

УДК 549.0 (470.55/57)

**О ВЗАИМООТНОШЕНИЯХ МИНЕРАЛЬНЫХ ТЕЛ В ФЕНИТОВОМ ОРЕОЛЕ
ЗАПАДНОГО ЭКЗОКОНТАКТА ИЛЬМЕНОГОРСКОГО МИАСКИТОВОГО
МАССИВА**

В.А. Попов*, В.А. Муфтахов

Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, popov@mineralogy.ru

**INTERRELATIONS BETWEEN MINERAL BODIES IN FENITE HALO
OF THE WESTERN CONTACT
OF THE ILMENOGORSKY MIASKITE COMPLEX**

V.A. Popov*, V.A. Muftakhov

Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, popov@mineralogy.ru

В северо-западном экзоконтакте Ильменогорского миаскитового массива последовательно формировались породы от ранних полосчатых мезо- и меланократовых сиенитов к граносиенитам и гранитам, далее – к сложной серии лейкократовых сиенитов, карбонатитов, разнообразных по минеральному составу сиенитовых и карбонатитовых пегматитов и, наконец, к редкометалльным гранитам (и амазонитовым пегматитам). Это характеризует длительное становление пород ильменогорского комплекса в условиях периодического сжатия и раскрытия трещинных структур. Разные минеральные фации фенитов – пироксеновые, биотитовые, амфиболовые, полевошпатовые или комбинаторные – образовались по ранним сиенитам и по гранитам. На площади карьера развито много мелких тел магматических слюдитов, меланократовых амфибол-биотитовых и биотит-пироксеновых жильных пород.

Илл. 15. Табл. 1. Библ. 4.

Ключевые слова: фениты, онтогенез, структуры агрегатов, Ильменогорский комплекс, Южный Урал.

The northwestern contact of the Ilmenogorsky miaskite complex exhibits a succession of rocks from early banded meso- and melanocratic syenites to granosyenites and granites and further complex series of leucocratic syenites, carbonatites, syenitic and carbonatitic pegmatites, and, finally, rare metal granites (as well as amazonite pegmatites). This succession is evidence of long evolution of rocks under periodical compression and opening of fractures. Various mineral facies of fenites (pyroxene, biotite, amphibole, feldspar or combined) were formed after early syenites and granites. Numerous small bodies of igneous glimmerites, melanocratic amphibole-biotite and biotite-pyroxene vein rocks occur in the area of the quarry.

Figures 15. Tables 1. References 4.

Key words: fenites, ontogeny, textures of aggregates, Ilmenogorsky complex.

Введение

В Ильменских горах фенитизированные породы наиболее полно вскрыты в северо-западном экзоконтакте миаскитового массива в щебёночном карьере возле посёлка Строителей в 500 м к северу от Широкого лога (рис. 1, 2). В 1960–1970 гг. карьер

был в начальной стадии разработки, и геологические наблюдения были минимальны. Отмечалось, что в районе Широкого Лога зона пироксеновых фенитов находится между «языками» миаскитов в северо-западной части миаскитового тела (Левин, 1974). Зона, расширяясь к северу, уже через 1 км достигает видимой ширины 600 м. По данным

Рис. 1. Геологическая схема северной части Ильменогорского щелочного массива (по: Левин, 1974).

1 – миаскиты центрального тела, 2 – сиениты и щелочные мигматиты, 3 – миаскиты восточного тела, 4 – фениты экзоконтакта массива.

Fig. 1. Geological scheme of the northern part of the Ilmenogorsky alkaline complex (after Levin, 1974).

1 – miaskites of the central body, 2 – syenites and alkaline migmatites, 3 – miaskites of the eastern body, 4 – fenites.

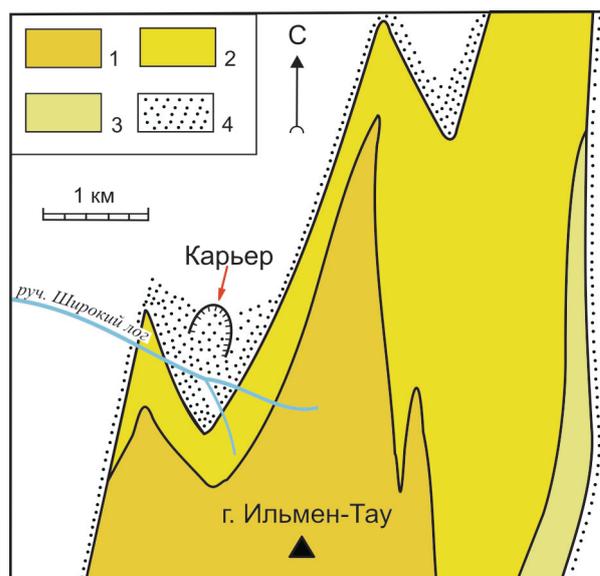


Рис. 2. Верхний северный борт щебёночного карьера у пос. Строителей (2008 г.). Видно субвертикальное положение геологических тел.

Fig. 2. Upper north wall of the gravel quarry near the village of Stroiteley (Miass) with visible vertical occurrence of geological bodies..

В.Я. Левина, здесь вскрыты мелкозернистые гнейсовидные пироксеновые фениты с многочисленными реликтами амфиболитов и несколькими субогласными прослоями биотитовых и амфиболовых сиенитов. В геологическую литературу вошла эта минимальная информация о «фенитовом ореоле» в северо-западном экзоконтакте Ильменогорского миаскитового массива. Фактически строение экзоконтакта намного сложнее и не укладывается в простую модель фенитового ореола.

Через 20 лет, когда карьер существенно расширился, возникла необходимость переутверждения запасов щебня. Наряду с описанием керна скважин, геологами Ильменского государственного заповедника УНЦ АН СССР А.Г. Баженовым и Э.В. Лотовой в 1986 году были задокументированы

северные уступы карьера вкост простирания геологической структуры (Попов, Баженов, 2009). При специальном обследовании карьера выявлены представители разных минеральных фаций карбонатитов, начиная от калишпат-кальцитовой и кончая цеолитовой (Таланцев, Петрова, 1991).

В течение нескольких последних десятилетий в этом карьере проводились геологическое документирование уступов, экскурсии различных совещаний, молодёжных школ, а также учебные практики студентов геологического факультета ЮУрГУ (рис. 3).

Позднее в 2007–2009 гг. верхний северный уступ карьера и крупные глыбы (негбариты) в других участках карьера были нами дополнительно обследованы. Выявлялись взаимоотношения разных пород, в образцах определялись количественные соотношения породообразующих минералов, в шлифах и аншлифах изучены минеральный состав и структуры горных пород. Состав минералов в некоторых породах определён на микросонде JXA-733 с ЭДС INCA, аналитики Е.И. Чуриной и В.А. Муфтахов (ИМин УрО РАН).

