

10. Дэй в и с Дж. Алмазный век грядет // Популярная механика. 2004. Июнь. С. 22–28.
11. Золотухин И.В. Фуллерит — новая форма углерода // Соросовский образовательный журнал. 1996. № 2. С. 51–56.
12. Касаточкин В.И. Переходные формы углерода // Структурная химия углерода и углей. М.: Наука, 1969. С. 7–16.
13. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. М.: Высшая школа, 1971. 560 с.
14. Корсаков А.В., Шацкий В.С. Механизм образования алмазов в графитовых «рубашках» в метаморфических породах сверхвысоких давлений // Докл. РАН. 2004. Т. 399. № 2. С. 232–235.
15. Красюков А.Ф. Нефтяной кокс. М.: Химия, 1966. 172 с.
16. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М., Надеждина Е.Д., Шуколюков Ю.А. Новый генетический тип алмазных месторождений. М.: Научный мир, 1999. 228 с.
17. Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах // Успехи химии. 1939. Т. 8, № 10. С. 1519–1527.
18. Маракушев А.А. К проблеме флюидного режима образования алмазоносных пород // Геология рудных месторождений. 1981. Т. 203. № 4. С. 3–17.
19. Маракушев А.А., Безмен Н.И., Мальков Б.А. К проблеме генезиса алмазов // Минералог. журнал. 1980. Т. 2. № 5. С. 3–11.
20. Маракушев А.А., Перцев И.Н., Зотов И.А., Панях Н.А., Черенкова А.Ф. Некоторые петрологические аспекты генезиса алмаза // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 2. С. 105–121.
21. Маракушев А.А., Сан Лонкан, Панях Н.А., Зотов И.А. Гетерогенная природа метаморфических комплексов Кокчетав (Казахстан) и Дабешаня (Китай) // Бюлл. МОИП. Отд. геологии. 1998. Т. 73. В. 3. С. 3–9.
22. Никольский И.Н.С. Флюидный режим эндогенного минералообразования. М.: Наука, 1987. 199 с.
23. Петров В.С. Генетическая связь алмазов с карбонатами кимберлитов // Вестн. МГУ. Серия биологии, почвоведения, геологии, геофизики. 1959. В. 2. С. 37–42.
24. Портнов А.М. Самоокисление мантийного флюида и генезис алмазов кимберлитов // Докл. АН СССР. 1982. Т. 267. № 4. С. 942–945.
25. Руденко А.П., Кулакова И.И. Условия образования кимберлитовых алмазов и проблема алмазоносности с точки зрения теории открытых каталитических систем // Геохимия. 1989. № 7. С. 961972.
26. Руденко А.П., Кулакова И.И., Скворцова В.Л. Химический синтез алмаза. Аспекты общей теории // Успехи химии. 1993. Т. 62. № 2. С. 99–117.
27. Соболев Н.В., Томиленко А.А., Шацкий В.С. Условия метаморфизма пород Зерендинской серии Кокчетавского массива // Геология и геофизика. 1985. № 4. С. 55–58.
28. Федосеев Д.В., Галимов Э.М., Варнин В.П., Прохоров В.С., Дерягин Б.В. Фракционирование изотопов углерода в процессе физико-химического синтеза алмаза // Докл. АН СССР. 1971. Т. 201. № 6. С. 1149–1151.
29. Шацкий В.С., Соболев Н.В. Некоторые аспекты генезиса алмазов в метаморфических породах // Докл. РАН. 1993. Т. 331. № 2. С. 217–219.
30. Verma R., Simon F. On the graphite — diamond equilibrium // Zeitschrift fur Electrochemie. 1955. V. 59. № 5. P. 333.
31. Bundy F.P., Strong H.M., Wentorf R.H. Methods and Mechanisms of Synthetic Diamond Growth // Chemistry and physics of carbon. 1973. V. 10. 213 p.
32. Mellor J.W. A Comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry. London, 1946. V. 5. 765 p.
33. Rodewald H.I. Zur Genesis des Diamanten // Chimia. 1960. N 14. 83 p.

Московский государственный университет
Рецензент — А.А. Маракушев

УДК 553.8

О.В. ПАЛАЖЧЕНКО, Е.М. ВЕРИЧЕВ, В.К. ГАРАНИН, Г.П. КУДРЯВЦЕВА

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. В. ГРИБА АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ.

Статья 1. Морфология кристаллов алмаза

Изучена коллекция (700 кристаллов) из месторождения-трубки им. В. Гриба Архангельской алмазоносной провинции (ААП). Дано детальное описание морфологии кристаллов алмаза и их микроморфологических особенностей. Охарактеризованы различные формы роста — «карандашеобразные», «послойные», тангенциального и нормального роста; формы мягкого, повсеместного, и агрессивного, локального, растворения: скругление вершин, обратнопараллельные треугольники растворения; следы пластической и механической деформаций: параллельные полосы деформации, блоковое строение кристаллов. Установлено, что кристаллы алмаза из месторождения им. В. Гриба отличаются от кристаллов из месторождения им. М.В. Ломоносова высоким качеством сырья, наличием большего числа октаэдрических и октаэдро-ромбодекаэдрических кристаллов, повышенной долей бесцветных алмазов, слабым проявлением процессов растворения и деформации.

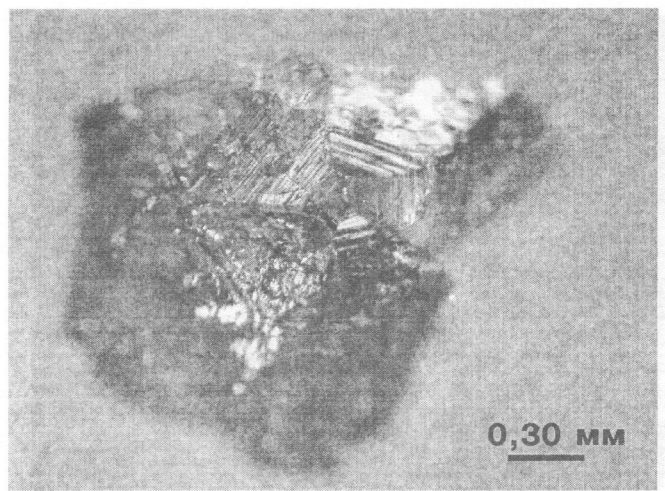
В настоящее время на территории ААП выделяют семь объектов с промышленной алмазоносностью, представленных месторождениями им. В. Гриба (одна трубка Верхотинского поля) и им. М.В. Ломоносова (шесть трубок Золотицкого поля). Породы этих месторождений сложены кимберлитами двух минеральных типов — I (трубка им. В. Гриба) и II (трубки Золотицкого поля) [3, 9].

