

УДК 549.6

О КОРУНДСОДЕРЖАЩИХ ПЕГМАТИТАХ «ЛИНИИ СКРЕЩЕНИЯ» ХИБИНСКОГО МАССИВА И ИХ РОЛИ В РЕКОНСТРУКЦИИ СОСТАВА ВМЕЩАЮЩИХ ЕГО ПРОТОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПОРОД

Ю.В. Азарова, З.В. Шлюкова

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН, Москва, azarova_yu@mail.ru

Изучены корундоносные пегматоидные образования, локализованные в пределах Свинцового ручья (гора Кукисвумчорр). Детально описан минеральный состав этих образований и закономерности его изменения по мере удаления от нефелиновых сиенитов и приближения к ксенолиту ороговикованных пород. Проведено исследование микровключений в корунде, содалите и нефелине. Высказаны предположения о процессах формирования пегматоидных образований и о первичном составе пород аннит-полевошпатовых роговиков, среди которых они локализованы.

В статье 2 таблицы, 6 рисунков, список литературы из 13 названий.

Ключевые слова: корунд, корундсодержащие пегматиты, пегматиты линии скрещения, Хибинский массив, высокоглиноземистые ороговикованные породы, расплавные включения.

Введение

В центральной части Хибинского массива распространены разнообразные по составу ороговикованные ксенолиты вмещающих массив протопротероидных пород. Большинство из них — это глиноземистые (кордиеритовые, силлиманитовые, кордиерит-андалузитовые с корундом и без него, аннит-полевошпатовые, аннит-полевошпат-хлоритовые и другие), глинистые, углисто-глинистые и филлитовые сланцы, пирротин-содержащие роговики (Куплетский, 1932; Симон, Шлюкова, 1972; Меньшиков, 1978; Шлюкова, 1986; Меньшиков и др., 2000). Предположительно, что они представляют собой преобразованные в ходе метаморфических и метасоматических процессов осадочно-вулканогенные породы нескольких свит имаандра-варзугской структуры (филлиты, глинистые сланцы, хлорит-серицитовые сланцы, двуслюдяные сланцы, алевролиты, карбонатные породы и другие). Ксенолиты ороговикованных протопротероидных пород распространены в основном на контакте нефелиновых сиенитов (фойяитов, хибинитов и лявочорритов) с рихсчорритами и/или ийолит-уртитамы Центральной дуги массива, в пределах палеоконтур протерозойских пород (Симон, Шлюкова, 1972; Шлюкова, Борудский, 1976; Шлюкова, 1986 и др.). Гетерогенность пород ксенолитов при их взаимодействии с нефелин-сиенитовой магмой обусловила развитие в них самих и на их контакте с нефелиновыми сиенитами своеобразных пегматитов, высокоглиноземистые минеральные ассоциации которых несвойственны для нефелино-

вых сиенитов массива и их пегматитов. Такой минеральный состав характерен для гранитных и негранитных пегматитов, в формировании которых наряду с пегматитовым раствор-расплавом участвовали компоненты, заимствованные из вмещающих пород контрастного состава. Подобные пегматиты неоднократно описаны в более ранних работах, в том числе и для щелочных массивов, как пегматиты «линии скрещения» (Ферсман, 1940; Успенский, 1968; Шлюкова и др., 2003; Чуканов и др., 2003).

Геолого-минералогическая характеристика корундсодержащих пегматитов линии скрещения

Согласно Ю.П. Меньшикову (1978), в целом, среди корундоносных пегматитовых образований в Хибинском массиве выделяются два основных типа: нефелиновый (главные минералы — нефелин, ортоклаз, лепидомелан (аннит); второстепенные — содалит, герцинит, корунд) и безнефелиновый (главные минералы — ортоклаз, лепидомелан (аннит); второстепенные — альбит, мусковит, герцинит, корунд).

