переносном смысле, поскольку превращение графит—алмаз идет при разогреве системы. Следует отметить, что для синтеза алмазов с МК «переохлаждение» резко увеличивается с ростом давления от  $\Delta T \approx 0$  при  $p \approx 5,7$  ГПа до  $\Delta T \approx 1400$  К при  $p \approx 10$  ГПа.

Зависимость от давления  $-\Delta G(p, T_{\text{пл}}) = G_{\text{Г}}(p, T_{\text{пл}}) - G_{\text{А}}(p, T_{\text{пл}})$ . Важной характеристикой «переохлажденного» состояния графита является разность свободных энергий Гиббса графита и алмаза  $-\Delta G = G_{\text{Г}} - G_{\text{А}}$ , определяющая размер и энергию критического зародыша, которые определяют размер зерна.

Превращение графита в алмаз начинается при температуре плавления МК. Определенная при этой температуре разность  $G_{\text{Г}} - G_{\text{А}}$  характеризует структуру той части поликристалла, которая образовалась в начале процесса превращения

графита в алмаз. Разность  $-\Delta G = G_{\text{Г}} - G_{\text{А}}$  вычисляется при температуре плавления МК ( $\text{Ni}_{0,8}\text{Cr}_{0,2}$ ). На основании значений  $G_{\text{Г}}$ ,  $G_{\text{А}}$  и уравнения (3) находим:

$$-\Delta G = G_{\text{Г}} - G_{\text{А}} = -7,2 + 1,25p, \\ 5,7 < p < 10,0 \text{ ГПа}. \quad (5)$$

Уравнение (5) определяет зависимость от давления движущей силы процесса превращения графита в алмаз в присутствии МК (рис. 4).

Таким образом, существенным для структуры данных поликристаллов является величина давления, при которой происходит процесс их образования. Снижение давления до 6,0—6,5 ГПа приводит к образованию алмазных агрегатов типа баллас. «Переохлаждение» в этом случае составляет 85—250 К при движущей силе процесса  $-\Delta G \approx 0,3$ —0,7 кДж/моль. Структура балласа составлена кристаллитами размером 10—20 мкм. Радиус критического зародыша составляет около 5 мкм. Черный цвет синтезируемого карбонадо по всему объему обуславливается включениями металла и графита. Количество металла составляет 7—10 мас. %.

Одним из важных информационных каналов в вопросе происхождения карбонадо является, прежде всего, изучение самого карбонадо. При исследовании методами электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа карбонадо из аллювиальных отложений р. Макаубас (штат Минас-Жерайс, Бразилия) было установлено, что они представляют собой поликристаллические агрегаты с размерами частиц от долей до 10 мкм [1, 5, 11]. В объеме изученных карбонадо среди мелких взаимопоросших зерен были зафиксированы и более крупные частицы. Расчетные параметры элементарной ячейки для всех образ-

цов оказались примерно на 1% больше, чем для монокристаллического алмаза. Это связано с наличием в алмазной фазе карбонадо примесных дефектов, представляющих одиночные атомы азота в позициях углерода (P1-центры). Анализ спектров ЭПР исследуемых образцов показал, что концентрация P1-центров в них различается на 1—2 порядка. Основными центрами люминесценции в бразильских карбонадо являются ассо-

циации вакансий с примесными атомами азота (T1-центры, бесфононная линия 575 нм). Образцы MGC0, MGC1 и MGC3 под ультрафиолетом и рентгеновскими лучами имели интенсивную оранжево-красную люминесценцию, а образцы MGC2, MGC4 люминесцировали очень слабо. Сегрегация карбонадо на одиночные азотные дефекты может быть проинтерпретирована как отсутствие «мантийного отжига». Появление центров — ассоциации азот-вакансия можно увязать с неким природным процессом, ответственным за генерацию вакансий в алмазных кристаллитах карбонадо. Имеющиеся данные ЭПР и люминесценции указывают на наличие в россыпях двух типов карбонадо, контрастно различающихся по уровню содержания примесных и вакансионных дефектов. При этом относительно высокоазотистые карбонадо характеризуются по крайней мере более низким содержанием металлических фаз в агрегате. Существенно различные композиции дефектной структуры алмазной фазы и включений указывают на полигенность бразильских карбонадо.

