

ЗОНАЛЬНОСТЬ ГРАНАТОВ ИЗ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ИЛЬМЕНСКИХ ГОР (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Е.В. Медведева

Ильменский государственный заповедник УрО РАН

456317, Челябинская обл., г. Миасс

E-mail: hranitel@netserv1.ilmeny.ac.ru

Поступила 28 ноября 2006 г.

В данной работе представлены сведения о химическом составе, зональности гранатов и о характере распределения типов зональности в этих минералах из различных структурно-вещественных подразделений (СВП) Ильменских гор. Регрессивная зональность, проявленная в гранате из реликтовых пород – глыб или тектонических клиньев, отражает диафторез в условиях амфиболитовой фации. Прогрессивная зональность в гранате из пород различных СВП является новообразованной.

Ключевые слова: *гранат, зональность, состав минерала, условия образования.*

THE ZONALITY OF GARNETS FROM METAMORPHICS ROCKS OF ILMENY MOUNTAINS (SOUTH URALS)

E.V. Medvedeva

Ilmeny State Reserve

Chemical composition, zonality and distribution of zonality types in garnets from different structure-material divisions (SMD) of the Ilmeny Mountains are given in this paper. Regressive zonality developed in garnets from relic rocks or tectonic wedges corresponds to diaphthoresis in amphibolite facies conditions. Progressive zonality in garnets from different SMD rocks is neogenic.

Key words: *garnet, zonality, mineral composition, forming conditions.*

Введение

Ильменские горы представляют собой южный фрагмент Ильмено-Вишневогорской полиметаморфической зоны, где совмещены различные геологические образования широкого возрастного диапазона, от архея до мезозоя (рис. 1). Среди метаморфических толщ выделяют следующие структурно-вещественные подразделения (СВП): Селянкинский блок – существенно, гнейсовый; ильменская серия – гнейсово-амфиболитовая; сайтовская серия – гнейсово-амфиболитово-сланцевая [Баженов и др., 1992]. Тектонические границы между сериями пород контролируются зонами бластомилонитов, милонитов и субпластовыми телами гипербазитов. Среди пород сайтовской серии широко распространены мелкие тела мегагипербазитов, с которыми ассоциируют гранатовые амфиболиты. В целом, вопрос о геоло-

гическом строении Ильменских гор является дискуссионным [Русин, 2004; Кориневский В., Кориневский Е., 2006].

Гранат является породообразующим минералом во многих метаморфических породах Ильменских гор и часто обнаруживает зональность. В данной работе впервые для Ильменских гор рассматривается выборка зональных индивидов граната из пород различных СВП. Зональность граната отражает эволюцию условий формирования минерала и пород, в которых он образовался. В рамках данного исследования была сделана попытка увязать различные типы зональности с геологическими процессами. В работах предшественников определялся в основном валовый химический состав граната из различных «толщ» [Баженов и др., 1980]. Первые единичные микрозондовые анализы были выполнены для граната из апогнейсовых бластомилонитов Селянкинского блока

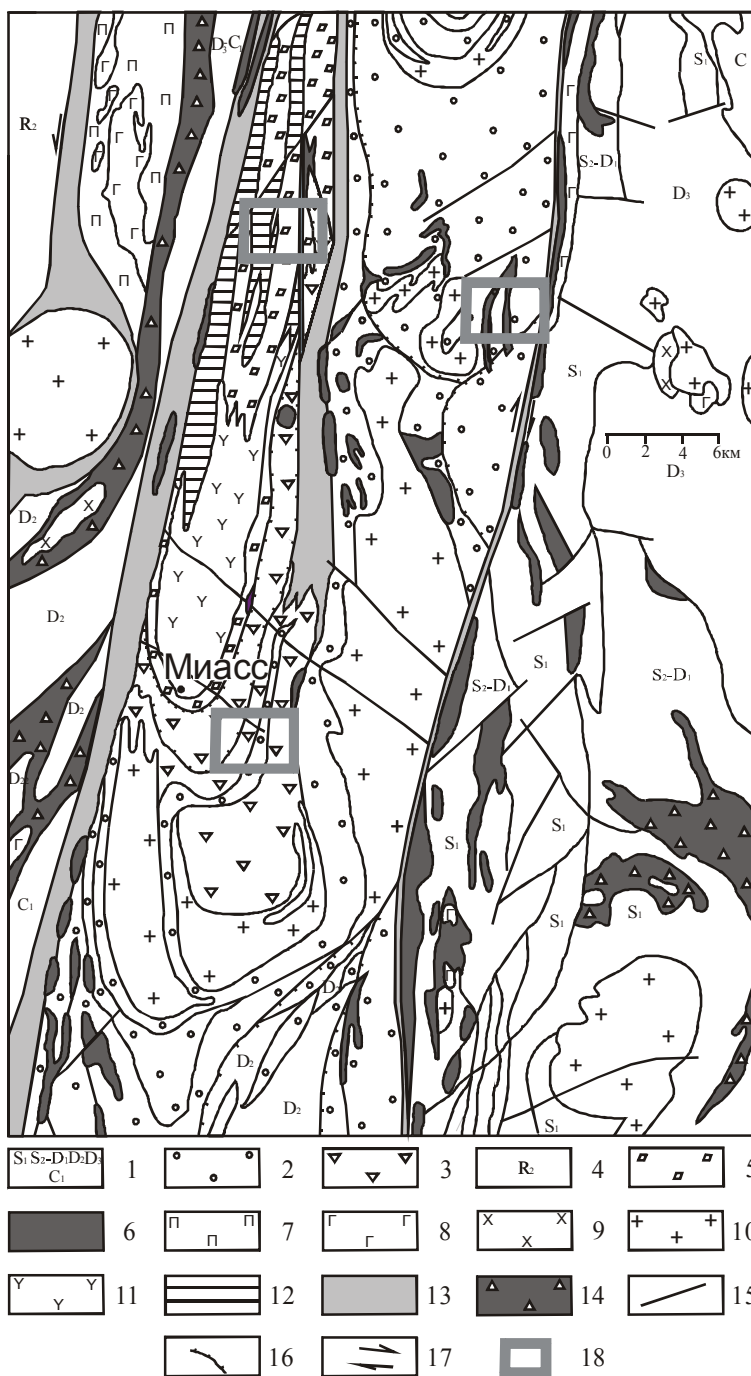


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ильменских гор (по В.И. Ленных, 2002 г).

