

УДК 549.612: 549.322.2

ЗОНАЛЬНОСТЬ И СЕКТОРИАЛЬНОСТЬ КРИСТАЛЛОВ ШЕРЛА ИЗ ПЕГМАТИТОВ ИЛЬМЕНСКИХ ГОР НА УРАЛЕ

В.И. Попова, В.А. Попов, Е.И. Чурин, И.А. Блинов
Институт минералогии, УрО РАН, Миасс, popov@mineralogy.ru

Исследованы форма, окраска и состав зонально-секториальных кристаллов турмалина ряда дравит-оленин-шерл и оленин-шерл из поздних гранитных пегматитов Ильменских гор. Шерлы разных жил различаются железистостью $f = \text{Fe}_{\text{общ}} / (\text{Fe}_{\text{общ}} + \text{Mg})$. В безамазонитовых пегматитах копи 232 центральные и средние зоны роста шерла имеют $f = 0.67 - 0.74$, а периферические — $0.83 - 0.85$. Шерл безамазонитовой топаз-берилловой копи 196 и амазонитовых пегматитов копей 112 и 270 не содержит Mg, но относительно обогащен Mn. Различная окраска одновозрастных (синхронных) зон разных пирамид роста шерла обусловлена как разной железистостью, так и различием в содержаниях Al, Mg и Mn.

В статье 1 таблица, 5 рисунков, список литературы из 6 названий.

Ключевые слова: гранитный пегматит, шерл, зональность кристаллов, Ильменские горы, Южный Урал.

В известной коллективной монографии «Минералы Ильменского заповедника» отмечалось (Раскатова, 1949), что турмалин встречался во многих амазонитовых и в единичных безамазонитовых копиях, но обычно в виде мелких кристаллов и зёрен и в небольшом количестве, что и определило его малую изученность на то время. В последующие годы в процессе обследования пегматитов Ильменских гор в ряде копей были найдены относительно крупные кристаллы турмалина разного состава (Белогуб и др., 1998; Попов, Попова, 2006). Характерно, что в различных месторождениях мира внимание исследователей привлекали зонально-секториальные полихромные турмалины, а шерл изучен менее. Выявление зонально-секториальных кристаллов шерла в гранитных пегматитах некоторых копей Ильменских гор (рис. 1) дало возможность изучить особенно-сти их состава.

Методы исследования

Исследования выполнены в лабораториях Института минералогии Уральского отделения РАН (г. Миасс). Внешнее ограничение изученных кристаллов шерла из копи № 232 определено с применением фёдоровского столика СФ-4 в качестве гониометра, из других копей — визуально. Идеализированная форма кристаллов вычерчена с использованием программы SHAPE-7.1 и CorelDRAW 11. Состав зон в разных пирамидах роста кристаллов исследован микрондовым рентгеноспектральным анализом (JXA-733 JEOL с тремя волно-дисперсионными спектрометрами). Энерго-дисперсионные спектры элементов в составе разных зон кристаллов получены микрондовым рентгеноспектральным анализом (SEM TES-

CAN Vega3 с INCA250). Валентность железа определена методом ЯГРС (мёссбауэровской спектроскопии) на спектрометре CM2201 с Co-57 в режиме пропускания с использованием программы Univem 2.0.

Морфология и окраска зон в кристаллах шерла из пегматитов Ильменских гор

Кристаллы шерла из гранитных пегматитов различаются величиной и обликом при относительно сходном ограничении. Так, в копи 232, находящейся на южном берегу оз. Таткуль, в редкометальном безамазонитовом пегматите с бериллом до 10–60 см наиболее ранние кристаллы шерла короткопризматические, а более поздние из друзовых полосей — длиннопризматические, достигающие 10–13 см по тройной оси (Попова, Леванов, 1980). В берилл-топазовой копи 196 (у восточного подножия Ильменского хребта) встречались призматические кристаллы шерла до 5–7 см. В амазонитовых пегматитах шерлы обычно длиннопризматические до игольчатых, длиной менее 1 см (Раскатова, 1949); среди них выделяются относительно крупные кристаллы — до 12 см в длину при толщине до 2 см (наши данные) — в копи 112.

