

ГРАНАТ ЭКЛОГИТОВ ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ УРАЛА

© 2011 г. П. М. Вализер

Ильменский государственный заповедник УрО РАН,
456317, Челябинская область, г. Миасс

E-mail: valizer@ilmeny.ac.ru

Поступила в редакцию 20.08.2010 г.

Рассмотрены особенности химического состава и зональности граната из эклогитов высоко-ультравысокобарического (*HP-UHP*) комплексов Урала: эклогит-гнейсового марункеуского, эклогит-глаукофансланцевого максютовского и гранат-глаукофанового восточного пояса Войкаро-Сыньинского массива. Гранат в эклогитах представлен минеральными сериями: гроссуляр-альмандин, пироп-альмандин, спессартин-альмандин. Он характеризуется широким спектром состава (мол. %): пироп – 0.50–56, альмандин – 16–72, спессартин – 0.2–38 и гроссуляр – 16–92, железистость – 21–92%. Гранат имеет прямую, обратную и сложную зональность в кристаллах, образует до трех генераций, которые различаются по составу и типу зональности. При преобразовании эклогитов “эклогитовый” гранат обогащается магнием и железом, обедняется кальцием, образуются поздние его генерации. При повторном *HP*-метаморфизме “эклогитовый” гранат обедняется кальцием, обогащается марганцем и магнием, образуются поздние генерации высокомарганцевого граната. Для эклогитов, образованных при *UHP*-метаморфизме, типичны однородные с низким содержанием марганца гроссуляр-альмандины и пироп-гроссуляр-альмандины.

Ключевые слова: метаморфизм, высокобарические-ультравысокобарические комплексы, гранат, полихронность.

ВВЕДЕНИЕ

Урал является уникальным регионом, в котором обнаружены допалеозойские и палеозойские комплексы высоких и сверхвысоких давлений: эклогит-гнейсовые, эклогит-глаукофансланцевые, гранат-глаукофановые и др. [10, 16, 17]. Они сложены разнообразными типами эклогитов, одной из характерных особенностей которых являются постепенные переходы от исходных образований ультрабазита, габбро, амфиболита и других пород к эклогитам [18, 28 и др.]. Вопросам геологического строения, тектонического положения, петрологии и минералогии, в том числе особенностям состава и зональности граната из эклогитов *HP-UHP* комплексов Урала посвящена обширная литература [2–6, 8–11, 13–17, 19, 21–26, 28, 29, 31, 32, 35, 36 и др.].

Цель данных исследований – рассмотреть основные особенности состава граната из эклогитов различных типов комплексов, выявить специфику изменения его состава при полихронности *HP-UHP* процессов метаморфизма, глаукофанизации и фенгитизации эклогитов.

Описываются гранаты из следующих объектов:

– эклогит-гнейсового марункеуского комплекса, где можно проследить переходы от исходных пород к эклогитам (из эклогитов по оливиновому габбро и габбро-норитам, из друзит-эклогитов и эклогитов

по троктолитам и габбро-диабазам, из кианитовых и кианит-цоизитовых эклогит-бластомилонитов, из эклогитов по амфиболитам и из кальциевых эклогитов);

– эклогит-глаукофансланцевого максютовского комплекса, в котором проявлено несколько этапов метаморфизма *HP-UHP*, процессы глаукофанизации, фенгитизации и зеленосланцевых изменений эклогитов (из диопсид-жадеитовых, из железистых жадеит-диопсидовых, из низкожелезистых жадеит-диопсидовых, из глаукофан-омфацитовых, из эклогит-бластомилонитов по эклогитам и из кальциевых эклогитов);

– восточного пояса Войкаро-Сыньинского массива, где друзиты, эклогиты и глаукофановые сланцы локализованы в подошве крупной надвинутой пластины и являются составной частью офиолитовой ассоциации (из глаукофан-омфацитовых эклогитов и из эклогитоподобных пород).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Регистрация концентрационных профилей порядка 500 кристаллов граната выполнена на растровом микроскопе РЭММ-202М с микроанализатором в лаборатории КМИИ Института минералогии (аналитик В.А. Котляров). Стандарты: пироп-альмандин № 87375, альмандин № 2, пироп № 37.

Минеральный вид граната определялся в соответствии с классификацией Н.В. Соболева [27], минеральная разновидность – по содержанию спессартинового компонента (*Sps*) и кальциевого компонента (*Ca-comp*), суммирующего гроссуляровый и андрадитовый миналы. Таким образом, выделялись марганецсодержащий (3–10 мол. % *Sps*), высокомарганцевый (10–17 мол. %), кальцийсодержащий (10–17 мол. % *Ca-comp*) и высококальциевый (17–27 мол. %) гранат.

Зональность в гранате рассматривалась в соответствии с типами, выделенными Г.Г. Лепезиным и В.Н. Королуком [20] и П.Я. Азимовым [1]: прямая – с уменьшением содержания марганца и кальция и увеличением магния и железа от центра к периферии зерна; обратная – с увеличением содержания марганца и железа и уменьшением магния и кальция в том же направлении; сложная – с одновременным снижением или увеличением содержания марганца и магния; немонотонная – с несколькими максимумами или минимумами на концентрационном профиле. Однородным считался гранат с колебаниями компонентного состава в пределах 2 мол. %.

ОПИСАНИЕ ГРАНАТА

Гранат эклогитов *HP-UHP* комплексов Урала разнообразен по составу и типам зональности, что обусловлено составом исходных пород, термодинамическими и геохимическими условиями образования, степенью переработки эклогитовых ассоциаций наложенными процессами.

В эклогитах установлен гранат минеральных серий: альмандин-пироповой, альмандин-гроссуляровой, спессартин-альмандиновой и спессартин-гроссуляровой (табл. 1). Железистость граната изменяется от 21 до 97%, содержание пиропового минала от 0.5 до 56, кальциевого от 6 до 92, спессартинового от 0.4 до 38 и альмандинового от 16 до 83 мол. % (рис. 1). Концентрационные профили подразделяются на простые (70–80% изученных кристаллов) и сложные (20–30%). Выделены пять типов прямой, по три – обратной и сложной зональности. Однородные гранаты составили до 15% от проанализированных кристаллов. Во многих типах эклогитов гранат представлен несколькими генерациями.

Гранат в эклогитизированном габбро-норите отвечает минеральным сериям гроссуляр-альмандина и пироп-альмандина. На начальных стадиях преобразования габбро-норита образуется зональный альмандин-гроссуляр ($c - Py_{4.2}Alm_{16.3}Sps_{0.0}Ca-comp_{79.5}$, $r - Py_{9.5}Alm_{27.8}Sps_{0.0}Ca-comp_{62.7}$) в виде каймы вокруг зерна пироксена и плагиоклаза (табл. 1, № 1; рис. 2). На последующем этапе – состав граната ($c - Py_{12.6}Alm_{44.0}Sps_{2.2}Ca-comp_{41.0}$, $r - Py_{16.8}Alm_{52.2}Sps_{2.5}Ca-comp_{28.5}$) становится менее кальциевым, более магнезиально-железистым, а в эклогите содержа-

ние пиропового минала в гранате составляет до 50 мол. %, а кальциевого минала – до 10–16 мол. %.

В друзит-эклогите и эклогите по габбро-диабазу или троктолиту состав граната варьирует от альмандин-гроссуляра ($c - Py_{5.0}Ca-comp_{73.0}$, $X^{Mg} = 0.20$, $r_1 - Py_{9.0}Ca-comp_{60.0}$, $X^{Mg} = 0.22$, $r_2 - Py_{10.0}Ca-comp_{48.0}$, $X^{Mg} = 0.20$) в эклогитизированной породе – через пироп-гроссуляр-альмандин ($Py_{23.0-30.0}Grs_{34.0-29.0}$, $X^{Mg} = 0.38-0.43$) в друзит-эклогите – до пироп-гроссуляр-альмандина ($Py_{28.0}Grs_{29.0}$, $X^{Mg} = 0.40$) или кальциевого пироп-альмандина ($Py_{42.0}Grs_{19.0}$, $X^{Mg} = 0.52$) – в эклогите (табл. 1, № 2; рис. 3).

В кианит и кианит-цоизитовых эклогит-блестомилонитах неоднородный по составу гранат соответствует гроссуляр-пиропу ($Py_{35.0-41.0}Grs_{31.0-25.0}$, $X^{Mg} = 0.60-0.50$) или кальцийсодержащему альмандин-пиропу ($Py_{50.0-54.0}Grs_{15.0-12.0}$, $X^{Mg} = 0.60-0.55$) (табл. 1, № 3; рис. 4).

Гранат из эклогитов по амфиболитам соответствует по составу гроссуляр-альмандину, высококальциевому альмандину ($Py_{13.0-20.0}Alm_{49.0-60.0}Sps_{1.0-2.3}Ca-comp_{20.0-31.0}$) и кальцийсодержащему пироп-альмандину ($Py_{30.0-31.0}Alm_{52.0-54.0}Sps_{1.0-2.0}Ca-comp_{14.0-16.0}$). Он представлен неоднородными или зональными кристаллами с прямой зональностью, выраженной в увеличении содержания магния и уменьшении кальция от центра к периферии кристалла (табл. 1, № 4) [5].

Диопсид-жадеитовые эклогиты образуют небольшие (0.5×1.5 м) будинированные тела на контакте с энстатит-форстеритовыми и энстититовыми породами, залегающими среди слюдистых и графитистых кварцитов. Гранат по составу отвечает альмандин-гроссуляру и пироп-альмандин-гроссуляру (табл. 1, № 5; рис. 5). Альмандин-гроссуляровый гранат присутствует в эклогите в малом количестве. Зерна его гетерогенны ($c - Py_{5.0}Alm_{40.0}Sps_{2.0}Ca-comp_{53.0}$, $i - Py_{12.0}Alm_{36.0}Sps_{5.0}Ca-comp_{47.0}$, $r - Py_{21.0}Alm_{40.0}Sps_{2.0}Ca-comp_{36.0}$), от центра к краю отмечается увеличение содержания магния при уменьшении кальция и железа, с колебаниями марганца (2–12 мол. %). Центральные зоны зерен содержат включения клинопироксена и клиноцоизита (рис. 5). В основном, исследованный гранат представлен пироп-альмандин-гроссуляром ($Sps \leq 2$ мол. %). В нем отмечается сложная зональность по содержанию магния и кальция ($c - Py_{25.0}Alm_{36.0}Sps_{2.0}Ca-comp_{37.0}$, $i - Py_{14.0}Alm_{39.0}Sps_{2.0}Ca-comp_{45.0}$, $r - Py_{25.0}Alm_{38.0}Sps_{1.0}Ca-comp_{36.0}$).

