

УДК 549.621.98 (470.1)

**ГРАНАТ ПИРОП-МЕДЖОРИТОВОГО РЯДА ИЗ ЛАМПРОФИРОВ СРЕДНЕГО ТИМАНА**

Н.И. Брянчанинова, А.Б. Макеев

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва,  
ni@igem.ru, abmakeev@igem.ru*

В керсантитовых и спессартитовых дайках Четласского Камня на Среднем Тимане среди аксессуарных гранатов, минералов, очень незначительно распространенных в лампрофирах, впервые обнаружен редко встречающийся гранат пироп-меджорит с высоким содержанием меджоритового минала  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$  (26–42%), сходный по составу с меджоритовым гранатом из метеорита. Меджорит, открытый в метеорите Курара (Mason *et al.*, 1968; Smith, Mason, 1970), в земных породах наблюдался крайне редко. Показано, что пироп с высоким содержанием меджоритового минала всегда, так или иначе, связан с алмазом. В одних случаях он находится в виде включений в кристаллах алмаза, в других — в породах, где отмечен такой гранат, имеются находки микрокристаллов алмаза. Пироп-меджоритовый гранат в лампрофирах свидетельствует о сверхглубоком зарождении лампрофировых магм.

В статье 2 таблицы, 2 рисунка, список литературы из 14 наименований.

Ключевые слова: меджорит, пироп, лампрофиры, Тиман, включения в алмазах, сверхглубинные минеральные парагенезисы.

Аксессуарные гранаты в лампрофирах Тимана относятся к числу микроминералов и встречаются в автолитах, мантийных ксенолитах, в оливиновых и пироксеновых вкрапленниках, а также в основной массе породы, являясь большой редкостью и распределяясь крайне неравномерно. По составу гранатов, распространенных в лампрофирах, можно выделить три минеральных ряда: гроссуляр-альмандин, иногда содержащий небольшое количество пиропового минала, андрадит-гроссуляр и пироп-меджорит (табл. 1, рис. 1, 2). Химический состав минералов определялся на волновом (JEOL-733 Superprobe в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН) и энергодисперсионном (JSM-5610LV в ИГЕМ РАН) микроанализаторах. Результаты оказались очень близкими в дублирующих определениях. В тяжелой фракции проб гранаты составляют от единичных знаков до 0.5%. Пироп-меджорит имеет желтовато-коричневую и розоватую окраску, ромбо- и пентагон-додекаэдрический габитус и размер зерен 0.005–0.05 мм. Зерна других разновидностей гранатов достигают 1.6 мм. В лампрофирах Четласского Камня преобладают железо-кальциевые разновидности гранатов и пироп-меджорит (рис. 2).

Гранаты из неизменной основной массы (гроссуляр-альмандин, андрадит, андрадит-гроссуляр) идиоморфные, а в серпентин-хлорит-кальцитовых и эпидот-кальцитовых агрегатах они заметно корродированы и окружены келифитовыми каймами разной толщины и состава. Эти признаки свидетельствуют в пользу раннего глубинного формирования этих гранатов. Пироп с высо-

ким содержанием меджоритового минала  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$  (26–42%), подобный тому, который отмечался только в метеоритах и в виде мелких включений в сверхглубинных алмазах (Kaminsky *et al.*, 2001), встречен в нескольких образцах из трех даек керсантитов и спессартитов.

**Меджоритовые гранаты и их минеральные ассоциации**

Меджоритовые гранаты были описаны как включения в алмазах (табл. 2) из разных алмазоносных провинций мира: поля Жуина в Бразилии, района Снеп-Лейк в Канаде, Якутской провинции в России, из россыпей района Канкан в Гвинее и некоторых других (Kaminsky *et al.*, 2001; Похиленко и др., 2001; Sobolev *et al.*, 2004; Stachel *et al.*, 2000; Moore *et al.*, 1991), а также в альнётитовых лавах о. Малайта, Соломоновы о-ва (Collerson *et al.*, 2000). Однако исследователи не всегда правильно представляют меджоритовую компоненту в гранатах, и понятие гранат меджорит в научной литературе имеет двойственное толкование. В большинстве упомянутых работ под меджоритом понимают гранат, в составе которого, по данным микроанализов, наблюдается избыточное содержание  $SiO_2$ , т.е. нестехиометрия между катионами и избыток кремния в тетраэдрической позиции. Находкам такого «меджоритового» граната обычно придают большое значение, связывая его образование со сверхвысокими давлениями и приуроченностью коренных источников к переходной зоне мантии.