В пегматите копи 232 кристаллы шерла ограничены комбинацией дитригональных и тригональных призм с наиболее развитыми $a\{11\bar{2}0\}$ и $m\{10\bar{1}0\}$, головки — пирамидами $r\{10\bar{1}1\}$ и $o\{0221\}$ (рис. 2); моноэдр очень редок. Шерлы из копей 196 и 112 также имеют подобное ограничение. Макроскопически цвет кристаллов из копи 232 коричнево-чёрный (в отличие от серовато-зелёного дравита из ранней жилки пегматита среди изменённого перидотита). Шерл из копи 196 сине-чёрный, из копей 64, 112 и 270 — чёрный.

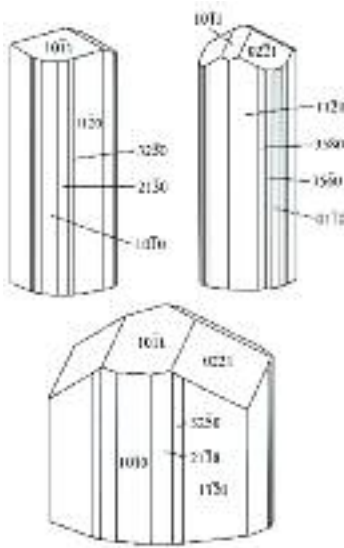
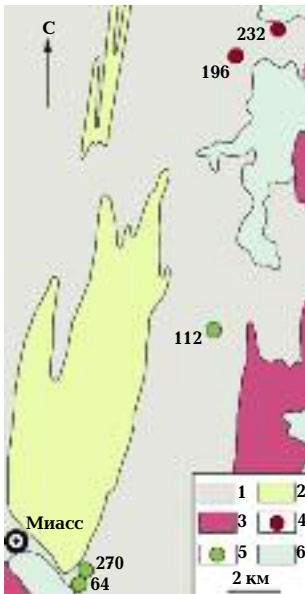


Рис. 1. Схема расположения изученных пегматитов: 1 – метаморфические породы (гнейсы с пластами амфиболитов, кварцитов и сланцев); 2 – миаскиты; 3 – граниты; 4,5 – копи пегматитов и их номера; 4 – безамazonитовые, 5 – амазонитовые; 6 – озёра.

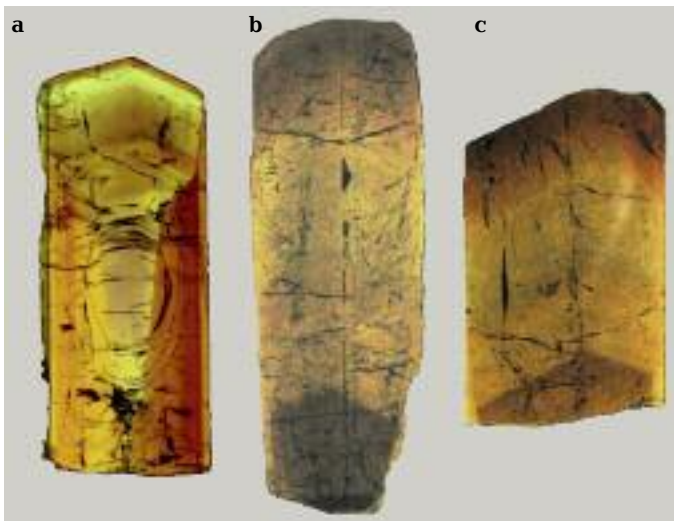


Рис. 2. Форма кристаллов шерла копи 232. Величина крупного кристалла 13 см.

Рис. 3. Зонально-секториальная окраска шерла в сечении || оси с. Пластинки длиной до 2,4 см. Копь 232 (а – кристалл № 4, б – № 8, с – № 2).

В прозрачно-полированных пластинках толщиной 0,3–0,5 мм видна разная зонально-секториальная окраска, наиболее эффектно проявленная в шерле копи 232. В продольных сечениях по (1010) зональность антилогичного конца (рис. 3а) и аналогичного (рис. 3б, с) проявляется в различной интенсивности жёлто-коричневой окраски. В сечениях кристаллов перпендикулярно тройной оси и в косых срезах окраска разнообразней и темнее: центральная голубовато-зелёная зона сменяется секториальной – зелёной в пирамидах роста $\langle r \rangle$ и оранжево-жёлтой в пирамиде $\langle o \rangle$ (рис. 4). В следующей зоне этих же сечений кристаллов

секторы роста $\langle m \rangle$ тёмно-коричневые, а секторы $\langle a \rangle$ светлые жёлто- или красновато-коричневые; периферическая зона обеих призм почти одинаковой красновато-коричневой окраски.

