

## Литература

- Богатиков О. А., Коваленко В. И., Шарков Е. В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. М.: Наука, 2010. 606 с.
- Геологический словарь. М.: Недра, 1973. 455 с.
- Гинзбург А. И., Тимофеев И. Н., Фельдман Л. Г. Основы геологии гранитных пегматитов. М.: Недра, 1979. 296 с.
- Заварицкий А. Н. О пегматитах как образованиях промежуточных между изверженными породами и рудными жилами // Записки ВМО. 1947. Ч. 76. Вып. 1. С. 36–50.
- Косухин О. Н., Бакуменко И. Т., Чупин В. П. Магматический этап формирования гранитных пегматитов. Новосибирск: Наука, 1984. 135 с.
- Никитин В. Д. Пегматитовые месторождения / Генезис эндогенных рудных месторождений. М.: Недра, 1968. С. 84–151.
- Никаноров А. С. Гранитные пегматиты (проблемы генезиса и эволюции). М.: Недра, 1979. 169 с.
- Соколов Ю. М., Кратц К. О., Глебовицкий В. А. Закономерности образования и размещения формаций мусковитовых и мусковит-редкометалльных пегматитов в метаморфических поясах // Мусковитовые пегматиты СССР. Л.: Наука, 1975. С. 5–15.
- Ферсман А. Е. Месторождения драгоценных и цветных камней СССР. Избранные труды. Т. 7. М.: АН СССР, 1960. 727 с.

**О. В. Головки<sup>1</sup>, О. С. Верецагин<sup>1</sup>, М. А. Рассомахин<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург  
golovko.511@gmail.com

<sup>2</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

### **Сравнительная минералого-геохимическая характеристика миаскитовых пегматитов Ильменских гор (Россия) и Лангесунфьорда (Норвегия)**

Среди щелочных пород особым разнообразием отличаются пегматиты (сиенитовые, нефелин-сиенитовые, нефелин-уртитовые, миаскитовые). Наиболее известны пегматиты Хибин, Ловозера, Ильменских и Вишневых гор (Россия), Лангесунфьорда (Норвегия), Илимауссак (Гренландия). По коэффициенту агапайности щелочные пегматиты подразделяют на миаскитовые и агапайтовые [Богатиков и др., 2008]. Термин «миаскитовый» также используется по отношению к конкретным пегматитовым телам, связанным с миаскитами. В связи с гигантозернистым строением классификация пегматитов на основании данных анализа валового химического состава затруднена. Определить тип пегматита позволяет использование минералов-индикаторов: так, циркон, ильменит, авгит и Са амфиболы характерны для миаскитовых пегматитов, а минералы группы эвдиалита, эгирин и Na-Са амфиболы – для агапайтовых [Piilonen et al., 2013].

Целью настоящего исследования является определение термодинамических условий образования пегматитов Лангесунфьорда и Ильменских гор на основании данных об их минералогии и особенностях химического состава породообразующих

минералов. Образцы пегматитов были отобраны во время летних геологических практик (Норвегия, 2017–2018 гг., Южный Урал, 2018 г.).

Побережье между фьордами Осло и Лангесун сложено породами плутонического комплекса Ларвик, представляющего собой серию кольцевых интрузий. Породы изменяются от кислых умеренно-щелочных (монцититы) до основных щелочных (нефелиновые сиениты). Формирование пегматитов, вероятно, происходило на поздней стадии становления комплекса, когда система была обогащена REE, Th, Zr, Nb, Be [Larsen et al., 2008]. В пегматитах было описано более 30 минералов [Müller et al., 2017], но термодинамические условия их формирования практически не изучены [Larsen et al., 2008].

Карьер Сагасен, образцы из которого были изучены, расположен в центральной части комплекса Ларвик и находится на юго-западном берегу Лангесунфьорда. Образцы были отобраны из горизонтальной пегматитовой дайки мощностью около 2.5 м. Контакт пегматитов с вмещающими авгитовыми монцититами резкий, структура – гигантозернистая, наиболее крупные кристаллы (до 20 см) сосредоточены в центре пегматитового тела, их размер постепенно уменьшается к краям. Породообразующие минералы – нефелин, полевые шпаты, биотит, эгирин.

