

Д. чл. П. М. КАРТАШОВ

О НОВОЙ НАХОДКЕ НАРСАРСУКИТА В ФЕНИТИЗИРОВАННЫХ ПОРОДАХ ЛОВОЗЕРСКОГО МАССИВА

P. M. KARTASHOV. NARSARSUKITE FROM FENITIZED ROCKS OF LOVOZERO MASSIF

The first complete description of narsarsukite from Lovozero is adduced in the paper. It has been found in specific quartz rock boulders from the new locality at Northern contact zone of the massif (mt. Flora). Association of two generations of the mineral: ferrian narsarsukite-I and titanian narsarsukite-II, has been revealed by the study. Formation of the second one is supposed to be related to recrystallization of the rock accompanied with replacement of the alkaline Ti-bearing arfvedsonite by aegirin.

Нарсарсукит $\text{Na}_4(\text{Ti, Fe})_2[\text{Si}_8\text{O}_{20}] (\text{O, OH, F})_2$ — минерал относительно редкий, в настоящее время известно 13 районов его распространения. Необходимые для образования нарсарсукита высокие концентрации кремнезема, щелочей и титана реализуются в природе в двух случаях: в интрузиях кварцсодержащих или насыщенных кремнеземом щелочных горных пород и их пегматитах, либо в разнообразных метасоматических образованиях, возникающих на контакте щелочных массивов с более кислыми породами рамы. К первому типу относятся проявления нарсарсукита в кварцевых сиенитах и пегматитах нефелиновых сиенитов Нарсарсука (Boggild, 1953), нефелиновых сиенитах Сен-Илера (Шао, 1967), ультращелочных трахитах острова Игдлу-талик, Ю.-З. Гренландия (Upton e. a., 1976), комендитах массива Сирва, Ю. Марокко (Wagner e. a., 1991), щелочных гранитах массивов Гуре, Судан (Jeremine, Christophe-Michel-Levy, 1961), Гьердинген, Ю. Норвегия (Saxbo, 1966), Стрейндж Лейк (Нетрадиционные..., 1991) и Мурунского (Конев и др., 1987), кварцсодержащих щелочных пегматитах Вернер Бьёрга, В. Гренландия (Brooks e. a., 1982), ультраагпаитовой пегматитовой залежи «Юбилейная», Ловозеро (Буссен и др., 1981) и пегматоидных породах г. Кукисвумчорр, Хибинь (Хомяков, 1990). Второй тип включает в себя находки нарсарсукита в гибридных породах контактов сиенитового массива Свитграсс Хиллз, Монтана (Stewart, 1959) и секущих его кварцевых жилах (Graham, 1935), в экзоконтактовых роговиках Сен-Илера (Radjasekaran, 1966), в фенитах Нарсарсука (Boggild, 1953), Илимауссака (Семенов, 1969), Ловозера (Лабунцов, 1958; Власов и др., 1959; Тихоненков, Тихоненкова, 1962; Семенов, 1972) и в фенитизированных песчаниках Турьего мыса (Белянкин и Влодавец, 1949; Евдокимов, 1975). Кроме того, в экзоконтактах щелочногранитного массива Верхнее Эспе (В. Казахстан) А. В. Степановым обнаружены псевдоморфозы по тетрагональному титаносиликату. Д. А. Минеев считал, что они развивались по гипотетическому титановому аналогу эльпидита $\text{Na}_2\text{Ti}[\text{Si}_6\text{O}_{14}] (\text{OH})_2$ (Минеев, 1968), однако образование подобных псевдоморфоз по нарсарсукиту представляется более вероятным.

Нарсарсукит считается характерным минералом контактовых зон Ловозерского массива нефелиновых сиенитов с гнейсами и гранито-гнейсами архея (горы Флора, Страшемпахк и Вавнбед). Вместе с тем минерал изучен явно недостаточно. Сведения, приводимые о нем в сводках (Власов и др., 1959; Тихоненков, Тихоненкова, 1962; Семенов, 1969), отличаются неполнотой и фрагментарностью. О составе минерала судили, как правило, по показателям преломления. За более чем 30 лет со времени первой находки на территории массива опубликованы единственный удовлетворительный анализ нарсарсукита из контактовых образований (Тихоненков, Тихоненкова, 1962) и один анализ минерала из щелочных пегматитов (Буссен и др., 1981).

