

УДК 549.211

В.Н. Квасница, Р. Вирт, А.А. Вишнеvский, А.И. Махин

МИНЕРАЛЬНЫЕ СРОСТКИ С МИКРОАЛМАЗАМИ И ВКЛЮЧЕНИЯ В МИКРОАЛМАЗАХ ИЗ ТРУБОК АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТОВОЙ ПРОВИНЦИИ (РОССИЯ)

Изучены минеральные сростки с 23 микроалмазами и минеральные включения в пяти микроалмазах из двух трубок Золотицкого поля Архангельской кимберлитовой провинции: им. Ломоносова и Пионерская. Минералы сростков с микроалмазами представлены хромшпинелидом, титанитом, тальком и серпентином. Они, вероятно, образуются в кимберлитах на стадии, предшествующей их извержению. Тальк и серпентин могут также принадлежать к продуктам изменения пироксена и оливина. Как сингенетические включения, принадлежащие к ультраосновному парагенезису, в двух архангельских микроалмазах отдельно установлены энстатит и пентландит, ранее неизвестный в архангельских алмазах. Тальк, серпентин, хлорит, слюда, апатит, карбонат и хромшпинелид, изученные в трех микроалмазах, отнесены к включениям невыясненного происхождения.

Вступление. Минеральные включения в макроалмазах из архангельских кимберлитов относительно хорошо изучены [2, 6, 8, 10, 11, 13, 14, 17]. Среди включений установлены минералы ультраосновного (дунит-гарцбургитового и лерцолитового — оливин, хромшпинелид, пироп, энстатит, клинопироксен, флогопит) и эклогитового (пироп-альмандин, омфациит, коэсит, кианит) парагенезисов. В алмазах из кимберлитовых трубок им. Ломоносова и Пионерская Золотицкого поля Архангельской кимберлитовой провинции известны включения только ультраосновного парагенезиса [2, 17]. Как отмечают многие исследователи [2, 10, 14, 15], среди алмазов из этих месторождений, при доминирующей роли додекаэдридов, больше октаэдрических кристаллов, чем среди алмазов из других трубок этого поля (им. Карпинского-1, Поморская, Снегурочка), в которых найдены включения обоих парагенезисов [2, 17]. Особенностью архангельских алмазов считают отсутствие в них сульфидных включений [2], которые обычны в алмазах из других кимберлитовых провинций мира.

К специфике алмазов Золотицкого поля также относят резкое морфологическое различие между их микро- и макрокристаллами. Среди микроалмазов (размером менее 0,5 мм) значительная часть принадлежит к октаэдрам [2, 10, 14—16]. Кроме того, архангельские микро- и макроалмазы из некоторых трубок различаются по содержанию примесного азота и степени его агрегации. Так, изученные микроалмазы из трубки им. Ломоносова — низкоазотные с повышенной агрегацией азота, а макроалмазы (преимущественно додекаэдриды) — высокоазотные кристаллы с относительно низкой агрегацией азота [1, 7, 18—20].

Рассчитанные по геотермометру Тейлора-Милледж значения температуры кристаллизации этих алмазов позволили отнести низкоазотные микроалмазы к ранней высокотемпературной генерации (~1125 °С), а высокоазотные макроалмазы — к поздней относительно низкотемпературной (1070—1090 °С) [18].

Результаты *FTIR*-исследования представительной коллекции микроалмазов Золотицкого поля (более 100 кристаллов) подтверждают различие между микро- и макроалмазами по содержанию примесного азота [12], однако в изученных микроалмазах этой коллекции

© В.Н. Квасница, Р. Вирт, А.А. Вишнеvский,
А.И. Махин, 2009

содержится больше азота, чем по данным Г.К. Хачатрян [18], и степень агрегации азота в них разная и не столь значительная.

Изучение минеральных включений в архангельских микроалмазах и их сростков с различными минералами могло бы помочь уточнить место и время кристаллизации микроалмазов.

Предмет и методы исследования. Изучены микроалмазы из кимберлитовых трубок им. Ломоносова и Пионерская, содержащие минеральные включения, и сростки микроалмазов с другими минералами. Были использованы методы трансмиссионной и растровой электронной микроскопии (ТЭМ и РЭМ) в сочетании с микронзондовым анализом минералов. Изучение микроалмазов с использованием методов ТЭМ выполнено в Центре геологических исследований г. Потсдам (Германия). Для этого на приборе *FEI FIB 2000* из мест нахождения в алмазах включений были вырезаны очень тонкие пленки размером $15 \times 10 \times 0,2$ мкм. Всего изготовлено семь пленок из четырех микроалмазов, исследование их выполнено на просвечивающем электронном микроскопе *Philips CM 200* (LaB_6) при ускоряющем напряжении 200 кВ. Структурные параметры минералов субмикронных размеров по-

лучены с помощью дифрактометрической приставки *HREM*. Химический состав минералов-включений определен с помощью метода аналитической электронной спектроскопии на энергодисперсионном спектрометре *EDAX* с ультратонким окном 3,8 нм, углом наклона образца 20° и временем экспозиции 200 с.

Отдельные включения в архангельских микроалмазах диагностированы при помощи рамановской спектроскопии в Центре геологических исследований г. Потсдам. Их изучение проведено на спектрометре *Dilor XY Laser Raman Triple 800 mm*, укомплектованном оптическим микроскопом *Olympus* с 80-кратным объективом, использована линия 488 нм аргонового лазера *Model Innova 70-3* при 50–450 мВ.