Ниже приведены дополнительные сведения, характеризующие взаимоотношения горных пород и минералов в карьере.

О последовательности образования пород в северном уступе карьера

При картировании северной стенки карьера установлены тела последовательно образованных пород субмеридионального простирания и крутого падения (рис. 4): полосчатые мезо- и мела-



Рис. 3. Студенты ЮУрГУ на практике в карьере (2008 г.).

Fig. 3. Students of South Urals State University in the quarry (2008).

нократовые биотитовые и амфибол-биотитовые сиениты; фениты амфибол-пироксеновые, кварц-амфибол-пироксеновые, амфиболовые и кварц-амфиболовые; граносиениты и граниты биотитовые; щелочные сиениты пироксеновые и амфибол-пироксеновые; сиенит-пегматиты биотитовые; мигматиты амфиболовые и амфибол-биотитовые; жильные биотитовые, биотит-пироксеновые и амфибол-биотитовые породы (лампрофиры); щелоч-

ные гранитные пегматиты с пироксеном; щелочные арфведсонитовые граниты; амазонитовые пегматиты. В других участках карьера выявляются лейкократовые сиениты, разнообразные карбонатиты и карбонатит-пегматиты, секущие предшествующие силикатные породы. Продолжение наблюдений привело к установлению дополнительно других минеральных фаций карбонатит-пегматитов (рис. 5а-в): пироксеновых, амфиболовых, биотитовых, магнетитовых, ильменитовых, гранатовых, сульфидных и комбинаторных. Карбонатит-пегматиты нередко локализованы в центре жил сиенитовых пегматитов, завершая их кристаллизацию (см. рис. 5г). На минералах, росших совместно с породообразующим карбонатом, обычно хорошо видны индукционные поверхности сокристаллизации (рис. 6).

На площади карьера в разных участках обнаружены явления перекристаллизации (рекристаллизации, грануляции) разных минералов – кальцита, кварца, полевых шпатов, апатита, ильменита, титанита. На месте ранних крупных индивидов этих минералов находятся агрегаты, состоящие из мелких изометричных полиэдров перекристаллизации (рис. 7). Не встречены признаки перекристаллизации слюд, амфиболов, пироксенов, циркона, корунда, пирита, пирротина, хотя хрупко-пластичные деформации в них широко развиты.

По ранним представлениям (Левин, 1974), на долю фенитов приходится около половины разреза. По-видимому, можно говорить лишь о частично фенитизированных породах.

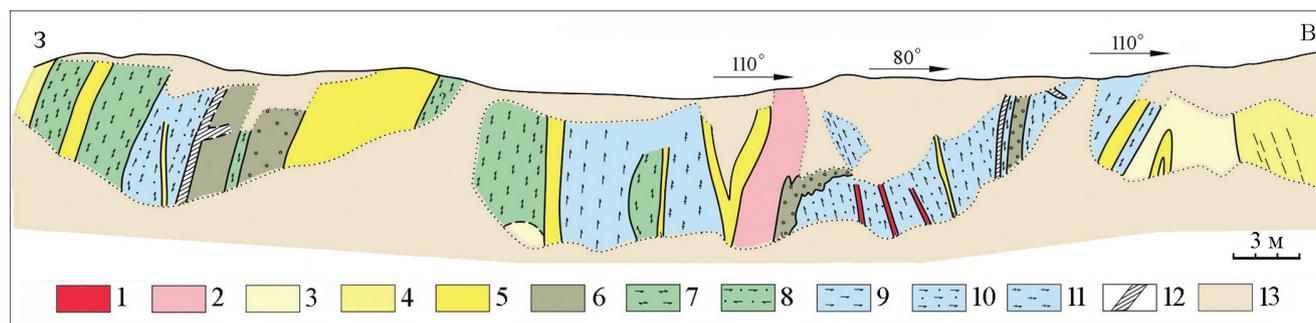


Рис. 4. Геологическое строение участка северного верхнего уступа карьера (по: Попов, Баженов, 2009).

1 – щелочные гранитные пегматиты с пироксеном; 2 – щелочные арфведсонитовые граниты; 3 – щелочные сиениты пироксеновые и амфибол-пироксеновые; 4 – сиенит-пегматиты биотитовые; 5–6 – сиениты: 5 – биотитовые, 6 – биотитовые и амфибол-биотитовые меланократовые; 7–10 – фениты: 7 – амфибол-пироксеновые, 8 – кварц-амфибол-пироксеновые, 9 – амфиболовые, 10 – кварц-амфиболовые; 11 – мигматиты амфиболовые и амфибол-биотитовые; 12 – амфибол-биотитовые породы и слюдиты.

Fig. 4. Geological structure of the northern upper wall of the quarry (after Popov, Bazhenov, 2009): 1 – alkali granitic pegmatites with pyroxene, 2 – alkali arfvedsonite granites, 3 – alkali pyroxene and amphibole-pyroxene syenites; 4 – biotite syenites-pegmatites; 5 – biotite syenites; 6 – biotite and amphibole-biotite melanocratic syenites; 7–10 – fenites: 7 – amphibole-pyroxene, 8 – quartz-amphibole-pyroxene, 9 – amphibole, 10 – amphibole-quartz; 11 – amphibole and amphibole-biotite migmatites; 12 – melanocratic amphibole-biotite rocks and glimmerites.

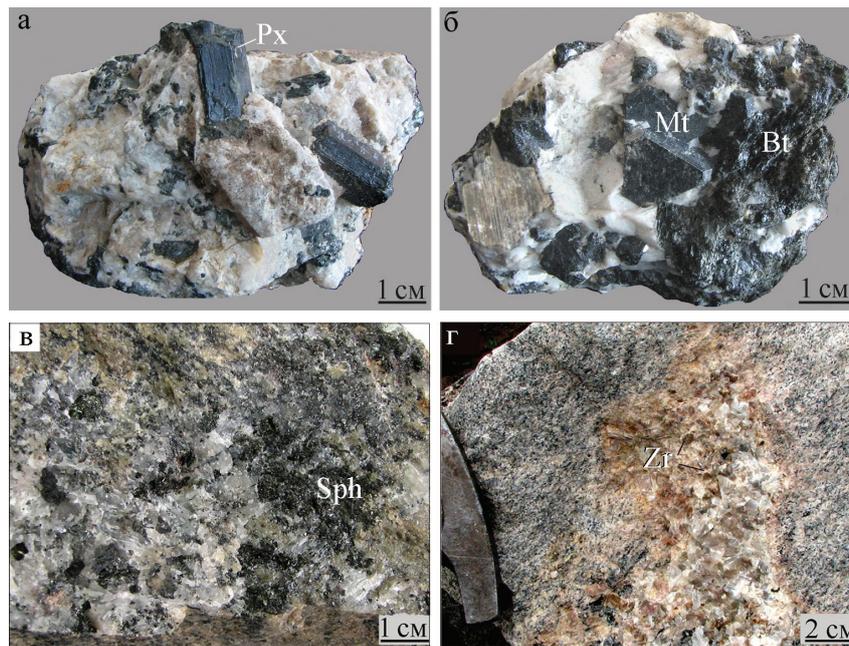


Рис. 5. Минеральные типы карбонатит-пегматитов.