Важную информацию дает изучение морфолого-анатомического строения карбонадо и анализ его включений.

Практически все исследуемые природные карбонадо пористы [5]. Поры в большинстве случаев заполнены варьирующими по составу минеральными фазами (рис. 5, Б-Г, Е; таблица, анализы № 0/21, 0/23, 0/82, 0/59). Многие из них имеют сложную форму и их заполнение может относиться к наложенным посткристаллизационным событиям. Некоторые из них, очевидно, претерпели позднейшие преобразования в гипергенных обстановках. Если допускать, что первоначально это были преимущественно металлические фазы, то в дальнейшем при окислении они заместились на оксидные фазы (в основном Fe и Ti). Такие кластогенные черты карбонадо россыпей существенно отличают их от карбонадо из кимберлитов, имеющих иные минеральный состав и форму минеральных включений [12]. Явное преобладание легких лантаноидов, которое обнаруживается на кривых нормированных составов РЗЭ (рис. 6), типично и для алмазоносных кимберлитов. Однако в случае карбонадо наибольший вклад лантаноидов достигается за счет РЗЭ-содержащих минеральные включения флоренсита, ксенотима, циркона и других, выделение кото-

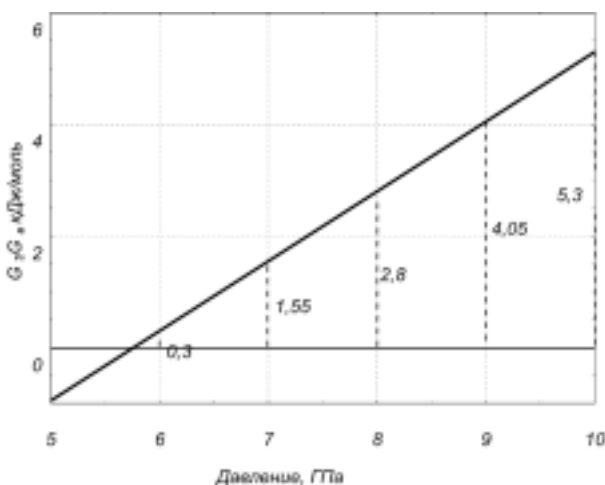


Рис. 4. Зависимость разности энергий Гиббса графита и алмаза от давления при температуре плавления МК