Гранат в железистых жадеит-диопсидовых эклогитах представлен гроссуляр-альмандином. Крупные (5–7 мм) кристаллы неравномерно распределены в объеме породы и имеют зональное строение: широкую центральную зону темно-красного цвета, трещиноватую с включениями рутила, клиноцоизита, кварца, псевдоморфоз кварца по коэситу(?) и кайму светло-розового цвета. В них регистрируется сложная зональность: центральная зо-

Таблица 1. Представительные микронзондовые анализы гранатов, пироксенов и сосуществующих минералов эклогитов *HP-UHP* комплексов Урала

№ п. п./ элементы	1					2											
	I					II											
	Opx	Di	Gt		Pl	Gt ₁		Gt ₂		Opx		Cpx	Pl	Zo	Gt	Cpx	Ky
с			г	с		г	с	г	с	г							
минерал																	
SiO ₂	52.35	53.84	39.23	38.62	51.81	56.68	38.98	38.92	39.47	53.37	54.97	55.04	57.67	38.38	38.93	54.81	36.70
TiO ₂	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.04	0.21	0.00	0.00	0.00	0.05	0.29	0.00
Al ₂ O ₃	2.27	4.89	25.46	23.48	31.16	30.58	21.08	21.74	22.37	1.77	2.66	4.88	30.30	32.40	20.78	11.08	63.27
FeO	17.22	4.14	7.93	18.24	0.12	0.06	21.04	23.58	22.13	23.41	18.71	5.66	0.19	1.27	20.73	5.00	0.00
MnO	0.51	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.79	0.99	0.57	0.84	2.00	0.89	0.00	0.02	0.88	0.00	0.00
MgO	26.63	13.47	1.81	4.19	0.00	0.00	3.01	5.11	7.54	7.07	24.75	12.64	0.00	0.00	7.38	8.89	0.00
CaO	0.80	22.65	25.53	14.95	12.41	5.78	15.14	9.64	8.02	6.76	2.09	18.52	3.47	26.00	11.20	16.12	0.00
Na ₂ O	0.02	0.87	0.00	0.00	4.11	6.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	2.40	8.17	0.00	0.00	3.77	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.91	99.86	99.96	99.98	99.61	99.92	100.04	99.98	99.98	99.96	100.05	100.03	99.97	98.07	99.95	99.97	99.97
Коэффициенты кристаллохимической формулы																	
Si	1.895	1.974	2.984	2.966	2.358	2.540	3.035	3.023	2.984	3.040	1.943	2.011	2.545	2.911	2.981	1.992	1.00
Al ^{IV}	0.098	0.026	0.016	0.034	—	—	—	—	0.016	—	0.057	—	—	0.089	0.019	0.008	—
Al ^{VI}	—	0.185	2.250	2.090	1.670	1.615	1.934	1.990	2.024	2.030	0.019	0.115	1.576	2.807	1.856	0.467	2.00
Ti	0.003	—	—	—	—	—	—	—	0.006	0.002	0.008	0.006	—	—	0.003	0.008	—
Fe	0.520	0.127	0.500	1.169	0.004	0.002	1.368	1.528	1.415	1.505	0.568	0.450	0.172	0.080	1.326	0.152	—
Mn	0.016	—	—	0.032	—	—	0.052	0.065	0.037	0.055	0.00	0.062	0.027	0.001	0.057	—	—
Mg	1.436	0.736	0.204	0.479	—	—	0.349	0.591	0.860	0.811	1.342	1.249	0.687	—	0.839	0.481	—
Ca	0.031	0.830	2.046	1.230	0.605	0.278	1.262	0.803	0.658	0.557	0.023	0.082	0.725	2.112	0.919	0.627	—
Na	0.001	0.062	—	—	0.363	0.555	—	—	—	—	0.040	0.025	0.170	—	—	0.265	—
K	—	—	—	—	—	0.016	—	—	—	—	—	—	0.010	—	—	—	—
Py (Id)		18.2	7.4	16.4			11.6	19.8	29.0	27.7		22			26.7	43.0	
Alm(Acq)		0.0	18.2	40.2			44.5	51.2	47.6	51.4		0.0			42.2	0.0	
Sp (Aug)		81.8	—	1.1			1.7	2.1	1.2	1.9		78			1.8	57.0	
Ca-comp			74.4	42.2			42.2	26.9	22.2	19.0					29.3		
F	27.2	14.7	71.0	71.5			80.3	72.8	62.8	65.8	29.7	29.1	22.5	2.8	63.1	24.0	
T, °C	591–657 ¹																
P, кбар	13.6																
	652 ¹																
	13.8																
	902 ¹																
	19.4																

Таблица 1. Продолжение

№ п. п./ элементы	2					3					4		5		
	III					Gt	Cpx	mHb	Ky	Zo	Gt (5)	Cpx (3)	Gt		
	Gt	Cpx		Ky	Zo								2	4	c
минерал		c	r			c	r								
SiO ₂	39.99	54.86	55.25	37.40	41.38	40.67	39.88	50.22	36.64	39.18	38.08	57.10	38.40	38.01	39.74
TiO ₂	0.00	0.21	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	21.95	3.78	9.28	61.90	28.77	21.60	21.85	10.72	63.01	32.58	22.06	9.33	21.57	21.64	21.61
FeO	19.37	4.53	4.42	0.70	2.50	17.80	17.41	4.42	0.28	1.37	25.23	5.10	19.52	17.64	16.23
MnO	0.66	0.28	0.00	0.00	0.00	0.66	0.52	0.02	0.00	0.03	0.83	0.09	0.56	5.33	2.30
MgO	10.90	13.36	10.29	0.00	0.56	13.56	14.76	19.25	0.00	0.00	8.10	9.07	1.06	2.24	4.68
CaO	7.13	20.82	16.19	0.00	24.71	5.57	5.55	11.49	0.00	24.93	5.33	14.77	18.82	14.76	15.53
Na ₂ O	0.00	1.54	4.48	0.00	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	0.00	0.00	4.32	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	100.00	99.38	99.93	100.00	97.99	99.86	99.97	98.38	99.93	98.09	99.63	99.85	99.93	99.62	100.09
Коэффициенты кристаллохимической формулы															
Si	3.005	2.006	1.987	1.00	3.162	3.021	2.938	6.847	1.00	2.876	2.940	2.078	3.002	2.984	3.054
Al ^{IV}	—	—	0.013	—	—	—	0.062	1.153	—	0.124	0.060	—	—	0.016	—
Al ^{VI}	1.944	0.163	0.380	2.00	2.590	1.890	1.836	0.569	2.00	2.845	1.947	0.390	1.987	1.986	1.866
Ti	—	0.006	—	—	0.002	—	—	0.017	—	—	—	0.002	—	—	—
Fe	1.215	0.138	0.135	—	0.160	1.104	1.072	0.503	—	0.088	1.626	0.155	1.274	1.156	1.041
Mn	0.042	0.008	0.000	—	—	0.042	0.033	0.002	—	0.002	0.054	0.003	0.038	0.354	0.150
Mg	1.220	0.755	0.536	—	0.164	1.500	1.621	3.909	—	—	0.932	0.492	0.123	0.262	0.536
Ca	0.574	0.815	0.694	—	2.022	0.443	0.438	1.678	—	2.065	0.441	0.575	1.576	1.242	1.353
Na	—	0.109	0.208	—	—	—	—	0.317	—	—	—	0.305	—	—	—
K	—	—	—	—	—	—	—	0.131	—	—	—	—	—	—	—
Py (Jd)	41.7	16.6	37.9	—	—	50.0	54.0	—	—	—	30.5	38.4	4.1	8.7	17.9
Alm (Acq)	38.9	0.0	0.0	—	—	33.8	30.3	—	—	—	53.2	0.0	42.1	38.1	32.0
Sp (Aug)	0.8	83.4	62.1	—	—	1.4	1.1	—	—	—	1.8	61.6	1.3	11.8	5.0
Ca-comp	18.6	—	—	—	—	14.8	14.6	—	—	—	14.5	—	52.5	41.4	45.1
F	50.8	16.2	19.4	—	8.0	43.3	40.5	11.4	—	3.0	64.3	24.3	91.4	85.2	69.0
T, °C	859 ¹					791 ¹					756 ¹				
P, кбар	18.6					19.4					≥11				
						569 ²					665–703 ¹				
											10–25				

Таблица 1. Продолжение

№ п. п./ элементы		5										6								
		Gt			Gt			Cpx	Zo	Gt			Cpx	Bar		Gl				
		с	г	г	с	г	г	с	г	г	с	г	г	с	г	г				
минерал																				
SiO ₂	38.98	39.70	40.49	38.97	40.99	40.99	53.42	36.11	39.70	37.78	38.61	38.54	38.76	54.68	49.58	51.34	57.20			
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.30	0.28	0.01	0.13	0.19	0.02	0.00			
Al ₂ O ₃	21.29	21.94	21.97	21.29	22.01	22.01	4.08	28.05	21.98	21.18	22.08	21.13	21.37	9.52	11.89	10.91	10.10			
FeO	20.11	17.94	16.79	18.33	16.84	16.84	3.25	7.00	24.14	27.46	23.90	24.72	26.04	9.84	12.37	11.28	11.43			
MnO	1.15	0.97	0.80	0.97	0.51	0.51	0.40	0.07	0.69	1.19	0.53	0.63	0.47	0.19	0.00	0.00	0.01			
MgO	3.14	6.65	6.23	3.55	7.02	7.02	14.80	1.15	6.54	2.44	7.22	4.44	6.32	7.36	11.95	13.18	10.44			
CaO	15.33	12.59	13.67	16.85	12.61	12.61	23.42	25.95	6.87	9.88	7.24	10.19	6.95	12.43	7.25	5.68	1.11			
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.81	3.77	4.78	7.02			
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.14	0.00			
Сумма	100.00	99.79	99.95	99.96	99.98	99.98	99.90	98.33	99.92	99.93	99.88	99.93	99.92	99.96	97.26	97.33	97.31			
Коэффициенты кристаллохимической формулы																				
Si	3.030	3.032	3.080	3.011	3.111	3.111	1.945	2.762	3.070	2.996	2.976	3.012	3.012	1.990	7.016	7.157	7.894			
Al ^{IV}	—	—	—	—	—	—	0.055	0.238	—	0.004	0.024	—	—	0.010	0.984	0.843	0.106			
Al ^{VI}	1.950	1.974	1.970	1.939	1.969	1.969	0.120	2.291	2.003	1.975	1.982	1.946	1.957	0.398	0.999	1.313	1.537			
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.000	0.018	0.016	0.000	0.004	0.020	0.001	—			
Fe	1.305	1.144	1.078	1.183	1.067	1.067	0.099	0.447	1.559	1.818	1.538	1.613	1.690	0.299	1.462	0.949	1.317			
Mn	0.076	0.063	0.052	0.064	0.034	0.034	—	0.005	0.045	0.080	0.035	0.043	0.031	0.006	—	—	0.000			
Mg	0.364	0.756	0.706	0.408	0.794	0.794	0.803	0.131	0.753	0.288	0.829	0.517	0.732	0.399	2.519	2.737	2.146			
Ca	1.276	1.031	1.114	1.395	1.025	1.025	0.913	2.126	0.569	0.839	0.598	0.853	0.578	0.484	1.099	0.848	0.164			
Na	—	—	—	—	—	—	0.065	—	—	—	—	—	—	0.410	1.034	1.291	1.877			
K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.047	0.025	—			
Py (Id)	12.1	25.3	23.9	13.6	27.2	27.2	11.6	—	25.7	9.6	27.6	17.2	24.4	44.5	—	—	—			
Alm(Acq)	42.8	38.2	36.5	37.8	36.5	36.5	0.0	—	53.3	59.8	51.3	52.9	55.3	1.4	—	—	—			
Sp (Aug)	2.5	2.1	1.8	2.1	1.2	1.2	88.4	—	1.5	2.7	1.2	1.4	1.0	54.1	—	—	—			
Ca-comp	42.5	34.4	37.8	46.5	35.1	35.1	—	—	19.5	27.9	19.9	28.5	19.3	—	—	—	—			
F	79.1	61.5	61.5	75.3	58.1	58.1	12.0	16.3	68.0	86.8	65.5	76.2	70.2	43.3	36.7	32.4	38.0			
T, °C											762.2–835.4 ¹							612.5 ²		537.5 ²
P, кбар											≥21									