Практически каждое кимберлитовое месторождение алмазов имеет определенный набор морфологических особенностей кристаллов. Алмазы из месторождения им. М.В. Ломоносова были детально изучены и описаны в работах А.И. Махина [10], З.В. Бартошинского [2]. Исследование алмаза из открытого в 1996 г. месторождения им. В. Гриба наиболее актуально в настоящее время для выявления



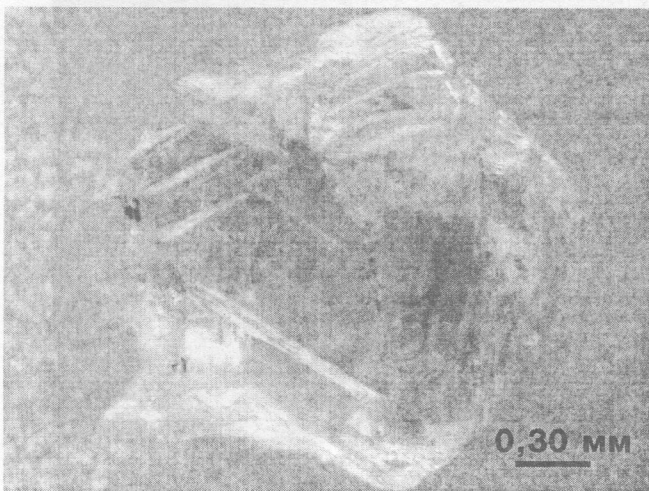
0,10 мм

a



0,30 мм

б



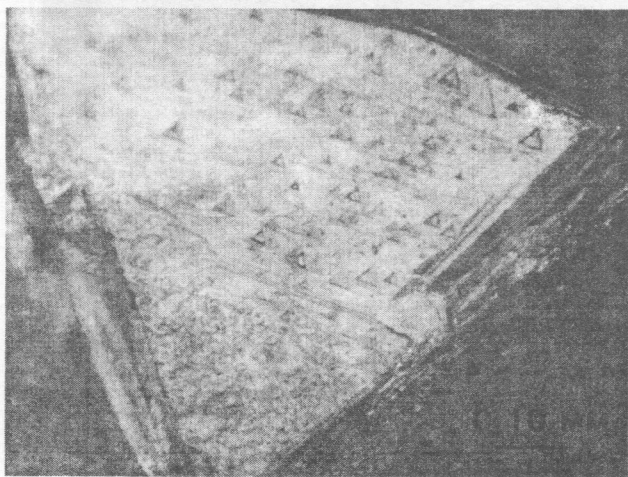
0,30 мм

в

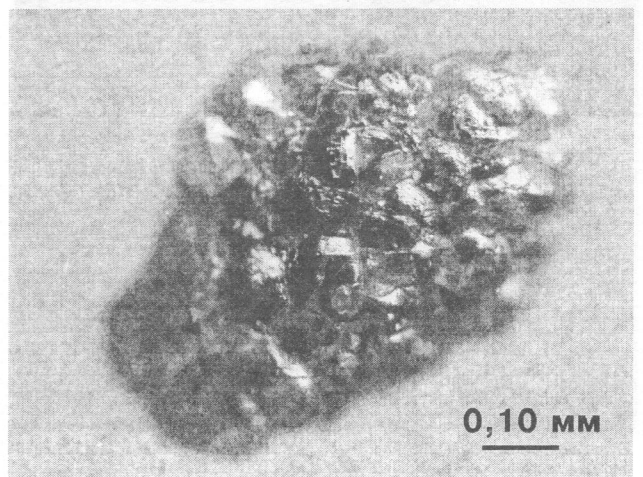


0,30 мм

г



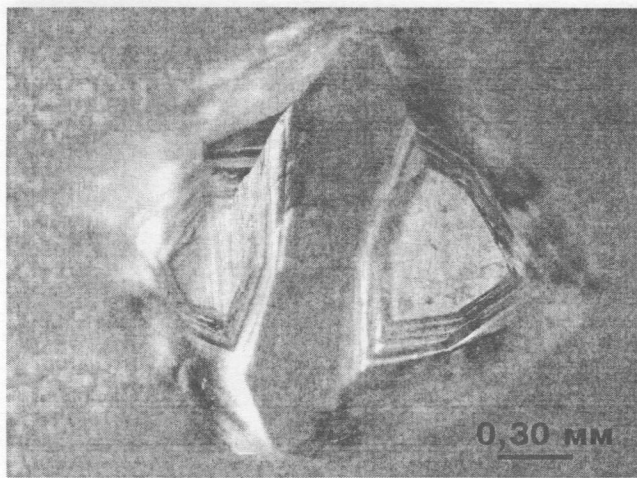
д



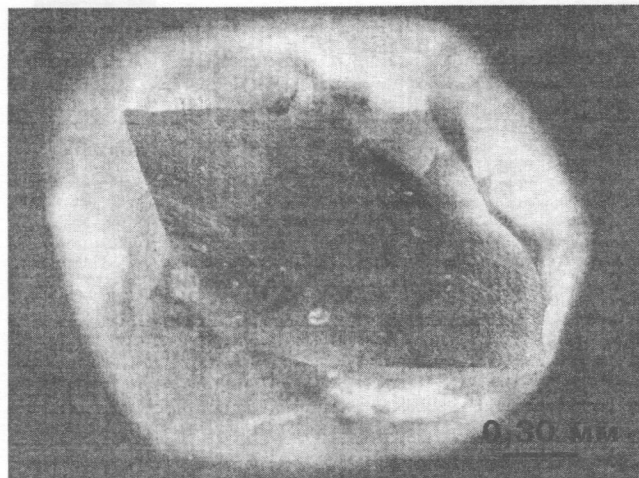
0,10 мм

е

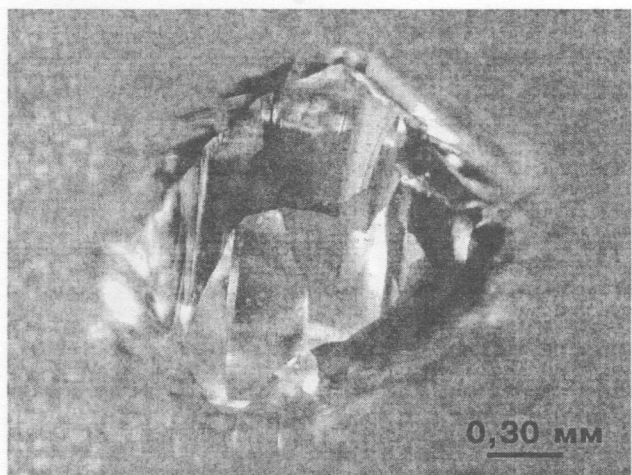
Рис. 1. Кристаллы алмаза из трубки им. В. Гриба: *a* — параллельные полосы пластической деформации на кристалле алмаза додекаэдрического габитуса; *б* — циклический двойник-«пятерник»; *в* — «алмаз в оболочке» — проявление процессов роста; *г* — сильно уплощенный по L_3 и вытянутый по L_2 кристалл переходной октаэдр-ромбододекаэдрической формы с каплевидно-заноэзистым рельефом на уширенных ребрах и дитригональным строением граней (111); *д* — треугольные фигуры растворения на грани октаэдра; *е* — агрегат типа «борт» — сросток плохо окристаллизованных кристаллов алмаза



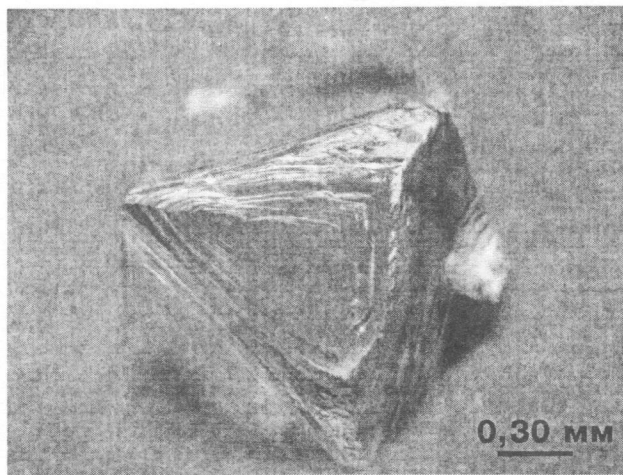
a



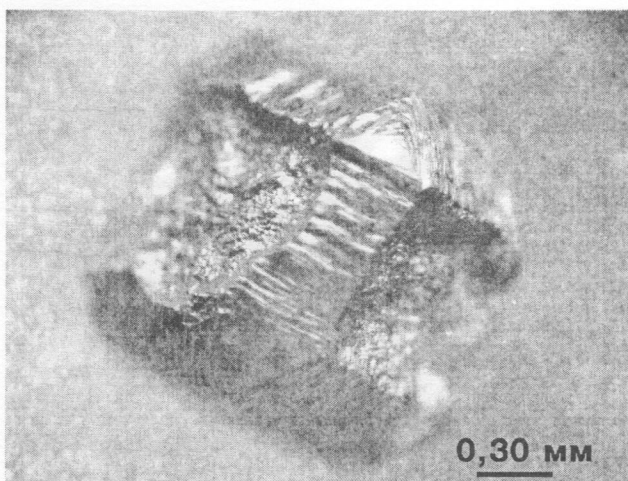
б



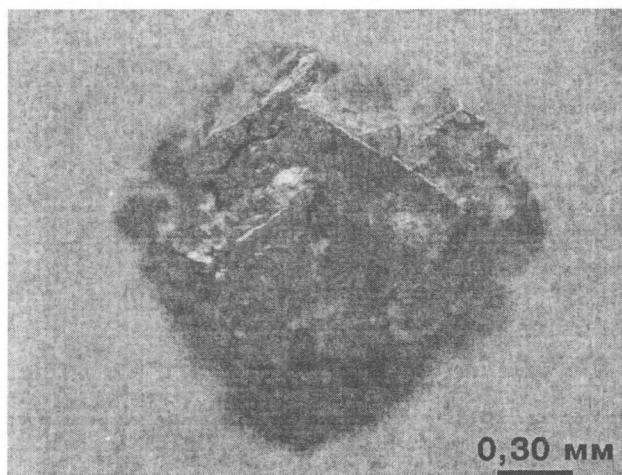
в



г



д



е

Рис. 2. Наиболее часто встречающиеся морфологические типы кристаллов алмаза из трубки им. В. Гриба: *a* – переходного габитуса (октаэдр—ромбододекаэдр) с дитригональным строением граней (111) и параллельной штриховкой на грани (110); *б* – додекаэдр с тонкой шагреневой штриховкой, два бесцветных и черное включения под поверхностью; *в* – ромбододекаэдр