Шерл из берилл-топазового пегматита копи 196 в пластинке треугольной формы по (0001) имеет тёмно-синюю центральную зону (около половины сечения зерна), сменяющуюся промежуточной сине-чёрной и затем периферической серовато-синей. В амазонитовом топаз-берилловом пегматите копи 112 центральная зона шерла тёмная серо-синяя, а периферическая (почти половина кристалла в таком же срезе) – сине-чёрная.

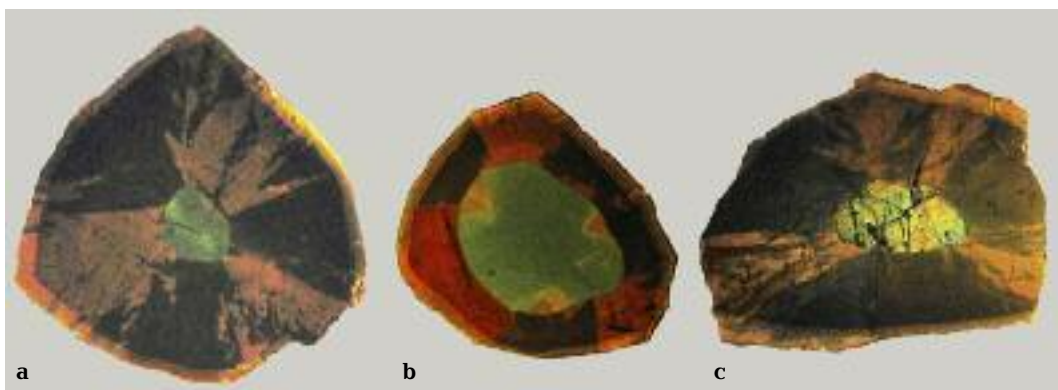


Рис. 4. Контрастная секториальность окраски шерла в сечении \perp оси c . Величина сечений до 1.5 см. Копь 232 (a – кристалл № 12, b – № 7, c – № 13).

