

Б.М. Осовецкий

Пермский государственный национальный
исследовательский университет. Пермь

ИЛЬМЕНИТ-СЕРПЕНТИНОВЫЕ МИКРОАГРЕГАТЫ В КИМБЕРЛИТАХ ТРУБКИ НОВИНКА-1

Приводятся результаты электронномикроскопического изучения микроагрегатов в кимберлите Новинка-1. Морфологически они представлены сростаниями микрочастиц, приуроченными к микротрещинам. В их химическом составе преобладают оксиды титана, магния, железа и кремнезем, в минеральном составе присутствуют две фазы – серпентин и лейкоксенизированный ильменит. Формирование микроагрегатов происходит в постмагматическую стадию в условиях интенсивной серпентинизации кимберлита.

Ключевые слова: кимберлит, микроагрегаты, серпентин, ильменит.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2021.159

Пикроильменит относится к спутникам алмазов кимберлитового происхождения, которые наиболее часто используются в поисковой практике с высокой эффективностью. Особенности кристаллической структуры, минералогии и химического состава кимберлитовых пикроильменитов достаточно хорошо изучены и опубликованы в многочисленной специальной литературе [1–4, 6].

Ильменит подвергается различным изменениям под влиянием среды и наложенных процессов (образование реакционных каёмки, лейкоксенизация, изменение поверхности, образование гомогенных или агрегатных выделений и др.). В некоторых кимберлитах обнаружены зерна ильменита агрегатного строения и блоковой структуры с присутствием карбонатного и серпентинового вещества в промежутках между блоками [6].

Среди необычных его разновидностей обнаружены т.н. «слоистые» индивиды. Основу их структуры составляют слои пикроильменита с содержанием MgO порядка 11–13%, в промежутках между которыми находится серпентин [6]. На поверхности кристаллов пикроильменита присутствуют реакционные каёмки, сложенные серпентин-карбонатными и серпентин-хлоритовыми агрегатами.

Специфические реакционные каёмки были исследованы на кристаллах пикроильменита в трубке Зарница. В их составе доля кремнезема составляет порядка 20–40% и MgO – 23–32% при небольшом количестве

диоксида титана (менее 2,7%). Их образование связано с процессом келифитизации поверхности минерала [5].

Объект и методика исследования. Объектом нашего исследования являются необычные агрегаты в составе связующей массы кимберлитов трубки Новинка-1 (Верхне-Мунское кимберлитовое поле Якутии). В этих кимберлитах присутствуют только одна фаза внедрения (в отличие от большинства других трубок этого поля), разнообразные ксенолиты глубинных пород (дуниты, оливиниты, гранатовые лерцолиты, гранат-шпинелевые гарцбургиты) и метаморфических пород фундамента, характерна высокая степень серпентинизации и карбонатизации. В составе кимберлита отмечено присутствие кристаллов оливина разной крупности и пониженное содержание пикроильменита [1].

Из образца кимберлита трубки Новинка-1 был изготовлен аншлиф, который изучался автором под сканирующим электронным микроскопом JSM 6390LV (Jeol) с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 350 (Oxford Instruments). Режим работы прибора: рабочее расстояние 12 мм, напряжение 20 кВ, сила тока 15 мА.

Морфологические особенности микроагрегатов. Значительную часть поверхности аншлифа занимают выделения серпентина, развитые по оливину и веществу связующей массы кимберлита. В серпентиновом матриксе породы отмечены кристаллы оливина, низкомагнезиального ильменита, диопсида, апатита, перовскита, альбита, магнетита и др.

При сканировании поверхности аншлифа обнаружено большое количество микроагрегатов в трещинах (рис. 1а, б). Качественный микронзондовый анализ показал однообразие и выдержанность их химического состава. Заполнение микротрещин агрегатным веществом по протяженности достигает нескольких сотен микрометров при ширине от единиц до 20 мкм.

В серпентиновом матриксе на участках с высокой пористостью встречаются аналогичные микроагрегаты, не связанные с микротрещинами, в виде отдельных «островков» (рис. 1в). Существуют также протяженные зоны шириной до 20 мкм и более, в которых микроагрегаты в трещинах чередуются с «островковыми» выделениями.

Характерная агрегатная микроструктура описываемых выделений проявляется на электронных микрофотографиях с увеличением свыше 5 тыс. крат (рис. 1г). При увеличении порядка 10 тыс. крат и более выделяется два типа микроагрегатов: с более крупными и компактными фрагментами размером до 10 мкм и более, имеющими характерное сотовое строение (они составляют основу микроагрегатов), и с микросростками частиц размером обычно менее 1 мкм, образующими довольно «рыхлые» структурные постройки (рис. 1д, е).