Современная минералогия строго в соответствии с принятой систематикой гранатов



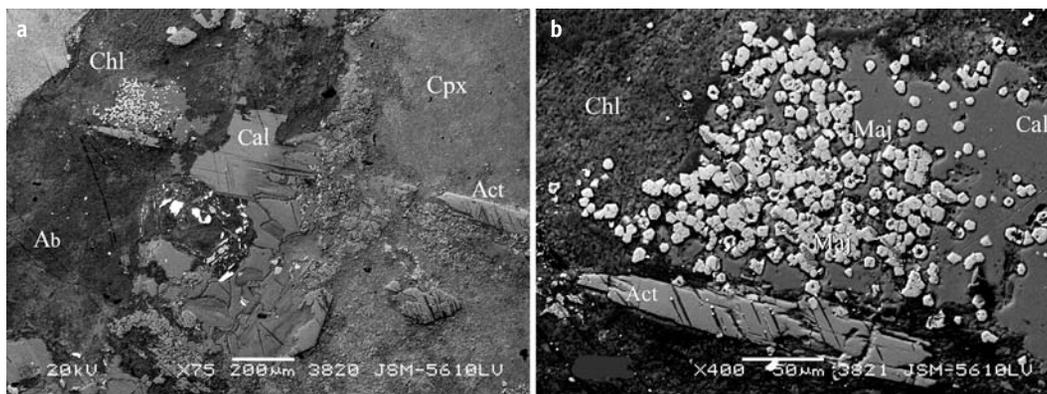


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение полированного препарата лампрофира – керсантита (обр. 38/180, Косьюское поле, Средний Тиман, Россия). Гранаты пироп-меджорит-андрадит, андрадит-гроссуляр, андрадит-пироп-гроссуляр ассоциируют с авгитом – Crx, актинолитом – Act, хлоритом (корундофиллитом) – Chl, кальцитом – Cal, альбитом – Ab. Размер ромбодекаэдрических кристаллов граната – Maj от 5 до 15 микрон. а – увеличение 75, б – 400.