с блокового строения; *г* – октаэдрический кристалл алмаза с переходным строением грани (111) в виде пирамидообразного выступа; *д* – кубический кристалл с развитием плоских октаэдрических граней в месте выхода осей L_3 ; *е* – три кубических кристалла, проросшие один в другой по грани (100)

ния типоморфных особенностей и сравнения с известными данными по другим промышленно алмазносным объектам.

Особенности морфологии и внутреннего строения алмаза из месторождения им. В. Гриба изучены на примере 700 кристаллов в размерно-весовых группах: -1+0,5; -2+1; -4+3; -5+4; -6+5; -7+6; -9+7; -11+9; -12+11; 2-4 GR, общей массой 47,0 кар. Средний вес одного кристалла 0,06-0,07 кар.

Общее описание

В коллекции присутствуют как целые кристаллы (71%), так и обломки (15), сколотые и поврежденные кристаллы (14). Качество алмазного сырья в коллекции высокое. Почти 80% кристаллов прозрачны и около 60% кристаллов слабо деформированы или не деформированы. Деформации, как правило, проявлены в уплощении кристалла по оси L_3 вплоть до образования алмазной пластины треугольной или иной формы (рис. 1). Сильная де-

формация приводит к изменению однородности внутреннего и внешнего строения. Такие кристаллы приобретают блоковое строение (бугристая поверхность, кристалл разбит на отдельные блоки разных размеров и форм) или имеют следы пластической деформации (параллельные полосы, проходящие через весь кристалл, часто смещают блоки кристалла один относительно другого, рис. 1.) Встречаются двойники: «шпинелевые», реже циклические или двойники прорастания (рис. 1, 2), сростки из трех и более равно- и разноразмерных октаэдров, а также слабо окристаллизованные индивиды в агрегатах типа «борт», где линии срастания часто маркируются россыпью мелких черных включений (рис. 1).