а – пироксен-полевошпатовый, б – магнетит-биотитовый, в – кальцитовый со сфалеритом, г – циркон-кальцитовый с полевошпатовой периферией (жила в сиените). Px – эгирин-авгит, Mt – магнетит, Bt – биотит, Sph – сфалерит, Zr – циркон.

Fig. 5. Mineral types of carbonatites-pegmatites.

а – pyroxene-feldspar, б – magnetite-biotite, в – calcite with sphalerite, г – zircon-calcite with feldspar rim (vein in syenite). Px – aegirine-augite, Mt – magnetite, Bt – biotite, Sph – sphalerite, Zr – zircon.

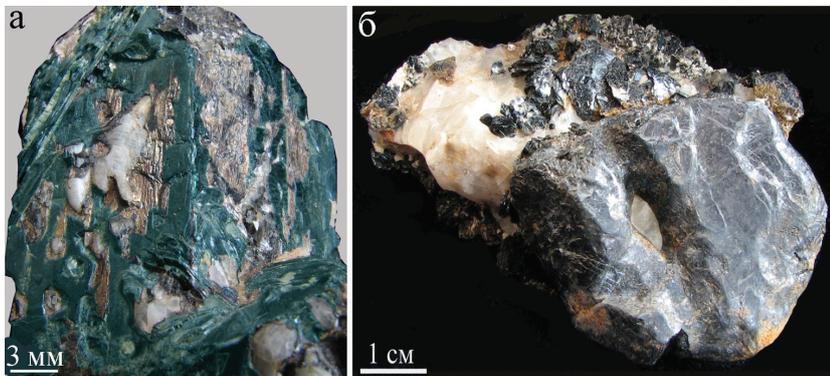


Рис. 6. Индукционные поверхности на минералах в карбонатит-пегматитах.

а – на ссостке олигоклаза, биотита и амфибола из кальцитового агрегата; б – на биотите и ильмените (с реликтом кальцита в углублении).

Fig. 6. Compromise growth surface of minerals in carbonatites-pegmatites.

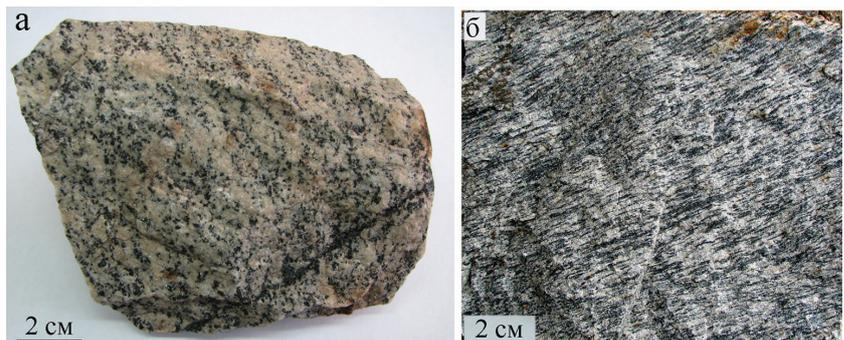
а – between oligoclase, biotite and amphibole from calcite aggregate; б – between biotite and ilmenite (with relict calcite in cavity).

Рис. 7. Порфиридный амфиболовый сиенит.

а – слабо деформированный с частично рекристаллизованным полевым шпатом; б – разгнейсованный с полной рекристаллизацией полевого шпата.

Fig. 7. Porphyritic amphibole syenite.

а – weakly deformed, with partly recrystallized feldspar, б – plastically deformed with fully recrystallized feldspar.



Малые размеры минеральных тел часто не позволяют отобразить их в мелкомасштабных документах. Их может не быть в единичном задокументированном разрезе. Так, на разрезе (см. рис. 4) не показаны корундово-полевошпатовые пегматиты, меланократовые слюдитовые, пироксеновые и амфиболовые пегматиты (рис. 8), дайки однородных молибденитсодержащих сиенитов и пегматитов, лейкократовые граниты, разнообразные лампрофиры (биотитовые, амфиболовые, пироксеновые), меланократовые карбонат-биотитовые породы, редкие грейзеноподобные и березитоподобные породы. Общее восприятие территории щебёночного карьера соответствует по карте «фенитовому ореолу» около миаскитового массива в разломной структуре со сложной историей развития.

Несмотря на значительные пластические деформации всего комплекса горных пород, в карьере в разных участках можно обнаружить возрастные взаимоотношения минеральных тел хорошей сохранности (рис. 9). Собственно фенитизация проявлена слабо вдоль трещин кливажа ранних кварцевых сиенитов. Тела фенитов (метасоматитов) всегда зональны, а возле сближенных кливажных трещин сливаются в пятнисто-полосчатые породы. Больших объёмов пироксеновых фенитов в карьере не установлено.

Возрастные взаимоотношения минералов в горных породах

Взаимоотношения разных минералов рассмотрим на некоторых примерах.

1. Пироксеновый сиенит с секущей жилой пироксенового гранита (рис. 10).

Сиенит мелкозернистый, со слабо выраженной полосчатой текстурой, имеет минеральный состав (% объёма): альбит – 42, калишпат – 34, эгирин-авгит – 21, титанит – 1.5, апатит – 0.8; единичные

зёрна алланита, пирротина, кальцита, флюорита. Изначально порода имела неравнозернистую структуру: зёрна эгирин-авгита и полевых шпатов были крупнее зёрен титанита и апатита, между всеми минералами были индукционные поверхности одновременного роста. В процессе деформации породы зёрна полевых шпатов были относительно пластичны, а зёрна пироксена, титанита, апатита и алланита – более хрупки. Крупные жёсткие зёрна приобрели разноориентированную трещиноватость, отслоения, разворот отдельных частей. Порфиновые выделения полевых шпатов превращены в плоские линзы, в которых иногда видны реликты крупных индивидов с бегущим отблеском от плоскостей спайности. После пластической деформации напряжённые зёрна полевых шпатов рекристаллизованы. В дальнейшей истории повторялись деформации, и полиэдры перекристаллизации вновь обрели бегущее и облачное угасание, но не имеют включений других минералов. Встречаются реликтовые псевдограницы крупных индукционных поверхностей на зёрнах пироксена, соответствовавших крупным индивидам полевых шпатов. После рекристаллизации полевых шпатов эти поверхности на зёрнах пироксена не соответствуют величине мелких полиэдров перекристаллизации полевых шпатов.