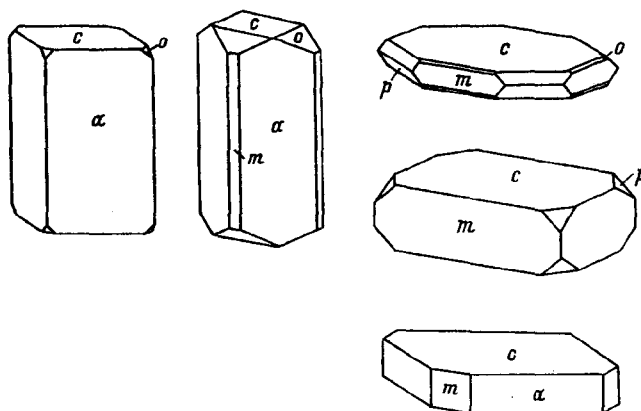


Рис. 1. Форма кристаллов нарсарсукиита из фенитизированных пород горы Флора.

Простые формы (по распространенности): $m(110)$, $c(001)$, $p(101)$, $a(100)$, $z(111)$, $k(201)$.

Fig. 1. Drawing of narsarsukite crystals from mt. Flora.

Нами изучен аксессуарный нарсарсукиит, встреченный в специфических анхимономинеральных кварцевых породах г. Флора, предположительно являющихся фенитизированными кварцитами или песчаниками девонских ксенолитов. Поскольку данные породы были встречены в виде развала слабоокатанных глыб ($15 \times 20 \times 30-40$ см) и, очевидно, были перемещены, их истинная геологическая позиция не вполне ясна. Учитывая это обстоятельство, а также находку А. И. Ледневым (устное сообщение) в 500 м от маломощного (5 см) кварцевого прожилка в коренном залегании, секущего фениты и содержащего аксессуарный нарсарсукиит, нельзя отрицать возможности возникновения таких пород в результате переотложения кремнезема, мобилизованного в процессе фенитизации архейских гнейсов рамы массива.

Макроскопически порода представляет собой неоднородный мелко-среднезернистый агрегат кварца зеленого или светло-зеленого цвета. Мелкозернистые участки отличаются более интенсивной окраской, вызванной тонкой (0.1 мм) вкрапленностью короткопризматического густо-зеленого щелочного амфибола (2—3 % породы). В перекристаллизованных участках в интерстициях между крупными (до 1 см) зернами кварца развит асбестовидный голубовато- и зеленовато-серый эгириин (до 1%). Кроме того, в шлифах встречен альбит Ab_{95} (до 5%). Нарсарсукиит распределен неравномерно (0—1%), обогащая прослойки, наследующие структуру субстрата. Размер кристаллов не превышает 2 мм. В некоторых участках нарсарсукиит был полностью выщелочен с образованием прямоугольных пустоток, частично заполненных новообразованиями SiO_2 и гидроокислов Fe.

Морфология кристаллов нарсарсукиита несколько необычна: резко преобладают призматические кристаллы с простыми формами $m(110)$ и $c(001)$ и коэффициентом удлинения 1:2—1:4. В подавляющем большинстве месторождений отмечается нарсарсукиит таблитчатого габитуса (Минералы, 1981). Подобные призматические кристаллы встречены только в Халфбрид Крик (Graham, 1935), на Турьем мысу (Евдокимов, 1975) и на о. Игдлуталик (Upton et al., 1976). На рис. 1 кристаллы изученного нарсарсукиита расположены в порядке уменьшения частоты встречаемости морфологических типов: из 1000 кристаллов более 800 приходится на тип a , около 100 — на b , 8 — на c , 5 — на z и только один — на d . Все кристаллы крупнее 1 мм представлены простым сочетанием призмы $m(110)$ и пинакоида. Особо следует отметить появление

грани $z(111)$, встреченной ранее (в принятой установке — Минералы, 1981) только на кристаллах Турьего мыса (Евдокимов, 1975).

При отборе материала на химический анализ и гониометрию было замечено, что по нескольким крупным кристаллам нарсарсукита развивается волокнистый бесцветный минерал. Наиболее замечены были окончания кристаллов. Псевдоморфозы уходили вглубь неровной бахромой, при этом волокна были ориентированы параллельно призме. Дебаеграмма волокон соответствовала нарсарсукиту, таким образом была выявлена тесная ассоциация двух генераций последнего. Поскольку выделить достаточное количество нарсарсукита-II не представлялось возможным, наиболее полно охарактеризован нарсарсукит-I.