Авторами изучен ряд корундоносных пегматитов первого типа, отмеченных как на поверхности в пределах гор Рихсчорр, Кукисвумчорр, Юкспор, Эвеслогчорр, так и на значительной глубине (прослеживаются в керне скважин, пройденных через ороговикованные останцы древних пород в районе озера Малый Вудъявр и на Апатитовом Партомчоррском месторождении). Пегматиты прослеживаются на контакте нефелиновых сиенитов

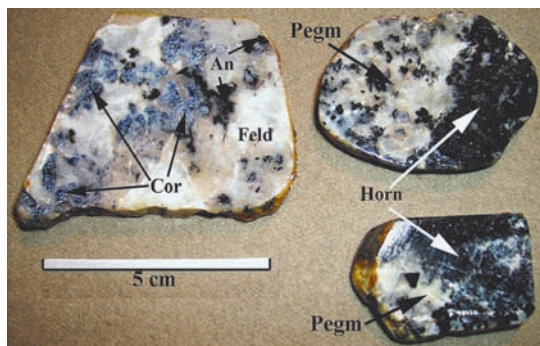
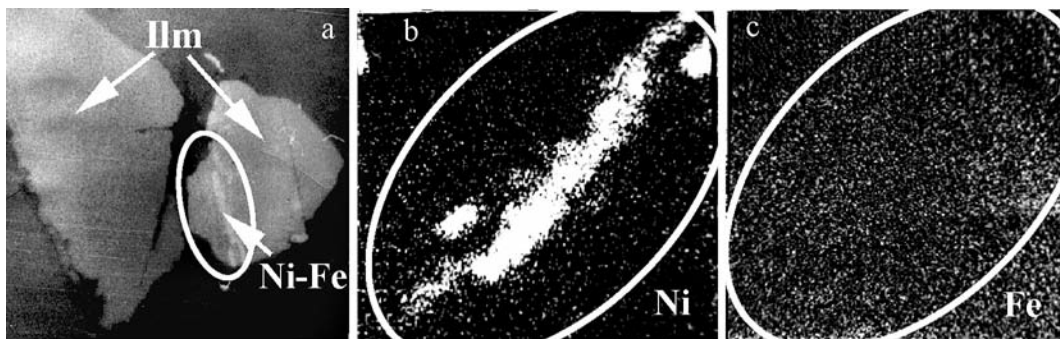


Рис. 1. Образцы корундоносного пегматита (г. Кукисвумчорр), зона контакта пегматита и полевошпат-аннитового роговика. Cor – корунд, Feld – полевошпат, An – аннит; Pegm – пегматит, Horn – роговик.

Рис. 2. Проявления природного сплава никель-железо (Ni-Fe) в ильмените (Ilm) из корундоносного пегматита. а) в отраженных электронах; б-с) в характеристическом излучении: б – Ni, с – Fe.



нитов с глиноземистыми роговиками. Обычно они имеют шпировидную неправильную форму, часто разветвляются на несколько апофиз. Размеры жил от первых метров до 200 м по простиранию, мощность 0.2 – 1.5 м. Минералы в описываемых пегматитах распределяются неравномерно. Главными являются арфведсонит, эгирин, нефелин, биотит (аннит), нефелин, полевошпат. Кроме того, в апофизах нефелин-полевошпатовых пегматитов в роговиках присутствуют голубой корунд (сапфир), герцинит в виде кристаллов и кайм вокруг корунда, лепидомелан, ильменит, монацит, графит, эсколаит, кобальтсодержащий леллингит и другие минералы. Большая часть пегматитов интенсивно содалитизирована. В участках развития содалита встречены апатит, гадолинит, циркон и другие титано-ниобаты, не определенные точнее (Шлюкова, 1986; Шлюкова и др., 2003).

Наиболее подробно были изучены корундоносные пегматоидные образования, локализованные в пределах Свинцового ручья (гора Кукисвумчорр) в высокоглиноземистых аннит-полевошпатовых роговиках (содержание Al_2O_3 в них составляет 52.10 мас. %). Корундоносными являются аннит-нефелин-полевошпатовые апофизы в роговиках (рис. 1), которые отходят от арфведсонит-нефелин-полевошпат-эгиринового пегматита с лампрофиллитом, прослеживаю-

щегося среди фойяитов, вмещающих ксенолит роговиков. Контакты пегматоидных образований с роговиками нечеткие вследствие проявления фенитизации. Четко прослеживается изменение минерального состава пегматита по мере удаления апофиз от основного тела пегматита: на фоне исчезновения арфведсонита, эгирина и лампрофиллита возникает глиноземистая ассоциация – корунд, герцинит, аннит, кордиерит и другие минералы (Буканов, Липовский, 1980).