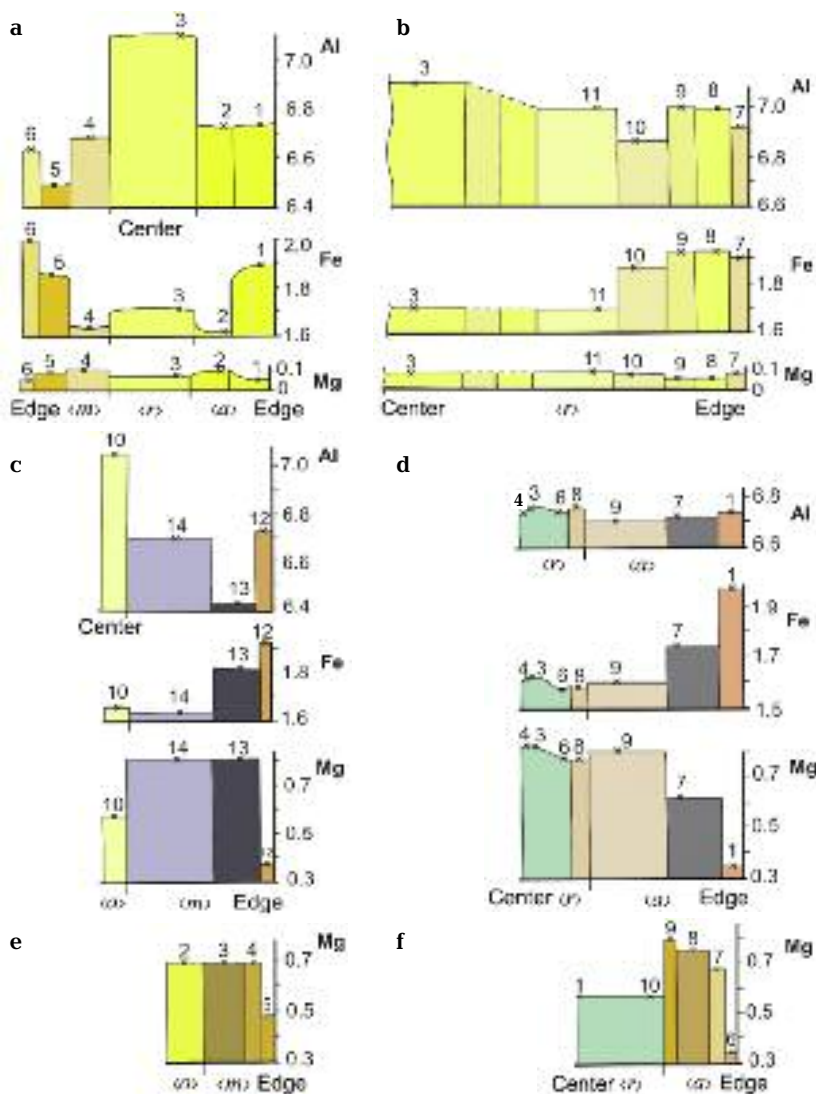


Рис. 5. Вариации состава (коэффициенты в формулах) разных зон в пирамидах роста шерла копы 232: a – b – кристалл № 4 (a – \perp оси c ; b – \parallel оси c), см. также рис. 3a;

c – d – № 12, \perp оси c (c – сектор $\langle o \rangle - \langle m \rangle$, d – сектор $\langle r \rangle - \langle a \rangle$), см. также рис. 4a;

e – f – № 7, \perp оси c (e – сектор $\langle o \rangle - \langle m \rangle$, f – сектор $\langle r \rangle - \langle a \rangle$), см. также рис. 4b.

Таблица 1. Химический состав зон кристаллов турмалина поздних гранитных пегматитов Ильменских гор (микронзонд, мас.%)

№ обр.	232-12, срез \perp с (см. рис. 4а и 5с, d)						232-г		196		112		270	
	Центр		Середина		Край		Центр	Край	Центр	Край	Центр	Край	Центр	Край
№ ан.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	11	
Форма	<i>r</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>a</i>	<i>m</i>	<i>r</i>	<i>r</i>	<i>m</i>	<i>r</i>	<i>m</i>	<i>r</i>	<i>m</i>	
SiO ₂	34.01	34.08	34.10	33.74	34.13	34.08	34.75	34.15	34.04	34.07	33.24			
TiO ₂	0.51	0.20	0.58	0.32	0.47	0.43	0.29	—	0.32	0.19	0.61			
Al ₂ O ₃	32.40	34.10	32.10	31.95	32.48	32.38	31.60	33.55	29.42	30.06	26.18			
Fe ₂ O ₃ *	4.49	4.65	4.58	4.64	5.64	5.51	He опр.	0.71	1.58	1.47	He опр.			
FeO	6.60	6.80	6.73	6.81	8.29	8.09	5.68	14.10	16.23	16.64	21.83			
MnO	0.23	0.19	0.21	0.22	0.73	0.72	0.20	1.10	1.50	1.12	1.00			
MgO	2.91	2.16	3.05	3.07	1.31	1.41	6.64	—	—	—	—			
CaO	0.18	0.05	0.17	0.12	0.16	0.16	0.44	0.03	—	—	—			
Na ₂ O	2.31	1.94	2.22	2.23	2.31	2.30	2.46	1.95	2.97	2.60	2.64			
B ₂ O ₃ *	9.86	9.87	9.88	9.79	9.89	9.87	10.06	9.89	9.86	9.89	9.63			
F	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.00			
H ₂ O*	5.00	5.00	5.00	5.50	3.70	4.00	5.00	3.50	3.10	3.00	3.50			
Сумма	99.30	99.84	99.42	99.19	99.91	99.75	97.92	99.78	99.82	99.84	99.63			
<i>f</i> = Fe/(Fe + Mg)	0.67	0.74	0.67	0.67	0.85	0.83	0.32	1.0	1.0	1.0	1.0			
Формулы (на Si = 6)														
1	(Na _{0.79} Mg _{0.15} Mn _{0.03} Ca _{0.03})(Fe _{1.57} Al _{0.74} Mg _{0.62} Ti _{0.07})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.94} F _{0.45}													
2	(Na _{0.66} Mg _{0.30} Mn _{0.03} Ca _{0.01})(Fe _{1.62} Al _{1.06} Mg _{0.27} Ti _{0.03})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.94} F _{0.45}													
3	(Na _{0.76} Mg _{0.18} Mn _{0.03} Ca _{0.03})(Fe _{1.60} Al _{0.66} Mg _{0.62} Ti _{0.08})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.93} F _{0.45}													
4	(Na _{0.77} Mg _{0.18} Mn _{0.03} Ca _{0.02})(Fe _{1.63} Al _{0.70} Mg _{0.63} Ti _{0.04})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{3.26} F _{0.45}													
5	(Na _{0.79} Mg _{0.07} Mn _{0.11} Ca _{0.03})(Fe _{1.97} Al _{0.73} Mg _{0.27} Ti _{0.06})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.17} F _{0.45}													
6	(Na _{0.79} Mg _{0.07} Mn _{0.11} Ca _{0.03})(Fe _{1.92} Al _{0.72} Mg _{0.26} Ti _{0.06})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.33} F _{0.45}													
7	(Na _{0.82} Ca _{0.08} Mn _{0.03})(Mg _{1.71} Fe _{0.82} Al _{0.43} Ti _{0.04})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.89} F _{0.44}													
8	(Na _{0.66} Mn _{0.16} Ca _{0.01})(Fe _{2.05} Al _{0.93})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.05} F _{0.44}													
9	Na _{1.01} (Fe _{2.64} Mn _{0.22} Al _{0.11} Ti _{0.03})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{1.82} F _{0.45}													
10	(Na _{0.89} Mn _{0.11})(Fe _{2.67} Al _{0.24} Mn _{0.06} Ti _{0.03})Al ₆ (BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{1.76} F _{0.45}													
11	(Na _{0.92} Mn _{0.08})(Fe _{2.85} Mn _{0.07} Ti _{0.08})(Al _{5.57} Fe _{0.45})(BO ₃) ₃ (Si ₆ O ₁₈)(OH) _{2.11} F _{0.57}													