Цвет нарсарсукита-I в целом желтый, однако минерал отчетливо дихроирует: по направлению, перпендикулярному граням призмы, цвет его от медово- до лимонно-желтого, в то время как перпендикулярно пинакоиду минерал бесцветен либо имеет слабый зеленовато-желтый оттенок. В связи с этим кристаллы таблитчатого габитуса резко выделяются на фоне концентрата и совершенно неразличимы в породе. Блеск минерала стеклянный на гранях и в изломе. Спайность совершенная в двух направлениях, параллельно (100), минерал хрупок. Его плотность — 2.84 г/см^3 — заметно повышена (максимальная, отмеченная ранее — 2.78 г/см^3 — Graham, 1935; Тихоненкова, Тихоненков, 1966).

Измерение микротвердости нарсарсукита (прибор ПМТ-3, нагрузка 100 г) выявило наличие у него анизотропии твердости 1-го рода с $K_H = 1.252$, причем максимальные значения твердости (894 кгс/мм^2) измерены на гранях призмы (110), а минимальные (714 кгс/мм^2) — на пинакоиде. Такая микротвердость соответствует 6—6.5 единицам по Моосу. Полученные значения микротвердости отличаются от приводимых А. С. Поваренных — $830—976 \text{ кгс/мм}^2$ (Поваренных, Лебедева, 1971), который, по всей видимости, использовал для измерений материал с точки В. И. Герасимовского (Власов и др., 1959) — поликристаллический разориентированный агрегат, переполненный вростками альбита.

Нарсарсукит-I плеохроирует: по N_e — лимонно-желтый, по N_o — бесцветный. Одноосный положительный, с положительным удлинением, $n_o = 1.604$, $n_e = 1.642 \pm 0.002$, $n_e - n_o = 0.038$.

Нарсарсукит-II в агрегате имеет белый цвет и шелковистый блеск, отдельные волокна бесцветны. Хрупок. Не плеохроирует, оптическая ориентировка та же, что и у нарсарсукита-I, $n_o = 1.610$, $n_e = 1.650 \pm 0.005$, $n_e - n_o = 0.040$.

На дебаеграммах нарсарсукита-I выявлено до 109 рефлексов. Набор межплоскостных расстояний совпадает с эталонным, поэтому в табл. 1 приведены данные только для наиболее интенсивных линий. Параметры элементарной ячейки рассчитывались методом наименьших квадратов с использованием индексов, приведенных Д. Стюартом (Stewart, 1959): $a = 10.704 \pm 0.004$, $c = 7.969 \pm 0.006 \text{ \AA}$, $a/c = 1 : 0.745$. Объем элементарной ячейки по сравнению с литературными данными (Минералы, 1981) несколько понижен — 913.053 \AA^3 , что, по-видимому, и вызывает некоторое увеличение плотности минерала ($d_{\text{расч}} = 2.84 \text{ г/см}^3$).

Инфракрасный спектр нарсарсукита-I (рис. 2) характеризуется широкой основной полосой с максимумами $1108—1000 \text{ см}^{-1}$, полосой 868 , дуплетом $774—750$ и полосами 646 , 525 , 452 см^{-1} , что согласуется с данными А. И. Лазарева (1968) и несколько отличается от спектра, приведенного А. С. Поваренных (Поваренных, Меньшиков, 1977), поскольку в последнем отсутствует полоса 868 см^{-1} , отвечающая валентным колебаниям Ti—O. Наличие в спектре полосы поглощения 1630 см^{-1} свидетельствует о наличии в минерале молекулярной воды, а полоса 1705 см^{-1} говорит о сильной водородной связи $\text{OH} \cdots \text{H}_2\text{O}$. В области $3200—3600 \text{ см}^{-1}$ четких полос поглощения не наблюдается.

Таблица 1

Межплоскостные расстояния нарсарсукита-1, гора Флора
X-ray powder analysis data for narsarsukite-1, mt. Flora

<i>l</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d</i> , Å	<i>hkl</i>
4	7.50*	110	7	2.316*	213	7	1.405	370
10	5.30*	200	2	2.215*	402	7	1.367	363
7	4.39	402	4	2.176	563	9	1.315	471
5	4.08*	211	7	2.115	033	5	1.280	273
9	3.97*	002	3	2.094*	510	5	1.273	345, 505
8	3.77*	220	6	2.046*	422	8	1.235	136
7	3.57	242	7	1.987*	004	6	1.216	563
5	3.45	233	7	1.971	233	7	1.182	165
9	3.37*	310	7	1.888*	521	5	1.167	246
4	3.32	143	5	1.853*	440	5	1.147	671, 374
10	3.24*	301	8	1.779*	512	7	1.122	581, 156
7	3.18*	202	6	1.713*	600	7	1.082	037, 770
7	2.83	253	7	1.690	260	7	1.060	237
7	2.778	231	9	1.661	353	8	1.042	147
7	2.737*	222	6	1.588	253	7	1.040	565
4	2.666*	400	7	1.558	262	6	1.004	347, 057
9	2.572*	312	7	1.509	125	7	1.002	
9	2.515*	330	7	1.484	460	7	0.996	
5	2.388*	420	8	1.449	271	6	0.993	

Примечание. Условия съемки: камера РКУ-114, нефилтрованное Fe-излучение, внутренний стандарт — Si, оценка интенсивностей визуальная. Звездочкой отмечены рефлексы, использованные для расчета параметров ячейки.