Породообразующие минералы в апофизах представлены кали-натровым полевым шпатом, нефелином и слюдой, состав которой соответствует, по принятой в настоящее время номенклатуре (Номенклатура..., 1998), анниту, практически не содержащему флогопитовой (магниево) составляющей. Особенностью этого аннита является чрезвычайно высокая глиноземистость (содержание Al_2O_3 17 мас. % вместо обычных 7 – 10%), его состав соответствует формуле: $(K_{1.04}Na_{0.05})_{1.09}(Fe_{1.95}^{2+}Ti_{0.29}Al_{0.28}Fe_{0.16}^{3+}Mg_{0.09}Mn_{0.06})_{2.83}Al(Si_{2.60}Al_{0.40})_{3.00}O_{10}(OH)_2$ (ан. 1 в табл. 1). Интересно, что аннит с практически идентичным составом установлен авторами и в собственно роговиках, вмещающих пегматит. Для сравнения приводится состав высокоглиноземистого аннита из роговиков: $K_{1.07}(Fe_{1.91}Mg_{0.54}Al_{0.19}Ti_{0.18})_{2.82}[Al(Si_{2.66}Al_{0.34})_3O_{10}](OH)_2$ (ан. 2 в табл. 1) (количество Fe^{2+} и Fe^{3+} рассчитано по балансу зарядов в

Таблица 1. Химические составы породообразующих и акцессорных минералов из корундового пегматита (Свинцовый ручей, г. Кукисвумчорр), мас. %

Минералы	Породообразующие минералы					Акцессорные минералы				
	Аннит		Нефелин	Полевой шпат		Герцинит	Мусковит	Монацит	Борнит	Халькопирит
Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Na ₂ O	0.36	0.00	17.50	1.94	9.85	—	2.37	—	—	—
K ₂ O	9.97	14.35	5.88	14.82	0.27	—	6.88	—	—	—
CaO	0.06	0.00	—	0.18	0.62	—	—	—	—	—
MnO	—	0.68	—	—	—	1.29	—	—	—	—
FeO/Fe*	31.01	36.59	0.07	Н.о.	Н.о.	53.00	—	—	59.35	38.19
CuO/Cu*	—	—	—	—	—	—	—	—	18.57	28.37
Se ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	34.18	—	—
La ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	24.91	—	—
Pr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	2.18	—	—
Nd ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	5.85	—	—
Al ₂ O ₃	17.42	14.16	32.62	18.58	19.85	42.44	34.81	—	—	—
SiO ₂	31.58	25.66	43.43	63.08	66.97	—	42.22	0.68	—	—
TiO ₂	4.73	2.94	—	—	—	0.27	—	—	—	—
ThO ₂	—	—	—	—	—	—	—	1.12	—	—
P ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	—	29.46	—	—
S	—	—	—	—	—	—	—	—	24.32	30.22
O=F	0.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	95.86**	94.38	99.50	98.60	97.56	97.00	86.28	98.46	102.24	96.78
Минералы (%)	—	—	Nef – 78	Ort – 83	Ort – 1	—	—	—	—	—
			Kfs – 17	Ab – 16	Ab – 96					
			Q – 5	An – 1	An – 3					

Примечания: * – для сульфидов приведены содержания элементов. ** – В анните также установлено 0.73% MgO. Ан. 1 – метод мокрой химии, аналитик Г.Ф. Егоров. Ан. 2 – получен на сканирующем микроскопе JSM-5300 с энергодисперсионным спектрометром, аналитик Н.В. Трубкин. Ан. 3–9 получены на электронно-зондовом микроанализаторе Сатеса MS-46: ан. 3–6, ан. 8–9 – аналитик Т.И. Голованова, ан. 7 – аналитик А.И. Цепин. Н.о. – элемент не определялся. Проверка означает, что содержание элемента ниже предела обнаружения

формулах). Довольно низкие суммы анализа для аннита в таблице 1 объясняются, вероятно, некоторой гидратированностью этих слюд. Подобный аннит также является характерным породообразующим минералом в роговиках Вудъяврского блока (Меньшиков и др., 2000; наши данные и другие).