Щелочные породы Ильмено-Вишневогорского комплекса формируют одноименные среднеордовикские миаскитовые массивы и соединяющую их центральную щелочную полосу. Миаскитовые пегматиты Ильменских гор располагаются в миаскитах и фенитах, а также в метаморфических породах в экзоконтакте массива [Попов, Попова, 2008]. Термобарометрическими методами было установлено, что ильменские миаскитовые пегматиты образовались в диапазоне  $T$  750–500 °C и  $P$  3.5–2.5 кбар [Симонов, 1981].

Образцы для исследования были отобраны в копиях №№ 7 и 179. В копи № 7 обнажается система разнонаправленных пегматитовых жил. Вмещающими породами служат гнейсовидные миаскиты, контакты пегматитов нечеткие. Центральная зона сложена миаскитовым пегматитом, на периферии содержание нефелина снижается вплоть до его исчезновения. Структура гиганто- и крупнозернистая; главные минералы – нефелин, полевые шпаты, биотит, ильменит. Копь № 179 вскрывает жилу сиенитового (с зоной миаскитового) пегматита, расположенную в кварцитах.

Определение температуры образования пегматитов проведено на основании химического состава нефелина по методу [Hamilton, 1961]. Использован нефелин из стенки карьера Сагасен, миаскитовой зоны пегматита копии № 179 и миаскитовой и малонефелиновой (полевошпатовой) зон пегматита копии № 7. Минералы диагностированы визуально и с использованием рентгенофазового метода в РЦ СПбГУ «Рентгенодифракционные методы». Состав минералов определен с помощью СЭМ HITACHI S-3400N, оснащенной ЭДС Oxford X-max 20 в РЦ СПбГУ «Геомодель». Минеральный состав миаскитовых пегматитов Лангесунфьорда и Ильменских гор приведен в таблице.

Пегматиты изученных объектов отличаются по набору и соотношению главных и аксессуарных минералов (см. табл.). Пегматиты Сагасен содержат минералы-индикаторы и миаскитовых, и агпаитовых пород, поэтому их можно считать переходными, что согласуется с литературными данными [Piiilonen et al., 2013]. Ильменские пегматиты содержат минералы-индикаторы, характерные исключительно для миаскитовых пород.

Т а б л и ц а

**Сравнение минерального состава миаскитовых пегматитов  
Лангесунфьорда и Ильменских гор**

		Лангесунфьорд, пегматиты Сагасен	Ильменские горы	
Сульфиды	<i>Халькопирит</i> , пирит			
	<i>Арсенопирит</i> , галенит, сфалерит, молибденит*		<i>Пирротин</i>	
Оксиды	Ильменит, магнетит, фторкальциопирохлор (группа пирохлора)			
	Бадделеит, торианит, пирофанит		<i>Бетафит</i> , <i>эшинит-(Ce)</i> , <i>колумбит-(Fe)</i> , <i>герцинит</i> , <i>корунд</i> , <i>рутил</i> , гематит	
Гидроксиды	Диапор, гетит, гиббсит, лепидокрокит, <i>нордстрандит</i>			
	<i>Бехоит</i> , <i>бемит</i>		Гидроксиды Mn	
Силикаты	Циркон, титанит			
	Островные	Велерит, йортдалит, торит, церит-(Ce), бритолит-(Ce), бритолит-(Ce), капеленит-(Y), лавенит, тритомит-(Ce), гизингерит	<i>Алланит-(Ce)</i> , <i>алланит-(La)</i>	
	Кольцевые	Эвдиалит, <i>феррокентбруксит</i> , <i>гренмарит</i>		
	Цепочечные	Эгирин, эгирин-авгит, <i>астрофиллит</i> , <i>пектолит</i> , <i>таджикит-(Ce)</i>		
	Ленточные	Магнезиогастингсит		
		<i>Ферро-эденил</i> , феррогортнблендит*, <i>эпидидимит</i>		Ферримагнезиогортнблендит
	Слоистые	Мусковит, аннит, <i>галлуазит</i> , каолинит		
		Гониерит, пеннантит, шамозит, <i>неонокит</i> , <i>политионит</i> ,		<i>Вермикулит</i> , <i>иллит</i>
	Каркасные	Микроклин, альбит, нефелин, анальцим, канкринит, натролит, содалит, гейландит-(Ca)*, гоннардит*		
				Мезолит, сколецит, мариалит, олигоклаз, ортоклаз, филлипсит-(K), вишневит, цельзиан
Фосфаты	Фторапатит			
	Монацит-(Ce), ксенотим-(Y)			
Карбонаты	Кальцит, <i>анкилит-(Ce)</i>			
	Бастнезит, <i>бербанкит</i> , <i>гидроцеруссит</i> , <i>паризит-(Ce)</i>		<i>Доломит</i> , <i>карбоцернаит</i> , <i>синхизит</i>	
Сульфаты	Гипс			
	<i>Берборит</i>		<i>Копиапит</i> , <i>язозит</i>	
Фториды	Флюорит			