1 – осадочно-вулканогенные породы, преимущественно слабо метаморфизованные (S_2-C_1); 2 – сайтовская серия ($PZ_1?-S_2$): вулканогенно-осадочные метаморфизованные толщи: сланцы, плагиогнейсы, амфиболиты, графитистые кварциты, карбонатные породы (кундравинская, аракульская, игишская, сайтовская, кыштымская свиты); 3 – ильменская серия ($PZ_1?-V$): амфиболиты, парагнейсы, графитистые кварциты, плагиомигматиты, биотитовые и гранат-биотитовые гнейсы, сланцы с силлиманитом (еланчиковская, ильменогорская свиты); 4 – таганайская свита (R_2): кварциты, кварцито-сланцы, сланцы слюдисто-гранатовые, слюдистые со ставролитом; 5 – Селянкинский блок (AR-PR): гранат-биотит-силлиманитовые, гранат-биотитовые амфиболиты, мигматиты по ним, кальцифиры; 6 – метাগаббро; 7 – пироксениты; 8 – габбро; 9 – диориты; 10 – гранитоиды; 11 – сиениты нефелиновые; 12 – фениты; 13 – бластомилониты; 14 – серпентинитовый меланж; 15 – разломы; 16 – надвиги; 17 – зоны сдвигов; 18 – участки опробования.

[Ленных, Рассказова, 1992]. Зональность индивидов граната характеризуется изменением состава от центра к краю. Прогрессивная зональность [Лепезин, Королюк, 1985] – увеличение содержания магния и снижение количества марганца; регрессивная – увеличение марганца и снижение магния; сложная фиксируется по синхронному изменению обоих компонентов [Авченко, 1982].

Анализы граната были выполнены на приборах РЭММА-202/М с микроанализатором, аналитик В.А. Котляров (ИМин УрО РАН, Ми-

асс), на микронзонде JCXA-733 JEOL, аналитик В.Н. Королюк (ОИГГМ СОРАН, Новосибирск). Оценка РТ-условий образования граната была проведена с привлечением программы Geopatch (авторы Т.В. Геря и Л.Л. Перчук) и гранат-биотитового термометра [Perchuk, 1990]. (Точность определения для температуры варьирует в интервале $\pm 10^\circ\text{C}$, а для давления $\pm 0,5$ кбар). Для определения РТ-параметров были использованы данные химического состава минералов-включений из порфиروبласт граната, а также отдельных индивидов, имеющих

общие с гранатом границы (слюда, амфибол, пироксен, полевой шпат и др.).

Результаты исследований

В породах *Селянкинского блока* (AR-PR) был исследован гранат из мигматизированных гранат-биотитовых, силлиманит-гранат-биотитовых гнейсов и гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев. Гнейсы имеют гетерогранобластовую, лепидогетерогранобластовую, порфиробластовую структуру. Гранат, представленный малокальциевым пироп-альмандином [Соболев, 1964] и малокальциевым альмандином, образует порфиробласты, размером от нескольких миллиметров до первых сантиметров. Крупные порфиробласты представлены скоплением мелких зерен, в отдельных случаях они образуют структуру «снежного кома». Цвет граната розовый со слабым фиолетовым оттенком. В этих породах гранат характеризуется регрессивной зональностью (рис. 2), которая выражена в увеличении альмандиновой и спессартиновой составляющих, уменьшении пироповой составляющей при равномерном распределении кальциевого компонента (табл. 1, зерно 1). При этом, пироп-альмандин образует как собственные порфиробласты, так и слагает ядерные части малокальциевых альмандинов.

Гранат-биотит-амфиболовые кристаллические сланцы имеют лепидогетерогранобластовую, порфиробластовую структуру. Гранат состава гроссуляр-альмандин слагает порфиробласты (1-3 мм) розового цвета, которые содержат ориентированные включения кварца и полевого шпата. Включения образуют цепочки из вытянутых зерен, расположенных под углом 30° к сланцеватости. В этих индивидах гроссуляр-альмандина фиксируется прогрессивная зональность, выраженная в увеличении пироповой составляющей и снижении спессартиновой и кальциевой составляющих на фоне однородного распределения альмандиновой составляющей (рис. 3; табл. 1, зерно 2).

В породах *ильменской серии* (PZ₁?-V) был исследован гранат из гранат-биотит-амфи-

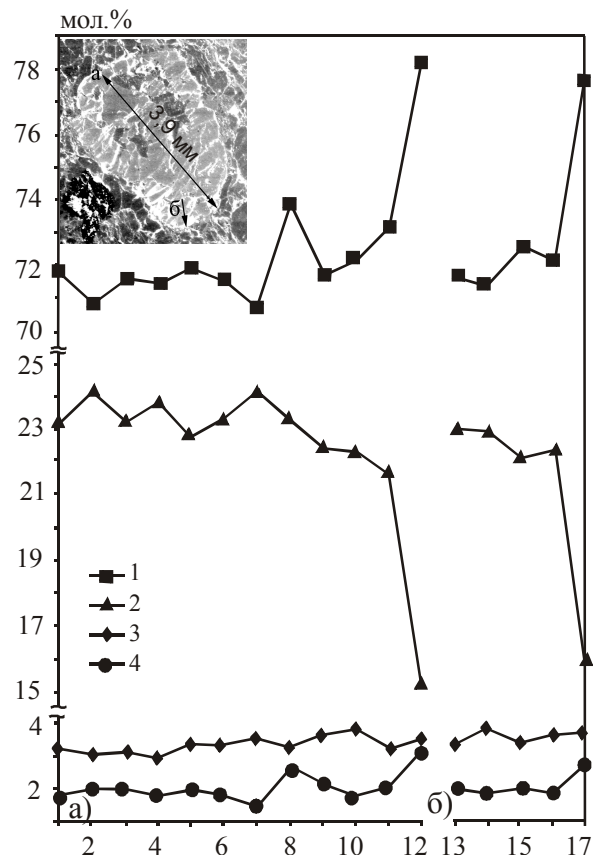
боловых, гранат-пироксен-амфиболовых кристаллических сланцев и куммингтонитовых амфиболитов. Образцы пород были отобраны из керна скважины ИС2000. Кристаллические сланцы характеризуются гетерогранобластовой, реже лепидогетерогранобластовой структурой, амфиболиты – нематогранобластовой структурой. В этих породах гранат образует порфиробласты (от 1,6 до 3-4 мм), которые часто уплощены по сланцеватости и содержат незначительное (до 5 %) количество включений (полевые шпаты, кварц, амфибол, слюда). В куммингтонитовых амфиболитах гранат представлен в виде порфиробласт размером до 5 мм, часто они образуют скопления до 4-5 порфиробласт, облекаемых чешуйками слюды. Гранат-пироксен-амфиболовые кристаллические сланцы имеют полосчатую текстуру, фрагментарно развита каткластическая. Здесь гранат представлен порфиробластами (1-3 мм) изометричной формы.