Кристаллы имеют высокую степень сохранности. Следы растворения на поверхности развиты не повсеместно, а обычно выражены локальным растворением в виде фигур травления, рельефности граней, растворения кристалла по вершинам или ребрам (рис. 1, 2).

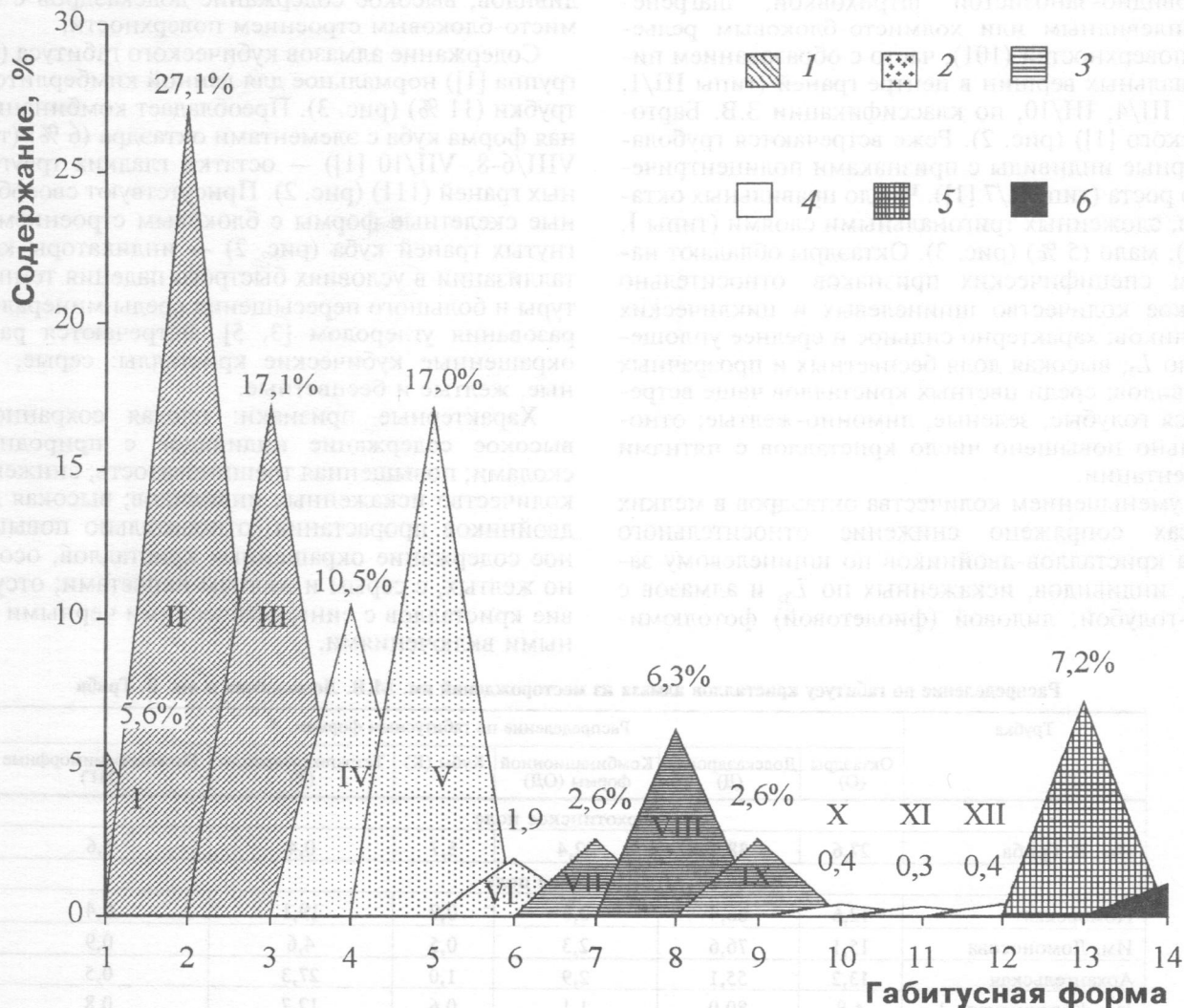


Рис. 3. Гистограмма содержаний кристаллов алмаза из трубки им. В. Гриба разных габитусных форм: 1 – октаэдрической (I – октаэдрическая, II – октаэдрическая с элементами додекаэдра, III – переходная, ОД); 2 – додекаэдрическая (IV – додекаэдрическая с элементами октаэдра, V – додекаэдрическая, VI – додекаэдрическая с элементами куба и октаэдра); 3 – кубическая (VII – кубическая, VIII – кубическая с элементами октаэдра, IX – кубическая с элементами тетрагексаэдра); 4 – тетрагексаэдрической (X – переходная, кубическая (К)-тетрагексаэдрическая (ТГ), XI – тетрагексаэдрическая с элементами куба, XII – тетрагексаэдрическая); 5 – псевдогемиморфная; 6 – неопределенная

Присутствие кристаллов типа «алмаза в оболочке» (рис. 1) объясняется развитием разных генераций алмаза в трубке в условиях перерыва кристаллизации. Среди характерных посткристаллизационных изменений поверхности следует отметить появление серых пятен пигментации, возникающих, как правило, на поверхности гладких граней октаэдров и двойников октаэдров, сильно уплощенных по оси L_3 [11, 16].