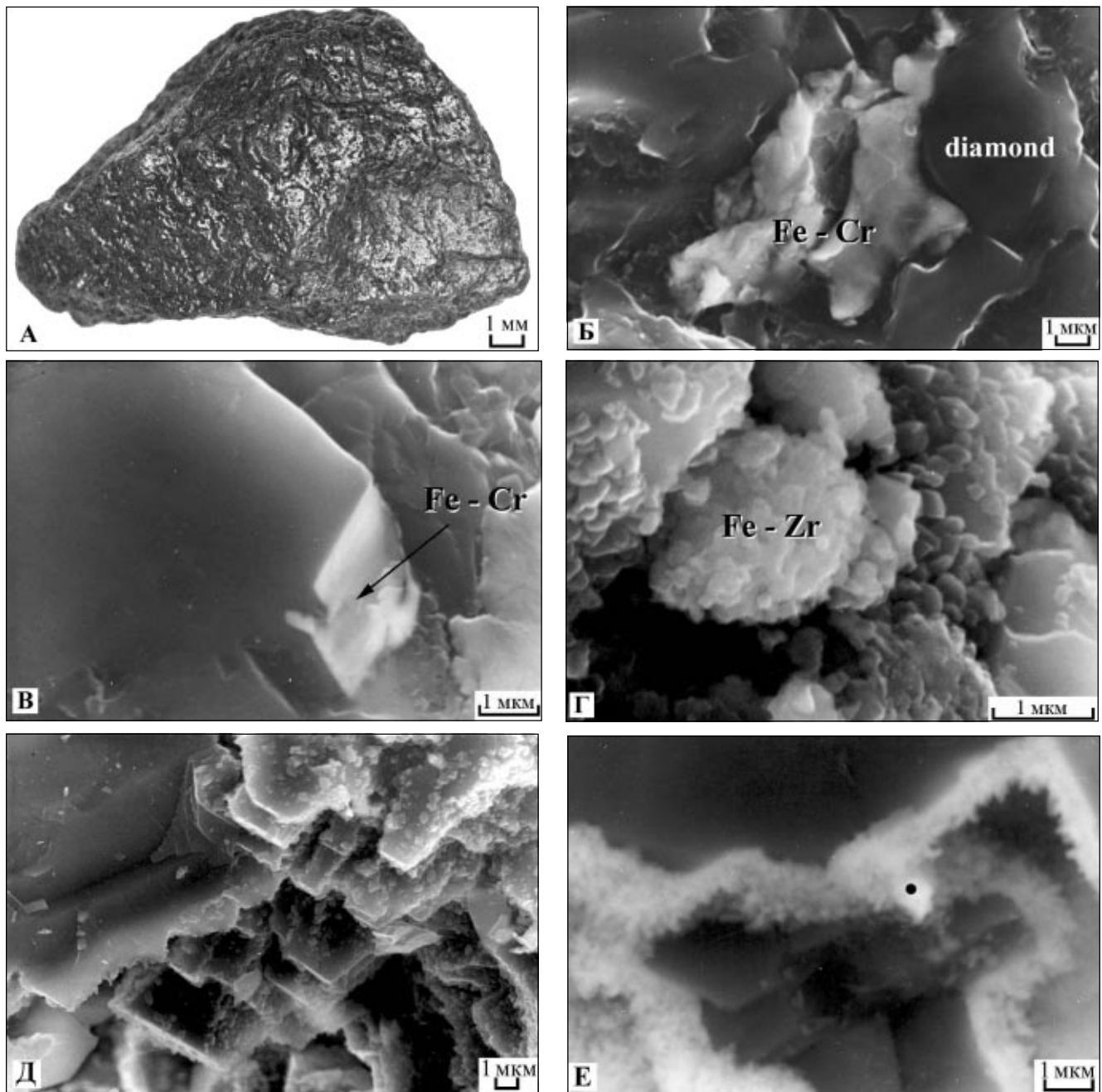


Рис. 5. Природный карбонадо MGC0 до химического травления: А — общий вид образца; Б-Г, Е — фазы, заполняющие поры на сколах карбонадо; Д, Е — друзоподобная инкрустация полости (природное травление)

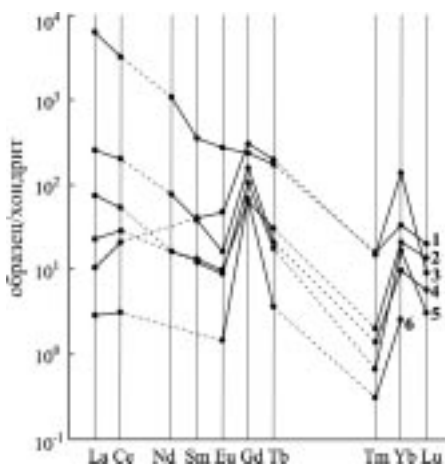


Рис. 6. Распределения РЗЭ в карбонадо [4]. 1 — MGC4; 2 — MtGrC2; 3 — MGC6/6; 4 — MGC0; 5 — MGC6/7; 6 — ChDC2

рых обычно сопровождается явно эпигенными чертами (циркон в оболочке каолинита и т. п.). К тому же общий уровень концентрирования РЗЭ в карбонадо, в отличие от алмазов, превосходит кларковые значения на несколько порядков.