Таблица 1. Продолжение

№ п. п./ элементы	7						8						9					
	Gt			Cpx			Gt			Gt			Cpx			Gt		
	c	i	г	c	г	г	c	i	г	k	c	г	c	г	г	c	k	г
минерал																		
SiO ₂	37.72	37.77	37.81	56.13	54.90		37.30	37.54	37.03	37.84	37.58	37.55	55.76	55.71	37.00	38.12	37.73	55.15
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	20.37	20.97	20.86	13.87	14.33		19.57	20.07	19.83	20.36	20.10	20.20	12.99	12.61	20.40	20.86	20.42	10.76
FeO	28.01	28.98	31.35	7.43	7.29		31.48	29.35	31.43	29.54	30.37	29.75	4.57	8.35	28.66	27.58	27.30	4.35
MnO	0.99	1.11	1.12	0.00	0.00		2.46	3.60	4.40	3.73	4.00	3.94	0.00	0.43	4.84	0.72	2.47	0.00
MgO	2.66	3.69	3.78	5.87	5.99		2.50	3.06	2.36	4.19	3.41	4.14	7.90	6.00	2.04	3.45	3.13	8.78
CaO	10.17	7.39	4.93	9.73	9.28		6.45	6.29	4.68	4.06	4.45	4.21	11.84	8.72	6.86	9.13	8.84	14.72
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	6.92	8.02		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.59	7.96	0.00	0.00	0.00	6.18
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.92	99.91	99.85	99.95	99.81		99.76	99.91	99.73	99.72	99.91	99.79	99.73	99.94	99.80	99.86	99.89	99.94
Коэффициенты кристаллохимической формулы																		
Si	2.993	2.991	3.012	2.018	1.956		3.003	3.002	2.996	3.020	3.011	2.998	1.990	1.994	2.976	2.987	2.994	1.965
Al ^{IV}	0.007	0.009	0.000	0.000	0.044		—	—	0.004	—	—	0.002	0.010	0.006	0.024	0.013	0.006	0.035
Al ^{VI}	1.898	1.948	1.958	0.588	0.558		1.857	1.891	1.886	1.915	1.897	1.898	0.536	0.526	1.910	1.913	1.904	0.416
Ti	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	0.004	—	—	—	—
Fe	1.856	1.916	2.085	0.223	0.217		2.116	1.960	2.123	1.968	2.032	1.983	0.136	0.250	1.925	1.870	1.809	0.130
Mn	0.067	0.074	0.076	—	—		0.168	0.244	0.301	0.252	0.271	0.267	0.000	0.013	0.330	0.048	0.166	0.000
Mg	0.315	0.435	0.449	0.315	0.318		0.300	0.364	0.284	0.498	0.407	0.492	0.420	0.320	0.244	0.403	0.370	0.465
Ca	0.864	0.627	0.420	0.375	0.354		0.556	0.539	0.406	0.347	0.382	0.360	0.452	0.335	0.591	0.766	0.751	0.561
Na	—	—	—	0.481	0.553		—	—	—	—	—	—	0.456	0.552	—	—	—	0.428
K	—	—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Py (<i>Id</i>)	10.5	14.5	15.0	61.1	61.2		10.0	12.1	9.5	16.6	13.6	16.4	54.2	59.3	8.1	13.4	12.3	42.1
Alm (<i>Acq</i>)	58.5	62.1	68.5	0.0	0.0		65.9	61.8	67.0	63.4	64.7	62.7	0.0	2.9	61.2	59.4	57.1	1.2
Sp (<i>Aug</i>)	2.2	2.5	2.5	38.9	38.8		5.6	8.1	10.0	8.4	9.0	8.9	45.8	37.8	11.0	1.6	5.5	56.7
Ca-comp	28.8	20.9	14.0	—	—		18.5	18.0	13.5	11.6	12.7	12.0	—	—	19.7	25.6	25.1	48.4
F	85.9	82.1	82.8	41.4	40.6		88.4	85.8	89.5	81.7	85.0	82.1	24.5	45.1	90.2	82.6	84.2	21.8
T, °C	756.5 ¹				611–668 ¹				581–638 ¹				12.2–16.3					
P, кбар	≥14.7				13.5–9.5				—				—					

Таблица 1. Продолжение

№ п. п./ элементы	10				11				12				13			
	Gt		Cpx		Gt		k	Cpx	Gt		Gt		Gt		Gt	
минерал	c	г	c	г	c	г			c	г	c	г	c	г	i	г
SiO ₂	36.65	37.38	56.81	55.24	37.55	37.67	38.23	52.07	37.98	38.29	37.16	37.78	37.26	37.69	37.53	38.36
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	21.20	21.67	9.61	9.42	20.55	20.33	20.73	13.04	21.50	21.60	19.96	20.70	19.61	19.98	19.49	19.74
FeO	25.18	26.46	7.49	9.04	21.00	28.98	19.85	10.89	21.14	23.02	27.94	25.40	24.80	24.03	26.25	21.97
MnO	5.51	1.42	0.10	0.09	11.82	1.02	1.72	0.71	5.34	6.14	2.17	5.60	4.03	9.00	2.55	9.80
MgO	1.54	2.90	7.07	7.63	0.79	1.16	1.25	5.29	3.97	5.92	2.87	5.80	1.55	3.17	1.47	2.79
CaO	9.85	10.05	14.38	12.76	8.24	10.82	17.88	8.58	10.02	5.03	9.95	4.69	12.78	6.99	10.98	7.20
Na ₂ O	0.00	0.00	4.46	5.58	0.00	0.00	0.00	9.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	99.93	99.88	99.92	99.76	99.95	99.98	99.66	99.77	99.95	100.00	100.05	99.97	100.03	100.86	99.92	99.87
Коэффициенты кристаллохимической формулы																
Si	2.927	2.952	2.084	2.012	3.025	3.014	3.011	1.860	2.975	2.993	2.950	2.968	2.967	3.006	2.994	3.064
Al ^{IV}	0.073	0.048	—	—	—	—	—	0.140	0.025	0.007	0.050	0.032	0.033	—	0.006	—
Al ^{VI}	1.922	1.969	0.415	0.404	1.951	1.916	1.918	0.409	1.959	1.982	1.817	1.886	1.807	1.878	1.785	1.859
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.005	—
Fe	1.679	1.745	0.229	0.275	1.412	1.935	1.305	0.325	1.382	1.502	1.852	1.666	1.648	1.534	0.848	1.465
Mn	0.373	0.095	0.003	0.003	0.806	0.069	0.114	0.021	0.354	0.406	0.146	0.373	0.272	0.608	1.398	0.663
Mg	0.183	0.341	0.387	0.414	0.095	0.138	0.146	0.281	0.484	0.689	0.340	0.683	0.183	0.377	0.012	0.333
Ca	0.843	0.850	0.565	0.498	0.711	0.928	1.506	0.328	0.841	0.421	0.845	0.391	1.090	0.597	0.952	0.616
Na	—	—	0.317	0.394	—	—	—	0.636	—	—	—	—	—	—	—	—
K	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Py (Jd)	6.1	11.4	42.4	44.8	3.3	4.7	4.9	42.6	15.6	23.1	11.3	22.8	6.1	12.6	0.4	11.1
Alm (Acg)	53.4	57.1	0.0	0.0	46.0	62.1	41.1	23.7	44.2	49.3	55.6	51.8	48.5	47.3	21.3	46.3
Sp (Aug)	12.4	3.2	57.6	55.2	27.0	2.3	3.8	33.7	11.9	13.6	4.9	12.4	9.1	20.2	46.6	22.1
Ca-comp	28.1	28.3	—	—	23.7	30.9	50.2	—	28.3	14.1	28.2	13.0	36.3	19.9	31.7	20.5
F	91.8	84.4	37.5	40.2	95.7	93.5	90.4	55.2	78.9	73.5	85.5	74.9	91.3	85.0	99.6	86.5
T, °C	578–606 ¹				495 ¹				608 ¹ , 630.7				494–582			
P, кбар	11–13.6				10.7				11 ¹ , 13.9				11.2–12.9			
													511–597 ¹			
													13.2			

Таблица 1. Окончание

13												
№ п. п./элементы	Cpx			Amf			Phe					
	с	г										
минерал												
SiO ₂	37.02	37.80	57.06	57.31	57.40	57.08	55.67	57.54	57.90	53.32	53.93	55.84
TiO ₂	0.15	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02	0.09	0.06	0.00	0.03	0.37	0.06
Al ₂ O ₃	19.75	19.52	12.06	11.04	12.28	10.43	10.61	11.08	10.99	26.50	25.15	23.31
FeO	16.90	26.85	5.39	4.91	4.76	4.40	9.59	10.05	11.11	1.64	1.23	1.83
MnO	14.90	1.79	0.06	0.05	0.09	0.02	0.04	0.05	0.03	0.03	0.01	0.01
MgO	0.87	2.35	7.74	7.70	6.48	7.89	12.81	10.99	10.49	4.81	4.95	3.91
CaO	10.38	11.56	10.81	12.04	10.73	13.37	2.51	0.58	0.34	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	6.80	6.97	8.16	6.59	5.86	6.81	6.77	0.00	0.00	0.00
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.14	0.02	0.02	0.03	9.14	10.10	10.19
Сумма	99.97	99.87	99.94	100.03	99.94	99.94	97.20	97.18	97.66	95.47	95.73	95.15
Коэффициенты кристаллохимической формулы												
Si	2.976	3.006	2.036	2.041	2.033	2.037	7.589	7.837	7.859	3.435	3.513	3.693
Al ^{IV}	0.024	—	—	—	—	—	0.411	0.163	0.141	0.565	0.487	0.307
Al ^{VI}	1.846	1.830	0.508	0.463	0.512	0.438	1.294	1.615	1.617	1.447	1.444	1.510
Ti	0.007	—	—	—	—	0.001	0.009	0.006	—	0.002	0.018	0.003
Fe	1.116	1.782	0.160	0.146	0.141	0.131	1.091	1.143	1.259	0.088	0.417	0.101
Mn	1.034	0.120	0.002	0.002	0.003	0.001	0.005	0.006	0.003	0.002	—	—
Mg	0.104	0.278	0.412	0.408	0.342	0.419	2.601	2.230	2.121	0.461	0.471	0.386
Ca	0.893	0.984	0.412	0.459	0.407	0.511	0.367	0.084	0.050	—	0.006	—
Na	—	—	0.470	0.481	0.560	0.456	1.547	1.797	1.780	—	—	—
K	—	—	—	—	—	0.006	0.003	0.003	—	0.751	0.839	0.860
Py (Id)	3.5	9.3	55.2	49.2	52.8	45.0						
Alm(Acq)	33.0	53.9	0.0	1.9	5.2	2.5						
Sp (Aug)	33.8	4.0	44.8	48.9	42.0	52.5						
Ca-comp	29.7	32.8										
F	95.4	85.5	28.2	26.6	29.6	23.8	29.6	34.0	37.3	16.3	12.4	20.7
T, °C												
P, кбар												

