

**РЕДКОМЕТАЛЛЬНАЯ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МИЛОНИТОВ  
ИЛЬМЕНОГОРСКОГО МИАСКИТОВОГО МАССИВА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)****А.Б. Немов, Е.В. Медведева, В.А. Котляров***Ильменский государственный заповедник, г. Миасс; ya.andrew808@yandex.ru***A RARE-METAL AND RARE EARTH MINERALIZATION OF THE MILONITES FROM  
ILMENOGORSKY MIASKITE MASSIF (SOUTH URAL)****A.B. Nemo, E.V. Medvedeva, V.A. Kotlyarov***Ilmeny State Reserve, Miass; ya.andrew808@yandex.ru***Введение**

Ильменогорский миаскитовый массив входит в состав одноимённого комплекса пород (рис. 1) в южной части Вишнево-Ильменогорской региональной сдвиговой зоны (Русин и др., 2006). Массив сложен сиенит-карбонатитовой ассоциацией (рис. 2), преобразованной хрупко-пластичными деформациями простого сдвига в условиях амфиболитовой фации метаморфизма 270–240 млн лет (Hetzl et al., 2002). Он имеет «каплевидную» форму с размерами 18×4.5 км, сложен преимущественно биотитовыми, биотит-амфиболовыми и амфиболовыми миаскитами с директивными текстурами и осложнён жильными телами и дайками поздних миаскитов, сиенитов, гранитов, а также метасоматитами и милонитами, приуроченными к тектоническим нарушениям. Переходы между породами постепенные. К северу от массива протягивается Центральная щелочная полоса, сложенная интенсивно дислоцированными миаскитами, соединяющая Ильменогорский и Вишневогорский массивы. Существует несколько гипотез образования миаскитов Ильменогорского массива: палингенно-метасоматическая (Левин и др., 1974, 1997; Расс, и др., 2006); рифтогенная магматическая (Баженов, 2002, 2006), щёлочно-карбонатитовая (Недосекова, 2009) и как щёлочно-ультраосновная интрузия центрального типа (Русин и др., 2006). Изучение петрографических и текстурно-структурных особенностей миаскитов позволяет утверждать, что все породы массива изменены метаморфическими и метасоматическими процессами и в значительном объёме представлены милонитами (Ворошук, 2001; Кошевой, 1985; и др.).

Цель работы – изучение редкометалльно-редкоземельной минерализации **протомилонитов** и **милонитов** (рис. 3) в миаскитовых милонитах, распространённых в апикальной части Ильменогорского массива (Немов, 2014).

Микрозондовые анализы состава минералов выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА–202 М с энерго-дисперсионной приставкой LZ Link Systems и Si-Li детектором (ИМин УрО РАН, аналитик В.А. Котляров). Стандарты: амфибол № 111356 (ферримагнезиогорнблендит); слюда STD19 «Astimex scientific limited». Разрешение детектора 160 эВ, ускоряющее напряжение 20–30 кВ, сила тока  $3 \times 10^{-3}$  А, диаметр пучка 1–2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы «Magellanes».

**Редкоземельно-редкометалльные минералы миаскитовых милонитов**

В миаскитовых милонитах выделяются две группы минералов-концентраторов редких металлов (РМ) и редкоземельных элементов (РЗЭ): 1) минералы, образующиеся синхронно с миаскитом; 2) минералы, замещающие первичные минералы в процессе формирования милонита под влиянием флюида.

К первой группе относятся титанит, ильменит, кальцит, пирохлор и, в меньшей мере, апатит, циркон. Эти минералы присутствуют в породе в виде включений в породообразующих минералах (пирохлор, циркон) или образуют индивиды в интерстициях между ними (ильменит, титанит). Для всех перечисленных минералов (рис. 4) характерны грани совместного роста с породообразующими минералами