Наряду с фазовыми включениями в полостях карбонадо обнаруживались друзоподобные образования, в которых алмазные кристаллиты со всех сторон покрыты ограненными вершинками (рис. 5, Д, Е). Последнее указывает на то, что описываемый карбонадо мог кристаллизоваться в расплаве (флюиде), характеризующемся низкой вязкостью, когда в объеме полости происходит

уменьшение пересыщения среды кристаллизации углеродом.

Рассмотрим поверхность сколов, обнажающих внутренние части карбонадо (рис. 7, А). Объем практически всех пор заполнен фазами различного состава. Мы произвели химическое травление минеральных фаз данных полостей (их состав контролировался рентгенофлуоресцентным анализом). В результате, под слоем вытравленного оксида железа (рис. 7, Б; таблица, анализ № 0/88) на сколах остались поры, очень похожие на поры на поверхности карбонадо. В порах зафиксированы единичные кристаллики рутила (рис. 7, В, Г; таблица, анализ № 0/96), совершенство форм ко-

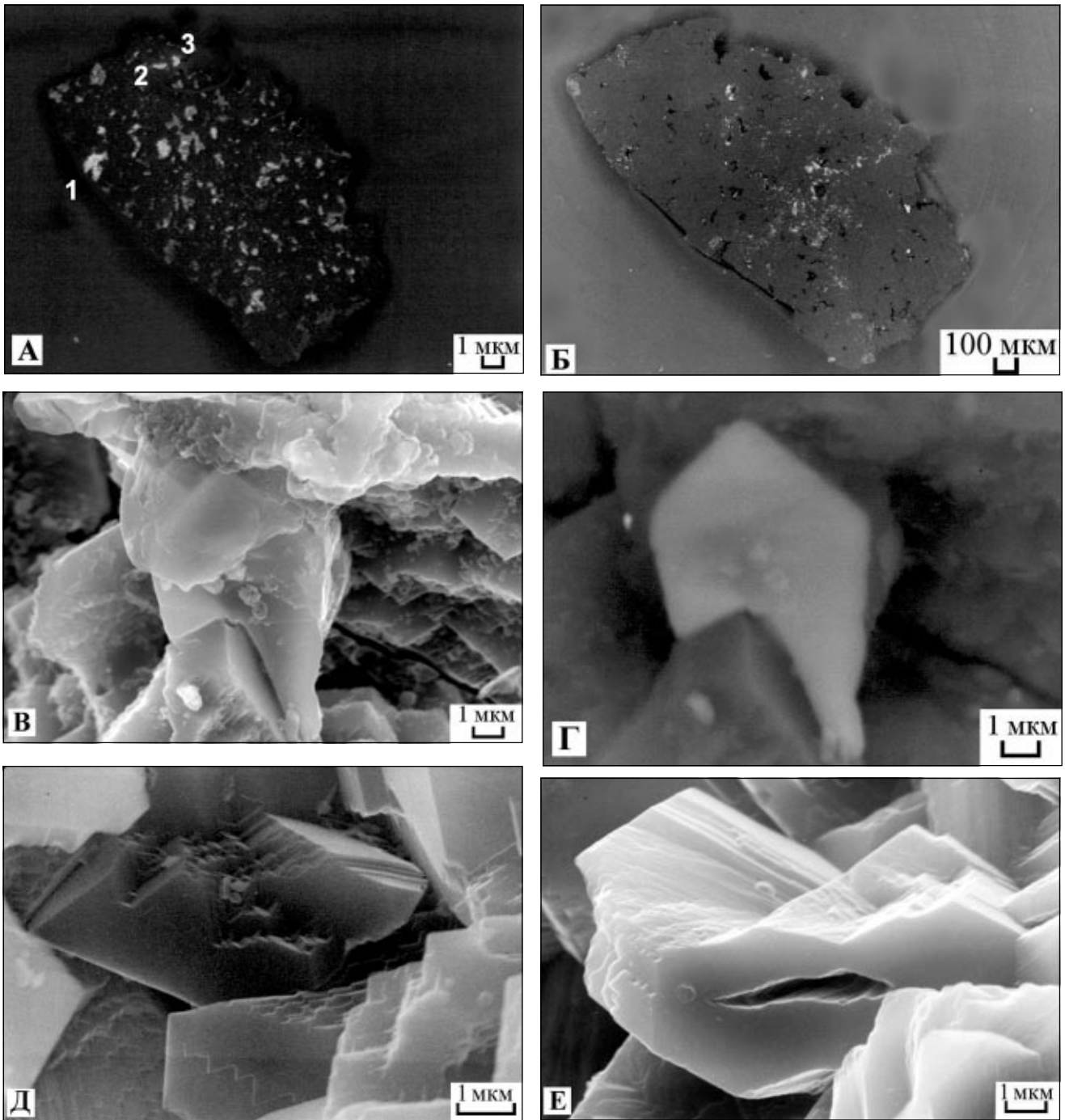
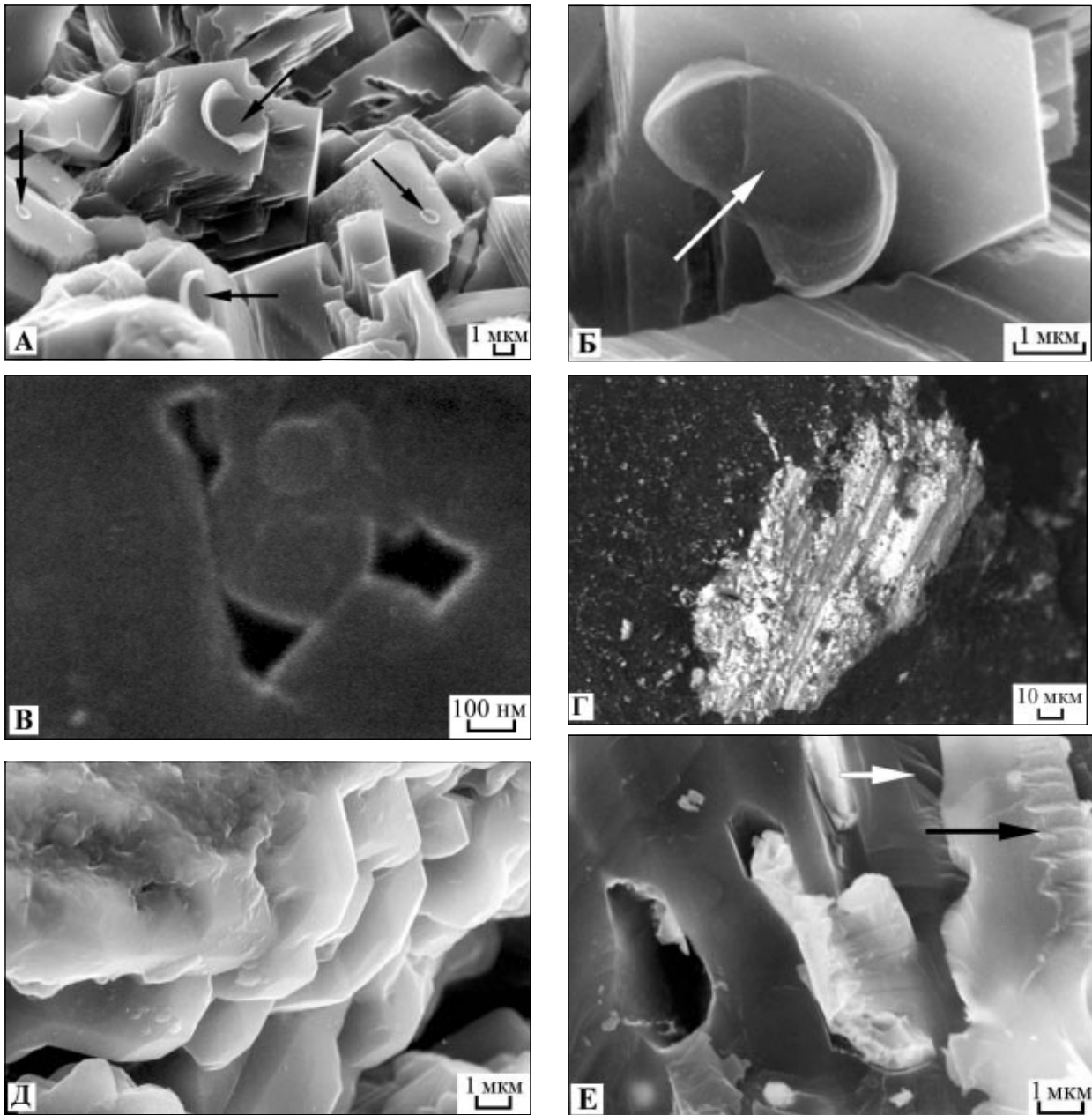