Примечание: 1–4 – марункеуский эклогит-гнейсовый комплекс: 1 – эклогитизированный габбро-норит, обр. № 431К, р-н “Слюдяная горка”, 2 – эклогитизированный диабаз (I) – друзит-эклогит (II) – эклогит (III), обр. № 431В, там же, 3 – кианит-цоизитовый эклогит-бластомилонит, обр. № 435, там же; 4 – эклогит по амфиболиту, обр. № 8420, руч. Ниагаршор, 5–13 – максотовский эклогит-глаукофанланцевый комплекс: 5 – диопсид-жадеитовый эклогит, обр. № М-08/1, р-н д. Караяново, 6 – железистый жадеит-диопсидовый эклогит, обр. № М-05/1, р-н д. Шубино, 7 – низкожелезистый жадеит-диопсидовый эклогит, обр. № 95–18, р-н д. Караяново, 8 – глаукофизированный низкожелезистый жадеит-диопсидовый эклогит, обр. № 95–4, там же, 9 – глаукофан-омфацитовый эклогит, обр. № 95–9, р. Баракая, 10 – гранат-глаукофан-клиноцоизитовая порода, обр. № 95–33/1, р-н д. Максотово, 11 – “кальцевый” эклогит, обр. № 87–23, р-н д. Караяново, 12–13 – эклогит-бластомилонит, обр. № А-2, А-3, р-н д. Антинган. Миналы: Py – пироп, Alm – альмандин, Sp – спессартин, Ca-comp –grossуляр-андрадит; Id – жадеит, Acg – акмит, Aug – авгит, F = 100·(FeO + MnO)/(MgO + FeO + Mn); T и P (программа GeoPath): 1 – расчет по гранат-клинопироксенному геотермометру, 2 – расчет по гранат-амфиболовому геотермометру; индекс минерала по общепринятому стандарту; (5) – среднее из п; с – центр, i – середина, r – край, k – кайма кристалла.

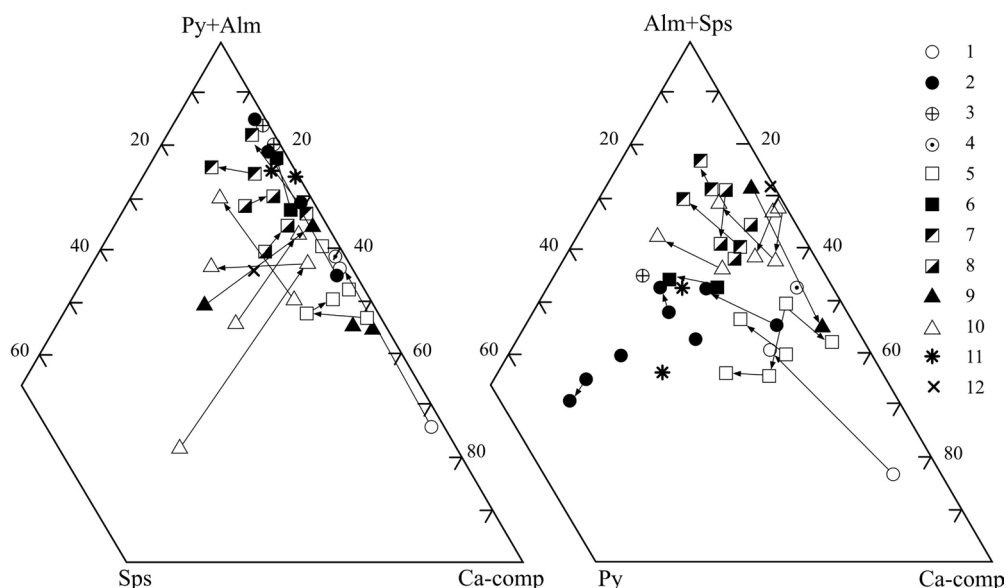


Рис. 1. Компонентный состав граната из эклогитов *HP-UHP* комплексов Урала.

1–4 – из эклогит-гнейсовых комплексов: 1 – из эклогита по оливиновому габбро и габбро-нориту, 2 – из друзит-эклогита и эклогита по троктолит и габбро-диабазу, 3 – из эклогита по амфиболиту, 4 – из “кальциевого” эклогита; 5–10 – из эклогит-глаукофансланцевых комплексов: 5 – из диопсид-жадеитового эклогита, 6 – из железистого жадеит-диопсидового эклогита, 7 – из низкожелезистого жадеит-диопсидового эклогита, 8 – из глаукофан-омфацитового эклогита, 9 – из “кальциевого” эклогита, 10 – из эклогит-бластомилонита; 11–12 – из гранат-глаукофановых комплексов: 11 – из эклогитоподобной породы, 12 – из глаукофан-омфацитового эклогита.

на пироп-альмандинового состава характеризуется низким (<2 мол. % *Sps*) содержанием марганца и средним – (18–20 мол. % *Grs*) – кальция; в средней зоне кристалла наблюдается уменьшение содержания магния и увеличение кальция и железа; в кайме кристалла вновь отмечается увеличение содержания магния при уменьшении содержания кальция и железа (табл. 1, № 6; рис. 6). В кристаллах меньшей (0.5–5 мм) размерности, центральная зона пироп-альмандинового состава не имеет резких границ, характеризуется повышенным (до 5–7 мол. % *Sps*) содержанием марганца (рис. 6). Мелкие (0.4–0.2 мм) кристаллы граната образуют зоны, скопления и полосы и соответствуют по составу краевым зонам крупных кристаллов с аналогичной прямой зональностью по магнию, кальцию и железу.

Гранат из низкожелезистых жадеит-диопсидовых эклогитов отвечает по составуgrossуляр-альмандину с низким содержанием (<2.5 мол. % *Sps*) марганца. Кристаллы grossуляр-альмандина неоднородны ($Py_{10.0-12.0}Alm_{57.0-59.0}Sps_{1.0-2.5}Ca-comp_{28.0-29.5}$), часто имеют кайму ($k - Py_{15.0-17.0}Alm_{65.0-69.0}Sps_{1.0-2.5}Ca-comp_{14.0-18.0}$) с более низким содержанием кальция, высоким содержанием магния и железа (табл. 1, № 7; рис. 7а). Гранат в глаукофанизированном низкожелезистом жадеит-диопсидовом эклогите представлен альмандином, для кристаллов которого от центра к краю, характерна обратная или сложная зональность, выраженная в увеличении содержания марганца и магния при уменьшении содержания кальция. При глаукофанизации образуется вторая ге-

нерация граната – высокомарганцевый альмандин ($Py_{14.0-17.0}Alm_{62.0-67.0}Sps_{8.0-10.0}Ca-comp_{11.0-31.0}$) (табл. 1, № 8; рис. 7б). Гранат в интенсивно бластомилонитизированном и глаукофанизированном низкожелезистом жадеит-диопсидовом эклогите представлен несколькими генерациями grossуляр-альмандина-альмандина, характеризующими процесс преобразования эклогита. Для его кристаллов характерна обратная зональность, выраженная в увеличении содержания (*Sps* от 3 до 10 мол. %) марганца и (*Py* от 12 до 23 мол. %) магния, уменьшении содержания (*Ca-comp* от 29 до 13 мол. %) кальция от центра к краю. Вновь образованный гранат представлен крупными “фулярообразными” и “скелетными” кристаллами, в которых промежуточные зоны сложены глаукофаном, баррузитом, тремолитом, фенгитом и кварцем и мелкими “свободными от включений” слаботрешиноватыми кристаллами. Он имеет состав пироп-альмандина и спессартин-альмандина.

Глаукофан-омфацитовые эклогиты характерны для средней (юмагузинской) серии максютовского комплекса, распространены в неркаюкском комплексе и гранат-глаукофановых зонах. Гранат в них различается по размерности кристаллов и по содержанию марганца: 1) крупные кристаллы (≥1 мм) состава альмандина с высоким содержанием кальция (20–26 мол. %) и марганца (11–2 мол. %), зональные: от центра к краю кристалла регистрируется уменьшение содержания марганца, увеличение содержания магния и кальция (табл. 1, № 9; рис. 8а); 2) мелкие (≤0.6 мм) кристаллы альмандинового состава

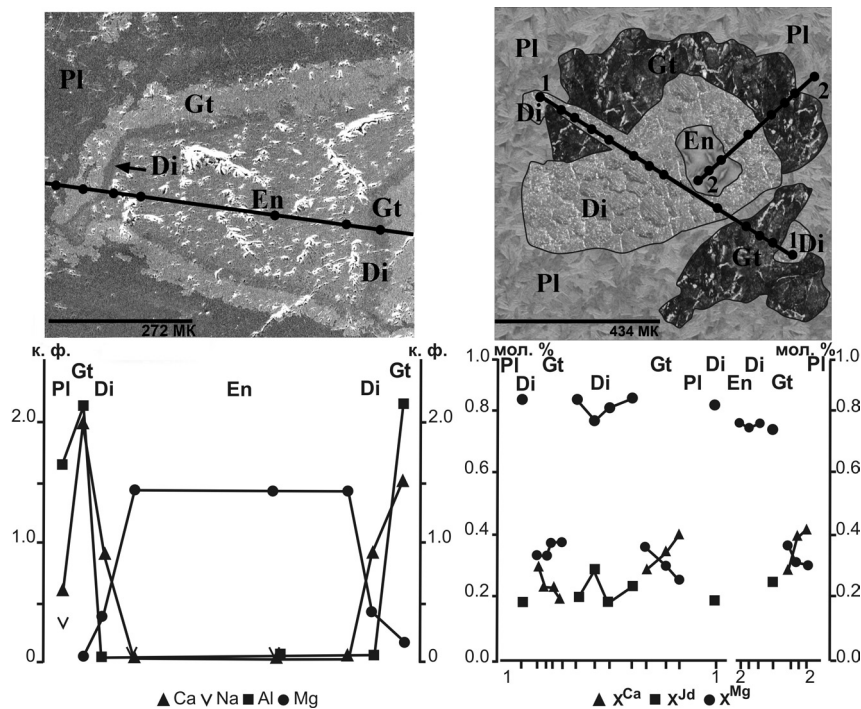


Рис. 2. Микрофотография и микрозондовый профиль по реакционной структуре: энстатит (En) – диопсид (Di) – гранат (Gt) – плагиоклаз (Pl) в друзит-эклогите по габбро-нориту, марункеуский эклогит-гнейсовый комплекс, район Слюдяной горки, обр. № 431к.