Полевой шпат образует блок-кристаллы с макропертитами. Методом электронно-зондового микроанализа в блок-кристаллах установлены две фазы: существенно калиевая (ан. 4 в табл. 1) и натриевая (ан. 5, там же). Состав нефелина (ан. 3 в табл. 1) типичен для нефелина из нефелиновых сиенитов Хибинского массива.

В составе пегматита также установлены следующие минералы: графит, дающий особенности шарообразной формы, природный сплав состава никель-железо (рис. 2), кобальтсодержащий леллингит, халькопирит и борнит (ан. 9 и 10 в табл. 1), корунд (сапфир достигает 1.5 см в поперечнике, рис. 1), герцинит двух генераций – круп-

ные, от 1 – 2 мм до 1 см, изометричные кристаллы (ан. 6 в табл. 1) и каймы вокруг кристаллов корунда (Шлюкова, 1986; Борисова и др., 2001), циркелит и другие неидентифицированные титано-ниобаты, высокоглиноземистая слюда ряда мусковит-парагонит (ан. 7, табл. 1; низкие суммы анализа мусковита объясняются, вероятно, отчасти некоторой гидратированностью, как и для аннита, отчасти недостаточно высоким качеством полировки препарата), андалузит, шорломит, циркон, гадолинит, анальцим, содалит, монацит (ан. 8, табл. 1), апатит.

На образцах этого корундсодержащего пегматита было проведено исследование микровключений в минералах пегматитов данного типа (Шлюкова и др., 2003).

Описание микровключений

Изучение микровключений в минералах исследованного пегматита было выполнено А.Р. Грошенко.

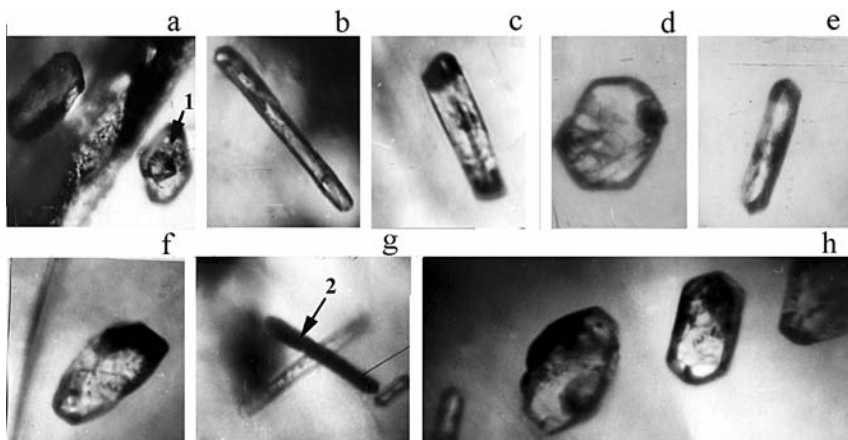


Рис. 3. Первичные включения в корунде.
 а) увеличение 1000^х;
 б) увеличение 1000^х;
 в) увеличение 500^х;
 д) увеличение 1000^х;
 е) увеличение 500^х;
 ф) увеличение 1000^х;
 г) увеличение 1000^х;
 г) увеличение 1000^х;
 г) увеличение 1000^х;

В корунде (густо-синем сапфире) выявлено несколько типов включений минералообразующих сред, различающихся характером расположения в кристаллах, составом, формой, размерами.

1. Наиболее крупные включения (до первых сотен микрон) удлиненной формы, в виде отрицательных кристаллов. Располагаются обычно поодиночке или небольшими группами («облачками»), иногда — вдоль зон роста. В большинстве случаев включения сложены стеклом, в разной степени раскристаллизованным, с многочисленными твердыми фазами и небольшим количеством газа (3–8%), зажатого в интерстициях (рис. 3, а–h). Эти включения надежно диагностируются как первичные.