Примечание. \* – подтверждено рентгенофазовым анализом, курсив – литературные данные [Попов, Попова, 2006; Larsen et al., 2008].

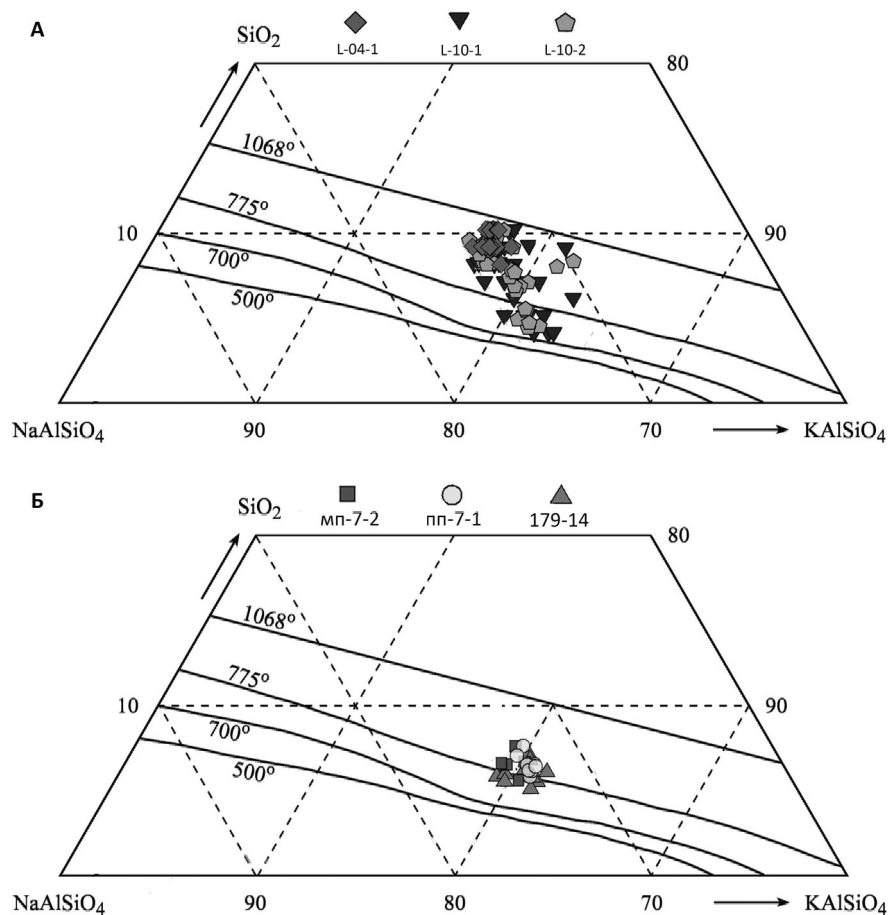


Рис. Диаграмма состава нефелина из миаскитовых пегматитов: а) Сагасен, б) Ильменские горы.

Образцы пегматитов: а – L-04-1, L-10-1, L-10-2; б – мп-7-2 (миаскитовый), пп-7-1 (полевошпатовый) – копь № 7, 179-14 (миаскитовый) – копь № 179.

