

УДК 549.621.4

КАЛЬСИЛИТ В ПОРОДАХ ХИБИНСКОГО МАССИВА: МОРФОЛОГИЯ, ПАРАГЕНЕЗИС, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

О.А.Агеева,

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

Б.Е.Боруцкий

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

Кальсилит в Хибинском массиве характерен для пойкилитовых нефелиновых сиенитов (рисчорритов), где он находится в тесном сростании с нефелином и ортоклазом. Он наблюдается в зернах нефелина в виде прожилков, выделений неправильной формы или каемок на границе зерен нефелина и ортоклаза, а также в составе радиальнолучистых кальсилит-ортоклазовых сростков, как правило, обрамляющих зерна нефелина.

Установлено, что образование кальсилита относится к наиболее ранней стадии процесса K-Si-метасоматоза, действующего на массивные грубозернистые уртиты, и вызвано резким повышением активности калия относительно натрия. «Матрицей» для образования кальсилита послужил нефелин исходных пород. Формирование кальсилита сопровождалось и сменялось образованием других калиевых минералов, в том числе основного порообразующего минерала рисчорритов — калиевого полевого шпата.

Различное проявление химической активности калия и кремния, определившие наличие и степень развития кальсилита и другие особенности минералогии рисчорритов, обусловлено как характером замещаемых пород, так и составом действующих растворов — концентрацией в них калия.

В статье 4 таблицы, 3 рисунка, в списке литературы 24 наименования.

Проблема образования кальсилита в рисчорритах Хибинского массива (Кольский п-ов), как и самих рисчорритов, до настоящего времени остается предметом дискуссии. Отметим, что рисчорриты (пойкилитовые нефелиновые сиениты) в Хибинском массиве пространственно связаны с массивными грубозернистыми уртитам и образуют с ними постепенные переходы через породы промежуточного состава (ювиты, полевошпатовые уртиты и др.). Вместе с породами ийолит-уртитового комплекса они входят в состав т.н. центральной дуги Хибинского массива, зажатой между нефелиновыми сиенитами: хибинитами (с внешней стороны) и фойяитами (с внутренней). По количественно-минеральному составу рисчорриты соответствуют «обычным» нефелиновым сиенитам массива (хибинитам, фойяитам и др.), имеющим, как известно, первично магматическое происхождение, но по ряду минералогических и петрологических признаков отличаются от них. Во-первых, они характеризуются четко выраженной пойкилитовой структурой, весьма невыдержанным минеральным составом и неравномерной зернистостью (размер пойкилокристаллов полевого шпата колеблется от 1 до 15 см, а его содержание — от 50 до 80%). Второй особенностью является их высококалиевый состав: рисчорриты резко выделяются среди всех пород Хибинского

массива повышенным содержанием калия (таблица 1). Это обусловлено, в первую очередь тем, что полевые шпаты в них имеют не калиево-натриевый, как в обычных нефелиновых сиенитах, а существенно калиевый состав (в рисчорритах наиболее распространен адуляровидный ортоклаз).

С начала изучения геологического строения Хибинского массива и до настоящего времени развиваются альтернативные гипотезы магматического (Н.А.Елисеев, С.И.Зак, А.В.Галахов, Т.Н.Иванова, А.А.Арзамасцев и др.) и метасоматического генезиса рисчорритов (Л.Л.Солодовникова, И.П.Тихоненков, Б.Е.Боруцкий и др.). Обнаружение в рисчорритах калиевого аналога нефелина — *кальсилита* (Боруцкий и др., 1973, 1976) было неожиданным, поставило перед минералогами ряд новых проблем и привело к появлению новых взглядов о генезисе рисчорритов и, в частности, об источнике калия, необходимого для формирования таких высококалиевых пород в пределах массива существенно натриевых агпаитовых нефелиновых сиенитов.

В рисчорритах кальсилит, как правило, играет роль второстепенного минерала и по своему содержанию в породе уступает нефелину, но в отдельных участках его количество резко возрастает. Оптические свойства этих двух фельдшпатоидов очень близки, что создает определенные трудности в

диагностике и изучении форм выделения кальсилита. Но именно форма нахождения кальсилита и характер его взаимоотношений с нефелином и полевым шпатом являются наиболее важными индикаторными признаками, позволяющими установить механизм его образования в породах, а следовательно, и восстановить историю образования самих пород. В данной статье приведены новые результаты детального изучения химического состава, форм выделения кальсилита и его взаимоотношений с другими минералами в породах Хибинского массива, полученные с помощью высокоразрешающего сканирующего микроскопа JSM – 5300 с рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром Link ISIS.

Нахождение кальсилита в породах различного генезиса

Кальсилит распространен исключительно в щелочных породах ультракалиевого ряда. В качестве породообразующего минерала он отмечен в породах различного генезиса: в вулканитах, интрузивных и метасоматических породах.

В ультракалиевых ультраосновных вулканитах Уганды (Holmes, 1942), Ньирагонго (Заир), Сан-Венанцо (Италия) кальсилит ассоциирует с диопсидом, оливином, пироксеном, биотитом, перовскитом, стеклом и др. Из лейкократовых минералов, кроме кальсилита, в данных породах могут присутствовать лейцит, меллит и нефелин. Кальсилит наблюдается главным образом в мелкозернистой основной массе в ассоциации с другими фельшпатоидами и полевым шпатом или без них, реже – в составе сложных макро- и микропертитовых вростков в фенокристаллах нефелина, которые рассматриваются как структуры распада твердого кальсилит-нефелинового раствора (Sahama, 1960; Aurisicchio, Federico, 1985).

В щелочных породах ультракалиевых интрузивных комплексов морфология выделений кальсилита и характер его сростаний с другими минералами очень разнообразны, что в ряде случаев осложняет их интерпретацию. Часто наблюдаются тонкие дактилоскопические и субграфические сростания кальсилита с калиевым полевым шпатом, имеющие четкие восьмиугольные или овоидные очертания, интерпретируе-

Таблица 1. Химический состав пойкилитовых нефелиновых сиенитов и контактирующих с ними пород Хибинского массива