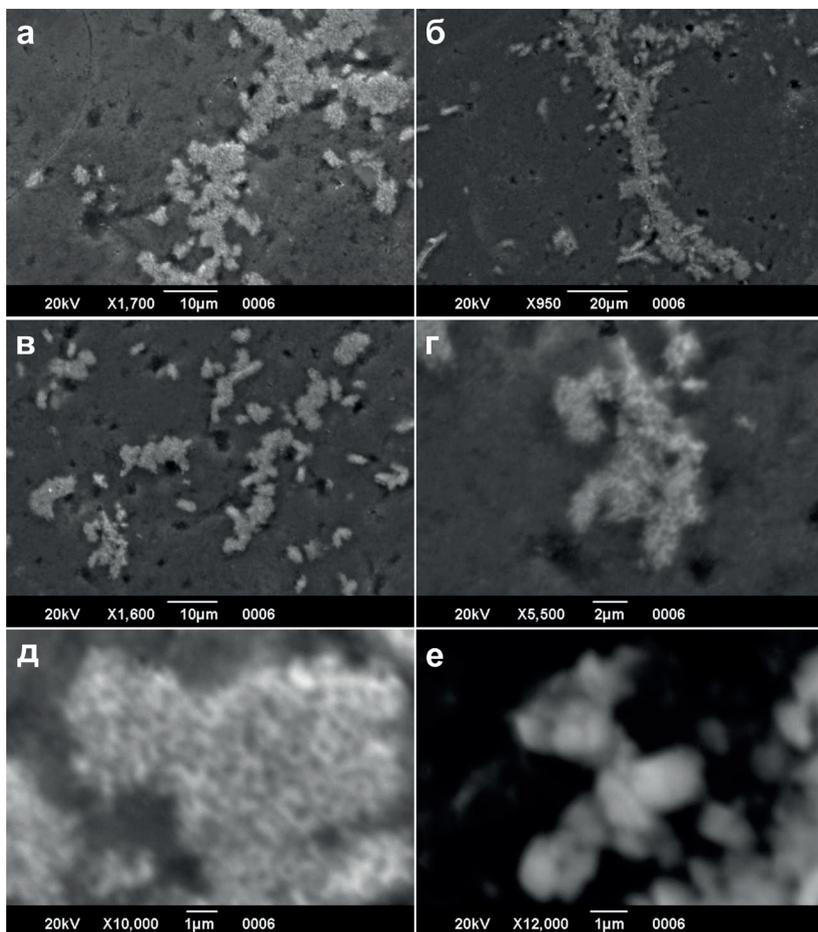


Рис. 1. Ильменит-серпентинитовые микроагрегаты в кимберлитах трубки Новинка-1. а, б - выделения микроагрегатов в трещинах; в - «островковые» выделения микроагрегатов; г - микроструктура фрагмента микроагрегата; д, е - фрагменты микроагрегатов: д – крупные сотовой структуры, е – субмикронных размеров

Химический состав микроагрегатов. Данные количественного микронзондового анализа свидетельствуют о преобладании в химическом составе микроагрегатов четырех компонентов: оксидов титана, железа, магния и кремнезема. С учетом вариаций содержания кремнезема среди микроагрегатов выделены две группы: 1) с содержанием SiO_2 больше 15% (до 25%) и 2) с содержанием SiO_2 от 7 до 12% (табл. 1, 2).

Первая группа микроагрегатов сложена более крупными

фрагментами, имеющими сотовое строение. Они приурочены к довольно протяженным трещинам и отличаются более плотной упаковкой частиц. Вторая группа состоит из частиц субмикронного размера, которые образуют «рыхлые» скопления размером до 10 мкм.

Основные закономерности вариаций химического состава микроагрегатов заключаются в синхронном изменении содержаний, с одной стороны, MgO и SiO₂ и, с другой, – TiO₂ и FeO* (рис. 2а, б).

Таблица 1

Химический состав микроагрегатов с высоким содержанием кремнезема, мас. %

Оксид	Номер анализа								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	0,42	-	-	-
SiO ₂	25,2	24,2	22,69	19,8	22,04	15,71	15,69	17,07	21,09
TiO ₂	25,8	26,7	27,60	31,2	29,12	33,92	31,12	34,65	30,65
Al ₂ O ₃	0,64	0,76	0,53	0,43	0,62	0,64	0,79	0,46	-
V ₂ O ₃	-	-	0,13	-	-	-	0,19	-	-
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	0,30	-	-
FeO*	20,9	20,7	23,21	24,8	22,61	26,09	29,91	26,47	23,65
MgO	24,4	24,4	22,17	19,9	22,15	18,81	18,71	17,45	21,00
MnO	2,86	2,68	3,11	3,32	3,17	3,89	2,97	3,55	3,03
CaO	0,29	0,43	0,41	0,25	0,28	0,36	-	0,35	0,27
CoO	-	-	-	0,11	-	0,16	0,22	-	0,22
NiO	-	-	0,13	0,18	-	-	0,11	-	0,10