Нефелин, альбит, микроклин, аннит – главные породообразующие минералы обоих объектов. Нефелин пегматитов Сагасен преимущественно идиоморфный, зеленый или мясо-красный; полевые шпаты ксеноморфны, представлены срастаниями альбита и микроклина. Нефелин и полевые шпаты ильменских пегматитов образуют индукционные поверхности. Идиоморфные кристаллы нефелина встречаются только в полостях. Цвет нефелина серый, серо-зеленый, красноватый. Полевые шпаты также представлены пертитами и антипертитами. Пегматиты Сагасен содержат пироксены (эгирин, эгирин-авгит) и амфиболы (ферро-эденит, феррогорнблендит, эпидидимит), образующие крупные (до 10 см) кристаллы правильной формы. В ильменских миаскитовых пегматитах пироксены не отмечены, из амфиболов обнаружен только магнезиогастингсит.

Общими акцессорными минералами являются циркон, минералы группы пироклора, титанит и некоторые другие (см. табл.). Ильменским пегматитам свойственны бетафит, эшинит-(Ce), колумбит-(Fe). В пегматитах Сагасен более разнообразны островные силикаты и цирконосиликаты: велерит, йортдалит, церит. РЗЭ элементы в пегматитах обоих регионов концентрируются в минералах группы пироклора и карбонатах. В пегматитах Сагасен встречаются бритолит, церит, капеленит-(Y) и ксенотим; в ильменских – алланит-(Ce) и алланит-(La). Вторичные изменения в обоих случаях проявлены шпреуштейнизацией нефелина, окислы Fe и Mn больше характерны для ильменских пегматитов.

Состав нефелина из пегматитов Сагасен соответствует температурам образования 700–1000 °С (рис. а). В одном образце кристалл нефелина зонален. Исходя из диаграммы, кристаллизация проходила постепенно, внутренняя часть кристаллизовалась при 1000 °С, внешняя – 800–700 °С. Разброс значений температуры образования нефелина для пегматитов Ильменских гор меньше – 750–900 °С (рис. б), что согласуется с литературными данными [Симонов, 1981]. Минеральное разнообразие переходных пегматитов Сагасен, вероятно, связано с большим разнообразием вмещающих пород, химизм которых влиял на пегматиты [Sunde, Friis, 2018]. Температуры образования пегматитов близки ~800 °С, в среднем. Разброс значений может говорить о динамике процесса: пегматиты Сагасен формировались медленно, о чем свидетельствует гигантокристаллическая структура и плавное понижение температуры в кристалле нефелина. Ильменские пегматиты формировались, вероятно, более быстро.

*Авторы благодарны д.г.-м.н. Е. В. Белогуб, к.г.-м.н. Е. В. Медведевой и сотрудникам Института минералогии УрО РАН и Ильменского заповедника за консультации и помощь в ходе полевых работ, а также В. В. Шиловских и Н. С. Власенко (РЦ «Геомодель») за проведение анализов.*

## Литература

- Богатилов О. А., Петров О. В., Шарпенко Л. Н.* Петрографический кодекс России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 203 с.
- Попов В. А., Попова В. И.* Минералогия пегматитов Ильменских гор. Минералогический альманах. Вып. 9. М., 2006. 152 с.
- Симонов В. А.* Условия минералообразования в негранитных пегматитах. Новосибирск: Наука, 1981. 344 с.
- Hamilton D. L.* Nephelines as crystallization temperature indicators // *Journal of Geology*. 1961. № 69. P. 321–329.
- Larsen B. T., Sundvoll S., Heeremans M.* The Permo-Carboniferous Oslo rift through six stages and 65 million years // *Episodes*. 2008. Vol. 31. P. 52–58.
- Müller A., Husdal T., Sunde Ø., Friis H., Andersen T., Johansen T. S., Thoresen R., Olerud S.* Norwegian pegmatites I: Tysfiord-Hamarøy, Evje-Iveland, Langesundfjord. Geological society of Norway, 2017. 120 p.
- Pilonen P., Paula C., McDonald A. M., Poirier G., Ralph R., Larsen A. O.* Mafic minerals of the alkaline pegmatites in the Larvik plutonic complex, Oslo rift, Southern Norway // *Canadian Mineralogist*. 2013. Vol. 51. P. 735–770.
- Sunde Ø., Friis H.* Variation in major and trace elements of primary wöhlerite as an Indicator of the origin of pegmatites in the Larvik plutonic complex, Norway // *Canadian Mineralogist*. 2018. Vol. 56. P. 529–542.