Исследование минералов-сростков проведено в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины (г. Киев). Химический состав минералов определен на сканирующем электронном микроскопе *JSM-6700F*, оснащенный энергодисперсионной системой для микроанализа *JED-2300* ("JEOL", Япония). Условия съемки: ускоряющее напряжение — 15 кВ, ток зонда — $5 \cdot 10^{-10}$ А, диаметр зонда — 1 μ . Для нескольких минералов-сростков изучение их

Таблица 1. Химический состав минералов-сростков с микроалмазами из трубки Пионерская

Компонент	Образец			
	2П	5П	7П	
	Серпентин*	Хромшпинелид**	Титанит*	Тальк*
SiO ₂	38,94	0,05	35,05	59,28
TiO ₂	—	0,28	33,53	—
Al ₂ O ₃	3,60	4,46	—	1,18
Cr ₂ O ₃	—	64,80	—	—
Fe ₂ O ₃	—	4,65	—	—
FeO	8,03	10,26	5,41	4,44
MgO	36,53	13,19	—	28,47
CaO	—	0,01	26,0	0,76
NiO	—	0,07	—	—
ZnO	—	0,21	—	—
MnO	—	2,48	—	—
Na ₂ O	—	—	—	0,36
K ₂ O	—	—	—	0,51
Сумма	87,1	—	—	—
	Структурный параметр $d_{001} \sim 0,85$ нм	Средний состав для трех измерений	Средний состав для пяти измерений	Средний состав для двух измерений

Примечание. По данным микронзондового анализа с использованием: * — энергодисперсионного спектрометра; ** — волнового спектрометра.

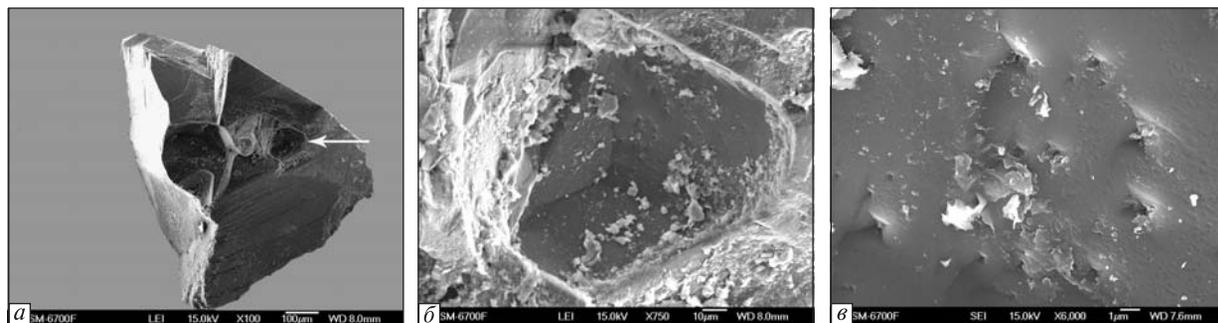


Рис. 1. Сrostок микроалмаза 5П и хромшпинелида (б, в — детализация хромшпинелида)

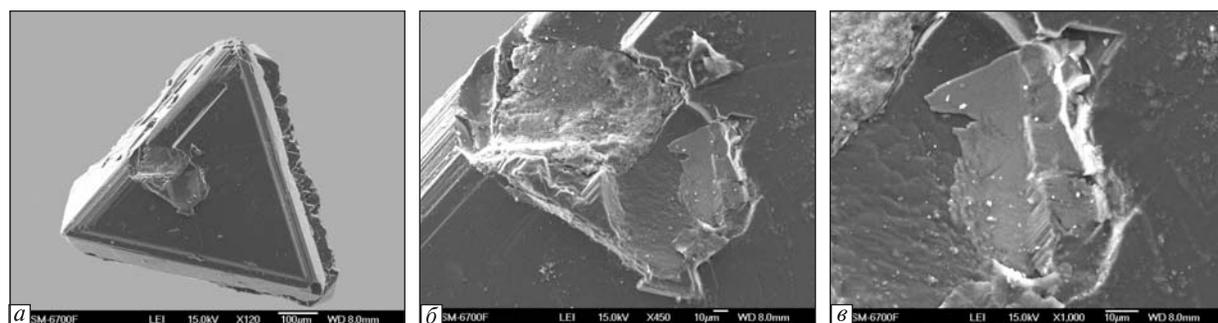


Рис. 2. Сrostок микроалмаза 7П с титанитом и тальком (б, в — детализация титанита и талька)

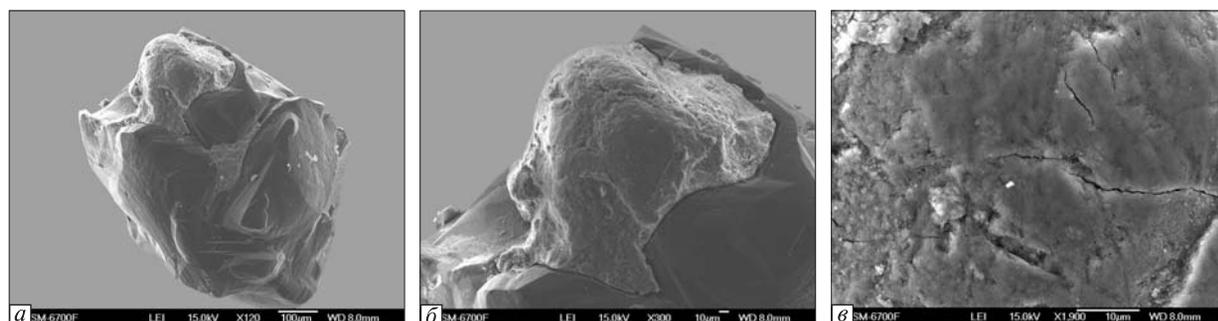


Рис. 3. Сrostок микроалмаза 1Л и талька (б, в — детализация силиката)

химического состава выполнено на микроанализаторе *Superprobe JXA-8200* ("JEOL", Япония).