Форма кристаллов

Преобладают кристаллы октаэдрического габитуса (О, 49 %) (рис. 1, 2, 3). Среди них в основном отмечены октаэдрические кристаллы, характеризующиеся дитригональным строением граней (111), с додекаэдрическими (Д, 27 %) и переходными октаэдро-ромбододекаэдрическими (ОД, 17%) формами. Чаще всего отмечаются тонко- и среднеламинарные алмазы с отрицательными треугольными фигурами на гранях (111), со сноповидной, сноповидно-занозистой штриховкой, шагреново-капельвидным или холмисто-блоковым рельефом поверхностей (101), часто с образованием пирамидальных вершин в центре граней (типы III/1, III/3, III/4, III/10, по классификации З.В. Бартошинского [1]) (рис. 2). Реже встречаются груболамнарные индивиды с признаками полицентрического роста (тип III/7 [1]). Число правильных октаэдров, сложенных тригональными слоями (типы I, II [1]), мало (5 %) (рис. 3). Октаэдры обладают набором специфических признаков: относительно высокое количество шпинелевых и циклических двойников; характерно сильное и среднее уплощение по L_3 ; высокая доля бесцветных и прозрачных индивидов; среди цветных кристаллов чаще встречаются голубые, зеленые, лимонно-желтые; относительно повышено число кристаллов с пятнами пигментации.

С уменьшением количества октаэдров в мелких классах сопряжено снижение относительного числа кристаллов-двойников по шпинелевому закону, индивидов, искаженных по L_3 , и алмазов с сине-голубой, лиловой (фиолетовой) фотолуми-

несценцией. Повышается количество гладкогранных кристаллов, свободных от включений.

На втором месте по распространенности кристаллы алмаза додекаэдрического (Д) габитуса (29 %) (рис. 2, 3). Из них 17 % приходится на правильные додекаэдры с гладкими ромбическими гранями, острыми ребрами и тонкой параллельной штриховкой поверхности (типы VI/1, VI/2 [1]) (рис. 2, б). В подчиненных количествах встречаются додекаэдры с развитием поверхностей октаэдра (10 %) (типы III/3, III/5 [1]) и с элементами куба и октаэдра (2 %) (типы III/10, III/11, V [1]) (рис. 3). Поверхности большинства додекаэдров имеют занозисто-шагреновый рельеф (типы III/3, III/5, VI/3 [1]), лентовидно- и мозаично-блоковое строение (типы III/10, VI/5 [1]) (рис. 2).

Специфические особенности додекаэдров: повышенное количество индивидов со сложным искажением; увеличенная относительная доля кристаллов коричневой окраски; повышенная концентрация пластически деформированных индивидов; высокое содержание додекаэдров с холмисто-блоковым строением поверхности.

Содержание алмазов кубического габитуса (VIII группа [1]) нормальное для данной кимберлитовой трубки (11 %) (рис. 3). Преобладает комбинационная форма куба с элементами октаэдра (6 %) (типы VIII/6-8, VII/10 [1]) — остатки гладких треугольных граней (111) (рис. 2). Присутствуют своеобразные скелетные формы с блоковым строением вогнутых граней куба (рис. 2) — индикаторы кристаллизации в условиях быстрого падения температуры и большого пересыщения среды минералообразования углеродом [3, 5]. Встречаются разноокрашенные кубические кристаллы: серые, черные, желтые и бесцветные.

Характерные признаки: плохая сохранность, высокое содержание индивидов с природными сколами; повышенная трещиноватость; сниженное количество искаженных индивидов; высокая доля двойников прорастания; относительно повышенное содержание окрашенных кристаллов, особенно желтых, с серым и желтым нацветами; отсутствие кристаллов с сингенетическими черными рудными включениями.

Распределение по габитусу кристаллов алмаза из месторождений им. М.В. Ломоносова и им. В. Гриба

Трубка	Распределение по габитусным формам, %					
	Октаэдры (О)	Додекаэдриды (Д)	Комбинационной формы (ОД)	Кубы (К)	Тетрагексаэдриды (Т)	Псевдогемиморфные (ПГ)
Верхотинское поле						
Им. В. Гриба	27,6	38,3	22,4	5,7	0,4	5,6
Золотицкое поле						
Поморская	12,6	66,4	0,6	0,9	19,1	0,4
Им. Ломоносова	15,1	76,6	2,3	0,5	4,6	0,9
Архангельская	13,2	55,1	2,9	1,0	27,3	0,5
Им. Карпинского-1	4,8	80,0	1,1	0,6	12,7	0,8
Им. Карпинского-2	13,3	74,2	0,4	0,8	10,5	0,8
Снегурочка	25,1	49,6	13,0	3,7	9,6	—
Пионерская	9,1	80,5	2,8	0,9	5,9	0,8

Примечание. Сведения по трубкам Золотицкого поля приведены по [10]; им. Карпинского-1 и им. В. Гриба по [3].

Среди алмазов-кубов часто встречаются кристаллы с зональной окраской: от темно-серого, черного до светло-серого цветов, а также бесцветные или от ярко- до светло-желтого, серого цветов. В УФ-лучах такая зональность выражена чередованием полос с ярко-желтым, ярко-зеленым и слабым неопределенного цвета свечением.

Алмазы псевдокубического габитуса относятся к типам II/3, III/8 [1] и обладают признаками октаэдрических и кубических кристаллов [1]: гладкие треугольные грани в вершинах куба, тонкая параллельная штриховка на реберных частях и блоковая скульптура на гранях куба с микроскульптурой в виде тонкой шагрени и мелких квадратных ямок травления (рис. 2).

По сравнению с кристаллами алмаза из трубок месторождения им. М.В. Ломоносова [6, 10] содержание тетрагексаэдрических кристаллов (около 1 %) и алмазов-вершинников (V группа [1] на месторождении им. В. Гриба низкое, а кристаллов псевдогемиморфной формы высокое (7 %) (группа VII [1]) (рис. 3, таблица). Псевдогемиморфные кристаллы, как правило, представлены комбинацией октаэдра и додекаэдра или октаэдра и куба. Находки таких образцов могут свидетельствовать о неоднородности среды образования алмаза, постепенной смене условий кристаллизации [7].

Поликристаллические сростки отличаются разнообразием форм слагающих их индивидов. Кроме октаэдр-ромбододекаэдров (включая гладкогранные остросеберные октаэдры) в поликристаллических сростках наблюдаются кубоктаэдры и своеобразные «сфероиды». Все поликристаллические сростки отличаются высоким содержанием «графитоподобных» включений, низкой прозрачностью, серой или черной окраской.

Микроморфология поверхности кристаллов алмаза

На растровом электронном микроскопе JSM-820 (фирма «JEOL») в режиме эмиссии вторичных электронов исследованы 50 алмазов размерами $> 0,5$ мкм. Среди них одиночные кристаллы разных форм, сростки единичных кристаллов, сростки мелкозернистых кристаллов типа «борт», двойники, скелетные кристаллы. Использовался диапазон увеличений от 10 до 1500.