Примечание: номер образца обозначает номер копии (232-12 — шерл из бериллоносного пегматита, 232-г — дравит из ранней жилки без берилла; 196 — шерл из берилл-топазового пегматита; 112 и 270 — шерл из амазонитовых пегматитов). Формы зон роста кристаллов: а, т — зоны призм, о, r — пирамид. Fe₂O₃*, B₂O₃*, H₂O* — расчётные; f — железистость. He опр. — нет данных, прочерк — не обнаружено. Микронзонд JXA-733 JEOL с волновыми спектрометрами, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 20 нА, диаметр зонда 5 мкм, аналитик Е.И. Чурин.

Вариации состава зон в разных пирамидах роста кристаллов шерла

Химический состав последовательных зон роста в пирамидах нарастания граней разных простых форм определён микрорентгеноспектральным анализом (50 анализов), но приведены только наиболее различающиеся результаты для зон разных кристаллов. Сопоставление всех анализов выполнено по коэффициентам расчётных формул. По данным силикатного анализа, доля трёхвалентного железа в усреднённой пробе шерла из копии 232 составляет 0.38 от суммарного (Попова, Леванов, 1980), из копии 196, по данным химического анализа — 0.56 (Раскатова, 1949), а по ЯГРС — всего 0.048 (наши данные). В шерле из амазонитового пегматита копии 112, по данным ЯГРС, в центральной части

кристалла доля Fe³⁺ 0.088, на периферии — 0.081 (от суммарного). Потери при прокаливании до 750°C проб шерла из копий 196 и 112 составили 0.73 и 0.80 мас.% соответственно, что значительно ниже расчётных содержаний и может быть обусловлено результирующим эффектом потери воды и приростом массы пробы за счёт почти полного окисления Fe²⁺ (Минералы, 1981).

Шерлы бериллоносного пегматита копии 232, локализованного в гнейсах с пропластками амфиболитов и кварцитов, относятся к ряду дравит-олениг-шерл. Благодаря обилию кристаллов, они исследованы в разных сечениях (рис. 5а, b; см. также рис. 3 и 4). В срезе || оси с одного из кристаллов (№ 232-4) периферические зоны призм наиболее железистые, а центральная часть пирамиды $r\{10\bar{1}1\}$ обогащена алюминием (рис. 5а). Состав последую-

щих зон пирамиды g меняется мало, но периферические зоны тоже более железистые (рис. 5b). В сечении \perp оси c другого кристалла (№ 232-12) центральная голубовато-зелёная зона пирамиды g отличается чуть повышенной магнизиальностью по сравнению с одно-возрастной с ней оранжево-жёлтой зоной пирамиды $o\{02\bar{2}1\}$, содержащей больше алюминия (табл. 1, ан. 1 и 2; рис. 5c, d). Зоны призм a и m (средние в данном сечении кристалла), соответствующие центральным зонам пирамид, также характеризуются повышенным содержанием MgO (ан. 3 и 4), в отличие от периферических зон этих призм (ан. 5 и 6). В более ранней небольшой жиле с дюрмортеритом (без берилла) среди изменённых перидотитов (в 40 м к ЮЗ от главной выработки копи) встречен только железистый дравит (ан. 7).