Химический анализ нарсарсукита-I приведен в табл 2 (ан. 1). Кроме того, лазерным спектральным анализом в нем установлено: 0.п % — Zr, Ca, Mg, Nb, Pb, Y; 0.0п % — Cu, Zn, Ni, Sr, Co; 0.00п % — Be и Ag. Расчет формулы минерала производился по части кислорода (Булах, 1967) исходя из предположения о цеолитном характере воды в нарсарсуките, высказанном К. Вагнером и др. (Wagner e. a., 1991). Из полученной формулы — $(\text{Na}_{3.83}\text{K}_{0.05})_{3.88}(\text{Ti}_{1.43}\text{Fe}_{0.47}\text{Al}_{0.14}\text{Mg}_{0.02})_{2.06}[\text{Si}_{8.02}\text{O}_{20}](\text{O}_{1.55}\text{F}_{0.45})_{2.00} \cdot 0.51\text{H}_2\text{O}$ следует, что на элементарную ячейку минерала (при $Z = 2$) приходится одна молекула цеолитной воды.

Составы нарсарсукита-I и -II определялись также на микроанализаторе Cameca MS-46 (табл. 3). Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 50 мА, диаметр зонда 2—3 мкм, эталоны сравнения для Si, Fe, Ca — эгирин, для Na, K, Al — нефелин, для Ti, Mg — пикроильменит, для Mn — родохрозит, пересчет содержаний элементов выполнен по программе «ПУМА ДВ» (Боронихин, Цепин, 1980).

В табл. 3 включены также анализы нарсарсукита из двух других его проявлений на горе Флора: кварцевой жилы А. И. Леднева (ан. 8) и альбититов точки В. И. Герасимовского (ан. 9). Химический состав нарсарсукита из последней (табл. 2, ан. 2) нельзя считать удовлетворительным, поскольку анализированный материал содержал более 60 % примеси альбита (Власов и др., 1959). Сведения о точном местоположении этого проявления в настоящее время утрачены, однако в различных минералогических коллекциях имеется обильный материал отсюда. В связи с этим новые достоверные данные о составе нарсарсукита со старого, классического для России месторождения представляют несомненный интерес. Для нашего исследования мы воспользовались образцом нарсарсукита из коллекции кафедры минералогии МГУ.

С нарсарсукитом ассоциируют магнезиоарфведсонит, эгирин и сростающийся с последним не определенный щелочной Mn-Fe-силикат. Рассчитанная

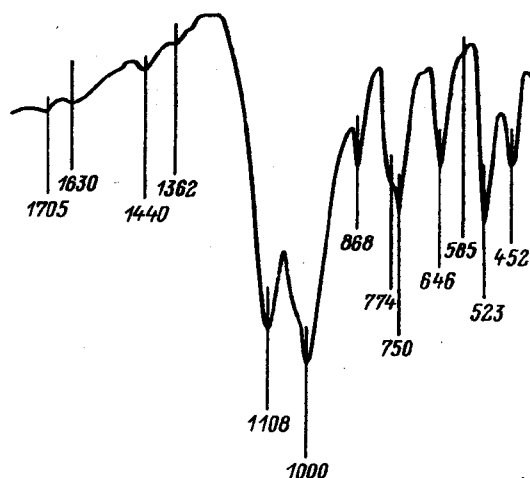


Рис. 2. ИК-спектр нарсарсукиита-I.

Fig. 2. Infrared spectrum of narsarsukite-I.