	уртит			нефелиновый сиенит			рисчоррит-I		рисчоррит-II		рисчоррит-III	
№ обр. Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
SiO ₂	43,19	54,45	58,95	57,93	54,56	55,98	52,86	56,06	54,02			
TiO ₂	0,79	1,43	0,44	0,19	0,98	0,57	1,57	0,07	0,16			
ZrO ₂	0,04	0,051	0,018	0,033	0,016	0,03	0,03	0,002	0,002			
Nb ₂ O ₅	0,01	0,032	0,013	0,002	0,018	0,01	0,08	0,001	0,001			
P ₂ O ₅	3,81	0,224	0,123	0,038	0,051	0,58	0,41	0,059	0,015			
Al ₂ O ₃	23,32	24,13	20,65	23,90	21,38	18,26	18,96	22,66	20,82			
Fe ₂ O ₃	3,53	4,50*	3,62*	1,43*	3,78*	2,20	2,96	1,14*	2,51*			
FeO	1,47	—	—	—	—	0,56	2,71	—	—			
MgO	0,10	0,53	0,61	0,17	0,30	0,19	0,15	0,09	0,14			
MnO	0,07	0,146	0,151	0,044	0,078	0,07	0,72	0,017	0,033			
CaO	5,94	1,35	0,61	0,18	1,23	0,95	1,41	0,628	0,21			
SrO	0,42	0,158	0,024	0,017	0,131	0,13	0,10	0,066	0,025			
BaO	0,12	0,311	0,044	0,065	0,316	0,24	0,10	0,060	0,092			
Na ₂ O	10,46	6,47	7,07	8,41	5,58	3,22	4,85	5,22	1,45			
K ₂ O	5,33	6,68	6,21	6,97	10,33	12,38	12,44	13,11	19,66			
Rb ₂ O	0,009	0,014	0,023	0,026	0,029	0,035	0,085	0,096	0,132			
Cl	0,03	0,047	0,021	0,018	0,034	0,17	0,39	0,018	0,056			
S	0,25	0,02	0,01	0,02	0,03	0,17	0,16	0,12	0,07			
п.п.п.	1,4	—	—	—	—	0,41	0,43	—	—			
Сумма	100,47	100,54	98,59	99,44	98,84	96,26	100,38	99,41	99,96			

Примечание.

Аналитик А.И. Якушев, Philips Analytical (PW2400) ИГЕМ РАН. Разделение Fe⁺²/Fe⁺³ методом мокрой химии проведено О.Г. Унановой.

Анализы: 1 – массивный грубозернистый уртит (скв. 1456, гора Расвумчорр); 2–3 – нефелиновые сиениты: 2 – хибинит (из коренного обнажения, гора Тахтарвумчорр), 3 – фойяит (ущелье Сев. Рисчорра); 4 – слюдяной рисчоррит I группы, анализы 3–4 выполнены из одного и того же образца, представляющего зону резкого контакта рисчоррита и фойяита; 5 – слюдяной рисчоррит II группы (гора Кукисвумчорр); 6–7 – пироксеновый рисчоррит II группы (гора Расвумчорр); 8–9 – ультракалиевые рисчорриты III группы (скв. 1292, гора Поачвумчорр). Прочерк означает отсутствие данных.

* Суммарное железо, определенное как Fe₂O₃

Таблица 2. Химический состав нефелина и щелочного полевого шпата из пород Хибинского массива

№ обр. Комп.	нефелин					щелочной полевой шпат				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	44,30	44,79	42,50	40,77	43,33	64,98	61,64	63,36	64,13	64,95
Al ₂ O ₃	31,94	32,11	31,43	32,67	31,05	19,44	18,05	17,64	18,24	17,48
Fe ₂ O ₃	0,91	0,65	0,83	1,30	1,68	0,31	0,19	0,95	0,46	1,23
CaO	0,00	0,02	0,00	0	0,14	0,36	0,21	0	0,01	0,26
BaO	0	0	0	0	0	0	3,36	0,48	0,04	
Na ₂ O	16,67	17,15	17,29	16,33	14,37	5,02	2,81	0,74	0,45	0,62
K ₂ O	5,81	6,15	8,08	8,79	8,82	9,20	12,36	15,72	15,54	16,17
Rb ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0,030	0,110	нет данных
Сумма	99,63	100,87	100,13	99,86	99,39	99,31	98,62	98,92	98,98	100,70
Формульные коэффициенты										
	сумма катионов = 12					сумма катионов = 5				
Si	1,09	1,09	1,03	1,00	1,09	2,95	2,91	2,97	3,00	2,99
Al	0,93	0,92	0,90	0,95	0,92	1,04	1,00	0,98	1,01	0,95
Fe	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04
Ca	0	0	0	0	0	0,02	0,01	0	0	0,01
Ba	0	0	0	0	0	0	0,06	0,01	0	0
Na	0,80	0,81	0,82	0,78	0,70	0,44	0,26	0,07	0,04	0,06
K	0,18	0,19	0,25	0,28	0,28	0,53	0,74	0,94	0,93	0,95
Rb	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0
O	16,27	16,19	15,80	15,79	16,24	7,99	7,92	7,97	8,03	7,98

Примечание.

Анализы: 1–5 – нефелин: 1–2 – из зоны контакта рихсчоррита и нефелинового сиенита (фойяита), ущелье Сев. Рихсчорра, 1 – из фойяита, 2 – из рихсчоррита I группы; 3 – из массивного грубозернистого уррита (гора Расвумчорр), 4 – из пироксенового рихсчоррита II группы (гора Расвумчорр), ан. 5 – из ультракалиевого рихсчоррита III группы (гора Поачвумчорр); 6–10 – полевые шпаты: ан. 6 – из нефелинового сиенита – фойяита (гора Партамчорр), ан. 7 – из пироксенового рихсчоррита I группы; ан. 8 – из массивного грубозернистого уррита (гора Юкспор); ан. 9 – из пироксенового рихсчоррита II группы (гора Расвумчорр); ан. 10 – из ультракалиевого рихсчоррита III группы (гора Поачвумчорр); Анализы 1–5, 7 – аналитик В.В.Хангулов (Самебах SX-50, ИГЕМ РАН), анализы 6, 8–9 (Боруцкий, 1988); ан. 10 – аналитик Н.В.Трубкин (JSM-5300 + Link ISIS, ИГЕМ РАН)

мые как псевдолейцит – продукт посткристаллизационного распада лейцита. Наиболее важным критерием для такого объяснения является сохранение кристаллографических очертаний тетрагонтриоктаэдра и равного молекулярного соотношения кальсилита и калиевого полевого шпата (1:1) в пределах «сростка». Такие сростания наблюдаются в кальсилит-ортоклазовых сиенитах (сынныритах) Сыннырского, Якшинского (Прибайкалье), Мурунского, Сакунского (В.Забайкалье) и других массивов. Содержание кальсилита в сынныритах Сыннырского массива достигает 20–35% при 60–75% ортоклаза. Вкрапленники псевдолейцита размером до 20 мм составляют от 10 до 60% объема породы и находятся в мелкозернистой основной массе, сложенной калиевым полевым шпатом, нефелином и пироксеном (Курепин, 1973).