В берилл-топазовом безамазонитовом пегматите копи 196, находящейся на удалении от ультрамафитов, шерл практически не содержит Mg и Ti ; в сечении \parallel оси c центральная зона кристалла обеднена натрием (ан. 8), а в периферических зонах определено 1.3–1.7 мас. % MnO . Для амазонитовых пегматитов копей 112, 64 и 270 характерен шерл более «чистого» состава с содержанием FeO 16–22 мас. %, Na_2O 2.6–2.97 мас. %, Mg и Ca в нём не обнаружены. Центральная зона шерла копи 112 по сравнению с периферической содержит больше Mn , но меньше — Al (ан. 9 и 10). Исследованные мелкие кристаллики шерла из копей 64 и 270 наиболее железистые из изученных и почти одинаковы по составу (ан. 11).

Обсуждение результатов и выводы

Зональность окраски шерла отмечается довольно часто (Минералы, 1981; Бакшеев, 2008; и др.), но состав зон и природа их окраски менее изучены. Секториальность окраски нередко описывается как «пятнистость» (см., например, Бакшеев, 2008); специальные работы по изучению состава разных зон и пирамид роста шерлов нам неизвестны.

Исследованные нами образцы шерла поздних редкометалльных гранитных пегматитов Ильменских гор отчётливо различаются железистостью $f = Fe_{\text{общ.}} / (Fe_{\text{общ.}} + Mg)$. Разная железистость выявляется в основном для последовательных зон роста кристаллов (см. табл. 1). В безамазонитовых пегматитах берилловой копи 232 центральные и средние зоны роста шерла имеют $f = 0.67–0.74$, а периферические — $0.83–0.85$; шерлы из топаз-берилловой копи 196 и из амазонитовых копей 112 и 270 не содержат Mg , но относительно обогащены Mn .

В зонально-секториальных кристаллах шерла копи 232 и в продольных, и в поперечных сечениях зоны призмы m окрашены темнее, чем призмы a , и зоны пирамиды g темнее, чем зоны пирамиды o (см. рис. 3–5).

Для изучавшихся ранее кристаллов из разных пегматитовых жил Ильменских гор отмечалось, что параметры элементарной ячейки более железистых шерлов несколько выше, чем магнизиально-железистых или более глинозёмистых (Белогуб и др., 1998).

Вариации состава и разная окраска анализированных зон кристаллов шерла из редкометалльных пегматитов Ильменских гор обусловлены как разной железистостью зон и разной валентностью железа в них, так и различием в содержаниях Al , Mg и Mn , что предполагается доизучать в дальнейшем.

Авторы признательны сотрудникам Института минералогии УрО РАН за помощь в работе — М.Н. Малярёнок (определение потерь при прокаливании), А.Б. Миронову (ЯГРС), А.А. Леванову (изготовление части прозрачно-полированных пластинок) и О.Л. Бусловской (оформление графики).

Работа выполнена по интеграционному проекту УрО РАН № 12-И-5-2068.

Литература

- Бакшеев И.А. Турмалиновая минерализация молибден-медно-порфинового рудопроявления Ветка, Чукотка, Россия // Минералогия ультрабазит-базитовых комплексов. Уральская минералогическая школа-2008. Матер. Всерос. научн. конференции. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН. 2008. С. 73–76.
- Белогуб Е.В., Попов В.А., Попова В.И. Турмалины из гранитных пегматитов Ильмен // Минералогия Урала. Матер. III-го регион. совещания. Миасс: ИМин УрО РАН. 1998. Т. 1. С. 46–49.
- Минералы: Справочник. М.: Наука. 1981. Т. 3. Вып. 2. 614 с.
- Попов В.А., Попова В.И. Минералогия пегматитов Ильменских гор // Минералогический Альманах. М.: ЭкоСт. 2006. Т. 9. 151 с.
- Попова В.И., Леванов А.А. Онтогенез гранитных пегматитов копей 232 и 255 Ильменского заповедника // Онтогенез пегматитов Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 28–45.
- Раскатова Н.П. Турмалин — Tourmaline // Минералы Ильменского заповедника / Под ред. А.Н. Заварицкого. М.-Л.: АН СССР. 1949. С. 290–292.