Всего изучено 23 сrostка алмаза с разными минералами: один из трубки им. Ломоносова (алмаз + силикат), 22 — из трубки Пионерская, в том числе 1 сrostок алмаза с хромшпинелидом и 21 — с силикатами. На предмет минеральных включений изучено пять микроалмазов: два — из трубки Пионерская и три — из трубки им. Ломоносова.

Микроалмазы представлены октаэдрами, кристаллами переходного типа $\{111\}$ — $\{110\}$ и додекаэдроидами. Их размер от 0,3 до 0,5 мм, редко до 0,8. Размеры включений не превышают 0,1 мм, а минералов-сrostков — 0,5.

Результаты исследований. *Минеральные сrostки.* Сrostок поврежденного додекаэдрического кристалла алмаза и хромшпинелида из трубки Пионерская (обр. 5П, рис. 1). Кристалл хромшпинелида выполняет впадину в алмазе, его контуры согласны с очертаниями впадины. Он наполовину как бы врос в алмаз и его можно рассматривать также в качестве включения. Хромшпинелид сохраняет элементы кристаллографической огранки, на нем развиты коррозионные скульптуры — узоры четырехугольных впадин в местах выходов дислокационных каналов. Эти выходы параллельны тройной оси кристалла алмаза, то есть L_3 алмаза совпадает с L_4 хромшпинелида. Химический состав минерала приведен в табл. 1.

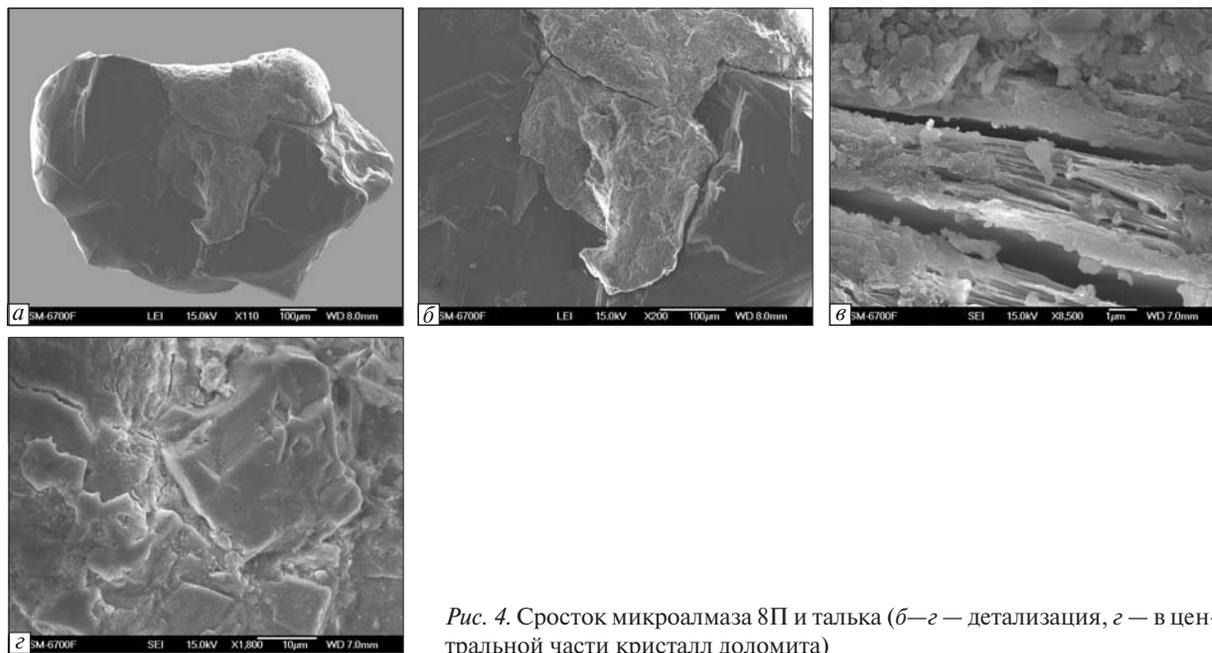


Рис. 4. Сросток микроалмаза 8П и талька (б—с — детализация, с — в центральной части кристалл доломита)

Этому хромшпинелиду свойственно высокое содержание хрома и магния, а также повышенное — марганца, при низкой глиноземистости и титанистости, что отличает его как от высокохромистых хромшпинелидов — вклю-

чений в архангельских алмазах, так и от хромшпинелидов из самих кимберлитов [2].