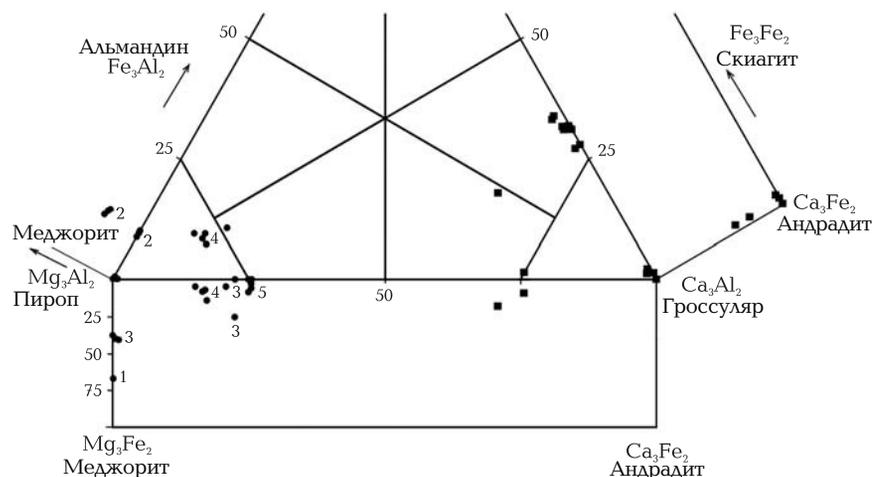


Рис. 2. Фигуративные точки состава гранатов на развертке треугольной призмы в координатах содержания миналов меджорит-андрадит-скиагит'-пироп-гроссуляр-альмандин: 1 – меджорит из метеорита Курара (первый состав, утвержденный КНМНК ММА), 2 – гранаты из включений в алмазах из кимберлитовых трубок поля Жуна (Бразилия), 3 – из лампрофиров Среднего Тимана (Россия), 4 – из включений в алмазах из кимберлитовых трубок района Снеп-Лейк (Канада), 5 – из ксенолитов в альнётитовых лавах о. Малайта, Соломоновы о-ва, Тихий океан. Черные квадраты – железо-кальциевые гранаты из исследуемых лампрофиров (табл. 1), ассоциирующие с пироп-меджоритами. \* – скиагит – гипотетический гранатовый минал  $Fe_3Fe_2(SiO_4)_3$ .

выделяет меджорит, идеализированная формула которого записана как  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$  (Bask, Mandarin, 2008). Гранат со 100% содержанием меджоритового минала пока не найден. Пересчет анализов показывает, что в самых первых находках индивидов меджорита, обнаруженных в австралийском метеорите, около 66% приходится на долю меджоритового минала, остальное составляет пироп.

Собственно минерал меджорит (majorite) открыт в 1970 г. в Курарском метеорите. Его формула  $Mg_3(Fe_{1,2}, Al_{0,6}, Si_{0,2})_2[SiO_4]_3$ , рассчитанная исходя из полученных микрозондовых анализов, предполагала вхождение части

кремния в октаэдрические позиции. Никакими специальными структурными исследованиями вхождение кремния в октаэдрические позиции трехвалентных катионов в гранатах не было доказано. Нестехиометрия и избыток кремнекислоты в составе реальных гранатов мельчайших включений (размер которых редко превышает 1–20 мкм), скорее всего, могут быть связаны с техническими возможностями микрозондового анализа или гетерофазностью образца, т.е. микроростками пироксена в гранате. Существование последних теперь уже является признанным фактом. В природном пиропе из гранатсодер-

Таблица 1. Химический (мас.%) и минальный (%) состав гранатов из лампрофиров Среднего Тимана, ассоциирующих с меджоритсодержащими пиропами