По микроморфологическим особенностям поверхности независимо от формы можно выделить две группы кристаллов: без следов растворения и с растворенной поверхностью. К первой группе относятся в основном октаэдрические, додекаэдрические и октаэдр-додекаэдрические с гладкими гранями и острыми ребрами кристаллы. Ко второй группе — кристаллы со следами деформации и растворения разной интенсивности.

Установлены два вида растворения поверхностей кристаллов: мягкое, повсеместное, приводящее к образованию округлых форм, сглаживанию вершин и ребер, возникновению тонкопослойного, в виде «граммофонной пластинки», или каплевидного рельефа, слабой шагрени (рис. 4); агрессивное, локальное, развитое в ослабленных зонах

кристалла, местах выхода дислокаций или близкого расположения включений к поверхности. Растворение приводит к формированию глубоких шрамов, каверн, отдельных ямок и «пемзовой» структуры поверхности, сильно расчлененного рельефа поверхности, «расщеплению» вершин и ребер, грубому послойному растворению в виде «елочек» (рис. 4). Часто оба вида растворения проявлены на поверхности одного кристалла.

Отмечены скульптуры роста кристаллов в виде послойного нарастания граней, слабого блокового неравновесного роста кристалла, направленного тангенциального роста в виде отдельных «карандашеобразных» форм, образующих поверхность грани (рис. 4).

На многих кристаллах (в основном додекаэдрического и октаэдрического габитусов) обнаружены участки блокового строения в виде холмистого, линзовидного рельефа, что может быть вызвано неравновесным ростом кристалла или быть результатом послеростовых деформаций [8, 11]. Присутствие параллельных полос пластической деформации со следами смещения кристалла между полосами свидетельствует о посткристаллизационном стрессовом давлении при образовании алмаза. Сколы большинства кристаллов гладкие, а также раковистого строения, иногда с выраженными структурами напряжений от раскола — тонкая штриховка или отдельные мелкие выступы пирамидального облика (рис. 4).

Октаэдрические кристаллы обычно гладкогранные, их растворение происходит по вершинам и ребрам с образованием округлой поверхности тонкошагренового строения или тонкослоистого растворения в виде «елочек» [16]. Иногда в ослабленных зонах на поверхности развиты глубокие шрамы и линии треугольных фигур растворения (рис. 4).

Додекаэдрические кристаллы, как правило, округлые с тонким шагреновым рельефом или фигурами растворения в виде «граммофонной пластинки». Они характеризуются высокой степенью сохранности, редко отмечены шрамы и каверны на поверхностях.

Кристаллы переходного (ОД) габитуса имеют гладкую поверхность без видимых следов растворения, щитообразные грани (111) сильно развиты в направлении оси третьего порядка, образуют желоба на местах ребер. На поверхности некоторых кристаллов установлены серые пятна пигментации.

Кубические кристаллы представлены округлыми индивидами с шагреновой поверхностью. На гранях (100) часто развиты ямки и четырехугольные фигуры растворения. Кубические кристаллы скелетного строения имеют четыре вогнутые внутрь грани, образованные множеством «карандашеобразных» выступов направленного роста, которые, срастаясь вместе, формируют сложно расчлененный зубчатый рельеф поверхности (рис. 4).

Среди сростков кристаллов присутствуют гладкогранные и в значительной степени растворенные кривогранные. Растворение проявлено в виде кор-