Регрессивная зональность определена:

1) в ядерной части порфиробласт кальциевого пироп-альмандина (табл. 1, зерно 3) из гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев, в идиобластах альмандина (табл. 1, зерно 5) из куммингтонитовых амфиболитов, где она выражена в увеличении спессартиновой и аль-

Рис. 2. Регрессивная зональность в гранате из гранат-биотитовых гнейсов Селянкинского блока.

Условные обозначения на рис. 2-5: 1 – альмандин; 2 – пироп; 3 – Са компонент; 4 – спессартин.



Состав зональных индивидов граната из метаморфических пород Ильменских гор

Зерно	зона	n	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Σ	f	Py	Alm	Sp	Ca
Селянкинский блок														
1	с	3	37,3	21,7	31,7	1,3	6,9	1,1	100,0	0,72	26,2	67,9	2,9	3,0
	г	4	36,2	21,4	34,3	2,5	4,8	0,8	100,0	0,80	18,5	73,9	5,3	2,3
2	с	4	38,0	20,7	27,9	1,7	2,3	9,5	100,1	0,87	8,0	61,2	3,9	26,9
	г	3	38,0	21,2	28,3	0,9	4,0	7,7	100,1	0,80	15,4	61,3	1,9	21,4
Ильменская серия														
3	с	1	38,3	22,3	27,6	0,3	6,2	5,2	99,9	0,72	24,0	60,7	0,7	14,6
	г	4	37,9	21,7	29,1	0,8	5,5	4,9	99,9	0,75	21,5	63,0	1,8	13,7
4	с	1	37,00	20,6	28,7	2,1	2,3	9,2	99,9	0,87	8,9	61,4	4,4	25,3
	г	2	37,0	20,8	27,3	3,7	1,5	9,8	100,1	0,92	5,7	59,1	8,1	27,1
5	с	1	37,1	21,8	30,5	1,7	5,0	3,9	100,0	0,78	19,3	66,2	3,6	10,9
	г	2	37,1	21,9	30,8	2,3	4,3	3,8	100,2	0,80	16,7	67,9	5,0	10,4
6	с	1	38,8	21,7	29,3	1,2	4,9	4,1	100,0	0,77	19,5	66,0	2,8	11,7
	г	2	38,0	21,8	28,9	2,1	4,0	5,1	99,9	0,80	16,0	64,5	4,9	14,6
7	с	1	36,9	21,4	28,0	2,9	2,8	7,8	99,8	0,85	10,8	61,1	6,4	21,7
	г	6	37,2	21,3	29,9	1,3	3,6	6,7	100,0	0,82	13,8	64,8	2,8	18,6
Саитовская серия														
8	с	1	–	–	18,2	19,4	2,8	1,7	–	0,79	11,0	40,6	43,7	4,7
	г	2	–	–	17,5	20,9	2,51	0,9	–	0,80	10,1	39,4	47,8	2,7
9	с	1	–	–	20,8	17,8	2,8	1,4	–	0,81	11,0	45,8	39,3	3,9
	г	2	–	–	20,0	18,7	2,4	1,2	–	0,82	9,6	44,7	42,4	3,3
10	с	3	37,1	21,4	21,1	14,9	2,9	2,6	100,0	0,80	11,7	47,2	33,7	7,4
	Г ₁	3	37,4	21,5	19,7	12,4	2,5	7,1	100,6	0,80	9,7	42,8	27,6	19,9
	Г ₂	3	37,3	21,3	22,7	11,1	3,4	4,1	99,9	0,79	15,5	50,6	23,0	10,9
	Г ₃	2	37,6	21,3	23,4	11,6	4,2	1,8	99,9	0,75	16,6	52,0	26,2	5,2
11	с	1	37,8	21,5	4,9	28,2	2,1	4,9	99,4	0,56	8,7	11,2	65,6	14,5
	г	2	38,4	21,7	4,5	25,0	1,2	9,3	100,1	0,67	5,0	10,2	57,7	27,1
Амфиболиты, ассоциирующие с метагипербазитами														
12	с	2	37,8	22,0	24,2	4,4	4,3	7,3	100,0	0,82	16,8	52,8	9,7	20,7
	z ₁	5	38,7	22,7	21,1	1,3	5,3	11,0	100,1	0,78	20,7	45,3	3,0	31,0
	z ₂	2	38,8	22,7	22,1	1,5	5,7	9,0	99,8	0,81	22,5	48,4	3,6	25,5
13	с	1	37,0	21,3	29,5	0,9	4,6	6,6	99,9	0,72	18,5	60,3	2,0	19,2
	z ₁	1	37,3	21,2	29,7	0,7	5,8	5,3	100,0	0,74	23,1	60,3	1,4	15,2
	z ₂	2	37,1	21,3	29,1	0,7	5,2	6,6	100,0	0,78	20,6	58,7	1,7	19,0
14	с	1	36,6	21,5	24,5	2,7	2,8	11,8	99,9	0,91	11,4	48,1	6,2	34,3
	z ₁	6	37,29	21,4	26,4	0,82	3,19	10,8	99,9	0,90	12,8	54,3	1,9	31,0
	z ₂	2	38,1	22,0	27,3	0,0	4,2	8,2	99,8	0,90	16,7	59,6	0,0	23,7
15	с	7	37,7	21,6	25,2	2,4	3,0	10,1	100,0	0,79	11,7	54,4	5,3	28,6
	г	6	37,9	21,8	26,8	1,0	4,0	7,2	98,7	0,80	15,7	58,2	2,3	23,8
16	с	1	37,5	21,4	26,4	0,7	3,1	10,8	99,9	0,90	12,5	55,2	1,5	30,8
	г	9	38,1	21,6	28,1	0,1	4,2	7,9	100,0	0,91	16,4	61,4	0	22,2
17	с	1	38,0	22,1	25,8	1,6	4,8	7,6	99,9	0,80	18,4	56,7	3,4	21,5
	z ₁	6	37,8	21,7	24,8	2,2	4,0	9,5	100,0	0,79	15,6	52,6	4,8	27,0
	z ₂	13	37,5	21,8	26,5	1,5	4,6	7,7	99,6	0,80	18,0	56,9	3,3	21,8
18	с	1	–	–	30,2	1,0	6,6	3,3	–	0,72	27,2	58,0	3,8	11,0
	г	4	–	–	27,6	1,8	7,3	3,7	–	0,68	24,9	64,1	2,1	8,9
19	с	7	36,8	21,0	29,6	0,5	3,8	8,2	99,9	0,82	15,5	59,4	1,2	23,9
	г	3	37,1	21,2	27,2	1,1	4,5	8,8	99,9	0,84	18,0	53,9	2,5	25,6
20	с	8	37,9	21,9	26,4	0,6	5,1	8,1	100	0,84	20,2	55,7	1,3	22,8
	г	3	38,1	21,9	27,0	1,0	6,5	5,4	99,9	0,79	25,4	57,2	2,4	15,0