№№ проб	38/180		Ч-025		116/33				116/43.5		116/47		Ч-036В		Ч-036Г	
	1	2	1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	1	2	1	2
SiO <sub>2</sub>	35.39	36.80	36.92	38.78	38.98	38.81	38.78	38.98	38.81	38.71	38.91	39.32	38.64	38.83	38.75	38.84
TiO <sub>2</sub>	1.94	1.10	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.97	7.35	8.03	21.97	22.05	21.97	21.97	22.05	21.97	21.94	22.05	18.57	21.87	22.00	21.95	22.00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.19	0.00	0.00	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.01	21.76	20.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.84	1.20	1.34	14.00	13.47	14.67	14.00	13.47	14.67	15.29	11.92	7.85	13.77	13.71	14.25	13.40
CaO	31.74	26.01	33.25	25.25	24.62	23.96	25.25	24.62	23.96	23.60	27.12	23.29	25.19	24.89	24.89	25.57
MnO	0.46	0.00	0.24	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.28	0.17	0.08	0.05
MgO	0.64	5.79	0.00	0.00	0.88	0.52	0.00	0.88	0.52	0.46	0.00	5.19	0.00	0.39	0.08	0.15
Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	100.00	100.01
Si <sup>4+</sup>	2.904	2.939	2.998	3.001	3.002	3.001	3.001	3.002	3.001	2.999	2.998	3.001	2.993	3.000	3.000	3.000
Ti <sup>4+</sup>	0.119	0.066	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
Al <sup>3+</sup>	0.577	0.691	0.768	2.001	1.999	2.000	2.001	1.999	2.000	2.001	1.999	1.668	1.994	2.000	2.000	2.000
Cr <sup>3+</sup>	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.012	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>3+</sup>	1.419	1.306	1.227	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.304	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe <sup>2+</sup>	0.058	0.080	0.091	0.905	0.866	0.947	0.905	0.866	0.947	0.989	0.767	0.500	0.891	0.884	0.921	0.864
Ca <sup>2+</sup>	2.791	2.225	2.893	2.093	2.031	1.985	2.093	2.031	1.985	1.959	2.239	1.905	2.091	2.060	2.065	2.116
Mn <sup>2+</sup>	0.032	0.000	0.016	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.018	0.011	0.005	0.003
Mg <sup>2+</sup>	0.078	0.688	0.000	0.000	0.101	0.060	0.000	0.101	0.060	0.053	0.000	0.590	0.000	0.045	0.009	0.017
Pyr	2.6	<b>22.9</b>	0	0	3.4	2.0	0	3.4	2.0	1.7	0	17.9	0.6	1.5	0.3	0.6
Alm	1.9	2.7	3.0	<b>30.1</b>	<b>28.9</b>	<b>31.6</b>	<b>30.1</b>	<b>28.9</b>	<b>31.6</b>	<b>33.0</b>	<b>25.5</b>	<b>16.7</b>	<b>29.7</b>	<b>29.4</b>	<b>30.7</b>	<b>28.8</b>
Gros	<b>23.5</b>	9.1	<b>34.9</b>	<b>69.9</b>	<b>67.7</b>	<b>66.2</b>	<b>69.9</b>	<b>67.7</b>	<b>66.2</b>	<b>65.3</b>	<b>74.5</b>	<b>48.8</b>	<b>69.7</b>	<b>68.7</b>	<b>68.8</b>	<b>70.5</b>
Andr	<b>71.0</b>	<b>65.3</b>	<b>61.4</b>	0	0	0	0	0	15.2	0	0	0	0	0	0	0

Примечание: первичные анализы в процессе пересчетов приведены к 100%. Содержание двух- и трехвалентного железа в микрозондовых анализах разделено, исходя из стехиометрии гранатов.

жащих ксенолитов алмазоносных кимберлитов С. Хагерти и В. Сотте установили диопсид-жадеитовый твердый раствор — омфаци и показали, что при содержании клинопироксена в гранате 20 и 30% содержание SiO<sub>2</sub> составило 44 — 45.5% и кристаллохимические коэффициенты Si<sup>4+</sup> при пересчете на 12 атомов O, соответственно, 3.14 — 3.24 (Haggerty, Sautter, 1990; Sautter *et al.*, 1991).

Для сравнения меджоритовых гранатов из разных районов мы одинаковым образом пересчитали имеющиеся в упомянутых статьях данные химических анализов гранатов пироп-меджоритового ряда, понимая под меджоритом фазу Mg<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>, как это устанавливает современная систематика гранатов Международной Минералогической Ассоциации (Bacck, Mandarino, 2008).

**Последовательность расчета миналов в гранатах:** По стандартной методике рассчитываются коэффициенты в формуле (к.ф.) для всех элементов граната. Для микрозондовых анализов, определяющих только сум-

марное железо, вносится поправка — содержание суммы железа перераспределяется между FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, учитывая коэффициент 1.11 при переводе FeO в Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При этом достигается стехиометрия между суммами двух- и трехвалентных катионов в соотношении 3.000:2.000. Первым рассчитывается спессартин Mn<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>: 100 (к.ф. Mn<sup>2+</sup>)/3 = Спессартин (%). Вторым — алмадин Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>: 100 (к.ф. Fe<sup>2+</sup>)/3 = Алмадин (%). Третьим — андрадитовый минал — Са<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>, связывающий трехвалентное железо с кальцием: 100 (к.ф. Fe<sup>3+</sup>)/2 и 100 (к.ф. Са<sup>2+</sup>)/3, по меньшему значению определяется количество Андрадита (%). Четвертым — уваровит Са<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>, при наличии хрома и избытке кальция. Пятым — кноррингит Mg<sub>3</sub>Cr<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>: 100 (к.ф. Cr<sup>3+</sup>)/2 — «Уваровит» = Кноррингит (%). Этот минал может отсутствовать при высоком содержании кальция, тогда весь хром уходит в уваровитовый минал. Шестым — гроссуляровый минал Са<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>: 100 (к.ф. Са<sup>2+</sup>)/3 — «Ан-