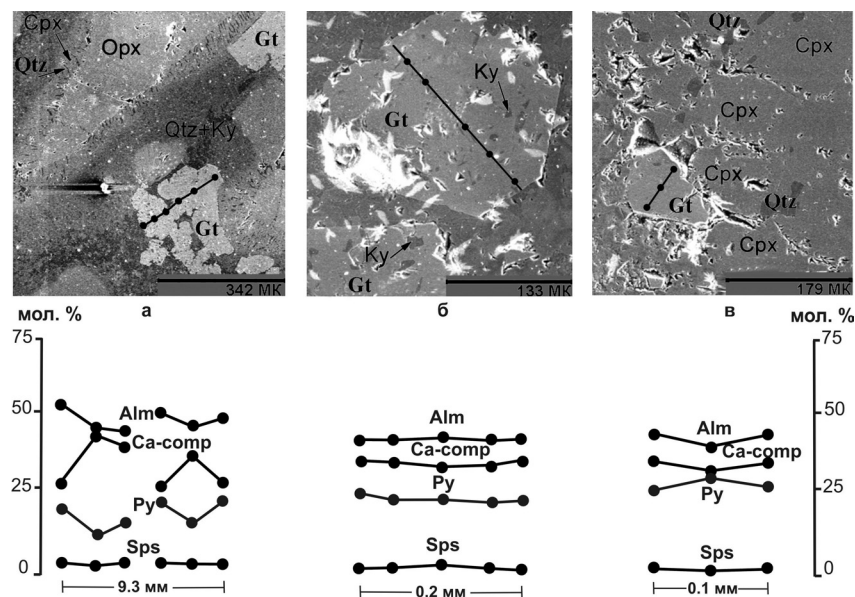


Рис. 3. Микрофотография и микрозондовый профиль через зерно граната из эклогитизированного диабаз (а), друзит-эклогита (б), эклогита (в); марункеуский эклогит-гнейсовый комплекс, район Слюдяной горки, обр. № 431в.

с высоким содержанием кальция (25–27 мол. %) и низким содержанием магния (≤ 2.4 мол. %), неоднородные (табл. 1, № 10; рис. 8б). Для кристаллов этих разновидностей характерны каймыgrossуляр-альмандинового состава с высоким содержанием марганца (до 5–7 мол. %).

Гранат из “кальциевых” эклогитов и лавсонитовых метародингитов представлен минеральными сериями альмандин-гроссуляр и спессартин-гроссуляр-альмандин (табл. 1, № 11). Для его состава характерны широкие ($Py_{0.5-15.0}Alm_{16.0-63.0}Sps_{0.5-38.0}Ca-comp_{24.0-73.0}$) колебания содержа-

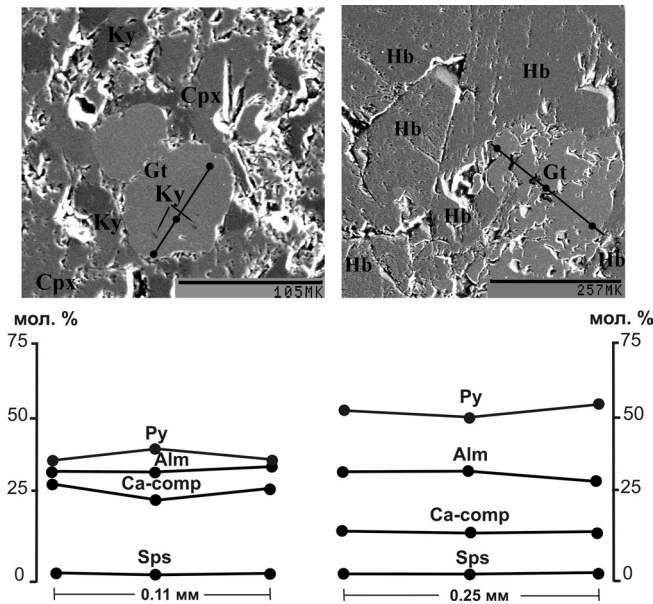


Рис. 4. Микрофотография и микрозондовый профиль через зерно граната из эклогит-бластомилонита (G+Omp+Hb+Ky+Zo), марункеуский эклогит-гнейсовый комплекс, район Слюдяной горы, обр. № 435.

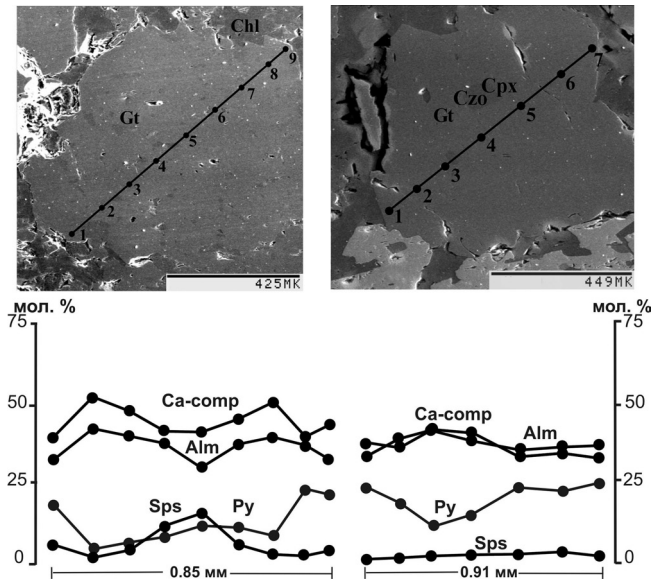


Рис. 5. Микрофотография и микрозондовый профиль через зерно граната из диопсид-жадеитового эклогита, максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс, район д. Караяново, обр. № М-08-1.

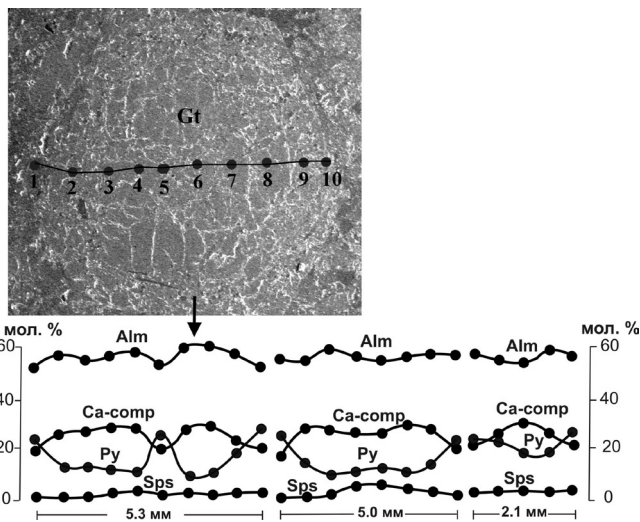


Рис. 6. Микрофотография и микрозондовый профиль через зерно граната из железистого жадеит-диопсидового эклогита, максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс, район д. Шубино, обр. № 05-1.

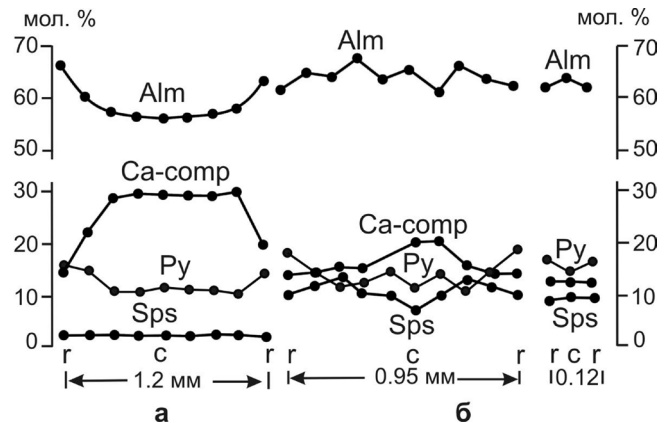


Рис. 7. Микрозондовый профиль через зерно граната из низкожелезистых жадеит-диопсидовых эклогитов, максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс, район д. Караяново, обр. № 95-18 (а) и 95-4 (б).

ний кальция, марганца и железа. По содержанию марганца гранаты можно разделить на две группы: 1)grossуляр-альмандин-марганецсодержащий grossуляр-альмандин (с – $Py_{6.3}Alm_{54.0}Sps_{3.0}Ca-comp_{36.7}$, i – $Py_{6.0}Alm_{55.0}Sps_{5.0}Ca-comp_{34.0}$, r – $Py_{8.0}Alm_{57.0}Sps_{2.0}Ca-comp_{33.0}$) с обратной зональностью в центральной зоне кристалла и прямой – от средней зоны к краю; 2) спессартин-grossуляр-альмандин-grossуляр-

альмандины-марганецсодержащие альмандин-grossуляры с отчетливо выраженным марганцевым центром (с – $Py_{3.0}Alm_{46.0}Sps_{27.0}Ca-comp_{24.0}$), замещением марганца железом от средней зоны к краю зерна (r_1 – $Py_{4.0}Alm_{59.0}Sps_{13.0}Ca-comp_{24.0}$ и r_2 – $Py_{4.0}Alm_{63.0}Sps_{2.0}Ca-comp_{31.0}$) и каймой (к – $Py_{5.0}Alm_{43.0}Sps_{4.0}Ca-comp_{48.0}$) с замещением железа на кальций (или марганец).

В эклогит-бластомилоните по эклогиту развит гранат нескольких генераций:

1. Измененный “эклогитовый” grossуляр-альмандин-альмандин с высоким содержанием

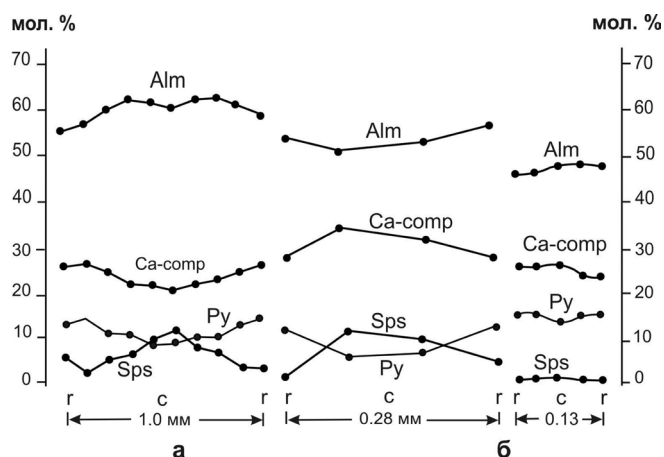


Рис. 8. Микрозондовый профиль через зерно граната из глаукофан-омфацитовых эклогитов, максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс, район р. Баракал – п. Максютново, обр. № 95-9 (а), 95-33/1 (б).