2. Включения расплава, расположенные по залеченным трещинкам, не выходящим за пределы кристалла, размером 2–3 мкм (иногда 10–20 мкм в длину) — ранневторичные.

3. Вторичные включения газов — округлые, трубчатые, развитые по протяженным трещинкам, пересекающим кристаллы.

В нефелине также встречаются расплавные включения, но с нераскристаллизованным стеклом и с большим содержанием газовой фазы (до 40–80%). Первичные включения встречаются весьма редко, чаще — ранневторичные, особенно много вторичных включений желтоватого и темно-бурого цвета, шаровидной, овальной, реже удлиненной формы, из-за которых кристаллы нефелина становятся мутными и непрозрачными. Размеры включений варьируются в пределах от первых микрон до десятков микрон (рис. 4).

В содалите выявить первичные включения не удалось. Вторичные — жидкогазовые, существенно-газовые и газовые, также желтоватого и темно-бурого цвета, шаровидной, овальной или удлиненной формы, размером

от единиц до десятков и первых сотен микрон (рис. 5).

Термометрические исследования включений проводились на термостойке Т-1400, конструкции А.Р. Грошенко. При нагревании первичных включений в корунде до 700–800^оС в них не было замечено каких-либо изменений, наблюдалось просветление содержимого при размягчении твердых фаз, обособление газового пузырька (иногда двух-трех пузырьков), постепенное растворение твердых фаз при Т = 980–1030^оС. В содалите изучены лишь вторичные включения, гомогенизовавшиеся в газовую фазу при Т = 380–520^оС.

Изучение химического состава некоторых твердых фаз раскристаллизованных расплавных включений в корунде (рис. 6, табл. 2) показывает, что их состав соответствует альбиту (рис. 6а, фаза 1; рис. 6б, фаза 1) и слюдам ряда парагонит-мусковит (рис. 6а, фаза 2; рис. 6б, фаза 2; рис. 6, с–е).

Обсуждение результатов

Анализ ассоциации минералов корундосодержащего пегматита, охарактеризованного в данной статье, и состава расплавных включений в минералах позволяют сделать некоторые предположения о процессах формирования пегматоидных корундоносных образований и о первичном составе пород антит-полевошпатовых роговиков, среди которых они локализованы.

Во-первых, на основании исследования разнообразных по составу, агрегатному состоянию, формам и размерам микровключений в корунде и нефелине можно заключить, что температура минералообразования, судя по температуре гомогенизации первичных включений, не превышала 700–1030^оС. Эти

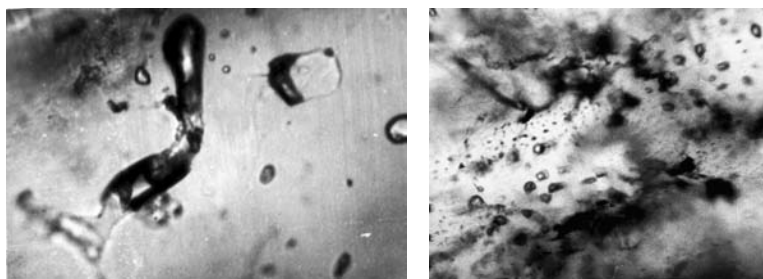
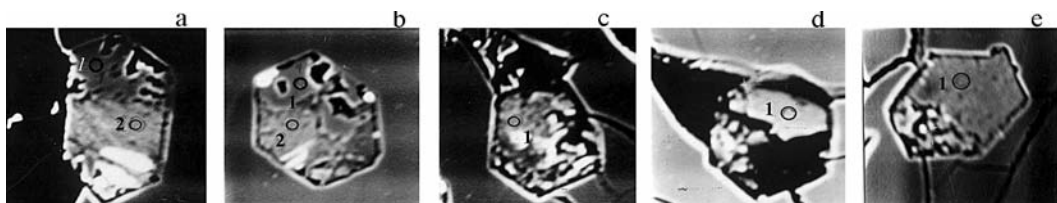