Однако в породах этих массивов наблюдаются и другие типы сростаний: микрографические кальсилит-(нефелин)-полевошпатовые сростки без отчетливой формы и фиксированных соотношений минералов, несогласные пойкилитовые вроски

кальсилита и нефелина в полевошпате, пойкилокристаллы кальсилита с включениями темноцветных минералов и др. Появление таких форм может быть вызвано различными причинами. Образование одних объясняют прямой эвтектической или котектической магматической кристаллизацией из расплава (Смыслов, 1986 и др.), других – результатом «калишпатизации» нефелина (Архангельская, 1965) или реакционным замещением более раннего калиевого полевого шпата кальсилитом (Багдасаров, Лукьянова, 1969; Самсонова и др., 1968). В Мурунском массиве установлен новый тип кальсилитсодержащих пород – аналог бесполевошпатовых пород уррит-якупирангитового ряда, в которых вместо нефелина развит кальсилит (Конев, 1985; Конев и др., 1996). Согласно (Конев, 1985) эти породы имеют первично магматическое происхождение, но в ряде щелочных комплексов – Озерском, Тажеранском (Приольхонье), Мурунском – отмечены также типично метасоматические кальсилитсодержащие породы – кальсилитизированные скарны (Конев, Самойлов, 1974).

Следует отметить, что в вышеописанных сростаниях с ортоклазом в большинстве перечисленных массивов вместо кальсилита или наряду с ним может присутствовать и нефелин, образующий те же формы выделения, что и кальсилит. В Лугингольском массиве (МНР) распространены «псевдолейцитовые сиениты», абсолютно не содержащие кальсилита (Коваленко и др., 1974). Лейкократовая часть этих пород имеет нефелин-полевошпатовый состав. Нефелин и калиевый полевой шпат образуют шарообразные «псевдолейцитовые» сростания, рассматриваемые как продукт распада K, Na-анальцима или реакции первичного калиевого лейцитита с натровым расплавом (Коновова и др., 1981).

Кальсилит в породах Хибинского массива

В Хибинском массиве кальсилит распространен в породах комплекса рисчорритов. Впервые он был установлен в ювитах на апатитовом месторождении Юкспор (Боруцкий и др., 1973). Позднее кальсилитсодержащие породы (рисчорриты и ювиты) были отмечены в районе гор Эвеслогчорр, Поачвумчорр, Кукисвумчорр, Расвумчорр и др. Хотя в пределах изучаемого массива в большинстве случаев кальсилит в породах ассоциирует с нефелином, были обнаружены рисчорриты, аномально обогащенные кальсилитом (до 15–20%) и практически не содержащие нефелин (Козырева и др., 1990). Зоны ультракалиевых пород более характерны для внутренней стороны ийолит-уртитовой дуги, т.е. для ее верхних (в геологическом разрезе) частей. Отмечено также обогащение кальсилитом рисчорритов, примыкающих к висячему боку рудной толщи апатит-нефелиновых месторождений (Козырева и др., 1990).

По наличию и степени развития кальсилита все рисчорриты Хибинского массива можно разделить на три группы:

I группа – рисчорриты, не содержащие кальсилита

Эти рисчорриты отмечаются вблизи контактов рассматриваемых пород с нефелиновыми сиенитами (хибинитами, фойяитами и др.), а иногда и на значительном удалении от данных контактов. В приконтактных зонах они содержат участки, сложенные реликтами нефелиновых сиенитов. По содержанию основных петрогенных элементов эти рисчорриты (таблица 1, ан. 4) близки к «обычным» нефелиновым сиени-

там (таблица 1, ан. 2–3). На диаграмме $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ точки, отвечающие составам и тех и других, попадают в одно поле и приближаются к точке, отвечающей составу K-Na-полевого шпата (рис. 1). По сравнению с другими группами рисчорритов данные породы являются менее калиевыми и более кремниевыми.

Особенностью данной группы пород, вопреки установленной для рисчорритов тенденции, является несколько повышенное содержание натрия в полевошпате (таблица 2, ан. 7) и присутствие в нем корродированных или перераспределенных альбитовых пертитовых вростков, т.е. реликтовых K,Na-полевых шпатов (Тихоненков, 1963; Боруцкий, 1988; Боруцкий и др., 1975, 1986). Среди акцессорных минералов преобладают бескальиевые или низкокальиевые щелочные минералы: лампрофиллит – $\text{Na}_2\text{Sr}_2(\text{Ti, Fe, Mn})_3(\text{SiO}_4)_4(\text{OH, F})_2$, натриевый эвдиалит – $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{73}(\text{OH, Cl})_5$, энигматит – $\text{NaFe}_5\text{TiSi}_6\text{O}_{20}$.

II группа – рисчорриты и ювиты с невысоким содержанием кальсилита (от 0,1 до 5%)

Эта группа в Хибинском массиве наиболее распространена. На диаграмме $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O}$ местоположение точек, соответствующих наиболее калиевым составам пород данной группы приближено к ортоклазу (рис. 1).

Кальсилит (таблица 3, ан. 1–7) по своему содержанию в породе существенно уступает нефелину, который, в свою очередь, характеризуются повышенным содержанием

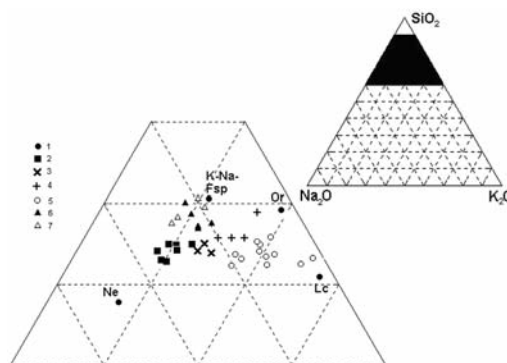


РИС. 1. Соотношение кремнезема и щелочей ($\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 100$ мас. %) в минералах (1) – нефелине (Ne), лейците (Lc), ортоклазе (Or), K-Na-полевошпате (K-Na-Fsp) и в основных типах пород Хибинского массива: 2 – массивные грубозернистые уртиты; 3 – ювиты; 4 – рисчорриты II группы; 5 – рисчорриты III группы; 6 – рисчорриты I группы; 7 – нефелиновые сиениты