Сросток алмаза с титанитом и тальком из трубки Пионерская (обр. 7П, рис. 2). Тальк в виде агрегата выполняет впадину в алмазе — в сильно уплощенном по тройной оси двойнике октаэдров по шпинелевому закону (типа *table*). Титанит в виде пластинки нарастает на алмаз. Химический состав этих минералов приведен в табл. 1.

Сростки алмаза и силиката (рис. 3, 4). Такие сростки достаточно распространены, особенно среди микроалмазов из трубки Пионерская. Обычно светло-зеленовато-бурый по цвету силикат с поверхности представлен агрегатом из лейст и чешуек, иногда при большом увеличении заметны реликты тонкопластинчатого строения минерала (рис. 4, в). По сос-

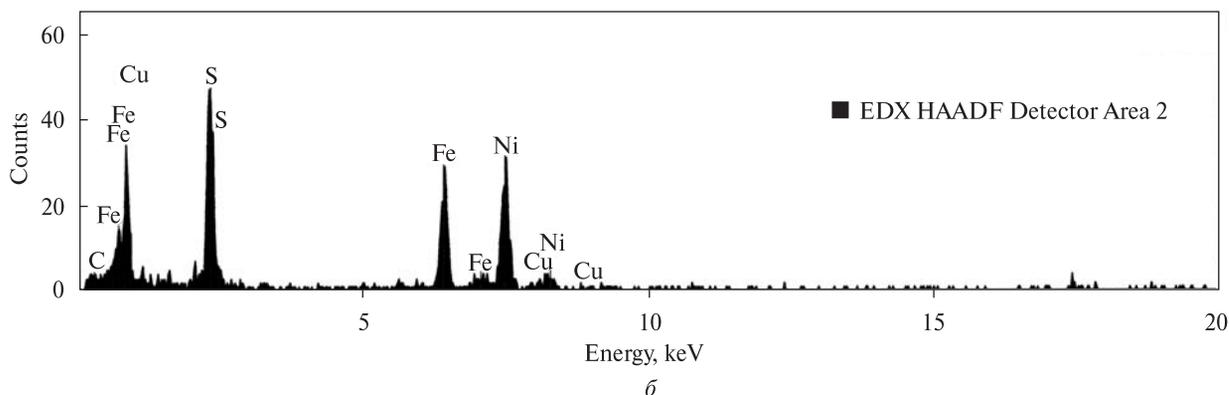
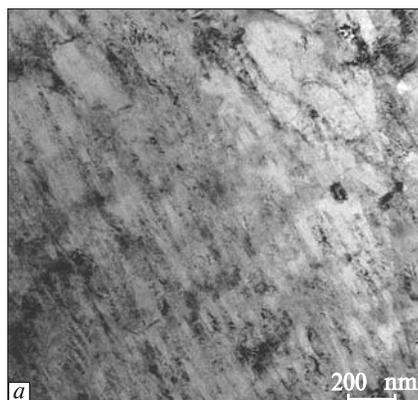
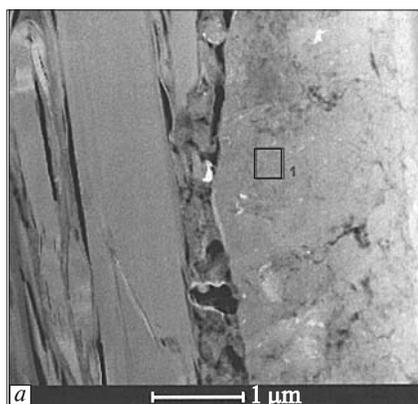


Рис. 5. Включение пентландита в микроалмазе 9Л (а) и энергодисперсионный спектр пентландита (б)

Таблица 2. Химический состав сростков талька с микроалмазами из трубок им. Ломоносова и Пионерская (по данным микрондового анализа с использованием волнового спектрометра)

Компонент	Образец							
	1Л		6П		8П			9П
SiO ₂	51,41	52,47	57,15	55,41	56,45	51,38	53,07	51,98
TiO ₂	0,12	0,09	0,05	0,36	0,05	0,00	0,05	0,04
Al ₂ O ₃	2,35	1,77	3,91	4,40	3,08	1,62	3,11	2,72
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	2,77	2,79	2,63	6,19	1,75	2,14	2,03	1,84
MnO	0,11	0,12	0,02	0,01	0,10	0,09	0,09	0,09
MgO	37,13	37,07	28,90	24,79	32,74	38,71	35,34	36,86
CaO	0,48	0,17	0,79	1,91	0,13	0,39	0,29	0,18
Na ₂ O	0,42	0,33	0,70	0,83	0,62	0,51	0,80	1,17
K ₂ O	0,15	0,11	0,79	0,96	0,05	0,07	0,08	0,12
NiO	0,06	0,03	0,06	0,10	0,03	0,01	0,09	0,00
ZnO	0,00	0,05	0,00	0,03	0,02	0,06	0,00	0,00
Сумма	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00	95,00



таву почти во всех случаях, силикат ближе всего к тальку (табл. 2), часто ассоциирует с доломитом (рис. 4, з), титанитом и рутилом. Вполне вероятно, что это продукт замещения пирроксена и оливина. При использовании для микроанализа энергодисперсионной системы были изучены плоские участки на поверхности зерен минералов-сростков и получены исключительно широкие вариации значений содержания SiO₂, FeO, MgO и Al₂O₃. Вероятно, в составе таких образований, кроме талька, присутствуют разные серпентины, хлориты,