Рис. 4. Вторичные включения в нефелине. Увеличение 1000[×]

Рис. 5. Вторичные включения в содалите. Увеличение 1000[×];

Рис. 6. Твердые фазы, установленные в составе твердых включений в корунде (1 – альбит, 2 – мусковит). Увеличение 1000[×]



результаты согласуются со значениями температуры кристаллизации нефелина, рассчитанной по содержанию в нем избыточного кремнезема — 800–850^{°C} по термометру Гамильтона. Исходя из приведенных данных, пегматит, вероятно, формировался из остаточного расплав-раствора на заключительных стадиях кристаллизации нефелин-сиенитовой магмы. Можно предположить, что несколько ранее протопротерозойские останцы пород имандра-варзугских свит (глинистые сланцы и/или хлорит-серицитовые сланцы) были практически нацело метаморфизованы — переработаны при воздействии нефелин-сиенитового расплава до состояния современных аннит-полевошпатовых роговиков. Возможно, в это время в них образовались метаморфогенные глиноземистые минералы высоких температур (кордиерит, андалузит, силлиманит). Расплав-раствор, из которого формировался пегматит, внедрялся по трещинам уже этих роговиков.

Во-вторых, именно фактор высокоглиноземистого состава роговиков стал определя-

ющим для формирования необычной ассоциации пегматитов, установленной в районе Свинцового ручья. Эта ассоциация отличается от ассоциаций минералов, характерных для обычных нефелин-сиенитовых пегматитов. Как уже говорилось выше, четко прослеживается изменение минерального состава пегматита по мере удаления апофиз от основного тела пегматита. Исчезают арфведсонит, эгирин и лампрофиллит нефелин-сиенитового пегматита и возникает глиноземистая ассоциация — корунд, герцинит, необычно высокоглиноземистый аннит, кордиерит, андалузит, силлиманит и др. Наиболее вероятно, что аннит, кордиерит, силлиманит, андалузит и герцинит были захвачены расплав-раствором формирующегося пегматита вместе с фрагментами пород ксенолита. Корунд в апофизах пегматита образовался, скорее всего, вследствие необходимости связывания значительного избытка глинозема, образовавшегося при взаимодействии нефелин-сиенитового раствор-расплава и глиноземистых ороговикованных пород. Об этом свидетель-

Таблица 2. Химический состав твердых фаз в расплавных включениях в сапфире (мас. %)

Компоненты	Альбит	Мусковит	Альбит	Мусковит	Мусковит	Мусковит	Мусковит
	6а (1)*	6а (2)	6б (1)	6б (2)	6в	6г	6д
Na ₂ O	11.71	1.67	11.26	1.19	3.38	0.98	2.86
K ₂ O	0.02	9.38	0.04	9.60	6.65	9.68	6.94
FeO	0.07	0.91	0.04	1.26	0.97	1.04	0.99
Al ₂ O ₃	21.53	39.36	21.62	38.52	38.01	39.33	37.14
SiO ₂	67.67	48.95	63.87	45.58	41.45	45.26	43.02
TiO ₂	0.03	0.39	0.02	0.47	0.47	0.40	0.17
Сумма	101.03	100.66	96.85	96.62	90.93	96.69	91.12

Примечания: * — номер соответствует номеру фотографии на рисунке 6, в скобках указан номер фазы. Данные получены с помощью электронно-зондового микроанализатора Cameca MS-46; аналитик А.И. Цепин

ствует и тот факт, что ни в самих этих роговиках, ни в основном пегматитовом теле нам корунда установить не удалось. Кроме того, избыток глинозема может быть обусловлен потерей щелочей нефелином (богатым алюминием) при внедрении пегматоидных жил в породы ксенолита ороговикованных пород.

Нефелин, редкометалльные и редкоземельные минералы, вероятно, кристаллизовались из расплав-раствора при формировании основного нефелин-сиенитового пегматита и не претерпели существенных изменений при взаимодействии с ороговикованными породами ксенолита.