нами эмпирическая формула магнезиоарфведсонита: $(\text{Na}_{3.25}\text{K}_{0.33}\text{Ca}_{0.04})_{3.62} \cdot (\text{Mg}_{2.40}\text{Fe}_{0.77}^{2+}\text{Mn}_{0.01})_{3.18}(\text{Fe}_{1.26}^{3+}\text{Al}_{0.04}\text{Ti}_{0.02})_{1.32}[\text{Si}_8\text{O}_{22}]\text{O}$ несколько отличается от

Таблица 2

Химический состав нарсарсукиита
The chemical analyses of narsarsukite

Компонент	Ловозерский массив				Ильмауссак	Сен-Илер
	Флора		Ваньбед	Карнасурт		
	1	2				
Nb ₂ O ₅	He опр.	He опр.	He опр.	0.81	0.44	He опр.
SiO ₂	62.26	52.59	60.48	60.00	59.65	62.11
TiO ₂	14.73	19.25	16.72	15.49	11.75	16.99
ZrO ₂	He опр.	He опр.	He опр.	0.26	0.74	He опр.
Al ₂ O ₃	0.93	—	0.32	1.59	0.44	0.20
TR ₂ O ₃	He опр.	He опр.	He опр.	0.15	0.97	He опр.
Fe ₂ O ₃	4.87	9.67	4.89	1.97	6.91	2.25 ³
FeO	—	0.35	—	0.48	—	He опр.
MnO	0.03	0.10	0.04	0.07	—	0.02
MgO	0.12	0.99	0.11	0.20	—	He опр.
CaO	0.02	0.91	1.30	—	0.50	0.46
Na ₂ O	15.32	11.91	14.19	16.70	13.46	15.20
K ₂ O	0.28	0.99	1.03	0.48	3.72	0.10
H ₂ O ⁺	0.59	1.26	1.06	1.05	—	0.17
H ₂ O ⁻	—	1.98	0.24	0.19	He опр.	He опр.
F	1.11	—	—	1.24	3.13	0.76
O—F	0.47	—	—	0.52	1.31	0.32
Сумма	99.79 ¹	100.00 ²	100.38	100.15	100.40	98.14 ⁴
n _e	1.642	1.623	1.650	1.646	1.622	—
n _o	1.604	1.607	1.604	1.607	1.608	—
d, г/см ³	2.84	—	2.78	2.75	—	—

Примечание. Ан. 1 — аналитики Г. Е. Каленчук и С. А. Горбачева, ан. 2 — по: Власов и др., 1959; ан. 3 — по: Тихоненков, Тихоненкова, 1962; ан. 4 — по: Буссен и др., 1981; ан. 5 — по: Семенов, 1969; ан. 6 — по: Шао, 1967. Кроме того: 1 — BaO — 0.0028%, SrO — 0.007%, NiO — 0.009%; 2 — данные получены после вычета 62 мас.% альбита; 3 — приведено суммарное железо; 4 — в том числе 0.20% P₂O₅.

Таблица 3

Микрозондовые анализы нарсарсукита и сопутствующих минералов, гора Флора (мас.%)
 Microprobe analyses of narsarsukite and associating minerals, mt. Flora

Компонент	Нарсарсукит-I					Нарсарсукит-II	
	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	57.32	61.09	61.86	61.38	67.13	52.60	58.68
TiO ₂	12.09	13.78	13.46	12.54	11.63	16.23	16.67
Al ₂ O ₃	0.75	0.28	0.30	0.50	0.74	0.38	0.29
Fe ₂ O ₃	5.21	4.83	4.93	4.97	4.90	2.86	3.08
MnO	—	—	0.01	—	—	0.03	0.03
MgO	0.05	0.10	0.10	0.07	—	—	0.03
CaO	0.01	—	—	—	—	0.01	0.01
Na ₂ O	14.63	14.25	14.59	14.87	15.42	15.39	16.02
K ₂ O	0.15	0.16	0.16	0.16	0.12	0.05	0.06
Nb ₂ O ₅	—	He опр.	He опр.	0.02	—	He опр.	He опр.
TR ₂ O ₃	—	» »	» »	0.01	0.01	0.04	0.01
Сумма	90.21	94.49	95.41	94.52	89.95	87.56	94.89

Таблица 3 (продолжение)

Компонент	Нарсарсукит		Сопутствующие минералы		
	8	9	10	11	12
SiO ₂	62.13	61.87	55.31	51.90	38.87
TiO ₂	13.78	12.23	0.25	0.05	0.23
Al ₂ O ₃	0.88	0.89	0.24	0.14	0.36
Fe ₂ O ₃	5.57	5.88	18.66	32.08	22.53
MnO	0.06	0.06	0.10	0.31	17.36
MgO	He. опр.	0.02	11.15	0.61	3.08
CaO	0.02	0.01	0.23	0.17	0.27
Na ₂ O	15.76	16.50	11.58	14.59	6.08
K ₂ O	He опр.	0.17	1.81	0.02	3.40
Nb ₂ O ₅	» »	0.24	He опр.	He опр.	0.03
TR ₂ O ₃	» »	0.04	» »	0.05	—
Сумма	98.14	97.91	99.39	99.92	93.87*