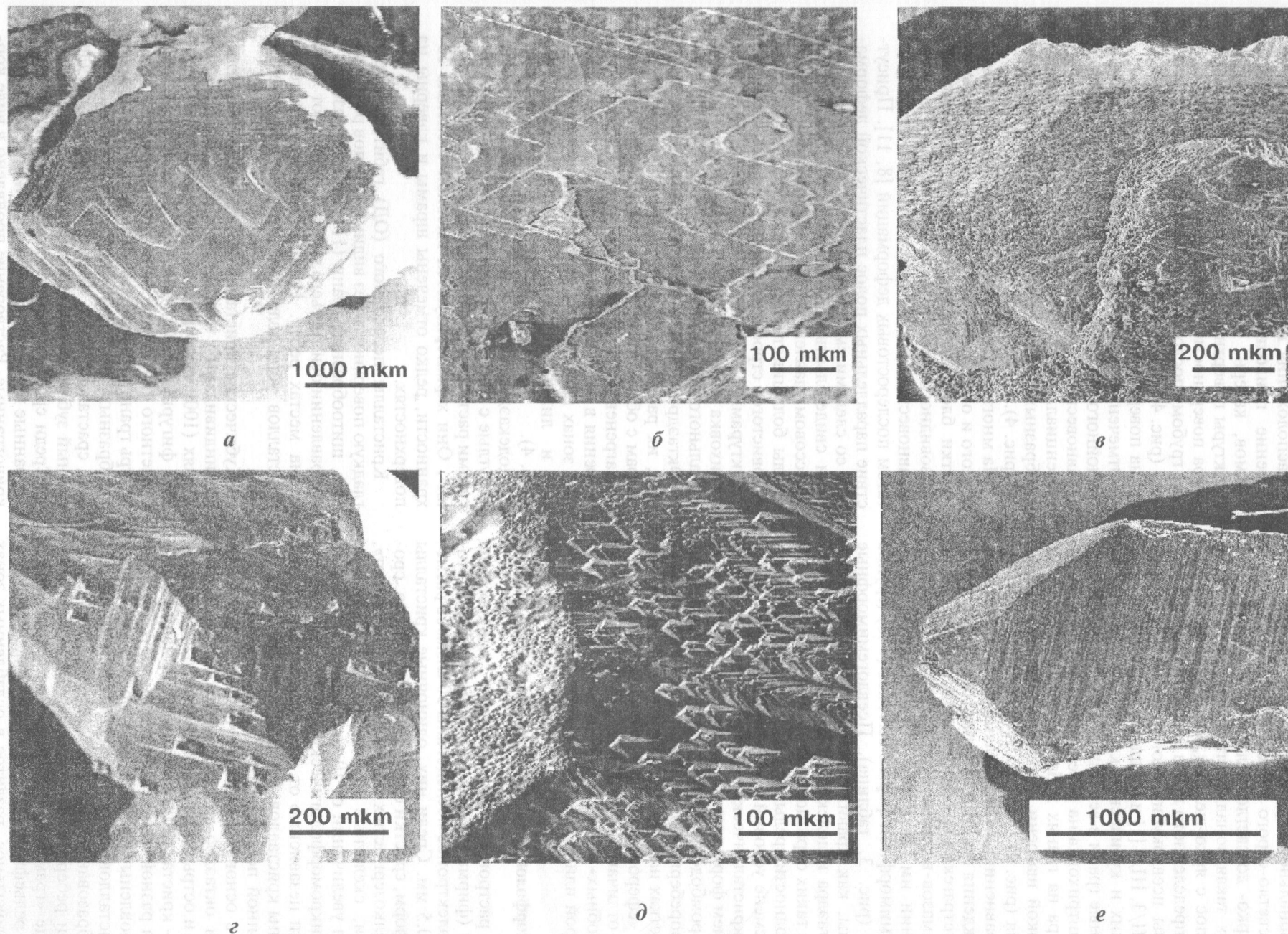


Рис. 4. Особенности микроморфологии поверхности кристаллов алмаза из трубки им. В. Гриба (исследование во вторичных электронах); формы мягкого, повсеместного, (а) и агрессивно-локального, (б-г) растворения: а – октаэдрический кристалл, округленный растворением, с бугристым строением грани (111); б – черепитчато-«ельчатый» рельеф послойного агрессивного растворения поверхности октаэдра; в – «пемзовый» рельеф агрессивного растворения поверхности кубического кристалла алмаза; г – крупная четырехугольная ступенчатая фигура растворения на поверхности деформированного кубического кристалла; проявление процессов роста кристаллов: д – «карандашеобразные» формы направленного роста, образующие грань кубического кристалла; е – послойный направленный рост треугольной грани октаэдра

розии поверхностей граней — послойным строением, расщеплением вершин и ребер. Границы между кристаллами неровные, часто по границам развиты каверны и глубокие шрамы. Поверхности двух кубических кристаллов в сростке сильно корродированы, отмечен «пемзовый» рельеф занозистого строения (рис. 4).

Установлены сростки кристаллов типа «борт» двух видов: 1) образованные множеством мелких кристаллов октаэдрического или додекаэдрического габитуса как гладкогранных, так и округлых вследствие растворения; 2) агрегаты со слабо окристаллизованными индивидами округлого облика неясной формы, с развитием шрамов, каверн, ямок растворения на поверхности кристаллов и между ними.

Изучение микроморфологических особенностей кристаллов позволяет заключить, что растворение имеет место, но не играет значительной роли в изменении облика и качества кристаллов. Выделены два процесса растворения: мягкое, повсеместное, и агрессивное, локальное. Отмечено разнообразие фигур локального растворения: треугольные, квадратные, желоба и ямки растворения; выявлены многообразные скульптуры растворения поверхности граней кристаллов: общее сглаживание, тонкое послойное, грубослойное в виде ёлочек, в виде «пемзового» рельефа или «граммофонной пластинки»; кристаллы росли тангенциально и послойно. Обнаружены различные формы роста: «карандашеобразные», послойные, слабоблочные, бугорчатые. Установлены примеры деформационных изменений в виде блокового строения поверхности и параллельных полос пластической деформации, свидетельствующие о стрессовых условиях при кристаллизации алмаза и посткристаллизационных процессах.

По мнению авторов [14, 15], морфологические особенности при эволюции алмазов (форма и ориентировка фигур травления, слои растворения, скульптура и кристаллография округлых поверхностей) определяются флюидным режимом в рамках системы С—О—Н и являются индикаторами окислительно-восстановительных условий растворения алмаза. После кристаллизации алмазы находятся сначала в мантии до процессов кимберлитобразования, затем непосредственно в кимберлитовой магме и далее в приповерхностных условиях в кимберлитовых трубах.

Экспериментально установлено [14, 15], что в водосодержащем силикатном расплаве алмаз растворяется, образуя дитригональные слои, а в «сухих» — тригональные. На гранях (111) формируются отрицательные тригоны, на округлых поверхностях возникает сноповидная или занозистая штриховка, каплевидный рельеф. Конечная форма растворения алмаза в силикатных или карбонатных расплавах в присутствии воды — додекаэдр с гранным швом, независимо от исходной плоскогранной формы. Растворение октаэдрических кристаллов алмаза в системах с повышенным содержанием CO_2 при P 5,7 ГПа и T 1400°C происходит с образованием тригон-триоктаэдров, которые

при потере массы трансформируются в ромбододекаэдры без «гранного шва». Травление алмаза в расплаве кимберлита при высоких давлениях и температурах (P 3,0 ГПа, T 1300°C) примерно при равных содержаниях H_2O и CO_2 начинается с ребер и приводит к сокращению площади плоских граней октаэдра, замещению их поверхностями октаэдроида [14].

Результаты изучения морфологии и микроморфологических особенностей поверхности кристаллов алмаза из трубки им. В. Гриба показывают, что кристаллы растворялись в два этапа: в «сухом» силикатном расплаве в глубинах мантии; в силикатных (карбонатных?) расплавах кимберлитовой магмы при повышенных концентрациях флюидов H_2O и CO_2 . На первом этапе растворение проявлено слабо. Это связано с незначительным количеством флюида в мантии, а растворение в виде тригональных слоев и округление поверхности кристаллов связано с небольшими значениями $\text{H}_2\text{O}/(\text{CO}_2+\text{CO})$ во флюиде. Алмаз в основном принадлежит к морфогенетическому ряду О1—Д1 (октаэдр—октаэдр, сложенный тригональными слоями, — додекаэдр с гранным швом) [14] и характеризуется минимальной степенью растворения. Возрастание доли H_2O в кимберлитовой магме ведет к смене типа морфогенеза алмаза на О1—Д2 (октаэдр—октаэдр, сложенный дитригональными слоями, — додекаэдр с гранным швом). Это связано с мантийным водным метасоматозом и процессами кимберлитобразования с возникновением флогопита, амфибола и др. [14]. Растворение приводит к формированию граней (111) дитригонального строения, возникновению фигур локального агрессивного растворения (треугольники, каверны, ямки). Конечной формой растворения в кимберлитовом расплаве с повышенным содержанием воды является додекаэдр с гранным швом [14, 15].