Таблица 2

Химический состав микроагрегатов с пониженным содержанием кремнезема, мас. %

Оксид	Номер анализа				
	10	11	12	13	14
P ₂ O ₅	-	-	0,41	-	-
SiO ₂	7,27	7,25	9,63	11,67	8,60
TiO ₂	41,13	42,47	41,97	39,66	43,08
Al ₂ O ₃	0,15	0,84	0,33	0,39	-
V ₂ O ₃	-	-	0,39	0,32	0,24
FeO*	36,53	33,71	32,20	30,10	31,89
MgO	9,51	10,67	9,56	12,81	10,72
MnO	4,85	4,33	4,73	4,76	4,69
CaO	0,38	0,53	0,42	0,29	0,45
CoO	-	0,21	0,21	-	0,15
NiO	0,18	-	0,15	-	0,19

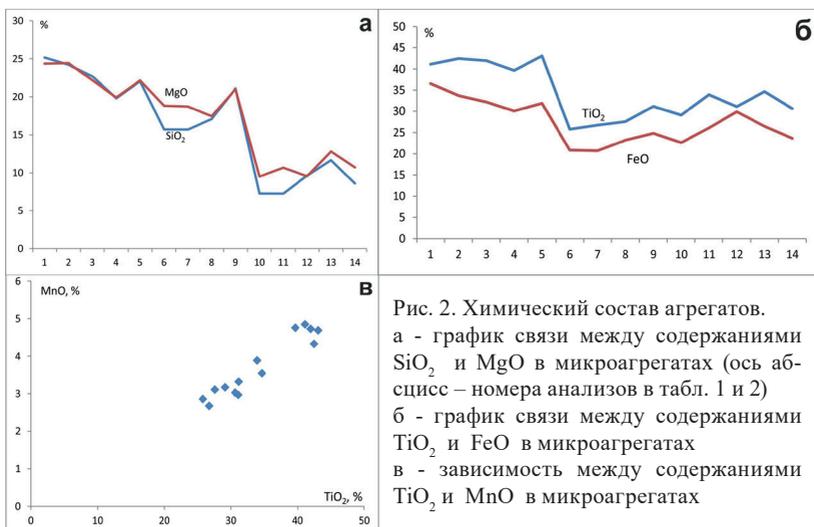


Рис. 2. Химический состав агрегатов.
 а - график связи между содержаниями SiO₂ и MgO в микроагрегатах (ось абсцисс – номера анализов в табл. 1 и 2)
 б - график связи между содержаниями TiO₂ и FeO в микроагрегатах
 в - зависимость между содержаниями TiO₂ и MnO в микроагрегатах

Заметную роль в составе микроагрегатов играют оксиды марганца (содержания от 2,68 до 4,85%), для которых отмечена достаточно тесная корреляционная связь с содержанием оксида титана (рис. 2в).

Минеральный состав агрегатов. Синхронное изменение содержаний основных компонентов позволяет выделить в составе микроагрегатов две минеральные фазы – силикатную и оксидную.

Силикатная фаза с учетом соотношения главных компонентов (тесная связь между содержаниями SiO₂ и MgO) может быть отнесена к серпентину. Об этом свидетельствует почти полное совпадение кривых на графике (см. рис. 2а). Более высокое содержание оксида магния по сравнению со стехиометрическими значениями для серпентина объясняется его присутствием также и в оксидной фазе. Участие серпентина в формировании микроагрегатов вполне объяснимо, принимая во внимание высокую степень серпентинизации кимберлита трубки Новинка-1.

Небольшое количество оксида кальция (0,25–0,53%) в микроагрегатах также можно отнести на долю серпентиновой фазы. Это относится и к глинозему (содержание до 0,84%), т.к. для серпентина характерно присутствие Al-содержащей разновидности.

Вторая минеральная фаза, составляющая микроагрегаты, очевидно, является ильменитом. Об этом свидетельствует синхронное изменение содержаний оксидов железа и титана (см. рис. 2б). Некоторое расхождение кривых на данном графике объясняется присутствием в ильмените других элементов, особенно магния и марганца. Если исключить из содержания

MgO основную долю, приходящуюся на серпентин, то на долю оксида магния в ильмените отдельных микроагрегатов приходится до 4,6%.