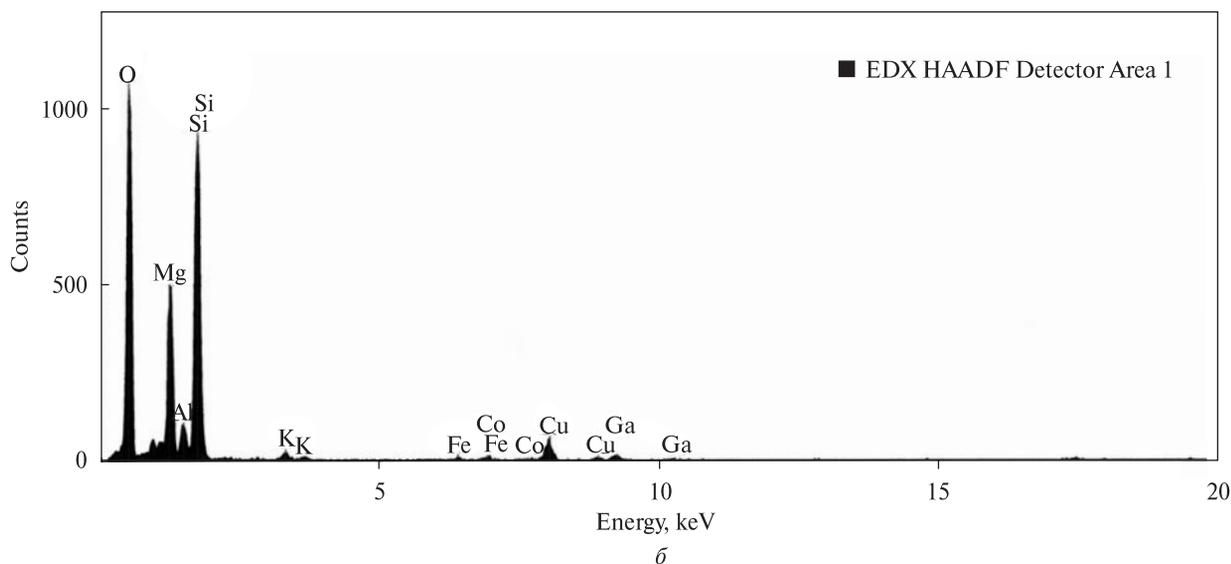
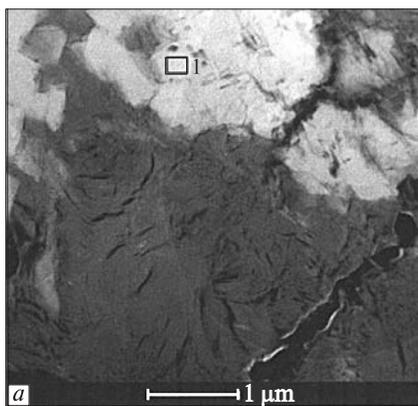


Рис. 6. Выделение хлорита в микроалмазе 61Л (а) и энергодисперсионный спектр хлорита (б)

слюды и брусит. Например, в сростке алмаза и силиката 2П, из которого была вырезана силикат-алмазная пленка для изучения с помощью метода ТЭМ, силикат оказался серпентином.

В табл. 1 и 2 приведены наиболее типичные результаты анализов минералов из изученных 23 сростков. Подготовка этих минералов для микрозондового анализа с волновым спектрометром оказалась весьма трудной задачей.

Минеральные включения. Сингенетические включения. Включение сульфида (обр. 9Л, рис. 5, а, б) установлено в октаэдрическом микроалмазе из трубки им. Ломоносова. Под бинокляром при большом увеличении в центральной части кристалла, из которой была вырезана алмазная пленка, замечены микроскопические включения черного цвета неправильной формы. Включение сульфида в пленке состоит из нескольких фаз: в темной



матрице, обогащенной железом и медью (мас. %: Ni — 7,17, Fe — 49,40, Cu — 9,79 и S — 33,65), видны светло-серые, беспорядочные выделения неправильной формы и ориентированные субпараллельные, веретенообразные или лейстовидные выделения пентландита. В количественном отношении пентландит доминирует. Его химический состав, мас. %: 1 — Ni — 35,41, Fe — 29,20, Cu — 2,90, S — 32,57; 2 — Ni — 34,94, Fe — 32,65, Cu — 0,04 и S — 32,37. Измеренные структурные параметры пентландита, нм: 111 — 0,582, 220 — 0,358 и 311 — 0,313. На периферии зерен пентландита наблюдается значительное и неоднородное увеличение содержания меди или железа. Нередко узкие каемки крупных зерен пентландита сильно обогащены медью (Cu — 46,59, Ni — 7,67, Fe — 19,57 и S — 26,17 мас. %).

Включение энстатита (обр. 44П), обнаруженное в октаэдрическом микроалмазе из трубки Пионерская, имеет октаэдрическую форму. Энстатит диагностирован с помощью метода рамановской спектроскопии: линии минерала на спектре — 344,2, 401,5, 676,1 см⁻¹.