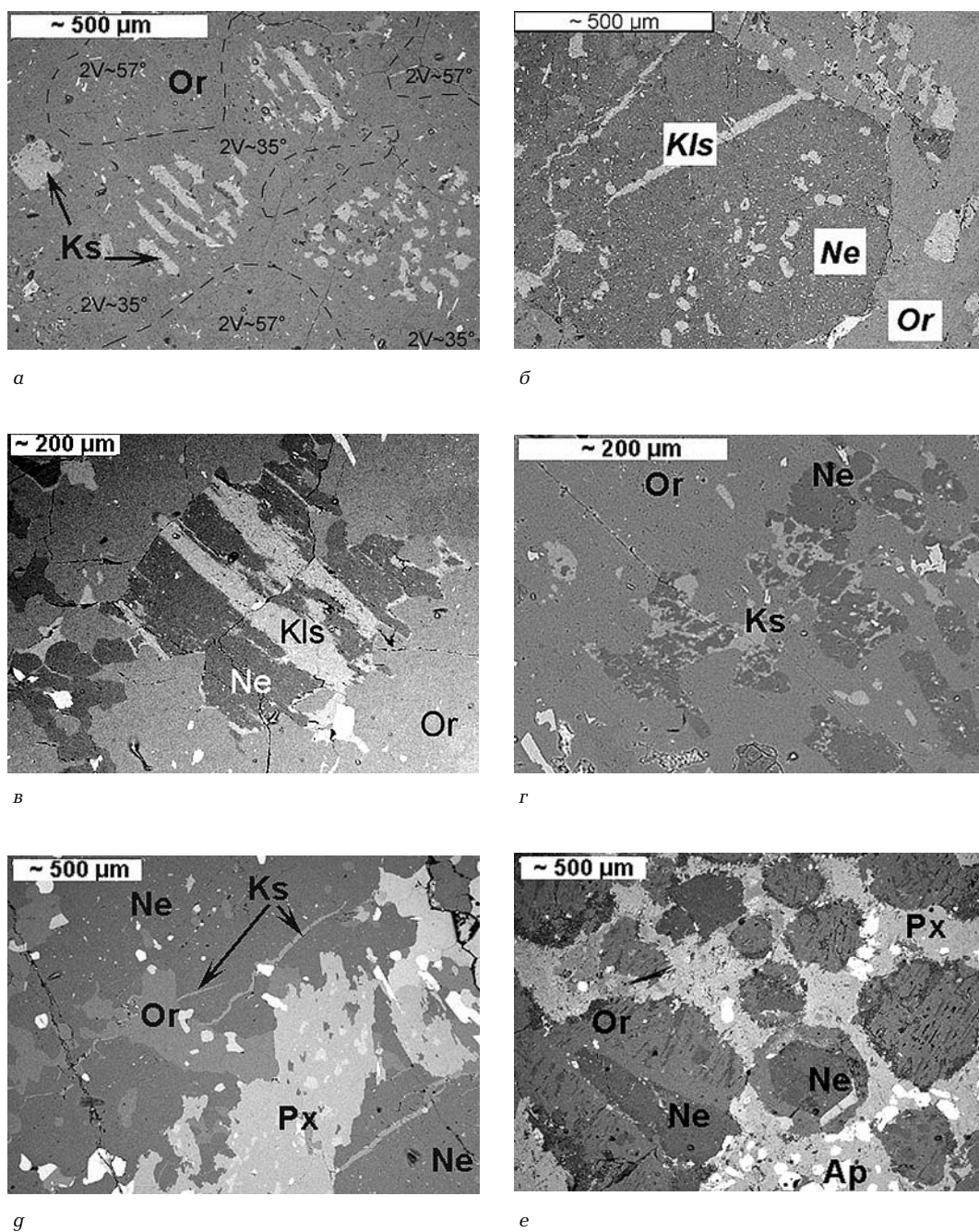


РИС 2. Формы выделения кальсилита (Ks) в рискорритах II группы (Ne – нефелин, Or – ортоклаз, Px – пироксен, Ap – апатит), в отраженных электронах (JSM-5300, Link ISIS):
 а) расположение групп выделений кальсилита (с одинаковой ориентировкой) в пойкилокристалле ортоклаза (пунктирная линия разделяет участки с различными значениями 2V, объяснение далее в тексте);
 б–в) расположение кальсилитовых прожилков в поперечном (б) и продольном сечении кристалла нефелина (в);
 г) незакономерные сращения кальсилита и нефелина в пойкилокристаллах ортоклаза;
 г) пересечение одним и тем же прожилком кальсилита нескольких приближенных друг к другу зерен нефелина;
 е) нефелин-ортоклазовые включения в пойкилокристалле пироксена

Таблица 3. Химический состав кальсилита из пород Хибинского массива

№ обр. Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	39,83	40,17	37,14	37,16	37,98	37,42	37,51	38,78	39,32	39,32
Al ₂ O ₃	27,32	27,88	28,51	30,34	29,27	30,34	30,92	28,82	30,06	30,05
Fe ₂ O ₃	5,12	1,51	3,56	0,79	1,03	0,79	0,62	3,10	1,41	1,41
CaO	0,34	0,36	0,55	0,38	0,29	0,00	0,17	0,40	0,44	0,44
Na ₂ O	0,09	0	0,20	0,35	0,77	0,70	0,20	0	0	0
K ₂ O	27,40	29,69	29,77	30,52	29,71	30,34	30,57	29,70	29,13	29,13
Сумма	100,1	99,61	99,73	99,54	99,05	99,59	99,99	100,80	100,36	100,40
формульные коэффициенты (сумма катионов = 3)										
Si	1,07	1,07	0,99	0,98	1,01	0,99	0,99	1,03	1,04	1,04
Al	0,87	0,88	0,90	0,94	0,92	0,94	0,96	0,90	0,94	0,94
Fe	0,10	0,03	0,07	0,02	0,02	0,02	0,01	0,06	0,03	0,03
Ca	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Na	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
K	0,94	1,01	1,01	1,03	1,01	1,02	1,03	1,00	0,98	0,98
O	4,09	4,02	3,94	3,95	3,95	3,94	3,95	4,01	4,03	4,03

Примечание.

Анализы 1, 2 – из слюдяного рисчоррита II группы (гора Юкспор); 3–7 – из пироксеновых рисчорритов II группы, 4–7 – из одного образца (гора Расвумчорр); ан. 8–10 – из ультракалиевых рисчорритов III группы (гора Поачвумчорр); ан. 9–10 – из одного образца. Аналитик – Н.В.Трубкин (JSM-5300 + Link ISIS, ИГЕМ РАН)

калия (таблица 2, ан. 4). Полевой шпат имеет существенно калиевый состав (таблица 2, ан. 9). В нем отмечается повышенное содержание рубидия (таблица 2, ан. 8–9), что может быть связано с высокощелочными условиями образования этих пород (Борущкий, 1988). Среди акцессорных характерны калиевые или калийсодержащие минералы: астрофиллит, магнезиоастрофиллит, вадеит, дельхайелит, фенаксит, щербаквит (таблица 4, ан. 1, 3–5) и др. и обогащенные калием разновидности натриевых минералов: калиевый эвдиалит, калиевый баритолампрофиллит (таблица 4, ан. 6–7) и др. Из темноцветных породобразующих минералов наблюдаются эгирин, щелочной амфибол и биотит. Установленные в этой группе рисчорритов минералы, как правило, замещают первичные минералы исходных уртитов (нефелин, эгирин-диопсид, титанит, Sr-лампрофиллит, Na-эвдиалит и др.), реликты которых постоянно выявляются в данных породах.