Примечание. f = FeO/(FeO + MgO); Py – пироп, Alm – альмандин, Sp – спессаргин, Ca – кальциевый компонент; с – центр, г – край, z – зона.

Рис. 3. Прогрессивная зональность в гранате из гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев Селянkinского блока.

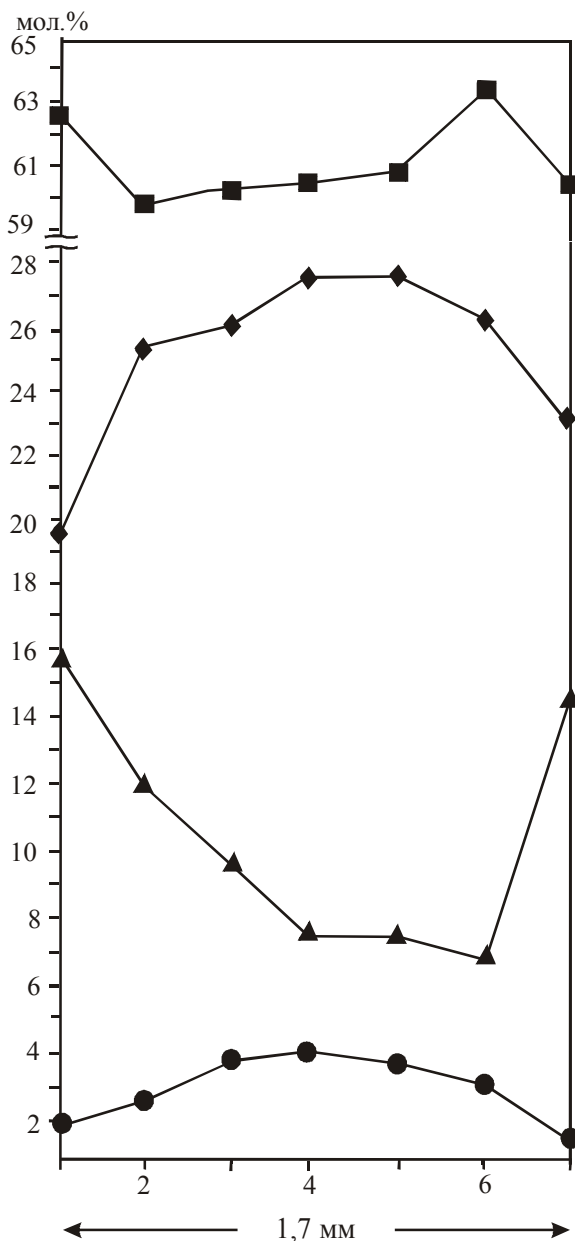
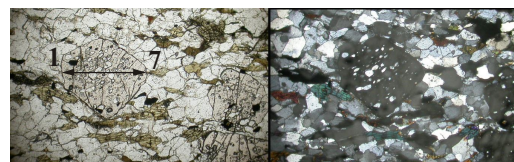
мандиновой составляющих и снижении пироповой составляющей и кальциевого компонента;

2) в идиобластах кальциевого альмандина (табл. 1, зерно 6) и гроссуляр-альмандина (табл. 1, зерно 4) из гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев, где она характеризуется снижением пироповой и альмандиновой составляющих и увеличением спессартиновой и кальциевой составляющих.

Прогрессивная зональность четко выражена в альмандинах (рис. 4б; табл. 1, зерно 7) из гранат-пироксен-амфиболовых кристаллических сланцев. Она характеризуется увеличением пироповой и альмандиновой составляющих и снижением спессартиновой и кальциевой составляющих (рис. 4).

В породах *саитовской серии* был исследован гранат из кварцито-гнейсов, мусковит-биотитовых и графитистых кварцитов. Мусковит-биотитовые кварциты представлены мелкозернистыми разностями светло- и темно-серого цвета, смятыми в мелкие плейчатые складки, и пересечены жилками плагиоклаз-калишпатового состава (1,5-2 см). Породы имеют лепидогетерогранобластовую структуру. Гранат в этих породах образует идиобласты бледно-розового, фиолетового и коричневого цвета, размеры которых варьируют от 0,25 мм до 1,2 мм и содержат многочисленные мелкие включения рудных минералов, кварца, апатита. Состав гранатов соответствует спессартин-альмандину (табл. 1, зерно 9) и альмандин-спессартину (табл. 1, зерно 8), в них фиксируется неоднородность, близкая к регрессивной зональности. Она выражена в увеличении спессартиновой составляющей, снижении альмандиновой, пироповой составляющих и кальциевой компоненты.