В соответствии с моделью кристалломорфологической эволюции алмаза [2, 12] и экспериментальными данными [13], кристаллы с тригональными слоями относятся к формам роста. Такие кристаллы получены искусственно при добавлении воды в металл-углеродные системы [13]. Таким образом, можно предположить, что кимберлитовый расплав в трубке им. В. Гриба был насыщен металлической фазой и во время воздействия флюидов стимулировал послойный рост некоторых алмазов, а также «связывание» металлической фазы в виде сульфидных включений в алмазе.

Краткая сравнительная характеристика кристаллов алмаза из месторождений им. В. Гриба и им. М.В. Ломоносова

В результате сопоставления данных по морфологии алмазов из месторождений им. В. Гриба и им. М.В. Ломоносова установлены существенные различия. Алмазы из месторождения им. В. Гриба характеризуется высоким качеством сырья. Среди изученных кристаллов класса +2 мм 39 % обладают высокой степенью прозрачности, 60 % прозрач-

ные. По сравнению с алмазом из месторождения им. М.В. Ломоносова повышена доля октаэдрических кристаллов, особенно в крупных классе +2 мм, кристаллов переходных форм (ОД), кубов и псевдогемиморфных индивидов, низка доля ромбододекаэдров. Содержание тетрагексаэдров почти на два порядка ниже, чем в трубках месторождения им. М.В. Ломоносова (таблица). По морфологическим характеристикам алмазы трубки им. В. Гриба наиболее близки к алмазам из трубки Снегурочка Золотицкого поля (таблица).

Сохранность алмаза определяется тремя факторами: 1) скоростью процесса растворения; 2) временем воздействия на алмаз водосодержащего расплава; 3) размером кристаллов. Экспериментально установлено [15], что скорость растворения возрастает с увеличением концентрации водного флюида — это согласуется с закономерностью повышения содержания округлых алмазов при переходе от кимберлитов обедненных слюдой к слюдяным. Степень растворения кристаллов алмаза в трубках месторождения им. М.В. Ломоносова значительно выше, увеличено содержание округлых алмазов, почти на всех кристаллах присутствуют следы сильной коррозии. Следы от растворения на поверхности кристаллов из трубки им. В. Гриба развиты повсеместно, как правило, растворение локальное в виде фигур травления, слабого растворения

вершин или ребер кристаллов, у близко расположенных к поверхности включений или в местах их выхода на поверхность.

Большинство кристаллов относится к категориям Makeable и Sawables по классификации SITY [4]. В трубках месторождения им. М.В. Ломоносова повышена доля кристаллов низкого качества: Rejections, Industrial, Clivage Makeable [4].

Окрашенные кристаллы в трубках месторождения им. М.В. Ломоносова составляют около 60 %, преобладают алмазы серой окраски (42 %). В трубке им. В. Гриба окрашенных кристаллов 7 %, среди них преобладают желтые и голубые; с желтым, серым или коричневым оттенками 28 %; бесцветных кристаллов около 65 %.

Авторы выделили некоторые черты сходства в морфологии алмаза из коллекции месторождения им. В. Гриба и месторождения им. М.В. Ломоносова: преобладают одиночные кристаллы; содержания сростков и двойников близкие; в основном выявлены многогранники, относящиеся к I разновидности, по минералогической классификации Ю.Л. Орлова [11]; содержание кубов и гладкогранных октаэдров значительно возрастает при уменьшении размеров; деформации кристаллов проявлены преимущественно по оси 3-го порядка; кристаллы главным образом бесцветные ($\approx 53-64\%$) [3, 6, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартошинский З.В. Минералогическая классификация природных алмазов // Минер. журн. 1983. Т. 5. № 5. С. 84–93.
2. Бартошинский З.В. Кристалломорфология алмаза из кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции // Минер. сб. 1992. 2. № 46. С. 64–73.
3. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция. М.: Изд-во МГУ, 1999. 522 с.
4. Бочаров А.М., Симоненков В.А., Тимошенко В.Е. Уч. пособие: классификация алмазного сырья по системе SITY. М.: Главалмаззолото СССР, Смоленское ПО «Кристалл», 1991. 80 с.
5. Васильева Е.Р., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. и др. Зависимость степени сохранности кристаллов алмаза от геолого-структурных и физико-химических условий становления кимберлитовых тел (на примере севера европейской части СССР) // Минералогия и петрология кимберлитов. М.: МГУ-ВИНИТИ, 1991. Деп. № 2493-В91. С. 3–202.
6. Вержак В.В. Геологическое строение, вещественный состав, условия образования и методика разведки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 2001. 36 с.
7. Гаранин В.К., Титков С.В. О формах растворения кристаллов алмаза севера европейской части СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 9. С. 110–115.
8. Жихарева В.П. Опыты по травлению синтетических алмазов // Минерал. сб. Львовск. ун-та. 1980. 1. № 34. С. 73–76.
9. Кудрявцева Г.П. Атлас: Морфогенез алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов и родственных им пород Архангельской алмазоносной провинции. М.: Изд-во «Поларный круг», 2005. 624 с.
10. Махин А.И. Кристалломорфология и физические свойства алмаза из месторождения М.В. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Львов: Изд-во ЛГУ, 1991. 20 с.
11. Орлов Ю.Л. Морфология алмаза. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 235 с.
12. Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза. М.: Наука, 1984. 264 с.
13. Пальянов Ю.Н., Чепуров А.И., Хохряков А.Ф. Рост и морфология антискелетных кристаллов синтетического алмаза // Минер. журн. 1985. Т. 7. № 5. С. 50–61.
14. Сонин В.М. Моделирование эпигенетической эволюции кристаллов алмаза в флюидно-силикатных системах (по экспериментальным данным). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2005. 32 с.
15. Хохряков А.Ф. Растворение алмаза: экспериментальное исследование процессов и модель кристалломорфологической эволюции. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2004. 36 с.
16. Чепуров А.И., Хохряков А.Ф., Сонин В.М. и др. О формах растворения кристаллов алмаза в силикатных расплавах при высоком давлении // Докл. АН СССР, 1985, т. 285, № 1, С. 212–216.

Московский государственный университет
Рецензент — А.А. Маракушев