($Sps \approx 10$ мол. %) марганца и обратной зональностью, выраженной в увеличении магния и марганца, уменьшении кальция и железа от центра к краю кристалла. Гранат содержит включения омфациита и кварца, содержание в объеме породы его незначительно (табл. 1, № 12; рис. 9а, б).

2. “Футлярообразные” кристаллы марганец-кальцийсодержащего альмандин – пироп-альмандин, центральные зоны которого сложены глаукофаном, барруазитом, тремолитом и фенгитом (рис. 9в).

3. Вновь образованныйgrossуляр-альмандин-спессартин-grossуляр-альмандин или спессартин-альмандин, в котором проявлена простая зональность с замещением марганца на железо, кальций и магний от центра к краю кристалла и сложная – с замещением магния, марганца и железа на кальций от центра к середине кристалла и кальций, железо на магний и марганец к краю кристалла (табл. 1, № 13; рис. 9г). Большая часть граната в породе представлена именно этой разновидностью.

4. Гранат в гранат-омфацил-фенгит-кварцевом бластомилоните представлен мелкими (0.1–0.2 мм) прозрачными кристаллами состава grossуляр-альмандин-альмандин с высоким содержанием (Sps 5–34 мол. %) марганца. Неоднороден, при колебании минального состава в пределах 2–5 мол. % или имеет обратную зональность при значительном замещении кальция на железо (рис. 9д, е).

Гранат в эклогитоподобных породах и глаукофан-омфациловых эклогитах гранат-глаукофановых зон соответствует серии пироп-альмандин: $Py_{19.0-31.0}Gr_{20.0-28.0}$, $X^{Mg} = 0.32-0.37$ в эклогитоподобной породе и $Py_{4.0-26.0}Gr_{17.0-30.0}$, $X^{Mg} = 0.16-0.18$ в эклогите. В кристаллах пироп-альмандин регистрируется прямая зональность, выраженная в замещении кальция и железа на магний от центра к краю.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНАТА

Гранат из разных типов эклогитов обладает как рядом общих особенностей состава и микрозональности, так и резкими отличительными признаками, характерными только для граната из комплексов определенного типа.

Гранат из эклогитов эклогит-гнейсовых комплексов представлен сериями альмандин-grossуляр-пироп-grossуляр-альмандин-альмандин-пироп с низким содержанием (≤ 2 мол. %) спессартинового и высоким содержанием (до 60 мол. %) пиропового миналов. Во всех разновидностях (от аполерцолитовых до апоамфиболитовых) эклогитов кристаллы граната имеют простую прямую зональность, выраженную в замещении кальция на магний и железо.

Гранат из эклогитов эклогит-глаукофан-ланцевых комплексов отличается широким разнообразием состава (grossуляр-альмандин, альмандин, пироп-grossуляр-альмандин, пироп-альмандин, альмандин-спессартин-grossуляр) и микрозональности в кристаллах (прямая, обратная, сложная). Гранат в эклогитах данного типа комплексов представлен несколькими генерациями. “Первичный” гранат эклогитов изменен, преобразован повторными процессами HP метаморфизма. Для него характерно высокое (≥ 3 мол. % Sps) содержание спессартинового и более низкое содержание (≤ 16 мол. % Py) пиропового минала. Отмечается только перекрытие полей составов граната диопсид-жадеитовых эклогитов из эклогит-глаукофансланцевых комплексов и граната друзит-эклогитов и эклогитов по основным породам эклогит-гнейсовых комплексов (рис. 1).

Гранаты из друзитов и глаукофан-омфациловых эклогитов гранат-глаукофановых зон отвечают grossуляр-альмандину-кальциевому альмандину и близки по составу к grossуляр-альмандинам-кальциевым альмандинам низкожелезистых эклогитов эклогит-глаукофансланцевых комплексов.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ГРАНАТА ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЭКЛОГИТА

Глаукофанизация эклогита

Взаимоотношение эклогитов, глаукофановых пород и сланцев с омфацилом и глаукофаном в высокобарических комплексах рассматриваются с разных точек зрения [13, 30, 33, 34 и др.], которые можно объединить в две:

– эклогиты, глаукофановые породы и сланцы с натриевым пироксеном и глаукофаном образуются при разных термодинамических условиях и на разных этапах высокобарического метаморфизма, т.е. замещая друг друга;

– эклогиты, глаукофановые породы и сланцы с натриевым пироксеном и глаукофаном формируют-

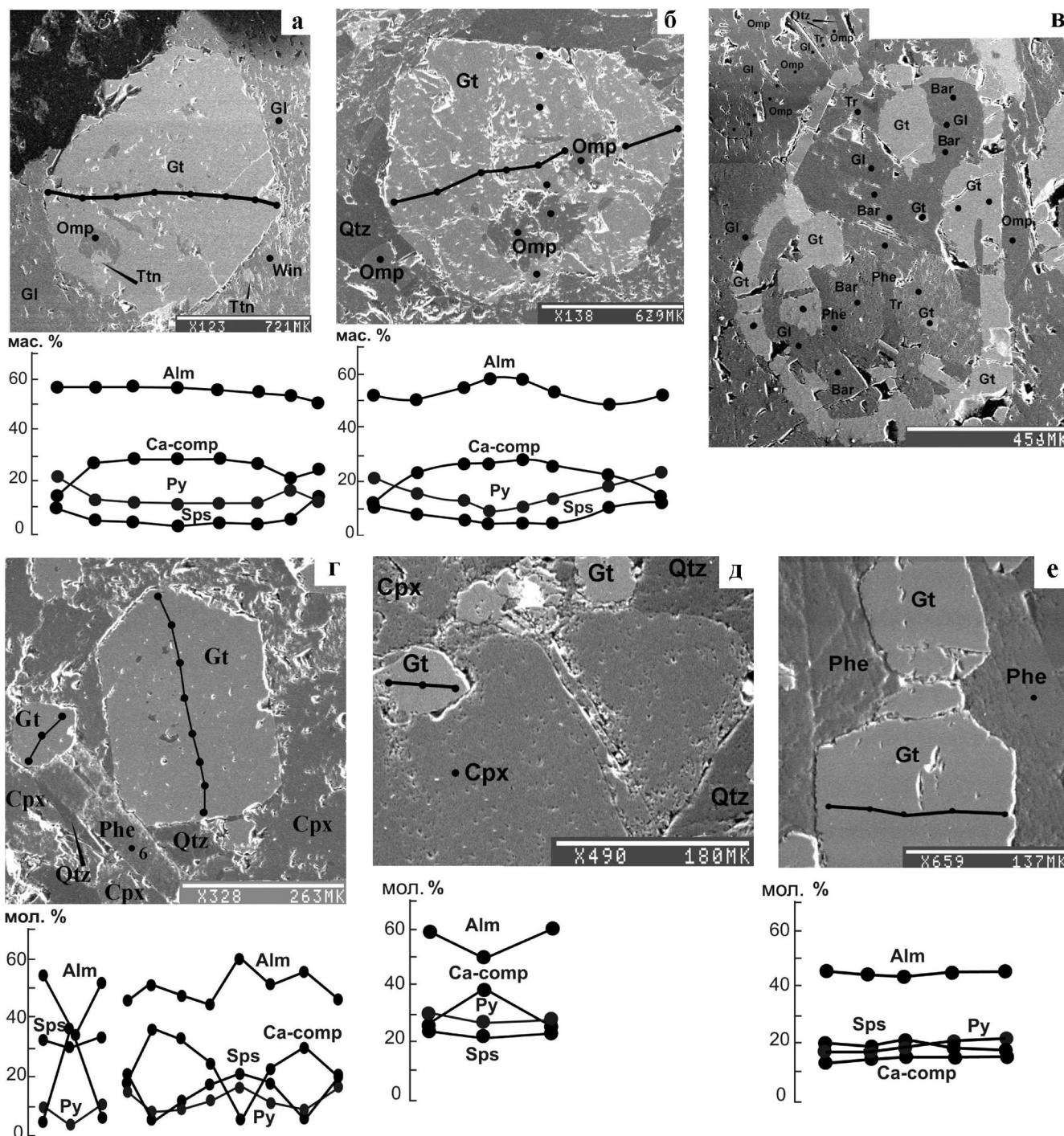


Рис. 9. Микрофотография и микрозондовый профиль через зерно граната из эклогит-бластомилонитов по эклогиту, максютовский эклогит-глаукофансланцевый комплекс, р-н д. Караяново – п. Антиган, обр. № А-2 (а-в), А-3 (г-е).

а, б – из эклогит-бластомилонита с реликтами глаукофанизированного низкожелезистого жадеит-диопсидового эклогита; в, г – из эклогит-бластомилонита по эклогиту; д, е – из гранат-пироксен-кварцевого и гранат-фенгит-кварцевого бластомилонита по эклогиту.

ся при одних и тех же термодинамических параметрах, но разных геохимических условиях высокобарического метаморфизма.

Данный вопрос рассмотрен на примере эклогита из максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса. Исследован образец глаукофанизиро-

ванного низкожелезистого диопсид-жадеитового эклогита из мелкой (порядка 1 м) будины нижней серии района д. Караяново. В образце выделяются следующие зоны:

– диопсид-жадеитовый эклогит, сложенный приблизительно на 90% гранатом (размер кристаллов

до 1.5 мм) и омфацитом, ориентированными по сланцеватости, на 10% – глаукофаном и фенгитом;

– глаукофанизированный эклогит, где выделяются полосы слабоглаукофанизированного (10–15% глаукофана) эклогита и гранат-глаукофановой породы (до 10–12% омфацита);

– гранат-глаукофановая порода (до 5–10% омфацита, кристаллы граната более крупного размера (до 2.5 мм), глаукофан – мелкозернистый).

Гранат по составу соответствует гроссуляр-альмандину и кальциевому альмандину, имеет низкое содержание марганца ($Sps < 1.5$ мол. %) и колебания содержаний (мол. %): пиропового 8–22, альмандинового 58–72 и кальциевого минала 12–33, т.е. типичен для эклогитов и гранат-глаукофановых пород комплекса. Он представлен кристаллами нескольких генераций: “футлярообразные” и “скелетные” кристаллы, в которых центральные и (или) промежуточные зоны заполнены омфацитом–кварцем–фенгитом–титанитом, омфацитом–глаукофаном–фенгитом–титанитом–кварцем, фенгитом–кварцем; трещиноватые кристаллы с незначительным количеством включений кварца и омфацита; “свободные от включений” слаботрещиноватые кристаллы.