Графитистые кварциты представлены мелкозернистыми разностями темно-серого цвета, имеют плейчатую и полосчатую текстуру. Полосчатая текстура обусловлена чередованием светлых и темных полос мелкозернистой структуры, но в отдельных случаях мелкозернистые слои темно-серого цвета чередуются с серовато-белыми слоями крупнозернистого агрегата кварца. Микроструктура этих пород гетерогранобластовая. Гранат представлен в виде идиобласт (0,1-0,07 мм) бледно-розового цвета. Внут-



ри светлых полос с крупнозернистой структурой индивидуальности граната расположены в виде цепочек, вытянутых вдоль полосчатости, а в меланократовых – хаотично. Гранаты из этих пород в ядерной части сложены кальциевым спессартином, а в краевой части – гроссуляр-спессартином (табл. 1, зерно 11), в них определена сложная зональность, выраженная в увеличении кальциевого компонента и уменьшении пироповой спессартиновой и альмандиновой составляющих.

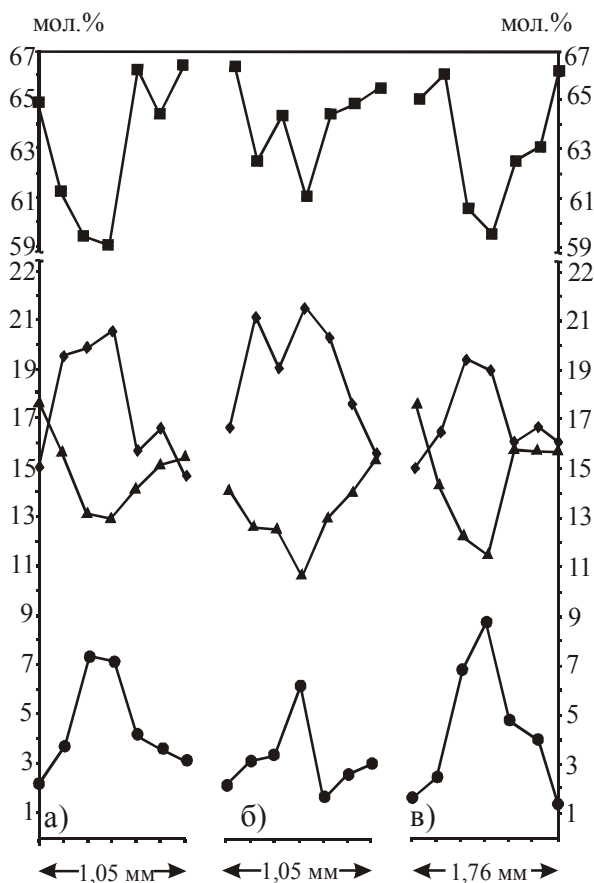


Рис. 4. Прогрессивная зональность в альмандинах из гранат-пироксен-амфиболовых кристаллических сланцев ильменогорской серии.

Гранатовые амфиболиты, ассоциирующие с метагипербазитами, представлены в виде разрозненных блоков среди графитистых кварцитов сайтовской серии [Медведева, Вализер, 2001].

Тела амфиболитов в ядерной части сложены породами массивной текстуры гранат-биотит-амфиболового, корунд-цоизит-гранат-амфиболового состава, в краевой части – гранат-амфибол-хлоритовыми сланцами.

В кальциевых гранатах из этих пород обнаружена регрессивная, прогрессивная и сложная зональность. Прогрессивная зональность здесь представлена двумя разновидностями.

В гранатовых амфиболитах для порфиробласт, представленных в ядре высококальциевым альмандином, в краевой части, кайме – гроссуляр-альмандином (табл. 1, зерно 12), для зоны ядро – край фиксируется прогрессивная зональность, выраженная в увеличении пироповой составляющей и кальциевой компоненты, снижении спессартиновой и альмандиновой составляющих. В кайме таких зерен фиксируется сложная зональность, отмеченная ранее в кайме спессартинового граната из кварцито-гнейсов. Реже прогрессивная зональность такого вида проявлена в порфиробластах: ядро – высококальциевый пироп-альмандин, край – высококальциевый альмандин (табл. 1, зерно 13).

В хлоритизированных гранатовых амфиболитах для индивидов, сложенных в ядре гроссуляр-альмандином, а на краю – альмандином (табл. 1, зерно 14), исследована зональность, выраженная в увеличении пироповой и альмандиновой составляющих, снижении спессартиновой составляющей и кальциевой компоненты. В гранат-амфибол-хлоритовых сланцах, обрамляющих тела гранатовых амфиболитов, эта разновидность зональности отмечена в порфиробластах следующего состава: ядро – гроссуляр-альмандин, край – альмандин (табл. 1, зерна 15, 16).

Регрессивная зональность проявлена в центральной части граната из гранат-амфибол-хлоритовых сланцев, сложенных в ядре пироп-альмандином, в краевой части – гроссуляр-альмандином, в кайме – альмандином (табл. 1, зерно 17). В кайме таких индивидов проявляется прогрессивная зональность.

Кварцито-гнейсы образуют линзовидное тело среди кварцитов, имеют светло серый цвет, характеризуются полосчатой текстурой. Микроструктура лепидогетерогранобластовая, порфиробластовая. Основную массу породы составляют кварц, полевые шпаты, флогопит и мусковит. В виде порфиробласт присутствуют кианит, андалузит, реже гранат. Гранат также встречается в виде мелких идиобласт розового цвета среди основной массы, но здесь он однороден. Состав граната соответствует спессартин-альмандину. В порфиробластах граната проявлено две разновидности сложной зональности и прогрессивная зональность (рис. 5, табл. 1, зерно 10). В ядре отмечается сложная зональность. Она выражена в увеличении кальциевого компонента и уменьшении пироповой спессартиновой и альмандиновой составляющих. В краевой части – прямая зональность, фиксирующая увеличение пироповой и альмандиновой составляющих и уменьшение спессартиновой составляющей и кальциевой компоненты. В кайме – сложная зональность, характеризующаяся увеличением пироповой и альмандиновой, спессартиновой составляющих и снижении кальциевой компоненты.