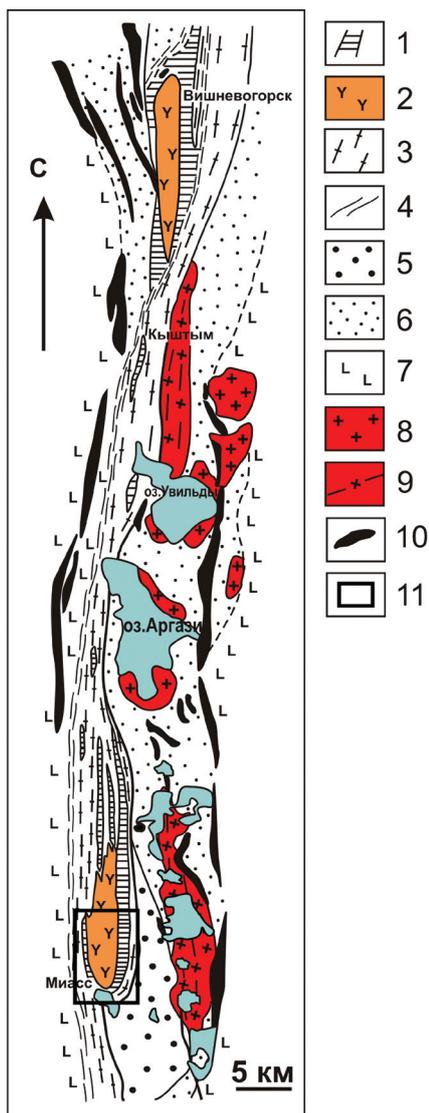


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ильмено-Вишневогорского полиметаморфического комплекса по (Русин и др., 2006).

1 – селянкинская серия амфибол-гнейсово-плагиомигматитовая (Ar-Pt<sub>1</sub>); 2 – массивы миаскитов (O<sub>2</sub>); 3 – blastsмилониты гранитоидного и сиенитового состава (P<sub>2</sub>-T<sub>1</sub>(?); 4 – милониты Кыштымского сдвига-надвига; 5 – еланчиковская толща плагиосланцев и мигматитов инъекционного типа; 6 – сайтовская серия, метатерригенная; 7 – зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 8 – Увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz<sub>3</sub>); 9 – гнейсовидные граниты Кисегачского комплекса, 10 – метагипербазиты; 11 – Ильменогорский миаскитовый массив.

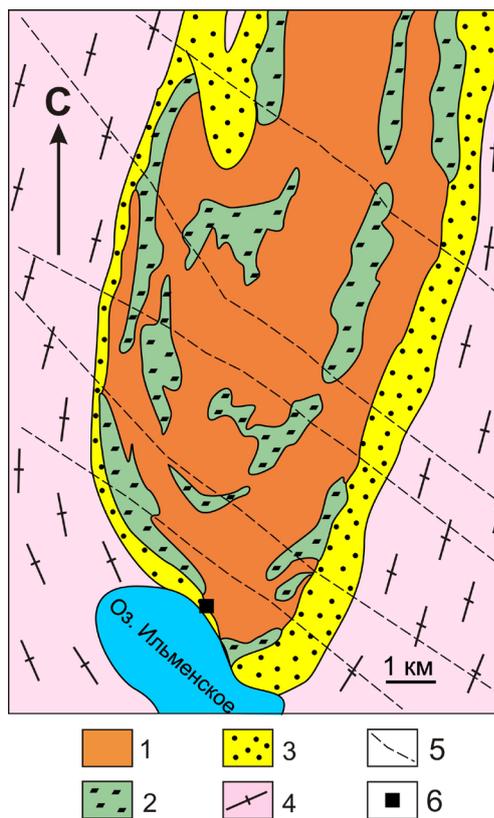


Рис. 2. Ильменогорского миаскитового массива по (Левин и др., 1974).

1 – биотитовые миаскиты; 2 – амфиболовые миаскиты; 3 – фениты; 4 – амфибол-гнейсово-плагиомигматитовst породы селянкинской серии; 5 – разломы; 6 – место взятия образцов.

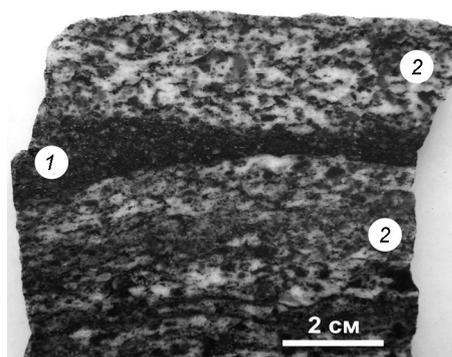


Рис. 3. Милонит и протомилонит развитый по биотитовому миаскиту из южной (апикальной) части массива (район копи № 7). 1 – милонит; 2 – протомилонит.

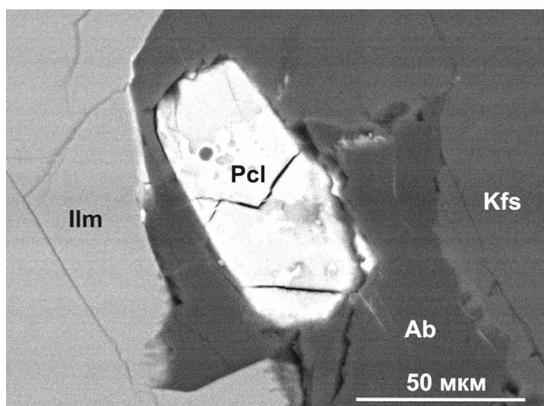


Рис. 4. Идиоморфное зерно пирохлора (Pcl) с индукционными поверхностями с калинатровым полевым шпатом (Kfs). BSE-снимок.