Примечание. Звездочкой отмечено значение, включающее 1.66% BaO. Аналитики: ан. 1, 4—7, 9—12 — Н. В. Тронева, 2, 3 — С. Е. Борисовский (ИГЕМ РАН), ан. 8 — А. И. Леднев (КФ РАН, неопубликованные данные). Анализы 1—5 — нарсарсукит-I: 1 — бледно-желтая табличка, 2 — желтая призма, 3 — темно-желтая призма, 4 — среднее из 5 анализов. 5—6 — анализы ассоциирующих нарсарсукита-I и -II соответственно, 7 — среднее из 7 анализов нарсарсукита-II, 8 — нарсарсукит из кварцевой жилы, 9 — среднее из 4 анализов, точка В. И. Герасимовского, 10 — среднее из 6 анализов магнезиоарфведсонита, 11 — среднее из 6 анализов асбестовидного эгрина, 12 — анализ щелочного Mn—Fe-силиката (фаза 4-1).

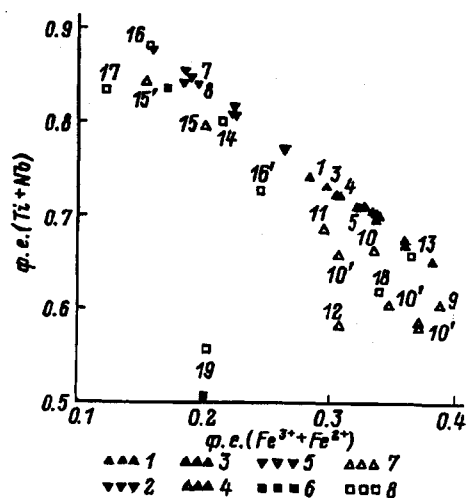
стехиометрической $A_3B_4^{2+}C^{3+} [Si_8O_{22}] (OH, F)_2$. Подобные высокощелочные амфиболы отмечались в контактовых образованиях ряда щелочных массивов (Шлюкова, 1986). Состав асбестовидного эгрина приближается к теоретическому — $(Na_{1.08}Ca_{0.01})_{1.09}(Fe_{0.93}Mg_{0.03}Mn_{0.01})_{0.97} [Si_{1.99}O_6]$.

Традиционно принципиальным для номенклатуры нарсарсукита считается соотношение Ti и Fe³⁺ в октаэдрической позиции В. Выделяется ряд Ti-нарсарсукит $Na_8(Ti_{3.5}Fe_{0.5})_4Si_{16}O_{43.5}F_{0.5}$ —Fe-нарсарсукит $Na_8(Ti_{2.5}Fe_{1.5})_4Si_{16}O_{42.5}F_{1.5}$, обусловленный изоморфным замещением по схеме $Ti^{4+}O^{2-} \rightarrow Fe^{3+}F^-$ (Семенов, 1969; Chao, 1967). Изоморфные замещения $Ti^{4+} \rightarrow Nb^{5+}OH^-$ и $Ti^{4+}O^{2-} \rightarrow TR^{3+}F^-$ имеют подчиненное значение. До недавнего времени недооценивалась роль изовалентного замещения по схеме $Ti^{4+} \rightarrow Zr^{4+}$, однако целенаправленное определение содержаний циркония в нарсарсукитах из многих месторождений (Wagner e. a., 1991) и ряд находок, богатых цирконием,

Рис. 3. Состав нарсарсукита в координатах ф. е. $Ti + Nb$ —ф. е. $Fe^{3+} + Fe^{2+}$

Fig. 3. Composition of narsarsukite within coordinates $(Ti + Nb)$ and Fe_{sum} (% at).