Рис. 5. Зональность спессартин-альмандина из кварцито-гнейсов саитовской серии.

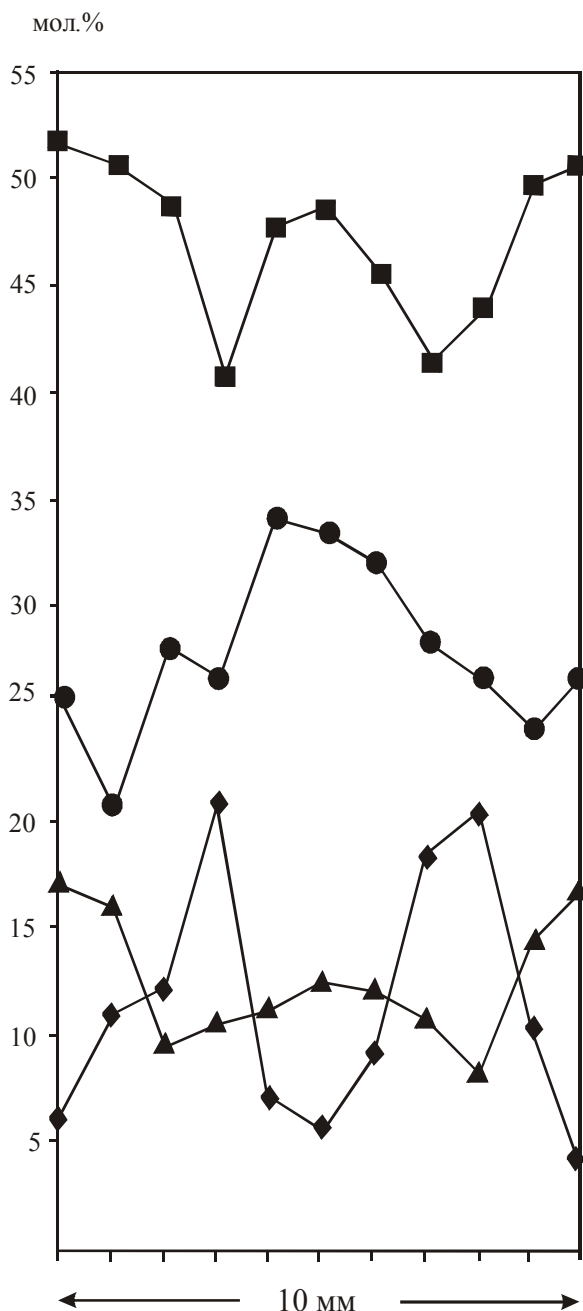
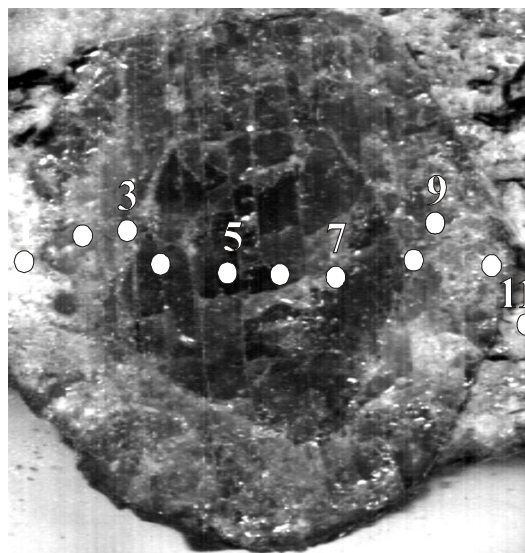
Сложная зональность представлена двумя разновидностями. В гранате из гранатовых амфиболитов и их хлоритизированных разностях обнаружена зональность, выраженная в увеличении пироповой, спессартиновой составляющих и кальциевого компонента и снижении альмандиновой составляющей: в пироп-альмандине (табл. 1, зерно 18) и в порфиробластах состава альмандин-гроссуляр-альмандин (табл. 1, зерно 19).

В порфиробластах альмандина (табл. 1, зерно 20) из гранат-амфибол-хлоритовых сланцев наблюдается иной вид сложной зональности, выраженной в увеличении пироповой, альмандиновой и спессартиновой составляющих и снижении кальциевого компонента.

Обсуждение результатов

Селянкинский блок. В гнейсах этого блока широко распространена регрессивная зональность (табл. 2), сопоставимая с зональностью, писанной А.Д. Рассказовой, в гранатах из апогнейсовых бластомилонитов. Такая зональность характерна для гранатов из метапелитов гранулитовых комплексов [Лепезин, Королук, 1985; Borghi et al., 2003]. Для малокальциевого пироп-альмандина с такой зональностью определено снижение параметров условий образования от центра к краю от 740°C 6,0 кбар до 590°C 3,5 кбар (рис. 6). Возможно, эта зональность отражает первичную гетерогенность [Жарикова, Фонарев, 2001] состава граната, т.е. центральная часть фиксирует условия гранулитовой фации метаморфизма, а краевая – условия диафтореза амфиболитовой фации. Сходные значения P-T-условий были определены [Сухоруков, Королук, 2006] для «силлиманит-гранат-биотитовых сланцев» Ольхонской коллизионной системы, где линзы и пластины этих пород расположены в гетерогенном бластомилонитовом матриксе.