Альбит и калиевый полевой шпат (ортоклаз) сиенита имеют обычный состав, в эгирин-авгите обращает внимание повышенная марганцовистость, а титанит существенно обогащён ниобием, редкими землями, иттрием и фтором (табл. 1, ан. 1–4). Эти особенности состава приобретены минералами в процессе первичной кристаллизации. Признаков вторичного изменения составов не обнаружено.

Гранит секущей жилы (см. рис. 10) содержит 68 % полевых шпатов, 28 % кварца, 3 % эгирин-авгита и 0.5 % титанита. Структура породы неравнозернистая, со слабой линейной ориентировкой.

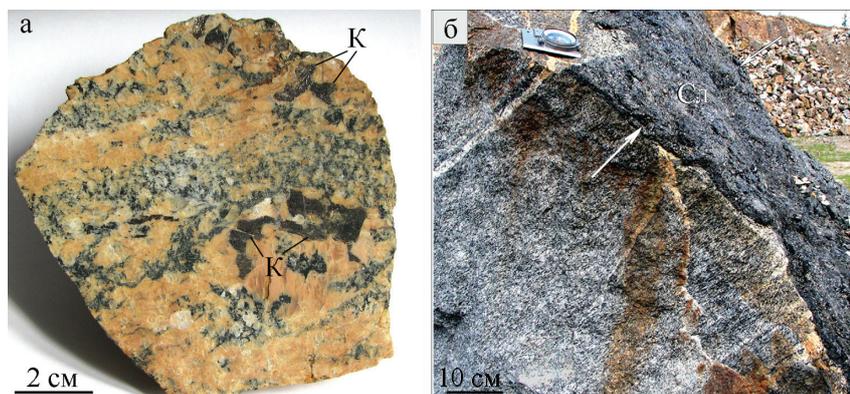


Рис. 8. Редкие минеральные типы пегматитов.

а – полевошпатовые с корундом (К), б – биотитовые слюдит-пегматиты (Сл).

Fig. 8. Rare mineral types of pegmatites.

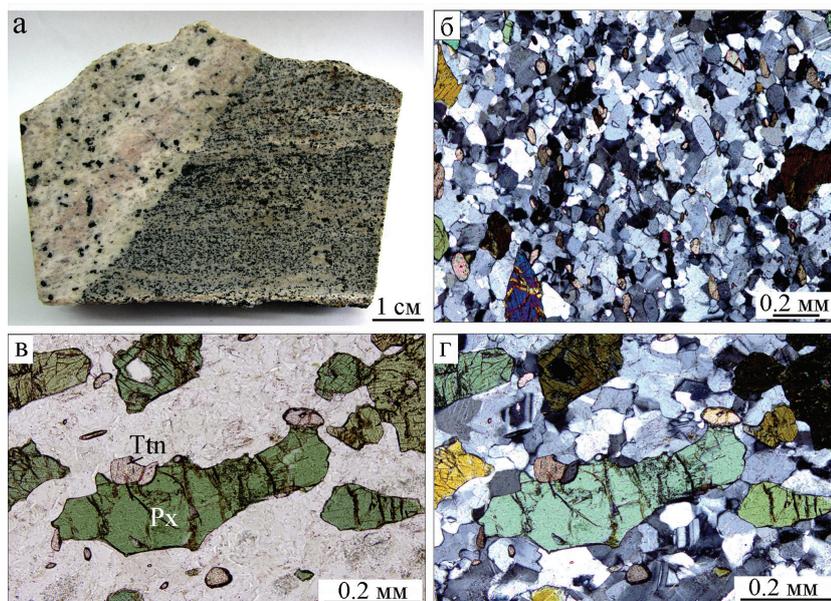
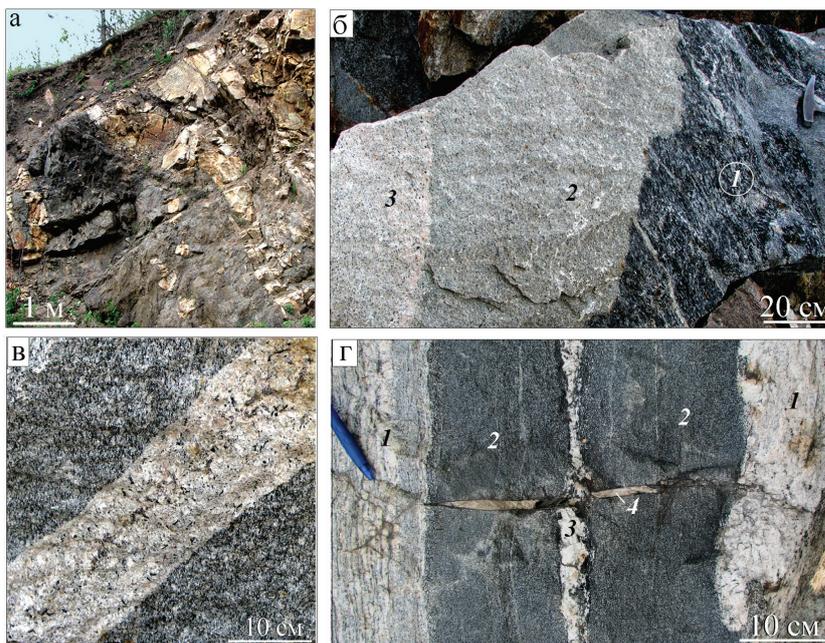
а – feldspar with corundum (K), б – biotite pegmatites (Сл).

Рис. 9. Возрастные взаимоотношения пород.

а – будины пегматитов в кальцит-биотитовых слюдитах; б – последовательность пород: меланократовые и мезократовые сиениты (1) → лейкократовые сиениты (2) → граниты (3); в – жила гранитного пироксенового пегматита в амфиболовом сиените; г – лейкократовые разгнейсованные сиениты (1) → мезократовые сиениты (2) → полевошпатовые пегматиты (3) → кальцитовая жилка (4).

Fig. 9. Interrelations of rocks.

а – boudines of pegmatites in calcite-biotite glimmerites; б – rock succession: melanocratic and mesocratic syenites (1) → leucocratic syenites (2) → granites (3); в – vein of granite pyroxene pegmatite in amphibole syenites, г – plastically deformed leucocratic syenites (1) → mesocratic syenites (2) → amphibole metasomatites feldspar pegmatites (3) → calcite vein.