1—6 — нарсарсукиты Ловозера: 1 — г. Флора, нарсарсукит-I; т. 1 (табл. 2, ан. 1), точки 2—6 (табл. 3, анализы 1—5 соответственно), 2 — г. Флора, нарсарсукит-II; т. 7—8 (табл. 3, ан. 6—7 соответственно), 3 — г. Флора, жила А. И. Леднева (табл. 3, ан. 8), 4 — г. Флора, точка Герасимовского (табл. 3, ан. 9), 5 — гора Вавибеде (табл. 2, ан. 3), 6 — г. Карнасурт (табл. 2, ан. 4), 7 — нарсарсукиты прочих проявлений: т. 9 — Илъямуссак (табл. 2, ан. 5), т. 10 — Нарсарсук (Bogild, 1953), т. 11 — Турый Мыс (Евдокимов, 1975), т. 12 — Сен-Илер (Radjasekagan, 1966), т. 13 — Игдлуталик, среднее из 7 микрозондовых анализов центральных частей кристаллов, т. 14 — Игдлуталик, то же краевых частей (Upton e. a., 1976), т. 15 — Сентрасс Хилаз (Монтана) (Graham, 1935), т. 16 — Сен-Илер (Шао, 1967), т. 17 — Хибины (Хомяков, 1990), т. 18 — Гуре (Суван) (Wagner e. a., 1991), т. 19 — циркониевая разновидность из Сирва (Марокко) (Wagner e. a., 1991). Треугольниками обозначены проявления, связанные с контактными образованиями, квадратиками — с интрузивными породами и пегматитами, штрих означает, что анализ взят из (Wagner e. a., 1991).



нарсарсукитов (Хомяков, 1990; Wagner e. a., 1991) показали истинный масштаб развития этого процесса, приводя-

щего порой к образованию циркониевой разновидности минерала $Na_8(Ti_2ZrFe)_4 \cdot Si_{16}O_{43}F$.

Поскольку сопоставление анализов напрямую не вполне удобно, на рис. 3 все известные в литературе и полученные нами составы нарсарсукитов нанесены на график в координатах ФК Ti ($Ti + Nb$)—ФК Fe ($Fe^{3+} + Fe^{2+}$). Для удобства сравнения микрозондовых и химических анализов последние пересчитывались на «сухой остаток», затем все анализы нормализовались. Расчет формульных коэффициентов производился катионным методом исходя из суммы катионов группы В, равной 4.

На рис. 3 ясно видны линейная зависимость, обусловленная основной схемой изоморфизма, и две области сгущения точек, соответствующие полям Ti - и Fe -нарсарсукита. Отклонение точек от прямой 1—1 отражает степень изоморфного замещения титана цирконием, алюминием и редкоземельными элементами, а железа — марганцем и магнием. Изученный нами нарсарсукит-I (т. 1—5) является промежуточным умеренно железистым членом ряда, в этом смысле он близок нарсарсукиту жилы А. И. Леднева (рис. 3, т. 3) и фенитизированных песчаников Турьего мыса (рис. 3, т. 11). Нарсарсукит-II является титанистым членом ряда (наблюдались содержания TiO_2 до 18.20 %), его средний состав (рис. 3, т. 8) близок Ti -нарсарсукиту Игдлуталика и Монтаны (рис. 3, т. 14 и 15 соответственно).

Исходя из данного химического анализа нарсарсукит альбититов горы Флора (табл. 2, ан. 2) должен был бы быть исключительно титанистым, чему противоречат его оптические свойства ($n_e = 1.627$). Вместе с тем одновременное вхождение в состав 19 % TiO_2 и 10 % Fe_2O_3 сильно искажает стехиометрию его формулы ($A_7B_6Si_{14}O_{44}$ вместо $A_4B_2Si_{16}O_{44}$). Полученные нами анализы (табл. 3, ан. 9) удовлетворительно пересчитываются на формулу нормального вида, согласно которой данный минерал является железистым членом ряда (рис. 3, т. 4), близким минералу Нарсарсука (рис. 3, т. 10), что подчеркивается близостью их оптических характеристик.

Таким образом, с известной долей вероятности мы можем утверждать, что нарсарсукит-I возник в результате метасоматической переработки ксенолита девонских песчаников. Этот процесс происходил в условиях умеренной

активности щелочей и летучих, иначе возникали бы более железистые разности минерала (Семенов, 1969). Толчком для образования нарсарсукита-II, по-видимому, послужила перекристаллизация породы, сопровождавшаяся замещением щелочного магнезиоарфведсонита (0.58—0.10 мас.% TiO_2) эгирином (0.00—0.17 мас.% TiO_2), что привело к локальному обогащению минералообразующей среды титаном и магнием. Другим источником избыточного титана могло послужить выщелачивание нарсарсукита-I с частичной фиксацией железа в эгирине. Эти процессы протекали на фоне общего понижения температуры системы и связанного с ним повышения активности кислорода. В литературе описаны случаи обростания ранних железистых разностей нарсарсукита поздними более титанистыми (Тихоненков, Тихоненкова, 1962; Upton e. a., 1976; Horvath, Gault, 1990), однако в данном случае мы встретились с принципиально иным примером метасоматического замещения с образованием оригинальных автопсевдоморфоз.