Прогрессивная зональность гроссуляр-альмандина из гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев отражает возрастание температуры и снижение давления от 540°C и 4,5 кбар до 714°C и 1,5 кбар. Расположение включений в порфиробластах свидетельствует о том, что данный гранат для этой породы явля-



Типы зональности граната из метаморфических пород Ильменских гор

Типы зональности Py;Alm;Sp;Ca _{comp.}	Селянкинский блок		Ильменская серия			Саитовская серия			Метабазиты, ассоциирующие с метагипербазитами			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Регрессивная	-;+;+;0	+										
	-;+;+;-			+								
	-;+;+;+			+		+						+
	-;+;+;+			+								
	-;+;+;-						+					
Прогрессивная	+;0;-;-		+									
	+;+;-;-				+			+		+	+	+
	+;-;-;+								+	+		
Сложная	-;-;-;+						+	+				
	+;+;+;-							+				+
	+;-;-;+									+	+	
	+;-;-;-										+	

Примечание. 1 – силлиманит-гранат-биотитовые мигматизированные гнейсы, 2 – гранат-биотит-амфиболовые кристаллические сланцы, 3 – гранат-биотит-амфиболовые кристаллические сланцы; 4 – гранат-пироксен-амфиболовые кристаллические сланцы, 5 – куммингтонитовые амфиболиты, 6 – мусковит-биотитовые кварциты; 7 – графитистые кварциты; 8 – кварцито-гнейсы с кианитом, 10 – гранат-цоизитовые амфиболиты; 11 – гранатовые амфиболиты; 12 – гранатовые амфиболиты хлоритизированные. «+» – увеличение, «-» – снижение, «0» – равномерное распределение компонентов.

ется новообразованным. Обнажение, из которого отбиралась проба, находится на западном берегу оз. Ишкуль, близ зоны развития бластомилонитов, которые контролируются тектоническими нарушениями. Вероятно формирование прогрессивной зональности в данном случае связано с активизацией сдвиговой тектоники.

Ильменская серия. Регрессивная зональность в гранатах из гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев отражает снижение температуры и увеличение давления: для кальциевого пироп-альмандина – от 800°C и 2,0 кбар до 710°C и 3,5 кбар; для гроссуляр-альмандина – от 800° и 3,0 кбар до 610° и 3,5 кбар. Кальциевый альмандин из гранат-биотит-амфиболовых кристаллических сланцев формировался при снижении параметров от 760°C, 5,0 кбар до 740°C, 4,5 кбар, а в куммингтонитовых амфиболитах кальциевый альмандин образован в интервале от 710°C, 10,5 кбар до 660°C, 11 кбар. Прогрессивная зональность, отмеченная в высококальциевом альмандине из гранат-пироксен-амфиболовых кристаллических сланцев при использовании данных по составам граната, амфибола и плагиоклаза отражает изменение условий образования от 610°C, 4,0 кбар до 670°C, 2,5 кбар.

Саитовская серия. Регрессивная зональность в спессартин-альмандинах из биотит-

мусковитовых кварцитов отражает незначительные колебания условий преобразования граната при влиянии гранитов на породы серии [Медведева, 2003]. Условия образования граната рассчитаны для ассоциации гранат-биотит-полевой шпат (рис. 6). В гроссуляр-спессартине из графитистых кварцитов сложная зональность представляется следствием снижения температуры и роста давления, в соответствии с концепцией, изложенной в работе [Лепезин, Корольюк, 1985]. Рассчитать РТ-параметры для этого граната не представляется возможным, т.к. в этих кварцитах отсутствуют минералы, которые можно было бы привлечь для использования геотермометров. Однако эта зональность сопоставима с зональностью в ядерной части порфиробласта спессартин-альмандина из кварцито-гнейсов. В крупном порфиробласте спессартин-альмандина из кварцито-гнейсов наблюдается сочетание трех зон, которые фиксируют от центра к краю следующий порядок смены РТ-условий: 580°C, 3,5 кбар → 650°C, 5,5 кбар → 600°C, 3,5 кбар [Медведева, 2005]. При этом проявленная во второй зоне прогрессивная зональность сопоставима с прогрессивной зональностью граната из гранат-пироксен-амфиболовых кристаллических сланцев ильменской серии и с зональностью граната из

ЗОНАЛЬНОСТЬ ГРАНАТОВ ИЗ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД

Рис. 6. Оценки РТ-параметров для гранатов из метаморфических пород Ильменских гор и ассоциирующих с ними минералов.

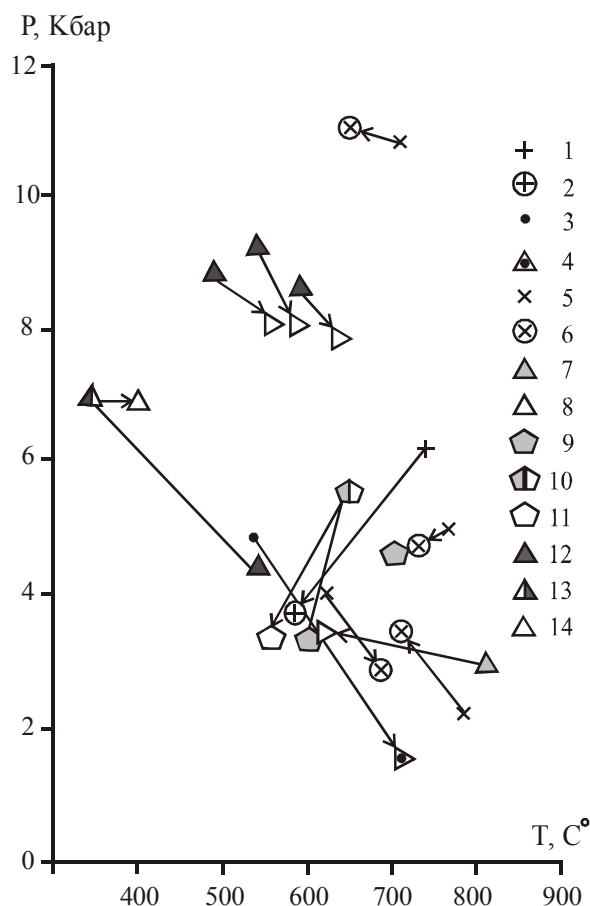
Селянkinский блок. 1, 2 – пироп-альмандин: 1 – центр, 2 – край; 3, 4 – гроссуляр-альмандин: 3 – центр, 4 – край. Ильменская серия. 5, 6 – кальциевые пироп-альмандин, альмандин и высококальциевый альмандин: 5 – центр, 6 – край; 7, 8 – кальциевые и высококальциевые альмандины: 7 – центр, 8 – край. Сайтовская серия: 9-11 – спессартин-альмандин: 9 – центр, 10 – край, 11 – кайма. Амфиболиты, ассоциирующие с метагипербазитами. 12-14 – кальциевые и высококальциевые пироп-альмандин, альмандин и гроссуляр-альмандин: 12 – центр, 13 – край, 14 – кайма.