драдит» — «Уваровит» = Гроссуляр (%). Седьмым — меджорит  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$ : 100 (к.ф.  $Fe^{3+}$ )/2 — «Андрадит» = Меджорит (%). Последним, восьмым, рассчитывается пироп —  $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$ : 100 (к.ф.  $Al^{3+}$ )/2 — «Альмандин» — «Гроссуляр» — «Спессартин» = Пироп (%). Только такая последовательность расчетов позволяет оценить содержание меджоритового минала. Оценка меджоритового минала по виртуальному избытку кремнекислоты в гранатах не может считаться правильной.

Как показали пересчеты, результаты которых приведены в таблице 2 и вынесены на развертку треугольной призмы (рис. 2), далеко не все заявленные образцы гранатов с меджоритовым миналом содержат его в

значительном количестве. Наиболее близки к меджориту из Курарского метеорита оказались пироповые гранаты с содержанием 26–42% меджоритового минала из среднетиманских лампрофиров и пироповые включения в алмазах поля Жуина (Бразилия) — 24–26% меджоритового минала. Для этих гранатов, также как и для меджорита из Курарского метеорита, характерно отсутствие хрома и кальция в их составе. Во всех других случаях гранаты содержат меджоритовый минал в меньших количествах — от 2 до 15%, зато в их составе появляются существенные примеси хрома и кальция. Все обсуждаемые гранаты отличаются высоким содержанием суммы магнезиальных миналов (пиропа, кноррингита и меджорита), т.е. магнезиаль-

Таблица 2. Химический (мас.%) и минальный (%) состав гранатов, содержащих меджоритовый минал