Кальсилит встречается как самостоятельно (рис. 2а), так и в сростаниях с нефелином, образующим пойкилитовые вростки в полевым шпате. Он наблюдается в виде секущих кристаллы нефелина прожилков (рис. 2б, 2в), которые в продольных (прямоугольных) сечениях кристаллов нефелина параллельны, а в поперечных (шестиугольных) – субпараллельны или веерообразно расположены друг к другу. В продольных сечениях параллельные друг другу прожилки кальсилита секут кристалл нефелина либо параллельно оси [001], либо по диагонали. Часто сростания кальсилита и нефелина

в пойкилокристаллах ортоклаза рисчорритов имеют незакономерную причудливую форму (рис. 2г). В ряде случаев фиксировалось пересечение одним и тем же прожилком кальсилита нескольких приближенных друг к другу зерен нефелина. Прожилки, как правило, имеют очень незначительную толщину (px0,01 мм) и прерываются в местах контакта нефелина с полевым шпатом (рис. 2д).

Мы считаем, что рассмотренные формы выделения кальсилита обусловлены его метасоматическим образованием: кальсилит замещает нефелин (и наблюдаются в зернах последнего), а в случае последующего замещения нефелина калиевым полевым шпатом остается в качестве реликта.

III группа – рисчорриты с высоким содержанием кальсилита (от 5–10 до 20 %)

По внешнему облику они наиболее напоминают «псевдолейцитовые» сиениты, но в Хибинском массиве не имеют широкого распространения. По минеральному составу эти породы близки к рисчорритам II группы. В составе породобразующих и акцессорных минералов (таблица 2, ан. 5, 10; таблица 3, ан. 8–10; таблица 4, ан. 2) фиксируется максимально возможное для этих минералов содержание калия. На диаграмме SiO₂ Na₂O-K₂O местоположение точек, соответствующих наиболее калиевым породам рассматриваемой группы, приближено к лейциту (рис. 1). Концентрация рубидия резко повышена даже по сравнению с рисчорритами II-ой группы (таблица 1, ан. 8–9).

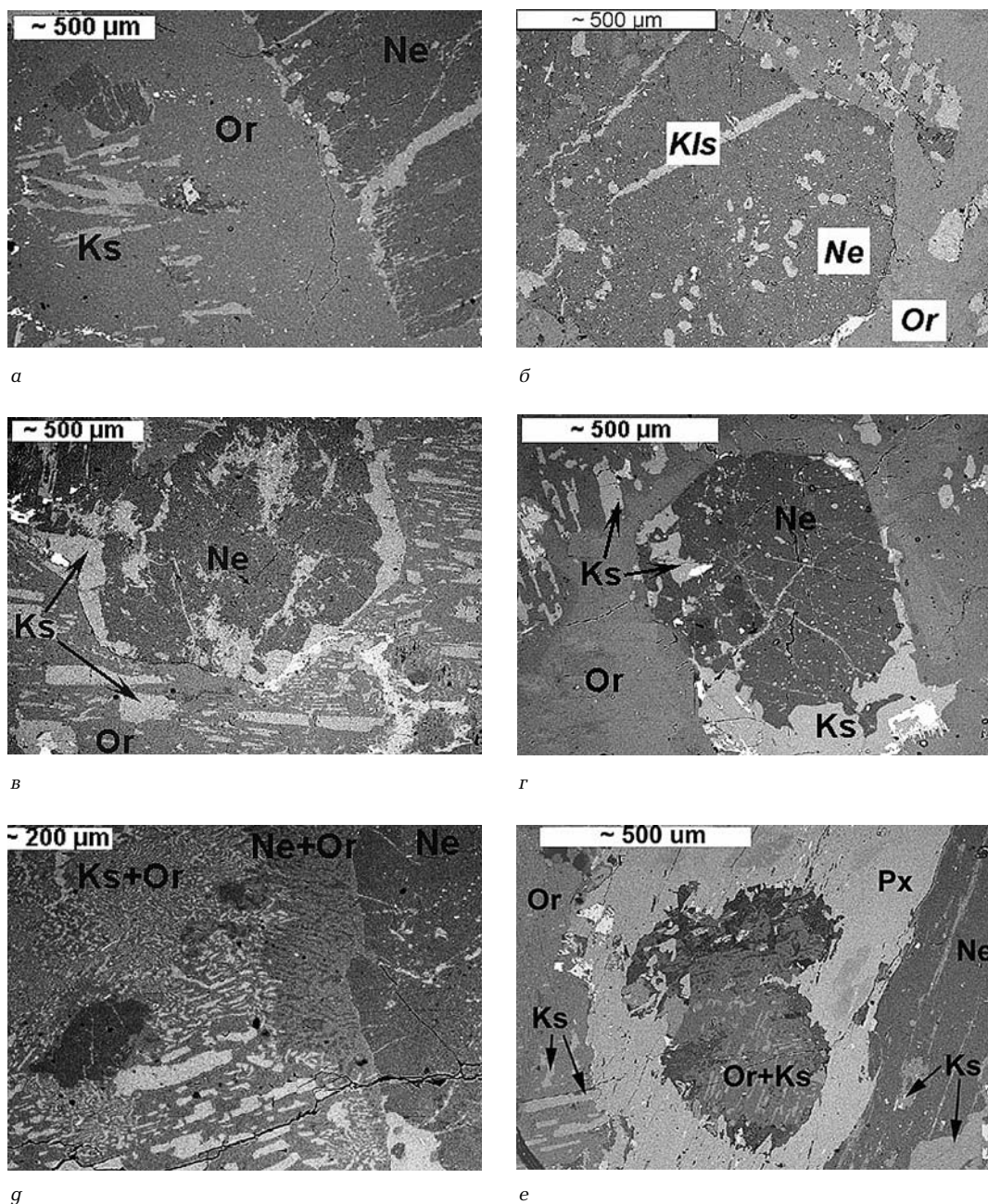


РИС. 3. Формы выделения кальцита (Ks) в рихорритах III группы (Ne – нефелин, Or – ортоклаз, Vd – вадеит), в отраженных электронах (JSM-5300, Link ISIS):
 а) идиоморфное зерно нефелина (справа), пересеченное прожилком кальцита и изолированные выделения кальцита в пойкилокристалле ортоклаза (слева);
 б) зерно нефелина, окруженное радиальнолучистым кальцит-ортоклазовым сростком (первого типа);
 в–г) выделения кальцита в обрамляющих реликтовые зерна нефелина каймах и кальцит-полевошпатовых сростках (второго типа);
 г) радиальнолучистые тонкоигольчатые и симплектиковые нефелин- и кальцит-полевошпатовые сростки (третьего типа) в периферических частях зерна нефелина;
 е) кальцит-полевошпатовый сросток, образующий пойкилитовое включение в пироксене