гранатовых амфиболитов, ассоциирующих с метагипербазитами (табл. 2).

В гранатах из гранатовых амфиболитов, ассоциирующих с метагипербазитами, определены: прогрессивный, регрессивный и сложный типы зональности. При этом наиболее вероятно, что проявленная в этих гранатах регрессивная зональность первичная. Она отражает снижение РТ-условий образования от 550°C, 4,0 кбар до 350°C, 7,0 кбар, что свидетельствует о том, что гранат образовался на этапе диафтореза в условиях амфиболитовой фации. Сложная зональность в этих гранатах, проявленная в краевой зоне, сопоставима со сложной зональностью краевой части спессартин-альмандина из кварцито-гнейсов, что свидетельствует о влиянии на эти породы метасоматических процессов. Прогрессивная зональность граната из гранатовых амфиболитов наиболее ярко проявлена в краевых частях тел, где амфиболиты преобразованы в гранат-амфибол-хлоритовые сланцы; возможно, в данном случае она не отражает прямой зависимости от параметров условий образования, т.к. в этот процесс были вовлечены породы базит-гипербазитовой ассоциации с вмещающими их кварцитами [Медведева, Вализер, 2001]. В.Г. Кориневским [Кориневский В., Кориневский Е., 2004] высказано предположение об олистостромовой природе тел гранатовых амфиболитов и ассоциирующих с ними метагипербазитов.

Заключение

Распределение зональности в гранатах из пород различных СВП Ильменских гор (табл. 2) свидетельствует о том, что каждое из них характеризуется определенными сочетаниями ти-



пов зональности граната, отражающих историю их формирования.

Регрессивная зональность проявлена в гранатах из реликтовых пород – глыб, пластин.

Прогрессивная зональность развивается в новообразованных индивидах или фиксируется в зернах с комбинированной зональностью, где на границе зон можно заметить формирование отдельных минеральных индивидов (например, силлиманита в спессартин-альмандине из кварцито-гнейсов). Породы, в которых гранат обнаруживает прогрессивную зональность, расположены либо в непосредственной близости от зон развития бластомилонитов, либо характеризуются локальным развитием катакlastической текстуры. Таким образом, прогрессивная зональность, проявленная в гранате из различных СВП, является новообразованной.

Такое распределение зональности является косвенным доказательством разрозненности глыб-пластин, расположенных в сдвиговой зоне среди гетерогенного бластомилонитового матрикса.

Исследования поддержаны грантом РФФИ-Урал № 07-05-96020-р_урал_а.

Список литературы

- Авченко О.В.* Петрогенетическая информативность гранатов. М.: Наука, 1982. 100 с.
- Баженов А.Г., Белозуб Е.В., Ленных В.И., Рассказова А.Д.* Уфимская субширотная структура (путеводитель). Миасс: ИМин УрО РАН, 1992. 89 с.
- Баженов А.Г., Иванов Б.Н., Кутепова Л.А.* Гранаты кристаллических сланцев Ильменогорского комплекса // Гранаты метаморфических комплексов Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 60-69.
- Жарикова Л.Ю., Фонарев В.И.* Экспериментальное моделирование кристаллизации зональных гранатов, сопоставление с природными данными // Тез. докл. 14 Всерос. совещ. по экспериментальной минералогии. Черногородка, Московской обл.: Богородский печатник, 2001. С. 228.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В.* Экзотические амфиболиты Ильменских гор (Южный Урал) состав и геологическая позиция // Геология и геофизика. 2004. № 9. С. 1114-1127.
- Кориневский В.Г., Кориневский Е.В.* Новое в геологии, петрографии и минералогии Ильменских гор. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 102 с.
- Ленных В.И., Рассказова А.Д.* Особенности гранатов из метапелитов Селянкинского блока ильмено-вишневогорского комплекса // Минералы и минеральное сырье Урала. Екатеринбург: УНЦ, 1992. С. 58-63.
- Лепезин Г.Г., Королюк В.Н.* Типы зональности в гранатах // Геология и геофизика. 1985. № 6. С. 71-79.
- Медведева Е.В.* Гранат из кварцитов ильменогорской и сайтовской серий Ильменогорского комплекса // Мат-лы IV Всерос. совещ. «Минералогия Урала-2003». Т. I: Общие вопросы минералогии и кристаллографии. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003, С. 91-96.
- Медведева Е.В.* Зональность спессартин-альмандин из кварцито-гнейсов сайтовской серии (Ильменские горы, Южный Урал) // Мат-лы V Междун. симпозиум. «Минералогические музеи». СПб, 2005. С. 145-146.
- Медведева Е.В., Вализер П.М.* Гранаты из амфиболитов, ассоциирующих с метагипербазитами // Известия Челябинского научного центра Вып. 1(10). 2001. С. 55-60.
- Русин А.И.* Метаморфические комплексы Урала и проблема эволюции метаморфизма в полном цикле развития литосферы подвижных поясов. Автореф. докт. дис. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. 46 с.
- Соболев Н.В.* Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 218 с.
- Сухоруков В.П., Королюк В.Н.* Условия экспонирования гранулитов Ольхонской коллизионной системы (Западное Прибайкалье) по данным изучения бластомилонитов // Мат-лы междунар. науч. конф. «Метаморфизм и геодинамика». Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 133-136
- Borghi A., Castelli D, Lombardo B., Visona D.* Thermal and baric evolution of garnet granulites from the Kharta region of S Tibet, E Himalaya // European J. Mineralogy 2003. V. 15. № 2. P. 401-418.
- Perchuk L.L.* Derivation of thermodynamically consistent system of geothermometers and geobarometers for metamorphic and magmatic rocks // Progress in metamorphic and magmatic petrology / Ed. L.L. Perchuk. Cambridge University Press, 1990. P. 93-112.

Рецензент кандидат геол.-мин. наук Е.В. Пушкарёв