Включения неясного происхождения. Включение силиката (обр. 61Л, рис. 6, а, б). Серое включение установлено в центральной части додекаэдрического микроалмаза из трубки им. Ломоносова. Имеет вид агрегата из чешуйчатых кристаллов. По составу и структурным параметрам (табл. 3) силикат соответствует магнезиальному хлориту с высоким значением

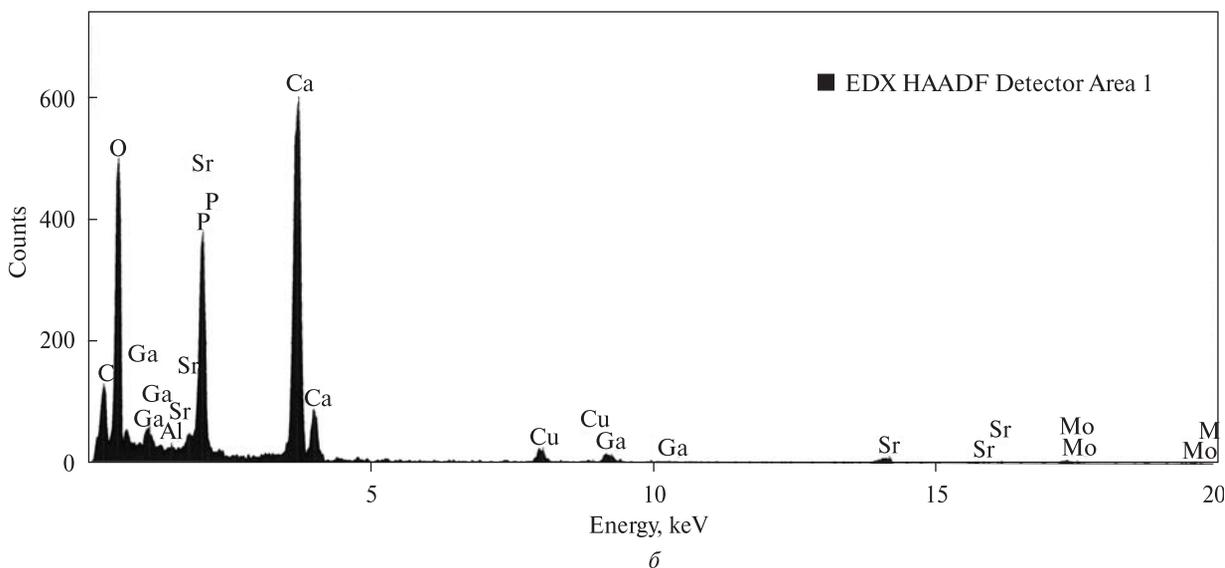


Рис. 7. Выделения апатита, карбоната и силиката в микроалмазе 62Л (а) и энергодисперсионный спектр апатита и карбоната (б)

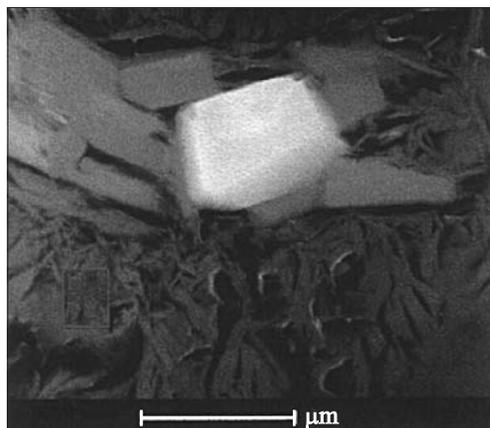


Рис. 8. Выделения талька, слюды и хромшпинелида в микроалмазе 43П

отношения Mg : Si. В одной из каверн в этом агрегате зафиксирован кубический микрокристалл алмаза.

Включения апатита, карбоната и силиката (обр. 62Л, рис. 7, а, б). Светло-серые включения обнаружены в периферийной части додекаэдрического кристалла микроалмаза из трубки им. Ломоносова. Неправильные по форме зерна апатита, карбоната и силиката контактируют между собой. Химический состав минералов приведен в табл. 3. Анализы апатита и карбоната не стехиометричны, т. к. их зерна образуют прорастания.

Включение талька, графита, слюды и хромшпинелида (обр. 43П, рис. 8). Серое включение

расположено в центральной части октаэдрического микроалмаза из трубки Пионерская. Оно как бы выполняет канал в алмазе, однако его выход на поверхность не прослежен. Одна стенка канала прямая, другая — волнистая. Тальк образует агрегаты изогнутых чешуйчатых и пластинчатых индивидов, содержит микровключения многочисленных зерен графита и светлые микрозерна, обогащенные калием. В одном из таких агрегатов зафиксировано совместное нахождение идеального октаэдроподобного кристалла хромшпинелида и двух лейст слюды. Химический состав изученных минералов приведен в табл. 3. Тальк диагностирован по составу (отношение Mg : Si в пределах 0,50—0,60 для шести измерений) и по данным дифракции.

Обсуждение результатов. В результате проведенных исследований архангельских микроалмазов нами установлены минеральные фазы как сингенетические алмазу, так и, скорее всего, эпигенетические по отношению к нему. К первым, исходя из их пространственного взаимоотношения с микроалмазами (расположение в центральных зонах кристаллов и их "консервация" алмазом), могут быть отнесены сульфид и энстатит.