В данных породах, как и в рисчорритах II-ой группы встречаются корродированные или (реже) идиоморфные зерна нефелина, секущиеся описанными выше прожилками кальсилита (рис. 3а), но чаще они находятся в центре кальсилит-(нефелин)-ортоклазовых сростков, образующих изолированные включения в пойкилокристалле ортоклаза. Различаются три типа таких сростков:

Первый тип — оптическая ориентация ортоклаза в плоскости среза не изменяется и совпадает с оптической ориентацией всего пойкилокристалла, а вытянутые выделения кальсилита, увеличивающиеся по ширине и длине от центра к периферии «сростка», ориентированы в системе близкой к радиальной. При этом наибольшее развитие получает одно из направлений (рис. 3б), в котором оптическая ориентировка отдельных выделений кальсилита остается постоянной для сростков вытянутых во взаимно перпендикулярных направлениях. Обычно такую же оптическую ориентировку имеет кальсилит, слагающий периферические каймы центральных (реликтовых) зерен нефелина (рис. 3б). В одном и том же пойкилокристалле ортоклаза, сохраняющим единую оптическую ориентацию на значительной площади (до 10×10 см) встречается несколько кальсилит-ортоклазовых сростков. Как правило, эти участки изометричны, но не имеют отчетливой формы.

Второй тип отличается от первого тем, что находящиеся в пойкилокристалле группы одинаково ориентированных выделений кальсилита не обнаруживают радиальнолучистого строения и характеризуются развитием неправильных (рис. 3а, 3в, 3г) или идиоморфных тонко- и толстотаблитчатых, а иногда и дактилоскопических выделений. Существенно, что аналогичные сростания с ортоклазом образует и нефелин. Данный тип сростаний встречается и в рисчорритах II-ой группы. Измерения на универсальном столике Федорова показали, что в тех участках пойкилокристаллов полевого шпата, в которых наблюдается скопление одинаково или закономерно ориентированных включений фельдшпатоидов (предположительно замещенных кальсилитом или неизмененных реликтов первичного нефелина, (рис. 2а)) угол оптических осей составляет $\sim 35^\circ$, что соответствует низкому санидину (слабоупорядоченной модификации полевого шпата) и отличается от данной величины для остальной части пойкилокристалла, не содержащей таких включений, в которой угол оптических осей возрастает до

$\sim 56 - 58^\circ$ и соответствует высокому ортоклазу (более упорядоченной модификации). Существенно, что между данными модификациями наблюдается постепенный переход (с постепенным увеличением угла оптических осей), при том, что пространственная (и оптическая) ориентация пойкилокристалла остается единой по всей его площади. Причиной наблюдаемой неоднородности может служить то, что центральные зоны зерен нефелина были затронуты процессом замещения полевым шпатом позднее, чем периферические. В результате этого в данных участках сохранились реликты замещаемого фельдшпатоида, а процесс Si/Al-упорядочения полевого шпата проявился в меньшей степени, чем в краевых зонах, в которых он испытал более длительное воздействие растворов.

Таблица 4. Химический состав акцессорных минералов рисчорритов

№ обр. Комп.	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	45,98	47,46	44,54	61,80	42,44	51,87	30,17
TiO ₂	1,80	8,27	0	0	23,27	0,55	26,93
ZrO ₂	28,97	20,99	0	0	0	11,54	0
Nb ₂ O ₅	0	0	0	0	5,34	0	1,80
Al ₂ O ₃	0	0,08	5,88	0	0,19	0	0
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0,99	0	3,43
FeO	0,04	0	0,34	12,07	0	2,24	0
MnO	0,02	0	0,09	5,09	0,06	1,26	1,02
MgO	0,07	0	0,03	0,46	0	0	0,19
CaO	0,20	0,20	13,17	0,35	0,21	10,70	0,67
SrO	0	0	0	0	0	1,90	1,05
BaO	0	0	0	0	9,44	0	20,67
Na ₂ O	0	0,06	6,52	8,44	6,87	12,95	9,32
K ₂ O	24,01	23,91	18,39	12,40	11,52	5,92	4,05
Cl	0	0	3,57	0	0	1,78	0
-O = C ₁₂	-	-	0,81	-	-	0,41	-
Сумма	100,96	100,97	91,72	100,61	100,33	100,95	99,30

Формулы:

- $(K_{2,00}Ca_{0,01})_{2,01}(Zr_{0,92}Ti_{0,09})_{1,01}Si_3O_{9,03} - \sum_{Si,Al} = 3$
- $(K_{1,92}Na_{0,01}Ca_{0,01})_{1,94}(Zr_{0,65}Ti_{0,39})_{1,04}(Si_{2,99}Al_{0,01})_3O_{9,05} - \sum_{Si,Al} = 3$
- $K_{3,65}Ca_{2,19}Na_{1,96}Fe_{0,04}Mn_{0,01}Mg_{0,01}Si_{16,92}Al_{1,08}Cl_{0,96}O_{19,58} - \sum_{Si,Al} = 7$
- $Na_{1,06}K_{1,02}Ca_{0,02}Fe_{0,63}Mn_{0,26}Mg_{0,04}Si_4O_{10,04} - \sum_{Si,Al} = 4$
- $Na_{1,25}(K_{1,38}Ba_{0,35}Ca_{0,02})_{2,99}(Ti_{1,64}Nb_{0,23}Fe_{0,08})_{1,95}(Si_{3,98}Al_{0,02})_4O_{13,60} - \sum_{Si,Al} = 4$
- $(Na_{12,57}K_{3,76}Sr_{0,55})_{16,90}(Ca_{5,74}TR_{0,12}Mn_{0,14})_6(Fe_{0,84}Mn_{0,39})_{1,24}(Zr_{2,79}Ti_{0,21})_3 \times (Si_{25,98}Zr_{0,02})_{26}O_{73,27}Cl_{1,51} - \sum_{Si,Al,Zr,Ti,Nb} = 29$
- $(Ba_{1,08}K_{0,68}Sr_{0,08})_{1,84}Na_1(Na_{1,40}Fe_{0,34}Mn_{0,12}Ca_{0,10}Mg_{0,04})_{1,99}(Ti_{0,69}Nb_{0,11})_{0,80}Si_4O_{16,92} - \sum_{Si,Al} = 4$

Примечание.

Ан.1 — вадеит, ан.2 — титановый вадеит; ан.3 — дельхайелит; ан.4 — фенаксит; ан.5 — щербаковит; ан.6 — калиевый эвдиалит; ан.7 — калиевый баритолампрофилит. Ан.2 — из рисчоррита III группы, остальные анализы — из рисчорритов II группы. Ан.1, 5, 7 — анализ О.А.Агеева (Cameca MS-46), ан.2–4 — анализ В.В.Хангулов (Camebax SX-50, ИГЕМ РАН), ан.6 — анализ Н.В.Трубкин (JSM-5300 + Link ISIS, ИГЕМ РАН). В сумму ан.6 входит $Se_2O_3 = 0,65$.