В-третьих, присутствие в нефелине и содалите вторичных углеводородных включений и графита указывает на то, что на более поздних этапах образования пегматит подвергался воздействию «сухих» восстановительных флюидов. Исследования показали, что температура гомогенизации вторичных газовой-жидких и существенно-газовых включений в содалите относительно невысока и колеблется в пределах 380–520°C. Можно предположить, что этот этап поздней переработки соответствует этапу позднего, гидротермального, преобразования нефелиновых сиенитов (и их пегматитов). С этим этапом связаны процессы содалитизации и цеолитизации более ранних минералов, весьма характерные в целом для щелочных массивов, в том числе и Хибинского.

В-четвертых, в корунде, образовавшемся в пегматоидных телах, локализованных в роговиках, в составе первичных включений «законсервирован» мусковит. Для нефелин-сиенитовых пегматитов и самих нефелиновых сиенитов мусковит не характерен, и слюды отмечаются только в виде второстепенных минералов — продуктов преобразования амфиболов и пироксенов. Исходя из этого, можно предположить, что мусковит был слюдой, характерной для первичных пород роговиков (пород имандра-варзугских свит). Последний был преобразован в высокоглиноземистый аннит под действием нефелин-сиенитовой магмы в условиях высокой активности щелочей (прежде всего, калия) и мафических элементов (прежде всего, железа).

Авторы признательны за помощь в проведении аналитических работ А.И. Цепину, А.Р. Грошенко, А.И. Головановой и Г.Ф. Егоровой.

Литература

Борисова Е.А., Шлюкова З.В., Голованова Т.И. Состав и свойства железистой

алюмошпинели из Хибинского массива // Геология и разведка. **2001**. № 5. С. 86–91.

Буканов В.В., Липовский Ю.О. Новые находки благородного корунда в восточной части Балтийского щита // Самоцветы. Матер. XI съезда ММА. Новосибирск. М.: Наука. **1978**. С. 110–116.

Куплетский Б.М. Кукисвумчорр и прилегающие к нему массивы Центральной части Хибинских тундр по съемкам 1929 и 1930 гг. // Тр. СОПС. **1932**. Вып. 2. С. 5–62.

Меньшиков Ю.П., Пахомовский Я.А., Яковенчук В.Н. Кордиерит и секанинаит из ксенолитов Хибинского массива // ЗВМО. **2000**. Ч. 129. № 1. С. 91–99.

Меньшиков Ю.П. Корундовая минерализация в Хибинском массиве // Докл. АН СССР. **1978**. Т. 243. № 5. С. 1247–1249.

Номенклатура слюд: заключительный доклад подкомитета по слюдам Комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) // ЗВМО. **1998**. № 5. С. 55–65.

Симон А.К., Шлюкова З.В. Ксенолиты Хибинского массива в связи с его геологической позицией // Автореф. работ сотрудников ИГЕМ РАН СССР. М.: Изд-во ИГЕМ РАН. **1972**. С. 42–43.

Успенский Н.М. Негранитные пегматиты. М.: Недра. **1968**. 105 с.

Ферсман А.Е. Пегматиты. Т. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР. **1940**. С. 204–246.

Чуканов Н.В., Пеков И.В., Моисеев М.М. Щелочные «пегматиты скрещения» в Ковдорском массиве // Тезисы докладов годичной сессии московского отделения РМО «120 лет со дня рожд. академика А.Е. Ферсмана». М.: РИС ВИМС. **2003**. С. 129–130.

Шлюкова З.В. Минералогия контактовых образований Хибинского массива. М.: Наука. **1986**. 96 с.

Шлюкова З.В., Боруцкий Б.Е. О роли процессов взаимодействия щелочной магмы с вмещающими породами при формировании Хибинского массива // Новое в минералогических исследованиях. М.: ВИМС. **1976**. С. 143–145.

Шлюкова З.В., Грошенко А.Р., Цепин А.И., Голованова Т.И. К вопросу об образовании корундоносного пегматита на горе Кукисвумчорр Хибинского массива по данным изучения микровключений // Тезисы докладов годичной сессии московского отделения РМО «120 лет со дня рожд. академика А.Е. Ферсмана». М.: РИС ВИМС. **2003**. С. 133.