Наиболее крупные зёрна полевого шпата имеют величину 4–5 мм, голубовато-белую иризацию (лунный камень), плоскости спайности изогнуты. Большинство индивидов полевых шпатов рекристаллизованы. Зёрна пироксена достигают величины 3 мм. Их поверхности являются унаследованно индукционными со всеми минералами породы. Индивиды кварца по величине были сопоставимы с индивидами полевого шпата и пироксена, но пластически деформированы (превращены в линзы) и рекристаллизованы. Кварц при высоких температурах деформации оказался наиболее пластичным из присутствующих минералов. Зёрна титанита

мелкие (до 1 мм), росли синхронно с другими минералами и при деформациях вели себя как жёсткие тела среди пластичных минералов.

2. Мелкозернистый амфибол-биотитовый сиенит, изменённый и рассечённый четырьмя различными жилами (рис. 11).

Собственно сиенит представляет собой агрегат олигоклаза 46 %, калишпата 32 %, гастингсита 8 %, аннита 10 %, титанита 3 % с редкими пиритом, пирроотином, апатитом и флюоритом. Структура породы мелкозернистая, текстура гнейсовидная, подчёркнутая субпараллельным расположением пластинок аннита. Гастингсит развит вдоль бывших

Рис. 10. Метаморфизованный пироксеновый сиенит с секущей жилой гранита (светлая).

а – общий вид образца; б-г – структура разных участков сиенита с рекристаллизованным полевым шпатом: б – мелкозернистая, в-г – неравнозернистая (Px – пироксен, Ttn – титанит); шлиф, с анализатором (б, г) и без анализатора (в).

Fig. 10. Metamorphosed pyroxene syenite with granite vein (light).

а – general view; б-г – structure of various parts of syenite with recrystallized feldspar: б – fine-grained, в-г – inequigranular (Px – pyroxene, Ttn – titanite); thin section, with analyzer (б, г) without analyzer (в).

Таблица

Химический состав (мас. %) минералов пироксенового (обр. НК-71) и амфибол-биотитового (обр. НК-64) сиенита

Table

Chemical composition (wt %) of rock-forming minerals of pyroxene and amphibole-biotite syenite

	Обр. НК-71				Обр. НК-64			
	Калишпат	Альбит	Эгирин-авгит	Титанит	Альбит	Гастингсит	Аннит	Титанит
№ ан.	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	65.06	68.02	50.37	30.21	66.01	39.27	37.18	30.83
TiO ₂			0.03	32.27		0.68	1.85	32.38
Al ₂ O ₃	18.50	19.82	1.19	2.38	21.29	11.16	12.38	4.48
FeO		0.27	21.2	3.29	0.28	25.65	23.76	1.89
MnO			1.07			0.76	0.60	
MgO			4.91			5.95	10.93	
CaO		0.31	17.64	28.73	3.09	10.75		27.41
BaO							0.48	
Na ₂ O	1.53	11.32	3.14		9.59	2.44		
K ₂ O	15.15	0.25	0.01		0.36	2.08	9.48	
Nb ₂ O ₅				0.57				0.34
Ce ₂ O ₃				0.53				
Nd ₂ O ₃				0.40				
Y ₂ O ₃				0.30				
F				0.73		0.41	1.26	1.79
Cl							0.23	
Сумма	100.24	99.99	99.56	99.42	100.62	99.11	98.14	99.12
Расчётные формулы (на катионы)								
1 – калишпат $K_{0.89}Na_{0.14}AlSi_{2.98}O_8$ (расчёт на 5 катионов);								
2 – альбит $Na_{0.96}K_{0.01}Ca_{0.01}Fe_{0.01}Al_{1.02}Si_{2.98}O_8$ (на 5 катионов);								
3 – эгирин-авгит $(Ca_{0.75}Na_{0.25})(Fe_{0.68}Mg_{0.24}Mn_{0.03}Al_{0.05})Si_2O_6$ (на 2 Si);								
4 – титанит $Ca(Ti_{0.8}Al_{0.09}Fe_{0.09}Nb_{0.01}Ce_{0.01})(SiO_4)(O_{0.92}F_{0.08})$ (на 1 Si)								
5 – олигоклаз $(Na_{0.83}Ca_{0.15}K_{0.02})Al_1Si_2O_8$ (на 5 катионов);								
6 – гастингсит $(Na_{0.74}K_{0.41}Ca_{1.79})(Fe_{3.34}Mg_{1.38}Mn_{0.1}Ti_{0.08}Al_{0.16})(Si_{6.11}Al_{1.89})O_{22}(OH_{1.8}F_{0.2})$ (на 16 катионов);								
7 – аннит $K_{0.95}Fe_{1.57}Mg_{1.28}Ti_{0.11}Mn_{0.04}Ba_{0.03}(Al_{1.1}Si_{2.9}O_{10})(OH_{1.63}F_{0.37})$ (на 8 катионов);								
8 – титанит $Ca_{0.97}Ti_{0.8}Al_{0.17}Fe_{0.05}Nb_{0.01}(SiO_4)(O_{0.81}F_{0.19})$ (на 3 катиона)								



Рис. 11. Мезократовый амфиболовый сиенит с секущими жилками разного состава.

1–4 – жилки: 1 – кальцит–биотитовая с флюоритом, пиррогином, магнетитом и пиритом; 2 – титанит–биотит–калишпат–амфиболовая; 3 – калишпатовая; 4 – гранит пироксен-амфиболовый с пегматоидной центральной зоной, содержащей титанит, алланит и молибденит. См. текст.

Fig. 11. Mesocratic amphibole syenite with veins of different composition.

1–4 – veins: 1 – calcite-biotite with fluorite, pyrrhotite, magnetite and pyrite, 2 – titanite-biotite-potassium feldspar-amphibole, 3 – feldspar, 4 – pyroxene-amphibole granite with titanite, allanite, and molibdenite in pegmatoid central zone. See text for explanations.

трещин с разными жилками или тонких трещин, закрытых при пластической деформации породы. В сиените наблюдаются значительные по площади участки, где гастингсита нет, и порода близка биотитовому сиениту.