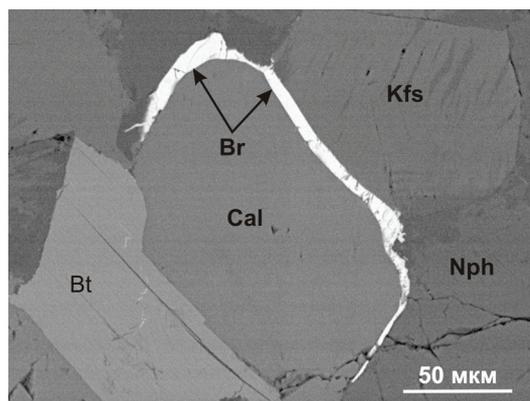


Рис. 5. Замещение кальцита (Cal) бритолитом (Br). BSE-снимок.

(нефелин, полевые шпаты и биотит), образованными на эвтектическом этапе кристаллизации миаскита (Попов, 1995). Некоторые из аксессуарных минералов этой группы в большей степени подверглись хрупко-пластичным деформациям, проявленным в микротрещиноватости, блочности, удлинённости зёрен и т. д.), чем титанит и циркон

Ко второй группе относятся более поздние минералы, например, бастнезит и бритолит. В породе они замещают кальцит (рис. 5), образуя тонкие каймы и оторочки вокруг него, или развиваются по трещинам. Минералы слабо деформированы, что позволяет предположить их образование на последних этапах хрупко-пластичных деформаций с флюидной проработкой. Химический состав этих минералов (табл. 1) показывает, что для 1 группы характерна редкометалльная спецификация, а второй – редкоземельная. Редкометалльная минерализация образуется на этапе кристаллизации расплава. Редкоземельная минерализация возникает, вероятно, после милонитизации под влиянием флюида, который является транспортёром лёгких РЗЭ (ЛРЗЭ). Связь образования поздней РЗЭ-минерализацией в милонитах с

Таблица 1

Химический состав минералов (мас. %).

Минералы	Ttn	Ilm	Pcl	Cal	Bs	Br
SiO <sub>2</sub>	31.41	—	9.38	—	—	19.84
TiO <sub>2</sub>	33.84	50.05	9.49	—	—	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.08	—	—	—	—	—
FeO	1.74	41.90	1.25	0.60	—	—
MnO	—	6.74	—	0.46	—	—
CaO	27.77	—	6.07	54.29	0.34	9.34
Na <sub>2</sub> O	—	—	0.11	—	—	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	—	—	0.74
CO <sub>2</sub>	—	—	—	43.60	—	—
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.53	—	—	1.00
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	1.87	—	32.16	17.61
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	7.53	—	35.66	31.52
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	1.7	—	2.75	3.21
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	1.67	—	3.31	6.95
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0.02	—	—	0.26
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.07	0.58	47.69	—	—	—
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	2.76	—	—	—
ThO <sub>2</sub>	—	—	4.10	—	—	—
UO <sub>2</sub>	—	—	0.86	—	—	—
SrO	—	—	—	0.44	—	0.52
Сумма	99.91	99.27	95.02	99.38	74.21	96.93

Продолжение таблицы 2

Минералы	Ttn	Ilm	Pcl	Cal	Bs	Br
Элементы	К. ф.					
Si	1.01	–	0.71	–	–	2.99
Ti	0.82	0.96	0.55	–	–	–
Al	0.15	–	–	–	–	–
Fe <sup>3+</sup>	–	0.69	–	–	–	–
Fe <sup>2+</sup>	0.05	0.30	0.08	0.01	–	–
Mn	–	0.15	–	0.00	–	–
Ca	0.95	–	0.49	0.59	0.01	1.51
Na	–	–	0.02	–	–	–
P	–	–	–	–	–	0.09
CO <sub>2</sub>	–	–	–	0.40	–	–
Y	–	–	0.02	–	–	0.08
La	–	–	0.05	–	0.43	0.98
Ce	–	–	0.21	–	0.48	1.74
Pr	–	–	0.05	–	0.04	0.18
Nd	–	–	0.05	–	0.04	0.37
Sm	–	–	0.00	–	–	0.01
Nb	0.02	0.01	1.64	–	–	–
Ta	–	–	0.06	–	–	–
Th	–	–	0.07	–	–	–
U	–	–	0.01	–	–	–
Sr	–	–	–	0.00	–	0.05

*Примечание.* Сокращения минералов согласно (Whitney et al., 2010). Bs – бастнезит; Br – бритолит. «–» – не определено.