Гранат в эклогите представлен тремя генерациями. Кристаллы граната с незначительным количеством кварца по составу отвечают гроссуляр-альмандину–кальциевому альмандину. Они имеют прямую зональность, выраженную в увеличении от центра к краю кристалла содержания магния и железа, уменьшении – кальция. Для центральной зоны кристаллов регистрируется максимально высокое содержание кальция ($Ca_{comp} \geq 30$ мол. %), низкое магния ($Pu \leq 9$ мол. %) и железа ($Alm \leq 59$ мол. %). “Футлярообразные” и “скелетные” кристаллы граната близки по составу и типу зональности выше описанным гроссуляр-альмандинам–кальциевым альмандинам. “Свободные от включений” кристаллы граната имеют неоднородный состав, соответствующий кальциевому альмандину. Для них характерно наиболее высокое содержание магния ($Pu = 20–22$ мол. %), низкое – кальция ($Ca_{comp} \leq 14$ мол. %).

В глаукофанизированном эклогите “скелетные” кристаллы граната по составу и типу зональности близки аналогичному гранату из эклогита, а “свободные от включений” кристаллы кальциевого альмандинового граната близки по составу кальциевым альмандинам из эклогита, но отличаются слабовыраженной сложной зональностью по магнию и кальцию.

В гранат-глаукофановой породе с реликтами эклогита гранат с включениями омфацита и кварца имеет состав гроссуляр-альмандина–кальциевого альмандина и близок по составу и зональности эклогитовому гранату. “Футлярообразный” гранат в промежуточной зоне кристаллов содержит фенгит и кварц. В нем регистрируются следующее распределение элементов: внутренняя зона “оторочки” имеет высо-

кое содержание кальция (Ca_{comp} около 26 мол. %) и низкое магния (Pu около 10 мол. %) и прямую зональность по данным элементам от внутренней к внешней части оторочки. Центральная и промежуточная зоны кристаллов отвечают кальциевому альмандину. Он аналогичен по составу и зональности гранату третьей генерации. В гранат-глаукофановой породе гранат представлен трещиноватыми “свободными от включений” кристаллами с редкими включениями кварца и омфацита. По составу соответствует кальциевому альмандину, т.е. близок по составу и зональности данному гранату других зон.

P-T параметры условий процесса метаморфизма определены с помощью программы “GeoPath”, “Celektor” по парам гранат–клинопироксен и гранат–глаукофан и составляют: при давлении от 10.6 до 17.7 кбар температура равна 765–786°C для эклогита, 709–733°C – для глаукофанизированного эклогита, 671–725°C – для гранат-глаукофановой породы с реликтами эклогита и 712–734°C для гранат-глаукофановой породы. Значения температуры – более высокая для эклогитовой ассоциации и низкая – для глаукофановой, подтверждают представления о том, что процесс глаукофанизации эклогитов протекал с понижением температуры.

Изложенный материал позволяет говорить о наложении гранат-глаукофановой ассоциации на эклогитовую, которая также претерпевает изменения. Процесс глаукофанизации происходил с понижением температуры при увеличении степени окислительного потенциала и щелочности флюида. Такое взаимоотношение этих ассоциаций прослеживается для древних эклогитов и гранат-глаукофановых пород нижней серии максютовского комплекса.

Фенгитизация эклогита

Исследованиями Б.В. Чеснокова [31], Н.Л. Добрецова с соавторами [12], В.И. Ленныха с соавторами [18, 35] установлено, что при фенгитизации эклогита гранат чаще всего обедняется кальцием и обогащается железом. Подчеркивалось, что, в зависимости от процессов формирования эклогита и разных комбинаций наложенных процессов, состав граната изменяется зонально, образуя разные типы зональности.

Изменения состава граната в процессе фенгитизации эклогита рассмотрены на примере железистого жадеит-диопсидового эклогита максютовского комплекса. Крупное по мощности тело эклогита расположено по обоим берегам р. Сакмара примерно в 2.5 км ниже д. Караяново, изменено различными наложенными процессами глаукофанизации, фенгитизации, окварцевания и гранатизации.

Гранат из тонкого прослоя крупнозернистого фенгитизированного эклогита (гранат+клинопироксен+фенгит+кварц) представлен двумя генерациями по размеру и составу: 1) крупным (2.5–5.3 мм) неоднородным гроссуляр-альмандином с повышен-

ным содержанием марганца ($Py_{6.0\pm3.0}Alm_{59.0\pm2.0}Sps_{7.0\pm1.0}Grs_{28.0\pm3.0}$); 2) мелким (0.1–0.3 мм) кальциевым пироп-альмандином ($Py_{29.0\pm3.0}Alm_{55.0\pm2.0}Sps_{1.0\pm1.0}Grs_{15.0\pm2.0}$).

В гранат-фенгит-кварцевом прослое, мощностью 5–7 см гранат образует светло-розовые мелкие (0.1–0.3 мм) зональные (с – $Py_{30.0}Alm_{45.0}Sps_{0.2}Grs_{24.8}$, г – $Py_{33.0}Alm_{51.0}Sps_{0.0}Grs_{16.0}$) кристаллы с замещением кальция на железо и, незначительно, магний от центра к краю.

Кристаллы граната в гранат-глаукофан-кварцевом прослое мощностью около 50 см отвечают составу кальциевый альмандин–пироп-альмандин, зональные (с – $Py_{23.0}Alm_{50.0}Sps_{3.0}Grs_{24.0}$, г – $Py_{31.0}Alm_{53.0}Sps_{3.0}Grs_{13.0}$) с замещением кальция на магний и, незначительно, железо от центра к краю.

При бластомилонитизации и фенгитизации низкожелезистого жадеит-диопсидового эклогита образованы полосы гранат-омфацил-фенгит-кварцевого состава. Гранат является новообразованным, имеет состав кальциевого альмандина–пироп-альмандина и различный тип зональности от центра к краю кристалла: 1) замещение кальция и железа на магний (с – $Py_{18.0}Alm_{57.0}Sps_{1.0}Grs_{23.0}$, г – $Py_{30.0}Alm_{50.0}Sps_{1.0}Grs_{19.0}$); 2) замещение кальция на магний и железо (с – $Py_{23.0}Alm_{47.0}Sps_{2.0}Grs_{28.0}$, г – $Py_{29.0}Alm_{51.0}Sps_{3.0}Grs_{17.0}$).

Таким образом, при фенгитизации эклогита изменяется состав “эклогитового” граната и образуется новый гранат. Состав граната изменяется отgrossуляр-альмандина или кальциевого альмандина до кальциевого пироп-альмандина. Выделяются типы зональности: 1) $Mg \rightarrow Ca + Fe + Mn$; 2) $Fe \rightarrow Ca$; 3) $Mg + Fe \rightarrow Ca$.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ГРАНАТА ПРИ ПОЛИХРОННОСТИ НР-МЕТАМОРФИЗМА

Поздние эклогит-бластомилониты в сдвиговых зонах максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса представлены рассланцованно-складчатыми разновидностями, в которых сохраняются участки или зоны “древних” эклогитов, представленные брекчеевидно-полосчатыми и полосчатыми разновидностями [7].

Гранат в эклогит-бластомилонитах отвечает марганецсодержащему grossуляр-альмандину ($Sps = 3–10$ мол. %), кальцийсодержащему альмандину–пироп-альмандину с высоким содержанием марганца ($Sps = 10–17$ мол. %) и кальцийсодержащему спессартин-альмандину.

Гранат “реликтовый” представлен зональными кристаллами марганец содержащего grossуляр-альмандина–марганец-кальцийсодержащего альмандина. Имеет обратную зональность, выраженную в увеличении содержания марганца (от 3 до 10 мол. %) и магния (от 12 до 23 мол. %), при уменьшении – кальция (от 29 до 13 мол. %) от центра к краю кристалла. Он по составу близок к гра-

нату “древних” эклогитов и их глаукофанизированных разностей, отличается высоким содержанием и обратной зональностью по марганцу.

Поздний гранат образует: 1) мелкие и крупные футлярообразные кристаллы, центральные зоны которых сложены глаукофаном, баррузитом, тремолитом, фенгитом и кварцем; соответствует по составу марганецсодержащему кальциевому альмандину–пироп-альмандину или высококальциевому спессартин-альмандину; 2) мелкие прозрачные кристаллы, неоднородные или зональные по составу (с – $Py_{16.0}Alm_{45.0}Sps_{14.0}Ca-comp_{25.0}$, г – $Py_{22.0}Alm_{51.0}Sps_{15.0}Ca-comp_{15.0}$) от высокомарганцевого grossуляр-альмандина до высокомарганцевого кальцийсодержащего альмандина (от центра к краю) или центральная зона сложена спессартин-альмандином, средняя – марганецсодержащим grossуляр-альмандином, край – высококальциевым спессартин-альмандином.

Определения *PT*-условий метаморфизма по геотермобарометрам (программа “GeoPath”, “Celektor”) дали результаты:

– для бластомилонитизированного глаукофанизированного диопсид-жадеитового эклогита, если принять, что он изменен незначительно, для “ранней” ассоциации, представленной марганецсодержащим grossуляр-альмандином и омфацитом с высоким содержанием жадеитового компонента, определена температура образования 652–761°C при давлении 13.7–20.8 кбар, что соответствует уже известным определениям для эклогитов;

– для “позднего” эклогит-бластомилонита, сложенного марганецсодержащим grossуляр-альмандином–высококальциевым альмандином, омфацитом (содержащим до 8 мол. % акмитового компонента), в незначительных количествах – глаукофаном и тремолитом, определены температура и давление: 608.2–630.7°C при 11.0–13.9 кбар по гранату и включению омфацита в нем, 544.3–603.0°C при 11.0–13.3 кбар по гранату и омфациту матрикса, 487°C по гранату и включению глаукофана в нем и 421–443°C по ним из матрикса, соответственно.

– формирование ассоциаций высокомарганец-кальциевый альмандин–пироп-альмандин–омфацил–фенгит–кварц и альмандин–фенгит–кварц оценивается температурой 456.4–605.6°C при давлении 11.2–14.4 кбар и температурой 436.0–506.0°C при давлении ≥ 11.0 кбар, соответственно.

ВЫВОДЫ

Гранат из эклогитов НР-УНР комплексов Урала характеризуется широкими колебаниями содержаний (мол. %): пиропового от 0.5 до 56, альмандиновое от 16 до 72, спессартинового от 0.2 до 38 и grossуляр-андрадитовое от 16 до 92 миналов, железистостью от 21 до 92%, отвечает

двадцати четырьмя минеральными видами и разновидностями.

Гранат из эклогитов эклогит-гнейсовых комплексов представлен минеральными сериями альмандин-гроссуляром-альмандин-пиропом, содержит очень низкое количество спессартинового минерала (≤ 2.5 мол. %). Гранат из эклогитов эклогит-глаукофансланцевых комплексов характеризуется широкими вариациями состава в минеральных сериях гроссуляр-альмандин-пироп-альмандин-спессартин-альмандин. Первичный эклогитовый гранат изменен повторными процессами *HP* метаморфизма. Гранат из высокобарических образований гранат-глаукофансланцевых комплексов, отвечающий минеральным сериям гроссуляр-альмандин-пироп-альмандин, сравним по составу с аналогичным гранатом эклогит-глаукофансланцевых комплексов.