Рис. 7. Природный карбонадо MGC0: А – до химического травления; Б – после травления; В – взаимоотношение кристалла рутила и алмазных кристаллитов: сингенетичный характер прорастания кристалла рутила в карбонадо (снимок во вторичных электронах), справа от кристалла рутила – «щетка» кристаллов алмаза; Г – тот же кристалл рутила в режиме контраста; Д – поверхности совместного роста на алмазных кристаллитах и внутри кристалла (Е) (металлсодержащая фаза вытравлена)

**Химический состав включений в карбонадо, мас. %**

Номер анализа	Al	S	Si	P	Ca	Fe	Cr	Cu	Zn	K	Ba	Sc	Ni	Ti	V	Zr	O	Сумма
0/21	5.52	0.00	1.77	0.48	0.15	37.52	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.25	0.00	24.55	71.22
0/23	0.84	0.00	1.15	0.00	0.09	54.83	9.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.86	0.00	0.00	0.00	68.58
0/59	0.83	3.29	0.00	0.00	0.15	25.67	0.00	0.00	0.00	0.17	12.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.94	62.68
0/82	6.07	0.00	7.48	2.66	0.25	17.76	0.00	1.33	0.85	0.25	0.00	0.40	0.00	0.26	0.00	14.38	31.11	82.80
0/88	2.51	0.00	0.71	0.66	0.00	51.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	0.00	26.52	82.80
0/96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.00	0.49	0.00	40.45	100.91
VP4	0.00	0.00	2.12	0.00	0.00	1.24	7.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.02	0.00	0.00	0.00	0.00	100.18

Примечание. Номера 0/n – природный образец карбонадо MGC0; VP4 – синтетический карбонадо.



**Рис. 8.** Природный карбонадо MGC0 (А, Б). Стрелками показаны сфероподобные тонкостенные углеродсодержащие образования, вероятно, характеризующие «вскипание» флюида. В — интерстиции в алмазном кристаллите, образованные в результате срастания разориентированных микроблоков (обр. MGC6/3). Синтетический карбонадо VP4 (Г—Е): Г — включение металла-катализатора (NiCr) в матрице скола карбонадо (перед химическим травлением образца); Д — кристаллиты алмаза, обнаруженные после вытравливания МК; Е — включения МК, стрелками указаны поверхности совместного роста алмаза и металла

торых не позволяет считать их продуктами эпигенеза, т. е. эти фазы, скорее всего, сокристаллизовались вместе с карбонадо. Как и в примере с поверхностью карбонадо, при травлении сколов вскрылись выделения микроалмазов, инкрустирующих стенки пор (рис. 7, В). В некоторых пустотах было обнаружено зубчатое строение алмазных кристаллитов (рис. 7, Д, Е). Это, вероятно, может свидетельствовать о совместной кристаллизации алмаза и неких фаз (предположительно, металлсодержащих). Здесь отметим, что ранее уже сообщалось об ориентированном срастании алмаза с металлом [17], дающем подобные формы выделе-

ний. У обсуждаемых зубчатых кристаллитов наблюдается идеальное состояние ребер. Поэтому, возможно, помимо условий стесненного роста этих кристаллитов существовали локальные области их свободного роста (заполнения пустот). Любопытно, что зубчатые поверхности наблюдались на кристаллах алмаза, подвергшихся растворению в результате каталитического окисления [14]. Это, очевидно, указывает на то, что для выяснения природы зубчатого рельефа необходимы дополнительные исследования. На завершающей стадии алмазообразующего процесса многие кристаллиты, вероятно, оказались во взаимодей-

ствии с «вскипавшим флюидом». Об этом свидетельствуют впервые установленные довольно необычные скорлупчатые или сфероподобные углеродсодержащие образования, которые вскрываются на алмазных кристаллитах после вытравливания металлсодержащих фаз (рис. 8, А, Б).