Характерным элементом-примесью в ильмените является также марганец. Тесная положительная связь между содержаниями титана и марганца (см. рис. 2в) позволяет сделать вывод о том, что оба элемента находятся в одной минеральной фазе. В отличие от магния, марганец постоянно присутствует в ильмените, причем содержание MnO составляет от 4,4 до 6,3%.

Особенностью химического состава ильменита в микроагрегатах является повышенное содержание TiO_2 . Эта аномалия может быть объяснена лейкоксенизацией ильменита, которая могла сопровождаться образованием сотовой структуры фрагментов в составе микроагрегатов.

Обсуждение результатов. Присутствие ильменит-серпентиновых микроагрегатов в кимберлите может указывать на наличие в их составе зон концентрации микрокристаллов ильменита, природа которых пока не установлена. Приуроченность к микротрещинам позволяет предположить их вторичное происхождение. Однако, возможно также замещение серпентином кристаллов оливина, содержащих значительное количество мелких частиц ильменита в микротрещинах.

Различие структуры, химического и минерального состава микроагрегатов указывает на сложность процессов их формирования. Одним из характерных отличий является разное соотношение серпентина и ильменита. В микроагрегатах с более высоким содержанием ильменита пониженная доля серпентинового компонента может быть обусловлена недостатком свободного пространства между зернами ильменита. Для ильменита в их составе характерна повышенная доля гейкилитового и особенно пирофанитового миналов. Микроагрегаты с преобладанием серпентина образуются в других условиях: они сложены более мелкими частицами ильменита, отличаются довольно «рыхлой» структурой.

Характерно, что при сканировании поверхности микроагрегатов с выполнением качественного микронзондового анализа не удалось обнаружить присутствия «чистых» фаз серпентина и ильменита. Можно предположить, что серпентин присутствует в них в виде налетов и пленок на зернах ильменита или как связующая масса внутри плотных скоплений микрочастиц ильменита.

Доля описанных выше микроагрегатов ильменит-серпентинового состава в общей минеральной массе кимберлита невелика и вряд ли достигает нескольких процентов. Однако они могут рассматриваться как индикаторы особых условий постмагматического процесса минералообразования. В частности, их образование могло быть связано

с деятельностью минерализованных растворов, каналами проникновения которых являлись зоны трещиноватости кимберлита.

Процессы интенсивной серпентинизации кимберлита сопровождались лейкоксенизацией ильменита. Ранее отмечалось, что ассоциация серпентина и лейкоксена является надежным свидетельством постмагматического процесса замещения ильменита. При этом зоны серпентинизации совместно с лейкоксеном нередко наблюдались внутри зерен пикроильменита [6]. Достаточно высокое содержание марганца в ильмените также является одним из признаков постмагматического образования [1].

Изучение минералов-спутников алмаза под электронным микроскопом является важным направлением получения дополнительной информации о процессах формирования и преобразования кимберлитовых пород, их микроминеральном составе. В частности, доля ильменита, скрытая в микроагрегатах в кимберлитах подобного типа, может быть не учтена при минералогическом анализе. Применение минералогических методов при поисках трубок аналогичного состава и генезиса может оказаться существенно ограниченным из-за малого количества крупных зерен минералов-индикаторов алмазоносности.

Библиографический список

1. Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В. и др. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России. М.: ГЕОС, 2009. 498 с.
2. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. Применение электронно-зондовых приборов для изучения минерального вещества. М.: Недра, 1983. 216 с.
3. Зинчук Н.Н. Постмагматические минералы кимберлитов. М.: Недра, 2000. 538 с.
4. Костровицкий С.И. Геохимические особенности минералов кимберлитов. Новосибирск: Наука, 1986. 263 с.
5. Силаев В.И., Тарских О.В., Сухарев В.Е., Филиппов В.Н. Келифитизация мантийного пикроильменита на примере алмазоносной трубки Зарница // Вестник Ин-та геологии Уоми НЦ УрО РАН. 2008. № 5. С. 5-10.
6. Хмельков А.М. Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования. Новосибирск: АРТА, 2008. 252 с.

ILMENITE-SERPENTINE MICROAGGREGATES IN KIMBERLITES OF NOVINKA-1 TUBE

В.М. Osovetsky

opal@psu.ru

The methods of electron microscopy are applies for study of ilmenite-serpentine microaggregates in kimberlite tube Novinka-1 (Yakutia, Russia). They are situated in microcracks in serpentine, and are presented by aggregations of micrometer ilmenite particles cemented by serpentine masses. These microaggregates were originated in post-magmatic stage of kimberlite-forming process.

Keywords: kimberlite, microaggregates, ilmenite, serpentine.