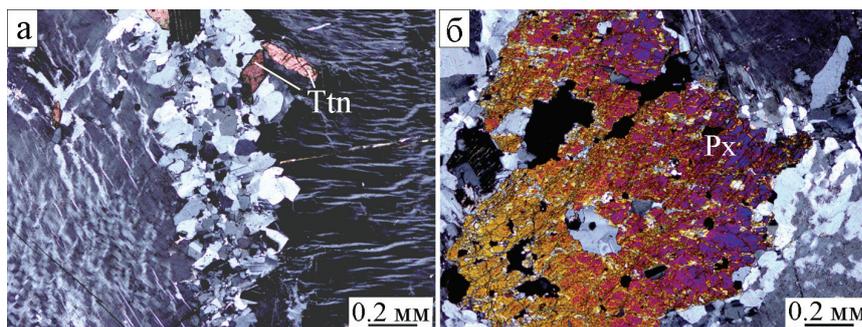
Состав некоторых породообразующих минералов приведён в таблице (ан. 5–8). Из формул следует, что гастингсит соответствует калийсодержащему члену ряда, в анните (биотите) обнаруживаются

Рис. 12. Полоса деформации в полевом шпате с его рекристаллизацией (а) и деформированный пироксен (б) в пироксеновом граните.

Шлиф, проходящий свет, с анализатором.

Fig. 12. Recrystallized deformation band in feldspar (a) and deformed pyroxene (б) in pyroxene granite.

Thin section, transmitted light, with analyzer.



повышенные содержания бария и фтора, в титаните есть примесь ниобия и высокие содержания фтора, что является характерным для Ильменогорского комплекса.

В биотитовом сиените амфибол развит вдоль трещин раннего кливажа и вдоль трещин более позднего кливажа, по которым в дальнейшем происходило разновременное раскрытие с образованием жил заполнения (см. рис. 11). Эти жилы имеют следующий состав: 1 – флюорит–пирротин–магнетит–пирит–кальцит–биотитовая; 2 – титанит–биотит–калишпат–амфиболовая; 3 – калишпатовая; 4 – дайка гранита с пегматитовой жилой по центру (калишпат, кварц, альбит, титанит, амфибол, пироксен, алланит, молибденит). Все четыре жилы имеют различный минеральный состав и строение, но около всех развита одинаковая ранняя амфиболизация. Тонкие редкие пластинки молибденита в четвертой жиле распределены равномерно. В ней амфибол и пироксен местами образуют синтаксические сростки. В титаните есть мелкие вроски магнетита. Калишпат красноватый и иризирующий местами содержит пертитовые вроски альбита, и есть эпитаксические нарастания его. В локальных полосах деформации кварц и полевой шпат рекристаллизованы, а пироксен частично трещиноват и раздроблен (рис. 12).

Если гастингсит ранней амфиболизации в биотитовом сиените отнести к явлениям фенитизации (метасоматозу), то можно говорить об амфиболовой фации фенитов. В соответствии с «принципом жил альпийского типа», в массиве рассматриваемых пород есть и амфиболовые жилы заполнения.

3. Среди малых тел амфибол-слюдяных и других лампрофиров выделяется своей редкостью титанит-альбит-пироксеновая мелкозернистая порода с вкрапленностью фенокristов биотита (рис. 13). Вмещающей породой является мелко-среднезернистый пироксеновый сиенит, содержащий в объеме около 82 % альбита, 12 % пироксена, 6 %

титанита. Зёрна альбита (плагноклаз № 3) изометричные, величиной 1–2 мм, эмпирическая формула $\text{Na}_{0.93}\text{Ca}_{0.03}\text{K}_{0.04}\text{Al}_{1.02}\text{Si}_{2.98}\text{O}_8$ (здесь и далее формулы рассчитаны по данным микрозондового анализа). Зёрна пироксена также изометричны, величина 0.2–0.8 мм, эмпирическая формула $(\text{Ca}_{0.73}\text{Na}_{0.27})_1(\text{Mg}_{0.51}\text{Fe}_{0.45}\text{Al}_{0.02}\text{Mn}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})(\text{Si}_{1.96}\text{Al}_{0.04})\text{O}_6$ (эгирин-авгит). Титанит представлен субизометричными зёрнами величиной 0.2–0.8 мм, расчётная формула $\text{Ca}_{0.98}\text{Fe}_{0.05}\text{Al}_{0.03}\text{Ti}_{0.94}\text{SiO}_5$. Между всеми минералами сиенита объёмно видны индукционные поверхности одновременного роста. В более крупных индивидах альбита есть включения пироксена и титанита. Явлений перекристаллизации не отмечено.

В этом образце собственно лампрофир состоит из: пироксена 70 (об. %), альбита 12, флогопита 8, титанита 8, апатита 2. Зёрна пироксена имеют зелёный цвет, величину 0.2–1.0 мм, субизометричны; его формула $(\text{Ca}_{0.74}\text{Na}_{0.26})_1(\text{Mg}_{0.52}\text{Fe}_{0.42}\text{Al}_{0.04}\text{Mn}_{0.01}\text{Ti}_{0.01})(\text{Si}_{1.96}\text{Al}_{0.04})\text{O}_6$ отвечает эгирин-авгиту. Альбит субизометричный, бесцветный, прозрачный, величина индивидов 0.2–1.0 мм, расчётная формула: $\text{Na}_{0.94}\text{Ca}_{0.05}\text{K}_{0.01}\text{Al}_{1.05}\text{Si}_{2.95}\text{O}_8$. Флогопит коричнево-чёрный,



Рис. 13. Контакт лейкократового полосчатого пироксенового сиенита с секущей меланократовой биотит-титанит-альбит-пироксеновой породой.

Fig. 13. Contact of leucocratic banded pyroxene syenite with melanocratic biotite-titanite-albite-pyroxene rock.

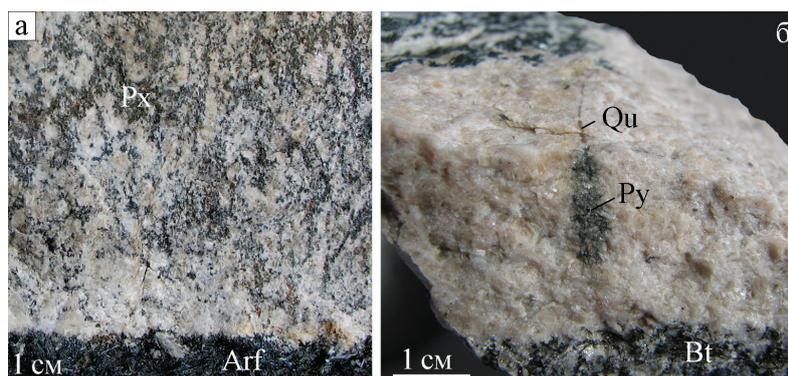


Рис. 14. Метасоматиты в экзоконтактах жил заполнения.

а – зона альбитизации (белое) в сиените пироксеновом (Px) около секущей жилы арфведсонита (Arf); б – агрегат микрозёрен пирита (Py) возле кварцевой жилки (Qu) в фельдшпатолите (светлое), секущем сиенит с биотитом (Bt).