Компоненты	Курара	Бразилия			Лампрофиры Среднего Тимана				Снеп-Лейк, Канада					Альнэиты о. Малайта		
		108a	108b	108c	102/25	116/33116/4738/180	SL <sub>5</sub> -5	SL <sub>5</sub> -12	SL <sub>5</sub> -30	SL <sub>5</sub> -31	SL-133	161	159	CRN136		
SiO <sub>2</sub>	43.90	42.46	41.46	40.98	42.28	41.68	41.80	40.74	42.00	41.30	42.30	42.20	41.20	41.03	40.56	40.97
TiO <sub>2</sub>	0.00	1.83	1.95	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.13	0.06	0.19	0.05	3.20	4.09	3.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.98	17.22	18.82	18.03	14.71	13.90	13.39	11.55	17.20	15.20	9.46	12.30	16.70	16.00	15.60	14.99
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.10	0.12	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	8.37	10.20	12.80	11.80	7.71	0.01	0.05	0.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.88	10.00	10.00	9.00	14.70	15.60	16.25	17.93	1.65	2.20	4.95	3.30	2.20	10.73	11.96	11.47
FeO	0.00	3.59	4.37	5.20	0.00	0.00	0.44	0.00	4.56	4.50	3.14	3.52	5.38	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.67	8.61	3.73	4.76	5.11	4.68	5.70	9.75	9.45	9.81
MnO	0.00	0.23	0.30	0.25	0.00	0.37	0.34	0.00	0.28	0.32	0.33	0.32	0.33	0.16	0.16	0.16
MgO	27.61	24.48	24.16	24.00	28.31	28.18	27.10	21.17	22.20	21.10	21.20	21.10	20.00	14.54	14.27	14.90
Sum	100.37	99.81	101.18	99.89	100.00	100.00	100.00	100.00	100.05	99.71	99.35	99.41	99.27	95.42	96.14	95.41
Si <sup>4+</sup>	3.176	3.013	2.920	2.930	2.998	2.976	2.998	3.003	3.012	3.008	3.132	3.092	3.010	3.013	2.972	3.022
Ti <sup>4+</sup>	0.000	0.098	0.103	0.127	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.007	0.003	0.010	0.003	0.176	0.225	0.172
Al <sup>3+</sup>	0.594	1.438	1.560	1.517	1.228	1.168	1.130	1.002	1.452	1.303	0.824	1.061	1.436	1.383	1.345	1.301
Cr <sup>3+</sup>	0.000	0.006	0.007	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.474	0.586	0.748	0.683	0.445	0.001	0.003	0.000
Fe <sup>3+</sup>	1.189	0.533	0.529	0.483	0.783	0.837	0.876	0.993	0.089	0.120	0.275	0.182	0.121	0.592	0.659	0.636
Fe <sup>2+</sup>	0.000	0.213	0.257	0.310	0.000	0.000	0.027	0.000	0.273	0.274	0.194	0.215	0.328	0.000	0.000	0.000
Ca <sup>2+</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021	0.051	0.68	0.287	0.371	0.405	0.367	0.446	0.767	0.742	0.775
Mn <sup>2+</sup>	0.000	0.014	0.018	0.015	0.000	0.023	0.021	0.000	0.017	0.020	0.021	0.020	0.020	0.010	0.010	0.010
Mg <sup>2+</sup>	2.974	2.586	2.534	2.555	2.988	2.996	2.894	2.322	2.370	2.288	2.337	2.302	2.176	1.589	1.557	1.636
Pir	33.3	65.0	65.0	65.0	60.9	57.5	54.6	50.0	62.7	54.4	40.2	45.5	59.5	69.0	67.0	65.0
Knor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	17.2	23.8	21.7	7.5	0.0	0.0	0.0
<b>Maj</b>	<b>66.6</b>	<b>27.0</b>	<b>26.0</b>	<b>24.0</b>	<b>39.1</b>	<b>41.1</b>	<b>42.1</b>	<b>26.4</b>	<b>4.5</b>	<b>6.0</b>	<b>14.0</b>	<b>9.1</b>	<b>6.0</b>	<b>4.0</b>	<b>8.5</b>	<b>6.0</b>
Uvr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	12.3	13.7	12.2	15.0	0.0	0.0	0.0
Alm	0.0	7.0	9.0	10.0	0.0	0.0	0.9	0.0	9.0	9.0	6.3	7.3	11.0	0.0	0.0	0.0
Spes	0.0	0.3	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	0.0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.3	0.3	0.3
Andr	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.7	22.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0	25.0	26.0

Примечание: гранаты из лампрофиров Среднего Тимана — данные авторов, остальные анализы — из литературных источников: метеорит Курара (Smith, Mason, 1970), район Жуина, Бразилия, включения в алмазах (Kaminsky et al., 2001), Снеп-Лейк, Канада, включения в алмазах (Похиленко и др., 2001), альнэиты о. Малайта, Соломоновы о-ва (Collerson et al., 2000).

ной компоненты Mg# (от 75 до 100%). Очевидно, именно эта характеристика и является индикатором условий высокобарического формирования минерального парагенезиса. Следует отметить, что в алмазонасных породах меджоритовый минал встречается в гранатах ультраосновного парагенезиса и не обнаруживается в гранатах эколгитового.

Меджоритовые гранаты описаны в шпинелевых и гранат-шпинелевых ксенолитах и мегакристах из альнётитов о. Малайта (Соломоновы острова) и отнесены к минеральному парагенезису высокого давления, куда также вошли кальциевый и магнезиальный перовскит, алюминиевые силикатные фазы и микроромбикристалл алмаза (Collerson *et al.*, 2000). К.Р. Нил, С.Е. Хагерти и В. Сотте сочли преждевременным сообщение К.Д. Коллерсона с соавторами о находке меджорита в альнётитах и подвергли критике коэффициенты существенно больше 3 для Si в гранате в расчете на 12 атомов кислорода (Neal *et al.*, 2001). Они справедливо полагают, что большая часть приведенных анализов характеризует не гранаты, а примеси пироксенов и амфиболов, и что без рентгеновских данных их нельзя отнести к гранатам. Мы также находим, что среди анализов меджоритовых гранатов, приведенных К.Д. Коллерсоном и его соавторами, не все соответствуют гранату, и среди гранатов не все соответствуют меджоритовому гранату. Однако в отдельных зернах пироп-андрадита все же присутствует небольшое количество меджоритового минала  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$  (по нашим расчетам 4–8.5%).