Третий тип представлен радиальнолучистыми тонкоигольчатыми и симплектитовыми сростками, которые характеризуются синхронным волнистым угасанием одновременно и кальсилита и полевого шпата. Такого рода сростки наблюдаются в периферических частях зерен нефелина и иногда отделяются от этих зерен зонами нефелин-ортоклазовых сростаний, аналогичных им и по морфологии и по размеру выделений (рис. 3д). Волнистое угасание часто обнаруживают и описанные выше мономинеральные кальсилитовые прожилки, а также кальсилитовые каймы на поверхности зерен нефелина, которые, на наш взгляд, могут являться основой для формирования рассматриваемого типа кальсилит-полевошпатовых сростаний в процессе ортоклазизации породы.

Кальсилит часто входит в состав кальсилит-(нефелин)-полевошпатовых сростков, образующих пойкилитовые включения в пироксене (реже в других минералах: лампрофиллите, ломоносовите, титаните), слагающих характерные для рисчорритов (II и III групп) меланократовые участки. Такие включения (размером 0,2–2 мм) часто имеют округлые очертания (рис. 2е, 3е), но наряду с ними наблюдаются и мономинеральные идиоморфные включения гексогональных зерен нефелина. Вростки фельдшпатоида внутри пойкилитового включения, как правило вытянуты, но иногда имеют изометричную форму. Нередко периферическая часть нефелиновых и кальсилит-(нефелин)-ортоклазовых пойкилитовых включений сложена ортоклазом (рис. 2е). Причем, оптическая ориентация фельдшпатоида во всех (или в группе) пойкилитовых включениях, относящихся к единому пойкилокристаллу пироксена часто оказывается одинаковой. Оптическая ориентация сростающегося с ними ортоклаза, отличаясь от ориентации фельдшпатоида, также является единой для всех вростков и совпадает с ориентацией примыкающего к данному кристаллу пироксена пойкилокристалла ортоклаза. В участках соприкосновения эгирин-диопсида с кальсилит-(нефелин)-ортоклазовыми вростками отмечается его замещение эгирином, биотитом и калийсодержащим амфиболом.

Согласно (Плечов, Серебряков, 2003) данные участки являются захваченными рисчорритами реликтами фергуситов (плутонических пород, содержащих около 70 % псевдолейцита и 30 % пироксена). Однако, наши исследования показали, что распреде-

ление фельдшпатоидных вростков в полевошпате рисчорритов очень неравномерно и наряду с кальсилит-полевошпатовыми сростаниями, анализы которых четко рассчитываются на формулу лейцита (при соотношении кальсилита и полевого шпата 1:1), отмечаются участки с резким преобладанием той или иной фазы. Кроме того, мы не обнаружили в данных породах сростаний с четкими кристаллографическими очертаниями, которые могли бы отражать кубический габитус первичного лейцита. На наш взгляд, такие взаимоотношения минералов, можно объяснить исходя из метасоматической гипотезы образования рисчорритов. Они обусловлены частичной унаследованностью рисчорритами структуры замещаемых ими массивных грубозернистых уртитов, для которых характерны меланократовые участки, сложенные укрупненными (до 10–20 мм) пойкилокристаллами пироксена и акцессорных минералов (лампрофиллита, ломоносовита, титанита) с мелкими вростками нефелина (размером 2–3 мм). Ортоклаз и кальсилит замещали главным образом нефелин исходных пород. Поэтому, если при замещении нефелина в лейкократовых участках породы, фельдшпатоид-полевошпатовые пойкилитовые вростки как бы «тонут» внутри крупных пойкилокристаллов полевого шпата, то при замещении нефелиновых вростков в меланократовых участках они образуют округлые полиминеральные агрегаты, четко выделяющиеся на фоне темноцветного минерала.

Генезис кальсилитсодержащих пород в Хибинском массиве

Морфология кальсилита в породах Хибинского массива очень разнообразна и не позволяет дать однозначного объяснения способа его образования. Отчетливо устанавливается последовательность образования (или преобразования) лейкократовых минералов кальсилитсодержащих рисчорритов массива: реликтовый нефелин → кальсилит (или кальсилит + ортоклаз) → ортоклаз, и выявляются явные признаки метасоматического замещения нефелина.

Согласно гипотезе авторов, рисчорриты в Хибинском щелочном комплексе сформировались в результате K-Si-метасоматоза, действующего главным образом на ийолит-уртиты центральной дуги массива. Магма, от которой отделялись метасоматические растворы, по-видимому, имела нефелин-сиенитовый состав, что и предподре-

лило миграцию в первую очередь K и Si в недосыщенные этими элементами ийолит-уртиты и формирование метасоматитов нефелин-сиенитового состава.

Образование кальсилита относится к наиболее ранней стадии рассматриваемого процесса и вызвано резким повышением активности калия относительно натрия. «Матрицей» для образования кальсилита послужил нефелин исходных пород: $2\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16} + 3\text{K}_2\text{O} \rightarrow 8\text{KAlSiO}_4 + 3\text{Na}_2\text{O}$. Формирование кальсилита сопровождалось образованием и других существенно калиевых акцессорных и породообразующих минералов, замещающих минералы исходных пород или кристаллизующихся самостоятельно. Резкое повышение активности калия на данном этапе, обуславливающее аномальное обогащение формирующихся метасоматитов калием и появление среди существенно натриевых пород специфической калиевой минерализации, может быть объяснено проявлением кислотно-основного взаимодействия при воздействии щелочных растворов (отделенных от нефелин-сиенитовой магмы) на более основную матрицу — ийолит-уртиты (Зотов, 1989). На проявление кислотно-основного взаимодействия указывает и отмеченное в акцессорных минералах возрастание отношений более основных компонентов к менее основным: K/Na, Mn/Fe, Ba/Sr, Sr/Ca, Ca/Mn, Zr/Ti и т.д.) (Агеева и др., 2002) и повышенное содержание рубидия в полевом шпате данных пород. Отсутствии кальсилита и четко проявленной калиевой минерализации в рисчорритах I группы, формирующихся при замещении нефелиновых сиенитов, объясняется менее основным, по сравнению с ийолит-уртитам, составом этих пород, его сходством с составом воздействующих растворов. Отличия же в минералогии и геохимии рисчорритов II и III групп вероятно обусловлены различной концентрацией в растворах калия.