Fig. 14. Metasomatites in contacts of fissure veins.

а – albite zone (white) in pyroxene syenite (Px) near arfvedsonite vein (Arf); б – aggregate of micrograins of pyrite (Py) near quartz vein (Qu) in feldspar rock (light), which cuts syenite with biotite (Bt).

толстотаблитчатый, пойкилитовый (с вростками пироксена, альбита и апатита), величина индивидов 3–4 мм, неоднороден по составу: в центральной части зерна его состав рассчитывается на формулу $K_{0.84}Mg_{1.9}Fe_{0.99}Mn_{0.03}Ti_{0.14}Al_{1.05}Si_{3.06}O_{10}(OH)_2$, а на периферии зерна – $K_{0.82}Mg_{1.83}Fe_{1.03}Mn_{0.03}Ti_{0.14}Al_{1.08}Si_{3.08}O_{10}(OH_{1.17}F_{0.83})$. Титанит коричневый, субизометричный, величина индивидов 0.2–1.0 мм, формула его $Ca_{0.95}Fe_{0.05}Ti_{0.91}Al_{0.09}SiO_5$. Удлиненно-призматический фторапатит бесцветный и прозрачный, величина кристалликов 0.2–0.5 мм, с эмпирической формулой $(Ca_{4.87}Sr_{0.13})(P_{2.98}S_{0.02})O_{12}(F_{0.79}OH_{0.21})$.

В пределах карьера не выявлено существенных признаков перерыва между щелочным и гранитоидным магматизмом в истории развития этого участка Ильменогорского комплекса пород. Однако есть переходные по количеству кварца разности гранитов и сиенитов. Набор метасоматических изменений и хрупко-пластичных деформаций в них примерно одинаковый. Набор аксессуарных минералов также близок. Жильные тела заполнения представлены разнообразными дайками и пегматитами гранитного, сиенитового, карбонатитового составов, а также с преобладанием пироксенового, амфиболового, слюдяного составов (см. рис. 13). Редко встречаются жилы с преобладанием кварца или сульфидов, или флюорита, или цеолитов, которые характеризуют, по-видимому, поздний гидротермальный процесс минералообразования.

В зональных телах пегматитов минералообразование начиналось от контактов и продолжалось внутрь тел. Часто отмечаются признаки проявления геометрического отбора и гравитационного расслоения. В зональных метасоматических телах

ранние зоны располагаются около трещин, поздние – дальше от трещин (в общем случае), отсутствует гравитационное влияние. Нередко метасоматоз развивался в виде единичных рассеянных метакристаллов без образования сплошных зон колонки. Всюду устанавливается несинхронность конкретных тел заполнения и прилегающих метасоматических тел. Так, возле тёмной амфиболовой жилки заполнения можно наблюдать светлый полевошпатовый метасоматит (рис. 14а), или возле кварцевой жилки виден пиритовый метасоматит (см. рис. 14б). Возле полевошпатовой жилы можно наблюдать или пироксеновый, или амфиболовый, или биотитовый метасоматит. Если говорить о действии «принципа жил альпийского типа», то он проявляется на формационном уровне, т. е. в блоке с развитием конкретных метасоматитов обязательно встретятся жилы заполнения подобного минерального состава. Так, в блоке с развитием разных фаций фенитов (пироксеновой, амфиболовой, биотитовой, полевошпатовой, скаполитовой и т. д.) есть жилы заполнения подобного состава. Иногда они пространственно совпадают.

В Ильменских горах давно известны жилы фельдшпатолитов, состоящих практически из альбит-олигоклаза и калишпата. Внешне они напоминают дайки аплитов. На территории карьера также встречаются жилы фельдшпатолитов (см. рис. 14 б). Структура в них нередко неравнозернистая – на фоне мелкозернистой массы встречаются отдельные более крупные выделения полевых шпатов с бегущим отблеском от плоскостей спайности. Под микроскопом обнаруживаются признаки рекристаллизации полевых шпатов и реликтовые более круп-

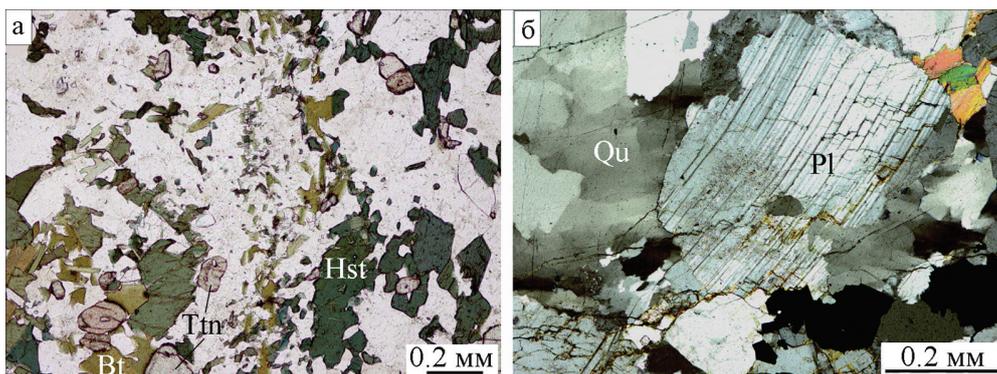


Рис. 15. Проявление дробления и рекристаллизации в биотит-амфиболовом сиените (а) и блоки и полиэдры перекристаллизации полевых шпатов и кварца в граните (б).

Bt – биотит, Hst – гастингсит, Ttn – титанит, Qu – кварц, Pl – олигоклаз. Шлифы без анализатора (а) и с анализатором (б).

Fig. 15. Fragmentation and recrystallization of biotite-amphibole syenite (a) and blocks and polyhedra of recrystallization of feldspars and quartz in granite (б).

Bt – biotite, Hst – hastingsite, Ttn – titanite, Qu – quartz, Pl – oligoclase. Thin sections without (a) and with (б) analyzer.

ные напряжённые индивиды их. Поскольку в породе были практически только полевые шпаты, то продукты процессов реологического течения в фельшпатолитах макроскопически почти не видны (видна только неравнозернистая структура). Некоторые фельдшпатолиты содержат повышенные концентрации циркона. Другая картина обнаруживается в полиминеральных агрегатах. В них видны все явления хрупко-пластичной деформации и рекристаллизации минералов (рис. 15). Плоские жилы местами превращены в изогнутые жилы (птитматиты).