В кристаллах граната распределение марганца, кальция, железа и магния неоднородно. Однородные кристаллы граната составляют около 15%. В гетерогенных кристаллах регистрируется прямая, обратная и сложная зональность.

Прямая объединяет пять типов: 1) Mn, Ca $\leftarrow$ Fe, Mg или Mn, Ca, Fe $\leftarrow$ Mg; 2) Mn $\leftarrow$ Ca, Fe, Mg или Mn, Fe $\leftarrow$ Ca, Mg; 3) Ca $\leftarrow$ Fe, Mg или Ca, Fe $\leftarrow$ Mg; 4) Mn, Fe $\leftarrow$ Mg; 5) Ca, Fe, Mg $\leftarrow$ Ca.

Обратная – три типа: 1) Mg, Ca $\leftarrow$ Mn, Fe или Mg $\leftarrow$ Ca, Mn, Fe; 2) Ca $\leftarrow$ Mg, Fe или Ca, Fe $\leftarrow$ Mn; 3) Ca $\leftarrow$ Mn, Fe, Mg или Ca, Fe $\leftarrow$ Mn, Mg.

Сложная зональность установлена в 20% изученных кристаллов. Для кристаллов граната из эклогитов эклогит-гнейсовых и гранат-глаукофановых комплексов установлена только прямая зональность, выраженная замещением кальция на магний и железо.

Кристаллы граната из эклогитов эклогит-глаукофансланцевых комплексов имеют все вышеописанное разнообразие типов зональности. Гранат представлен несколькими генерациями, которые различаются по составу и типу зональности.

Неоднородный, с низким содержанием марганца, гроссуляр-альмандин-пироп-гроссуляр-альмандин-высококальциевый пироп-альмандин типичен для эклогитов, образованных при (≥ 21 кбар) *UHP*-метаморфизме, а марганецсодержащие и высокомарганцевые минеральные виды граната характерны для (≤ 15 – 17 кбар) *HP*-процессов метаморфизма.

Состав граната при диафорезе (преобразовании эклогита в гранат-глаукофансланцевую породу) обогащается магнием и железом, обедняется кальцием, перекристаллизован. При фенгитизации эклогита “эклогитовый” гранат обедняется кальцием или кальцием и железом, обогащается магнием или магнием и железом, образуется вторая генерация граната состава кальциевый пироп-альмандин.

При повторных *HP*-процессах метаморфизма (глаукофанизации и эклогитизации высокобарических пород) в сдвиговых зонах “древний” гранат

обедняется кальцием, обогащается марганцем и магнием, для его кристаллов характерна обратная и сложная зональность, образуются поздние генерации граната состава марганец-кальцийсодержащий альмандин-пироп-альмандин.

Работа выполнена в рамках интеграционного проекта УрО РАН – СО РАН – ДВО РАН (2009–2011 гг.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азимов П.Я. Формирование ростовой зональности в метаморфических гранатах. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб: ИГД РАН, 2000. 25 с.
2. Алексеев А.А. Магматические комплексы зоны хребта Уралтау. М.: Наука, 1976. 172 с.
3. Белковский А.И. Эволюция состава гранатов эклогит-сланцевых и эклогит-сланцевомагматитовых комплексов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 226 с.
4. Белковский А.И. Симплектит-эклогиты Среднего Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1989. 190 с.
5. Вализер П.М., Дубинина Е.В. Апоамфиболитовые эклогиты марункеуского эклогит-гнейсового комплекса (Полярный Урал) // Записки РМО. 2006. № 2. С. 98–105.
6. Вализер П.М., Котляров В.А. Микрозональность гранатов максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (Южный Урал) // Палеозоны субдукции: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1999. С. 26–28.
7. Вализер П.М., Краснобаев А.А. Поздние эклогит-бластомилониты максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (Ю. Урал, Россия) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: мат-лы VII Всерос. петрограф. конф. Томск: ЦНТИ, 2009. С. 42–46.
8. Вализер П.М., Ленных В.И. Амфиболы голубых сланцев Урала. М.: Наука, 1988. 203 с.
9. Волкова Н.И., Френкель А.Э., Буданов В.И. и др. Эклогиты максютовского комплекса (Южный Урал): геохимические особенности и природа протолита // Геохимия. 2001. № 10. С. 1027–1038.
10. Добрецов Н.Л. Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 429 с.
11. Добрецов Н.Л., Добрецова Л.В. Новые данные по минералогии эклогит-глаукофансланцевого максютовского комплекса // Докл. АН СССР. 1988. Т. 300, № 1. С. 195–200.
12. Добрецов Н.Л., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н. Особенности минералогии и генезиса эклогит-глаукофансланцевых комплексов на примере Южного Урала // Геология и геофизика. 1971. № 7. С. 45–58.
13. Добрецов Н.Л., Соболев Н.В., Шацкий В.С. Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях. Новосибирск: Наука, 1989. 234 с.
14. Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд. лет) и строения Урала. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГТ, 1988. 25 с.
15. Иванов К.С. Эклогит-глаукофансланцевый пояс Урала: *P-T* модель формирования и выведения на поверхностный уровень // Тектоника и геодинамика

- ка: общие и региональные аспекты. Т. 1. М.: Наука, 1998. С. 205–207.
16. *Ленных В.И.* Эклогит-глаукофановый пояс Южного Урала. М.: Наука, 1977. 160 с.
 17. *Ленных В.И.* Эклогиты и глаукофановые сланцы Урала, новые данные и проблемы // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала: тезисы докл. VI Уральск. петрограф. совещ. Т. 1. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 190–200.
 18. *Ленных В.И., Вализер П.М.* Гранаты экологитов и глаукофановых сланцев Полярного и Южного Урала // Гранаты метаморфических комплексов Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 22–37.
 19. *Ленных В.И., Пучков В.Н., Вализер П.М.* Пространственное положение и относительный возраст глаукофановых сланцев в северо-западном контакте Войкаро-Сынынского массива (Полярный Урал) // Докл. АН СССР. 1976. Т. 228, № 5. С. 1167–1170.
 20. *Лепезин Р.Г., Королюк В.Н.* Типы зональности в гранатах // Геология и геофизика. 1985. С. 71–79.
 21. *Пучков В.Н.* Коллизионная модель формирования экологит-глаукофановых сланцев метаморфического пояса Урала // Новые данные по геологии Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1987. С. 154–162.
 22. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Северного Урала // Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
 23. *Пыстин А.М., Пыстина Ю.И.* Возраст и проблема эксгумации экологитов (на примере Урала) // Постколлизионная эволюция подвижных поясов: мат-лы Междунар. науч. конф. (VII чтения А. Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 15–16.
 24. *Русин А.И.* Унифицированная модель высокого- и сверхвысокого барического метаморфизма орогенных областей // Ежегодник-1996. Екатеринбург: ИГГ УрО АН СССР, 1997. С. 50–55.
 25. *Русин А.И., Аустрхайм Х., Глодни И.* Метаморфизм и кварц-полевошпатовые гнейсы в экологитовой фации (хр. Марун-Кеу, Полярный Урал) // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 90–98.
 26. *Русин А.И., Ворожук Д.В., Аустрхайм Х., Глодни И.* Динамика кристаллизации порфиробласта граната в режиме декомпрессии (марункеуский комплекс, Полярный Урал) // Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 130–134.
 27. *Соболев Н.В.* Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 220 с.
 28. *Удовкина Н.Г.* Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985. 285 с.
 29. *Френкель А.Э.* Особенности минеральных превращений в метаморфических породах уфалейского и максютовского комплексов. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск: ОИГТИМ СО РАН, 2000. 20 с.
 30. *Френкель А.Э., Корсаков А.В., Лепезин Г.Г.* Особенности химического состава и морфологии гранатов из гранат-омфацитовых и гранат-глаукофановых пород максютовского комплекса // Кристаллогенезис и минералогия: мат-лы I Междунар. конф. СПб.: СПбГУ, 2001. С. 111–113.
 31. *Чесноков Б.В.* Изменение состава гранатов при метаморфизме экологитов Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 7. С. 40–48.
 32. *Dobretsov N.L., Shatsky V.S., Coleman R.G. et al.* Tectonic setting and petrology of ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Maksyutov complex, Ural Mountains, Russia // Int. Geol. Rev. 1996. С. 136–160.
 33. *Gao J., Klemb R., Zhang L. et al.* P-T path of high pressure/low temperature rocks and tectonic implications in the western Tianshan Mountains, NW China // J. Metamorphic Geol. 1999. V. 17. P. 621–636.
 34. *Gomez-Pugnaire M.T., Karsten L., Sanchez-Vizcaino V.L.* Phase relationships and P-T conditions of coexisting eclogite-blueschists and their transformation to greenschist-facies rocks in the Nerkau complex (Northern Ural) // Tectonophysics. 1997. V. 276. P. 195–216.
 35. *Lennykh V.I., Valizer P.M.* High-pressure metamorphic rocks of the Maksyutov complex (Southern Urals) // Fourth International Eclogite field symposium. Novosibirsk, OIGGM SB RAS, 1999. P. 64.
 36. *Lennykh V.I., Valizer P.M., Beane R., Leech M.P.* Evolution of the Maksyutov complex Ural Mountains, Russia: Implication for metamorphism // Int. Geol. Rev. 1995. V. 37. P. 64.

Рецензент А.И. Русин

Garnet from eclogites of high-pressure complexes of the Urals

P. M. Valizer

Ilmen State Reserve, Urals Branch of RAS

The peculiarities of chemical composition and zonality of garnets from eclogites of HP-UHP complexes of the Urals such as the Marunkeu eclogite-gneissic, the Maksyutov eclogite-glaucophaneschist and the garnet-glaucophanic Eastern belt of the Voikaro-Synyinsky massif have been considered. Garnets from eclogites belong to grossular-almandine, pyrope-almandine, spessartine-almandine mineral series. They are characterized by broad spectrum of composition (mol. %): pyrope 0.50–56, almandine 16–72, spessartine 0.20–38, and grossular 16–92; ferrosite is 21–92%. Garnet crystals have direct, inverse (reversed) and complex zonality; they can form up to three generations differed in composition and zonality type. During eclogite transformation, “eclogitic” garnet is enriched by Mg and Fe, Ca-content is decreased; the late generations of garnet are formed. In the repeated HP-metamorphism, “eclogitic” garnet is enriched by Mg and Mn, Ca-content is decreased; the late generations of high-manganese garnet are formed. For eclogites formed under UHP-metamorphism, the homogeneous low-manganese grossular-almandines and pyrope-grossular-almandines garnets are typical.

Key words: metamorphism, high-pressure, ultrahigh-pressure, garnet, polychronicle.