Условия образования минерального парагенезиса *Ca*, *Mg*-перовскит + «меджорит» + алмаз определены К.Д. Коллерсоном с соавторами по эмпирическому барометру с использованием коэффициента кремния в формуле граната, что привело к очень высокой оценке давления — 22 ГПа и, соответственно, глубины кристаллизации данной минеральной ассоциации — 400–670 км (Collerson *et al.*, 2000). Эти расчетные данные совпадают с экспериментальными для безалюминиевых железо-магнезиальных гранатов. Кубический гранат меджорит, по данным Такуми Като, стабилен при давлении 20 ГПа в температурных условиях  $2000 \pm 200^\circ C$  (Kato, 1986).

### Обсуждение результатов

Нестехиометрия и избыток кремнекислоты в составе мельчайших включений в кристаллах алмаза реальных гранатов (размер которых редко превышает 1–20 мкм) могут быть вызваны двумя причинами: во-первых,

ошибкой микрозондового анализа, а во-вторых — микровключениями пироксенов в гранатах. Ошибки микрозондового анализа могут возникать из-за того, что микрозерна гранатов находятся в пироксеновой матрице, которая и дает более высокое, чем в гранате, содержание кремнезема.

Более интересен второй случай — микровключения пироксенов в гранатах. Размер кластеров пироксенов в гранате может быть таким, что для рядового исследования они останутся нераспознаваемыми, и содержание кремнезема в анализе превысит реальное содержание в гранате. Ориентированные включения пироксенов в гранатах, которые в свою очередь являются включениями в природные кристаллы алмаза из Бразилии и Южной Африки, были описаны многими исследователями (Moore *et al.*, 1991; Haggerty, Sautter, 1990; Sautter *et al.*, 1991). Экспериментальные исследования (Ringwood, 1967) дают основания предполагать, что ориентированные включения пироксенов в гранатах, установленные в природных гранатах, могут быть результатом распада твердого раствора гипотетического мантийного железо-магнезиального силиката. Правда, отсюда не следует, что обогащенная пироксеновым компонентом однородная фаза должна быть минералом с кубической структурой граната. Об этом свидетельствуют и находки тетрагональной алмадин-пироповой фазы (TAPP) во включениях в алмазах из россыпей Сан-Луиса, в районе Жуина, в Бразилии (Stachel *et al.*, 2005). Надо отметить, что и тетрагональные фазы, и гранаты, содержащие ориентированные вроски пироксенов, по данным авторов вышеупомянутых работ, имеют состав близкий к алмадин-пиропу.

Кроме того, все приводимые составы так называемого «меджорита» с избыточным количеством кремния отличаются значительным содержанием кальция, не характерного для оригинального меджорита. То есть, эти уникальные пироксен-гранатовые парагенезисы не имеют отношения к гранату  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$ , за которым Международная Минералогическая Ассоциация закрепила название «меджорит». А значит, гранат с избыточным количеством кремния не следует относить к меджориту только по этому признаку, чтобы уйти от двойственности толкования термина меджорит.

### Выводы

Собственно меджорит встречен в природе только однажды — в метеорите Курара.

Пироп с высоким содержанием меджоритового минала  $Mg_3Fe_2[SiO_4]_3$  (24–27%), подобный тому, который отмечался в метеорите, описан в виде мелких включений в сверхглубинных алмазах Бразилии (Kaminsky *et al.*, 2001). Еще более высокое содержание меджоритового минала в пиробах (до 42%) обнаружено нами в нескольких образцах лампрофиров из даек керсантитов и спессартитов Среднего Тимана. Это самые высокие содержания меджоритового минала на Земле.