Установлено также, что алмазные кристаллиты природных карбонадо, имеющие микронные размеры, составлены блоками менее 100 нм, которые дезориентированы относительно друг друга. Особенности блочного строения кристаллитов можно судить по геометрии полостей — интерстиция (рис. 8, В). Любопытно, что подобная мозаичность была ус-



тановлена у монокристаллов синтетического алмаза [17] и связана с содержанием металлических примесей.

Травлению были подвергнуты также сколы синтетического карбонадо. Под слоем металла (рис. 8, Г; таблица, анализ № 4/2) обнажились полости с кристаллитами округлой формы (рис. 8, Д) и зубчатым контактом металла и алмазного кристаллита (поверхности совместного роста), такие же, как на сколах природного карбонадо (рис. 8, Е). Как показали экспериментальные исследования [20], по мере отклонения условий кристаллизации от равновесных и при воздействии щелочно-карбонатных растворов грани кристаллов приобретают криволинейную форму и габитус кристаллов приближается к округлому, изометричному. В матрице алмазных кристаллитов синтетического карбонадо обнаруживаются полости (рис. 8, Е), до травления заполнявшиеся металлом, очень похожие на те, что мы описывали на примере природного карбонадо [5]. Таким образом, морфолого-анатомическое строение синтетических аналогов карбонадо оказывается информативным для объяснения некоторых особенностей карбонадо природного.

В заключение отметим продуктивность экспериментального и теоретического моделирования образования поликристаллических алмазных агрегатов, полезного для понимания генезиса природного карбонадо.

Работа поддержана РФФИ (проект 03—05—64382; ИШ: 2250—2003—5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альтернативные модели карбонадообразования / В. А. Петровский, И. Карфункель, В. Н. Филиппов и др. // *Материалы III Междунар. минерал. семинара «Новые идеи и концепции в минералогии»*. Сыктывкар, 2002. С. 172—174. 2. Варфоломеева Т. Д., Яковлев Е. Н., Слесарев В. Н., Боровиков Н. В. *Микроструктура синтетических поликристаллических алмазов* // *Алмазы*

*и сверхтвердые материалы*. 1980. Вып. 7. С. 1—3. 3. Верещагин Л. Ф. *Синтетические алмазы и гидроэкструзия: Сб. статей*. М.: Наука, 1982. 328 с. 4. *Дивергентный характер россыпной ассоциации алмаз-карбонадо* / В. А. Петровский, Ю. В. Глухов, А. Е. Сухарев и др. // *Материалы XIV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, 2004*. 5. *Минералогические и генетические особенности карбонадо из штата Минас-Жерайс (Бразилия)* / В. А. Петровский, М. Мартинс, В. П. Лютюев и др. // *Сыктывкарский минералогический сборник № 33. Сыктывкар, 2003*. С. 41—69. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып. 115). 6. Орлов Ю. Л. *Минералогия алмаза*. М.: Наука, 1973. 221 с. 7. *Первые находки самородных металлов Cr, Ni и a-Fe в карбонадо из алмазных месторождений Якутии* / А. И. Горшков, С. В. Титков, А. В. Сивцов и др. // *Геохимия*, 1995. № 4. С. 588—591. 8. Петровский В. А., Самойлович М. И., Филиппов В. Н., Шилов Ю. А. *Пограничный слой в системе алмаз-графит и его роль в алмазообразующем процессе* // *Сыктывкарский минералогический сборник № 30. Сыктывкар, 2001*. С. 50—65. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН; Вып. 107). 9. Петровский В. А., Мальцев А. С., Трошев С. А. *Роль колебательной симметрии в процессах самоорганизации системы «кристалл-среда»*. Сыктывкар, 1996. 23 с. 10. Петровский В. А., Трошев С. А., Сухарев А. Е. *Симметричный подход к анализу процессов алмазообразования в присутствии катализирующей примеси* // *Материалы II Российского симпозиума «Нанотехнологии и фотонные кристаллы»*. М.; Калуга, 2004. С. 87—105. 11. *Поликристаллические алмазные образования из россыпей бассейна реки Макаубас (Бразилия)* / В. А. Петровский, М. Мартинс, Г. Н. Каблис и др. // *Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН*. 2003. № 9. С. 2—6. 12. *Поликристаллический ал-*