Обсуждение результатов

На площади карьера не удалось надёжно установить ранние исходные породы, по которым предположительно развивались щелочные метасоматиты (фениты) и в которые внедрялись гранитные, щелочные, карбонатитовые и другие магмы (расплавы-растворы). По наблюдению пересечений, самыми древними породами на площади карьера оказались полосчатые мезо-меланократовые сиениты, после которых образовались тела лейкократовых кварцевых сиенитов и гранитов с сериями пегматитов. Позднее проявлены дайкообразные тела лейкократовых сиенитов разного состава, карбонатитов, слюдитов, горнблендитов. Самыми поздними из магматических тел являются амезонитовые пегматиты. Щелочные метасоматиты в виде разных фаций фенитов (пироксеновых, амфиболовых, биотитовых, полевошпатовых) формировались в интервалах между фазами внедрения магматических пород. Они проявлены неоднородно в

соответствии с раскрытием кливажных трещин в блоках пород.

Некоторые высокотемпературные метасоматиты по составу и структуре походят на агрегаты магматических пород, особенно изометричнозернистой структуры. Это ведёт к неопределённости интерпретаций генезиса горных пород и необходимости применения онтогенетического анализа структур минеральных агрегатов. По-видимому, такая ситуация не способствует использованию классификации горных пород на петрохимической основе без рассмотрения их онтогенеза. Важно различать явления метасоматоза, перекристаллизации, хрупко-пластичной деформации в полиминеральных агрегатах. Есть проблема различения метаморфических и частично метаморфизованных горных пород.

На петрографических и геологических картах и схемах разного масштаба строение экзоконтакта Ильменогорского миаскитового массива показано по-разному. На мелкомасштабных схемах вокруг массива обычно формально показывают «ореол» пироксеновых фенитов (Левин и др., 1997), создающий впечатление, что он возник как следствие появления самого массива (расплава миаскитового состава). Фактически морфологических признаков синхронности фенитизации вмещающих пород и кристаллизации миаскитового расплава-раствора в конкретном контакте никем не установлено. При крупномасштабном картировании «фенитовый ореол» выглядит как сложно устроенный экзоконтакт с большим количеством малых разновозрастных преимущественно щелочных тел магматического и метасоматического происхождения (Попов, Баженов, 2009).

Множество малых магматических тел, подобных приведённым в работе, а также разнообразных пегматитов, слюдитов, горнблендитов, карбонатитов и метасоматитов, говорит о сложной дифференциации вещества в Ильменогорском блоке земной коры и неоднородных многоактных хрупко-пластичных деформациях во время становления щелочного комплекса. Значительная часть наблюдаемых разнообразных минеральных тел по относительному возрасту предшествует миаскитовому массиву, судя по его рвущему контакту по отношению к системе тел сиенитов и фенитов. Относительный возраст малых магматических тел разнообразен и требует специального картирования в процессе развития карьера. Послемиаскитовые тела гранитоидов (в том числе поздние амазонитовые гранитные пегматиты) претерпели весьма существенные локальные хрупко-пластичные деформации и, подобно щелочным породам, местами разгнейсованы, некоторые минералы их рекристаллизованы (возможно, неоднократно). Пластические деформации тел горных пород неоднородны в пространстве, нередко вскрываются участки с хорошо сохранившимися возрастными взаимоотношениями минеральных тел. Моделирование «абсолютного возраста» минеральных тел на территории карьера никем не производилось.

В процессе картирования остро сказывается отсутствие разработки терминологической базы явлений метасоматоза в области переходных составов между исходной породой и полностью изменённой породой. Неясно, в каких случаях минеральный агрегат можно назвать фенитом, а в каких – фенитизированной породой. При развитии метакристаллов и псевдоморфозов часто остаются реликты минералов и «индифферентные» минералы исходной породы с разным количественным соотношением их. В разных зонах метасоматической колонки (если она образуется) возникают разные количественные соотношения исходных и новообразованных минералов.

Заключение

Минералогические наблюдения в каменном карьере, расположенном в экзоконтакте Ильменогорского миаскитового массива, показывают сложное длительное становление ильменогорского комплекса пород в условиях многократного периодического сжатия и раскрытия трещинных структур. Породы последовательно развивались от ранних сиенитов к грано-сиенитам и гранитам,

далее – к сложной серии сиенитов и карбонатитов и, наконец, к редкометалльным гранитам (амазонитовым пегматитам). Разные минеральные фации фенитов (пироксеновые, биотитовые, амфиболовые, полевошпатовые, комбинаторные) развиты по ранним сиенитам и по гранитоидам. По относительному времени, онтогенез («история жизни») фенитовой формации шире онтогенеза миаскитов. На площади карьера развито много мелких тел магматических слюдитов, амфибол-биотитовых и биотит-пироксеновых пород (лампрофиров), а также разнообразных по минеральному составу карбонатит-пегматитов – пироксеновых, амфиболовых, биотитовых, магнетитовых, ильменитовых, гранатовых, комбинаторных и других.

Авторы благодарны В.И. Поповой, Е.И. Чуриной, О.В. Чурсиной за помощь в процессе исследований и написания статьи.

Литература

- Левин В.Я.** (1974) Щелочная провинция Ильменских–Вишневых гор. М., Наука, 223 с.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселёв А.П.** (1997) Щёлочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, Уралгеолком, 274 с.
- Попов В.А., Баженов А.Г.** (2009) О строении северо-западного экзоконтакта Ильменогорского миаскитового массива. *Десятые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова*. Миасс, ИМин УрО РАН, 23–29.
- Таланцев А.С., Петрова Г.А.** (1991) Условия и механизм формирования карбонатитов Ильменогорско-Вишневогорского щелочного комплекса. Свердловск, УрО АН СССР, 71 с.

References

- Levin, V.Y.** (1974) [Alkaline province of the Ilmeny–Vishnevye Mountains]. Moscow, Nauka, 223 p. (in Russian).
- Levin V.Ya., Ronenson B.M., Samkov S.V., Levina I.A., Sergeev N.S., Kiselev A.P.** (1997) [Alkaline-carbonatite complexes of the Urals]. Yekaterinburg, Uralhelicom, 274 p. (in Russian)
- Popov V.A., Bazhenov A.G.** (2009) [Structure of the northwestern contact of the Ilmenogorsky miaskite complex]. *10-e Vseross. Nauchnye chteniya pamyati ilmenskogo mineraloga V.O. Polyakova [Tenth All-Russian Scientific Meeting in the Memory of Ilmeny Mineralogist V.O. Polyakov]*. Miass, IMin UrO RAN, 23–29. (in Russian)
- Talantsev A.S., Petrova G.A.** (1991) [Formation conditions of carbonatites of the Ilmeno-Vishnevogorsky alkaline complex]. Sverdlovsk, UrO AN SSSR, 71 p. (in Russian)

Поступила в редакцию 13 сентября 2017 г.