Включение пентландита и вмещающей его матрицы отображает состав сульфидного расплава, который существовал в минералообразующей среде, в которой кристаллизовались

Таблица 3. Химический состав минеральных выделений в микроалмазах из трубок им. Ломоносова и Пионерская (по данным микронзондового анализа с использованием энергодисперсионного спектрометра)

Компонент	Алмаз					
	61Л	62Л		43П		
	Хлорит	Серпентин	Апатит + + карбонат	Хромшпинелид	Слюда	Тальк*
SiO ₂	26,63	43,60	—	0,68	40,58	58,36
Al ₂ O ₃	18,10	3,85	—	9,92	13,72	1,90
Cr ₂ O ₃	—	—	—	56,47	—	—
FeO	2,06	—	—	18,20	3,02	2,11
MgO	40,20	37,44	—	14,15	26,52	30,37
CaO	—	2,21	66,31	—	—	2,37
SrO	—	—	2,76	—	—	—
MnO	—	—	—	0,58	—	—
K ₂ O	—	—	—	—	10,79	0,13
P ₂ O ₅	—	—	30,93	—	—	—
Сумма	87,0	87,1	100	100	94,63	—
Структурный параметр	<i>d</i> ₀₀₁ ~ 1,4 нм	<i>d</i> ₀₀₁ ~ 0,85 нм	—	—	—	<i>d</i> ₀₀₂ ~ 1 нм

Примечание. * Средний состав для шести измерений.

алмазы. Пентландит является продуктом распада при охлаждении сульфидного расплава, богатого Ni, Fe и Cu. Такое явление характерно для сульфидных включений в алмазах и его минералах-спутниках [3—5, 9]. Исходя из особенностей состава включения сульфида предполагается ультраосновной парагенезис микроалмазов, что коррелирует с ранее полученными данными по минералам-включениям в макроалмазах из трубок им. Ломоносова и Пионерская [8].

Такие зафиксированные нами в архангельских микроалмазах минеральные выделения, как серпентин, тальк, хлорит, слюда, апатит, карбонат и хромшпинелид, мы относим к включениям невыясненного происхождения, т. к. не имеем доказательств их герметичности в кристаллах алмаза. Особенно трудно определить статус включений хромшпинелида, апатита, карбоната и слюды, которые могут быть сингенетическими алмазу.

Почти все минералы сростков с алмазом (хромшпинелид, титанит, тальк, серпентин) по химическому составу подобны минералам кимберлитов, обычно фиксируемым в трубках им. Ломоносова и Пионерская [2]. Возможно, хромшпинелид и титанит кристаллизовались в кимберлитовой магме и срастались с ранее образованными алмазами, а серпентин и тальк — продукты изменения оливина или пироксена.

Что касается выделения микроалмазов из трубок им. Ломоносова и Пионерская в отдельную (раннюю, высокотемпературную) популяцию [18], то полученные результаты изучения включений в микроалмазах и их срост-

ков еще более усложнили выяснение этого вопроса. Установление в микроалмазах из этих трубок сингенетических минеральных включений не противоречит отнесению этих алмазов к ранней высокотемпературной популяции, в то же время наличие некоторых сростков с микроалмазами может быть свидетельством их кристаллизации или роста их внешних зон в более позднюю стадию, в том числе в кимберлитовой магме. Кристаллизация микроалмазов именно на определенном этапе кимберлитового процесса (при подъеме на более высокие уровни при достижении флюидного насыщения непосредственно перед извержением) предполагается в работе [21].

Не очень высокая степень агрегации азота во многих микроалмазах из трубок им. Ломоносова и Пионерская [12] предполагает их относительно недолгое пребывание в мантии, что может быть свидетельством их кристаллизации незадолго до извержения кимберлитовой магмы. Кроме этого, в пользу версии о более позднем, относительно макроалмазов, образовании микроалмазов свидетельствует еще ряд их особенностей: достаточно высокое содержание азота, малые размеры кристаллов, их доминирующая октаэдрическая форма и отсутствие признаков сильного растворения кристаллов, а также ассоциация с хромшпинелидом, обогащенным примесью марганца.

Авторы выражают благодарность Р. Томасу (Центр геологических исследований г. Потсдам, Германия) за помощь при диагностике включения энстатита в микроалмазе.

1. Блинова Г.К., Вержак В.В., Захарченко О.Д. и др. Примесные центры в алмазах из двух кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. — 1997. — **38**, № 2. — С. 358—370.
2. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. — 524 с.
3. Боткунов А.И., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. Минеральные включения в гранатах из кимберлитов Якутии // Зап. ВМО. — 1983. — 112, вып. 3. — С. 311—324.
4. Буланова Г.П., Спецус З.В., Лескова Н.В. Сульфиды в алмазах и ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии. — Новосибирск: Наука, 1990. — 120 с.
5. Буланова Г.П., Шестакова О.Е., Лескова Н.В. Включения сульфидов в якутских алмазах // Зап. ВМО. — 1982. — **111**, вып. 5. — С. 557—562.
6. Вишневецкий А.А., Квасница В.Н., Захарченко О.Д., Иванов А.С. Структуры распада в хромшпинелидах — включениях в кристаллах алмаза из кимберлитов Беломорья // Минерал. журн. — 1997. — **19**, № 3. — С. 81—87.
7. Гаранин В.К., Дамметт Х.Т., Амтауер Г. и др. Внутреннее строение и спектроскопические характеристики алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова // Докл. РАН. — 1997. — **353**, № 2. — С. 223—227.
8. Ефимова Э.С., Захарченко О.Д., Соболев Н.В., Махин А.И. Включения в алмазах одной из кимберлитовых трубок // Зап. ВМО. — 1989. — **118**, вып. 2. — С. 74—76.
9. Ефимова Э.С., Соболев Н.В., Поспелова Л.Н. Включения сульфидов в алмазах и особенности их парагенезиса // Там же. — 1983. — **112**, вып. 3. — С. 300—310.