*маз из трубки «Удачная» (Якутия): минералого-геохимические и генетические особенности* / А. И. Горшков, С. Ф. Винокуров, Д. И. Солодов и др. // *Литология и полезные ископаемые*. 1998. № 6. С. 588—603. 13. Поляков В. П., Ножкина А. В., Чириков Н. В. *Алмазы и сверхтвердые материалы*. М.: *Металлургия*, 1990. 326 с. 14. *Признаки каталитического окисления при высокотемпературном воздействии кимберлитового расплава на алмазы* / А. Д. Харькив, В. П. Афанасьев, В. Н. Квасница и др. // *ДАН СССР*. 1980. Т. 250, № 4. С. 949—952. 15. *Природные и синтетические алмазы* / Г. Б. Боккий, Г. Н. Безруков, Ю. А. Клюев и др. М.: Мир, 1986. 220 с. 16. *Синтетические алмазные поликристаллы баллас и карбонадо: термодинамические условия образования и структура* / Е. Н. Яковлев, В. П. Филоненко, Н. Ф. Боровиков и др. // *Сверхтвердые материалы*. 2001. № 6. С. 9—18. 17. Созин Ю. И., Белянкина А. В., Вишневецкий А. С. *Субструктура монокристаллов синтетического алмаза* // *Синтетические алмазы*. 1974. Вып. 3. 18. *Физико-химические условия генезиса карбонадо по природным и экспериментальным данным* / В. А. Петровский, Е. Н. Яковлев, В. П. Филоненко и др. // *Материалы 7-й Междунар. научн. конф. «Молекулярная биология, химия и физика гетерогенных систем»*. М.; Плес, 2003. С. 233—238. 19. Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. *Поликристаллические материалы на основе алмаза*. Киев: Наукова думка, 1989. 189 с. 20. Kanda S., Akaishi M., Yamaoka S. *Morphology of synthetic diamond growth from Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> solvent-catalyst* // *Journal of Crystal Growth*. V. 106. 1990. P. 471—475. 21. Trueb L. T., Bitterman W. C. *Carbonado microstructural study* // *Am. Min.* 1969. V. 54. P. 412—425. 22. Vereshchagin L. F., Khvostantsev L. G., Novikov A. P. *Camera of high pressure «toroid»* // *High Temp-High Press.* 1977. № 4. P. 637—641.

#### ОБЪЯВЛЕНИЕ

Диссертационный совет Д 004.008.01 извещает, что 5 мая 2004 г. в 10 часов в 218 аудитории состоится публичная защита докторской диссертации **Брянчаниновой Натальи Игоревны «СЕРПЕНТИНЫ И СЕРПЕНТИНИТЫ ПОЛЯРНОГО УРАЛА»** по специальностям 25.00.05 – минералогия, кристаллография, 25.00.04 – петрология, вулканология.

*Официальные оппоненты:*

д. г.-м. н. профессор Б. А. Голдин, Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; д. г.-м. н. профессор А. И. Бахтин, Казанский государственный университет, Казань; д. г.-м. н. Е. В. Шарков, ИГЕМ РАН, Москва.

*Ведущее предприятие:* Уральская геолого-съёмочная экспедиция, Екатеринбург.