флюидом, активизированным сдвиговой тектоникой очевидна, т. к. она представлена фторкарбонатом (бастнезит) и фторсиликатом (бритолит) редких земель, которые, по данным ряда исследователей (Куприянова и др., 1966; Пеков и др., 2002; Рипп и др., 2005), имеют контактово-метасоматическое и гидротермальное происхождение. Среди РЗЭ в бастнезите и бритолите преобладают Ce и La. Сходный вывод об увеличении ЛРЗЭ и Се-аномалии в составе поздних цирконов, датируемых отметкой 240–250 млн лет, получен А.А. Краснобаевым для тектонизированных биотитовых миаскитов (Краснобаев и др., 2010). Можно полагать, что сдвиговые процессы и флюидная проработка в миаскитах Ильменогорского комплекса являются важными факторами для мобилизации и обогащения ЛРЗЭ.

### Литература

- Баженов А.Г.* К вопросу о генезисе миаскитов // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: тез. Всеросс. совещ. 2006. Миасс, УрО РАН, 2006. С. 21–25.
- Баженов А.Г.* К вопросу о рифтогенной протоприроде щелочного комплекса Ильмено-Вишневых гор // Рифты литосферы. Матер. международ. конфер. VIII чтение А.Н. Заварицкого. Екатеринбург, УрО РАН, 2002. С. 235.
- Ворожук Д.В.* Полевые шпаты гранитоидных бластомилонитов: микроструктурные особенности и вариации химического состава // Ежегодник-2000 ИГГ УрО РАН. Екатеринбург. 2001. С. 102–110.
- Кошевой Ю.Н.* История формирования и структурная эволюция ильменогорского комплекса / Дисс... канд. геол.-минерал. наук. Миасс, 1985. 313 с.
- Краснобаев А.А., Вализер П. М., Бушарина С.В., Медведева Е. В.* Цирконология миаскитов Ильменских гор (Южный Урал) // ДАН. 2010. Т. 430. № 2. С. 227–231.
- Куприянова И.И., Сидоренко Г.А., Кудрина М.А.* Минералы группы бритолита. // Геология месторождений редких элементов. М.: Недра, 1966. Вып. 26. С. 23–66.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., И.А. Левина, Н.С. Сергеев, А.П. Киселев.* Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург. 1997. 244 с.

*Недосекова И.Л., Владыкин Н.В., Прибавкин С.В., Баянова Т.Б.* Ильмено-Вишневогорский миаскит-карбонатитовый комплекс: происхождение, рудоносность, источники вещества (Урал, Россия) // Геол. рудн. месторожд. 2009. Т. 51. № 2. С. 157–181.

*Немов А.Б.* Структурно-текстурные особенности миаскитовых милонитов Ильменогорского массива (Южный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: материалы XVI. Геолог. съезда респ. Коми, Сыктывкар, 2014 г. Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. Т. 2. С. 116–119.

*Пеков И.В., Алимова А.Н., Кононкова Н.Н., Канонеров А.А.* К минералогии Мочалина Лога на Южном Урале. Минералы семейства бастнезита: история изучения и новые данные // Уральский геол. журн. 2002. Т. 28. №. 4. С. 127–144.

*Попов В.А.* К онтогении миаскитов Ильменогорского массива // Уральский минералог. сборник. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. № 5. С. 149–162.

*Расс И.Т., Абрамов С.С., Утенков В.А., Козловский В.М., Корпечков Д.И.* Роль флюидов в петрогенезисе карбонатитов и щелочных пород: геохимические индикаторы // Геохимия. 2006. № 7. С. 692–711.

*Ринн Г.С., Карманов Н.С., Канакин С.В., Дорошкевич А.Г., Андреев Г.В.* Цериевый бритоцит Мушугайского месторождения (Монголия) // Зап. РМО. 2005. Часть 134. Вып. 2. С. 90–103.

*Русин А.И., Краснобаев А.А., Русин И.А., Вализер П.М., Медведева Е.В.* Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских-Вишневых гор // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: тез. Всеросс. совещ. Миасс, 2006 г. Миасс, УрО РАН, 2006. С. 222–227.

*Hetzl R., Glodny J.* A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance // International Journal of Earth Sciences. 2002. Vol. 91. №. 2. P. 231–254.