В рисчорритах II и III групп одновременно с образованием кальсилита, а большей частью вслед за ним, осуществлялась кристаллизация калиевого полевого шпата. При этом происходил существенный привнос не только калия (превышающий его содержание в нефелиновых сиенитах), но и кремния (до значений в нефелиновых сиенитах), вынос остальных компонентов (до значений в нефелиновых сиенитах) и падение показателя основности пород (Боруцкий, 1988). Полевой шпат рисчорритов, как уже было отмечено, выделяется существенно калие-

вым составом. Породообразующий адуляр с t_10 0,36–0,38 и $2V$ 33–43° (650–550°C по Ховису) сосуществует в рисчорритах с более Si/Al-упорядоченным ортоклазом с t_10 0,39–0,43 и $2V$ 45–65° (490–370°C по Ховису) и максимально-упорядоченным нерешетчатым микроклином с t_10 0,92–0,99, $2V$ 80–83°, образующими основной объем пойкилобласта и кристаллизовавшимися определенно ниже 500°C (Боруцкий, 1988). В то же время, установленные полевые шпаты в пределах единого пойкилобласта подчинены единой оптической ориентации и между ними отсутствуют фазовые границы. Присутствие в рисчорритах полевых шпатов различных структурных модификаций свидетельствует о неравновесных условиях их формирования, об их кристаллизации в широком температурном интервале и указывают на длительную историю формирования рисчорритов.

Различное проявление химической активности калия и кремния, определившие особенности минералогии и геохимии выделенных групп рисчорритов, обусловлено двумя важнейшими факторами: характером замещаемых пород (при сравнении рисчорритов I группы с рисчорритами II и III группы), и составом метасоматических растворов — концентрацией в них калия (при сравнении между собой рисчорритов II и III группы). Одним из основных индикаторных признаков проявления тех или других факторов в данных геологических условиях является присутствие и степень развития в них кальсилита.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 03–05–64139).

Литература

- Агеева О.А. Эволюция минералообразования в породах комплекса рисчорритов (Хибинский массив). // Геология и геоэкология: исследования молодых. 2002 г. Материалы XIII конференции, посвященной памяти К.О.Кратца. Т. 2. Апатиты, 2002. С.7–11
- Агеева О.А., Боруцкий Б.Е., Хангулов В.В. Эвдиалит как минералого-геохимический индикатор метасоматических процессов при формировании пород комплекса пойкилитовых нефелиновых сиенитов Хибинского массива. Геохимия, 2002, №10. С. 1098–1105
- Архангельская В.В. О генезисе псевдолейцитов Сыннырского массива щелочных по-

- род // ДАН СССР. 1965. Т. 164, № 3. С. 662–665
- Багдасаров Э.А., Лукьянова Т.А.* О нефелине, калишпате и кальсилите из пород дитроитовой серии массива Сынный // Проблемы метасоматизма. Л.: ВСЕГЕИ и н.-т. горн. об-во, 1969. С. 367–374
- Боруцкий Б.Е.* Породообразующие минералы высокощелочных комплексов. М. Наука. 1988. 205 с
- Боруцкий Б.Е., Боруцкая В.А., Некрасова Л.П.* Щелочные полевые шпаты пойкилитовых нефелиновых сиенитов Хибинского массива. В кн.: Изоморфизм в минералах. М. Наука. 1975 С.246–273
- Боруцкий Б.Е., Органова Н.И., Марсий И.М.* Кристаллическая структура Si/Al-упорядоченного адуляровидного ортоклаза из пойкилитовых нефелиновых сиенитов Хибинского массива. Изв.АН СССР, сер. Геол., 1986, №6. С.69–74
- Боруцкий Б.Е., Цепин А.И., Власова Е.В.* Новые данные о Хибинском кальсилите. Новые данные о минералах СССР. М. 1976, Вып.25 С. 130–133
- Боруцкий Б.Е., Цепин А.И., Кузнецов Ж.М.* Кальсилит из Хибинского массива нефелиновых сиенитов. Изв. АН СССР. Сер геол. № 5, 1973. С. 132–136
- Зотов И.А.* Трансмагматические флюиды в магматизме и рудообразовании. М.: Наука. 1989. 256 с
- Коваленко В.И., Владыкин Н.В., Горегляд А.В., Смирнов В.Н.* Лугингольский массив псевдолейцитовых сиенитов в Монгольской Народной Республике (первая находка). Изв.АН СССР. Сер. геол., 1974. № 8. С. 38–49
- Козырева Л.В., Коробейников А.Н., Меньшиков Ю.П.* Новая разновидность ультракалиевых пород в Хибинском массиве // Новое в минералогии Карело-Кольского региона. Петрозаводск, 1990. С.116–129
- Конев А.А.* Новая горная порода и новый тип ультракалиевого глиноземного сырья // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. С.191–195
- Конев А.А., Воробьев Е.И., Лазебник К.А.* // Минералогия Мурунского щелочного массива. Новосибирск. СО РАН, 1996. 222 с
- Конев А.А. Самойлов В.С.* Контактный метаморфизм и метасоматоз в ореоле Тажеранской щелочной интрузии. Новосибирск: Наука, 1974. 123 с
- Кононова В.А., Первов В.А., Коваленко В.И., Лапутина И.П.* Псевдолейцитовые сиениты, вопросы их генезиса и формационной принадлежности (на примере Лугингольского массива, МНР). Известия АН СССР. Серия геологическая, № 5, 1981. С.20–37
- Курепин В.А.* Минеральные парагенезисы и условия образования псевдолейцитовых сиенитов Сынского массива // Минералы и парагенезисы минералов горных пород. Наука. Ленинград, 1973. С.53–60
- Плечов П.Ю., Серебряков Н.С.* Реликты фергуситов в породах рихсдорритового комплекса Хибинского массива // Геохимия магматических пород: Труды XXI Всероссийского семинара по геохимии магматических пород, 3–5 сентября 2003 г. Апатиты, ГИ КНЦ РАН
- Самсонова Н.С., Донаков В.И.* Кальсилит из Мурунского щелочного массива (Восточная Сибирь). //Зап. ВМО. Ч.97. Вып. 3.1968.С.291–300
- Смыслов С.А.* Кальсилитсодержащие породы Маломурунского массива // Геология и геофизика. 1986. № 8. С. 33–38
- Тихоненков И.П.* Нефелиновые сиениты и пегматиты Хибинского массива и роль постмагматических явлений в их формировании. Изд.АН СССР. М. 1963. 246 с
- Aurissicchio C., Federico M.* Nepheline-kalsilite microperthites in ejecta from the Alban Hills (Italy)//. Bull. Geol. Soc. Finl. 1985. Vol.57, pt. 1/2. P. 129–137
- Holmes A.* A suite of volcanic rocks from south-west Uganda containing kalsilite (a polymorph of $KAlSiO_4$)//Miner. Mag. 1942. Vol. 26, №177. P. 197–217
- Sahama Th.G.* Kalsilite in lavas of Nyiragongo // J. Petrology. 1960. Vol. 1, № 2. P. 146–172