Включения пироп-меджорита в алмазах в парагенезисе с феррипериклазом, перовскитом и марганцевым ильменитом свидетельствуют об образовании его в условиях сверхвысоких давлений. Мантийные ксенолиты в вулканитах с гранатом пироп-меджоритового ряда могут быть индикаторами глубинного происхождения таких пород. Таким образом, впервые обнаруженный в среднетиманских лампрофирах пироп с высоким содержанием меджоритового минала свидетельствует о сверхглубоком зарождении лампрофировых магм, которые могут быть генетически связаны с коренными источниками тиманских алмазов.

Находки так называемой тетрагональной алмадин-пироповой фазы убеждают нас в том, что минералогии стоят на пороге открытия нового минерального вида (с пониженной симметрией по сравнению с гранатом или с повышенной — относительно пироксена). Этот минерал в ряду трансформаций пироксен → гранат займет место, аналогичное вадслеиту в ряду оливин → вадслеит → рингвудит.

## Литература

- Похиленко Н.П., Соболев Н.В., Мак-Дональд Дж.А. и др. Кристаллические включения в алмазах из кимберлитов района Снеп-Лейк (кратон Слейв, Канада): новые свидетельства аномального строения литосферы // ДАН. **2001**. Т. 380. № 3. С. 374–379.
- Back M.E., Mandarino J.A. Fleischer's Glossary of Mineral Species 2008. The Mineralogical Record Inc. Tucson. **2008**. 344 p.
- Collerson K.D., Hapugoda S., Kamber B.S., Williams Q. Rocks from the Mantle Transition Zone: majorite-bearing xenoliths from Malaita, Southwest Pacific // Science. **2000**. V. 288. P. 1215–1223.
- Haggerty S.E., Sautter V. Upperdeep (Greater 300 kilometers), ultramafic upper mantle xenoliths // Science. **1990**. V. 248. P. 993–996.
- Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Davies R., *et al.* Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso State, Brazil // Contrib. Mineral. Petrol. **2001**. V. 140. P. 734–753.
- Kato T. Stability relation of (Mg,Fe)SiO<sub>3</sub> garnets, major constituents in the Earth's interior // Earth Planet. Sci. Lett. **1986**. V. 77. P. 399–408.
- Mason B., Nelen J., White J.S.Jr. Olivine-garnet transformation in a Meteorite // Science. **1968**. V. 160. P. 66–67.
- Moore R.O., Gurney J.J., Griffin W.L., Shimizu N. Ultra-high pressure garnet inclusions in Monastery diamonds: trace element abundance patterns and conditions of origin // Eur. J. Mineral. **1991**. N 3. P. 213–230.
- Neal C.R., Haggerty S.E., Sautter V. «Majorite» and «Silicate Perovskite» mineral composition in xenoliths from Malaita // Science. **2001**. V. 292. P. 1015.
- Ringwood A.E. The pyroxene-garnet transformation in the earth's mantle // Earth Planet. Sci. Lett. **1967**. V. 2. P. 255–263.
- Sautter V., Haggerty S.E., Field S. Upperdeep (> 300 kilometers) ultramafic xenoliths: petrological evidence from the Transition Zone // Science. **1991**. V. 252. P. 827–830.
- Smith J.V., Mason B. Pyroxene-garnet transformation in Coorara meteorite // Science. **1970**. V. 168. P. 832–833.
- Sobolev V.N., Logvinova A.M., Zhdgemizov D.A. *et al.* Mineral inclusions in microdiamonds and macrodiamonds from kimberlites of Yakutia: a comparative study // Lithos. **2004**. V. 77. N 1/4. P. 225–242.
- Stachel T., Brey G.P., Harris J.W. Kankan diamonds (Guinea) I: from the lithosphere down to the transition zone // Contrib. Mineral. Petrol. **2000**. V. 140. N 1. P. 1–15.
- Stachel T., Brey G.P., Harris J.W. Inclusions in sublithospheric diamonds: glimpses of deep Earth // Elements. **2005**. V. 1. N 2. P. 73–78.