10. *Захарченко О.Д.* Типоморфные особенности алмазов юго-восточного Беломорья и их поисковое значение : Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — М., 1994. — 29 с.
11. *Захарченко О.Д., Харьков А.Д., Ботова М.М. и др.* Включения глубинных минералов в алмазах из кимберлитовых пород севера Восточно-Европейской платформы // Минерал. журн. — 1991. — **13**, № 5. — С. 42—52.
12. *Ильченко Е.А., Квасница В.Н., Таран М.Н.* Примесные дефектные центры в микроалмазах из кимберлитовых трубок Архангельской и Якутской провинций России (по данным инфракрасной спектроскопии) // Структура и разнообразие минерального мира : Материалы междунар. минерал. сем. — Сыктывкар : ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2008. — С. 241—243.
13. *Квасница В.Н., Захарченко О.Д., Вишневский А.А., Мельников В.С.* Морфология минеральных включений в алмазах Беломорья // Минерал. журн. — 1993. — **15**, № 4. — С. 38—46.
14. *Махин А.И.* Кристалломорфология и физические особенности алмазов месторождения им. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция) : Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Львов, 1991. — 20 с.
15. *Палкина Е.Ю.* Типоморфизм мелких алмазов Восточно-Европейской платформы : Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Львов, 1992. — 23 с.
16. *Побережська І.В.* Типоморфізм кристалів алмазу із кимберлітів і розсіпів окремих рудних полів Архангельської алмазоносної провінції : Автореф. дис. ... канд. геол. наук. — Львів, 1995. — 24 с.
17. *Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Реймерс Л.Ф. и др.* Минеральные включения в алмазах Архангельской кимберлитовой провинции // Геология и геофизика. — 1997. — **38**, № 2. — С. 358—370.
18. *Хачатрян Г.К.* Сравнительная характеристика алмазов из трубок Золотицкого и Верхотинского полей по данным инфракрасной спектроскопии // Материалы 2-й междунар. конф. "Прогнозирование и поиски коренных и россыпных алмазных месторождений" (Симферополь — Ялта). — 2006. — С. 298—304.
19. *Kaminsky F.V., Khachatryan G.K.* Characteristics of nitrogen and other impurities in diamond, as revealed by infrared absorption data // Can. Mineral. — 2001. — **39**. — P. 1733—1745.
20. *Khachatryan G.K., Kaminsky F.V.* "Equilibrium" and "nonequilibrium" diamonds from deposits in the East European platform, as revealed by infrared absorption data // Ibid. — 2003. — **41**. — P. 171—184.
21. *Pattison D.R.M., Levinson A.A.* Are euhedral microdiamonds formed during ascent and decompression of kimberlite magma? Implications for use of microdiamonds in diamond grade estimation // Appl. Geochem. — 1995. — **10**, No 6. — P. 725—738.

Ин-т геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины, Киев
Центр геол. исследований, Потсдам, Германия
Горноруд. т-во Катака, Ангола

Поступила 15.01.2009

РЕЗЮМЕ. Досліджено мінеральні зростки з 23 мікроалмазами і мінеральні включення в п'яти мікроалмазах із двох трубок Золотицького поля Архангельської кимберлітової провінції: ім. Ломоносова та Піонерської. Мінерали зростків з мікроалмазами виявилися хромшпінелідом, титанітом, тальком і серпентином. Вони, мабуть, утворюються в кимберлітах на стадії, що передє їхньому виверженню. Тальк і серпентин можуть також належати до продуктів зміни піроксену і олівіну. Як сингенетичні включення, що належать до ультраосновного парагенезису, в двох архангельських мікроалмазах окремо встановлені енстатит і пентландит, що раніше не був відомий у архангельських алмазах. Тальк, серпентин, хлорит, слюда, апатит, карбонат і хромшпінелід, вивчені у трьох мікроалмазах, складають групу включень нез'ясованого походження.

SUMMARY. Mineral inclusions from 5 microdiamonds (< 0.5 mm) and mineral intergrowths with 23 microdiamonds from Lomonosov and Pionerskaya pipes referred to Zolotitsky field of Arkhangelsk kimberlitic province have been studied. Mineral intergrowths with microdiamonds Cr — spinel, titanite, talc and serpentine were detected. It is quite possible that they were formed in kimberlites during an early or pre-eruptive stage in the mantle. Talc and serpentine also could be the products of low-temperature alteration of pyroxenes and olivine. Pentlandite and enstatite were separately detected in two Arkhangelsk microdiamonds as syngenetic inclusions. They belong to ultramafic paragenesis. Chemical composition of pentlandite (wt. %): 1) Ni — 35.41, Fe — 29.20, Cu — 2.90 and S — 32.57; 2) Ni — 34.94, Fe — 32.65, Cu — 0.04 and S — 32.37. Pentlandite was determined in the Arkhangelsk diamonds for the first time. Such mineral phases detected in three studied microdiamonds, as talc, serpentine, chlorite, mica, apatite, carbonate and chrome-spinel are inclusions of unknown origin.