Ранее уже отмечалось присутствие в Ловозере обеих разновидностей нарсарсукита (Семенов, 1969; Семенов, 1972), однако это утверждение было недостаточно аргументировано. Использовать оптические данные для выделения разновидностей следует с большей осторожностью: так, показатели преломления нашего нарсарсукита-I ($n_e = 1.642$) и нарсарсукита Турьего мыса ($n_e = 1.650$) более соответствуют титановой разновидности, хотя их составы лежат в поле Fe-нарсарсукита. Нами комплексом методов доказано присутствие в пределах Ловозерского массива широкого спектра разновидностей нарсарсукита, в том числе железистых членов ряда.

Список литературы

- Белянкин Д. С., Влодавец В. И. Нарсарсукит на Турьем мысу // Докл. АН СССР. 1949. Т. 67. № 1. С. 133—134.
- Булах А. Г. Руководство и таблицы для расчета формул минералов. М.: Недра, 1967. С. 144.
- Буссен Н. В., Гойко Е. А., Кульчицкая Е. А., Меньшиков Ю. П., Мерьков А. И. Голубой нарсарсукит Ловозерского массива // Минералы и минеральные парагенезисы горных пород Кольского п-ова. Апатиты, 1981. С. 84—86.
- Власов К. А., Кузьменко М. В., Еськова Е. М. Ловозерский щелочной массив. М.: Изд. АН СССР, 1959. С. 623.
- Евдокимов М. Д. Минеральные парагенезисы регрессивного этапа в фенитах Турьего полуострова // Минералогия и геохимия. Л., 1975. № 5. С. 22—33.
- Конев А. А., Воробьев Е. И., Сапожников А. И. Стронцийсодержащий агреллит из района Мурунского щелочного массива // Минер. журн. 1987. Т. 9. № 3. С. 73—79.
- Лабунцов А. Н. О кристаллах нарсарсукита // Вопросы петрографии минералогии. 1958. Т. 2. С. 48—50.
- Лазарев А. И. Колебательные спектры и строение силикатов. М.: Наука, 1968. С. 347.
- Минеев Д. А. Геохимия апогранитов и редкометалльных метасоматитов Северо-Западного Тарбагатая. М.: Наука, 1968. С. 184.
- Минералы / Под ред. Ф. В. Чухрова. М.: Наука, 1981. Вып. III. Т. 3. С. 398.
- Поваренных А. С., Лебедева Л. Д. Твердость некоторых редких минералов, определенная микровдавливанием, ч. 2 // Конституция и св-ва минералов. 1971. № 5. С. 39—46.
- Поваренных А. С., Меньшиков Ю. П. О казаковите из Хибин и ИК-спектрах титано- и цирконосиликатов // Геологический журнал. 1977. Т. 37. № 2. С. 115—120.
- Семенов Е. И. Минералогия щелочного массива Илимауссак. М.: Наука, 1969. С. 165.
- Семенов Е. И. Минералогия Ловозерского щелочного массива. М.: Наука, 1972. С. 307.
- Тихоненков И. Н., Тихоненкова Р. П. К минералогии контактной зоны Ловозерского массива // Тр. ИМГРЭ. 1962. Вып. 9. С. 22—23.
- Хомяков А. П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. С. 196.
- Шлюкова З. В. Минералогия контактовых образований Хибинского массива. М.: Наука, 1986. С. 96.
- Vogt O. B. The mineralogy of Greenland // Medd. om Gronland, 1953. Bd 149. N 3. P. 318—319.
- Brooks C. K., Engell J., Larsen M., Pedersen A. K. Mineralogy of the Werner Bjerge alkaline complex, East Greenland // Medd. om Gronland, Geoscience 7, 1982. P 1—35.

- Chao G. Y. Leucophanite, elpidite and narsarsukite from the Desourdy quarry, Mont st. Hilaire, Quebec // *Can. miner.* 1967. Vol. 9. Pt. 2. P. 286—287.
- Graham W. A. P. An occurrence of narsarsukite in Montana // *Amer. miner.* 1935. Vol. 20. N 8. P. 598—601.
- Horvath L., Gault R. A. The mineralogy of Mont Saint Hilaire, Quebec // *Miner. Record.* 1990. Vol. 21. N 4. P. 284—368.
- Jeremine E., Christophe-Michel-Levy M. Un nouveau gisement de narsarsukite // *Bull. Soc. fran. miner. crist.* 1961. T. 84. N 2. P. 191—194.
- Radjasekaran K. C. Narsarsukite from Mont st. Hilaire, Quebec, Canada // *Can. miner.* 1966. Vol. 8. Pt. 4. P. 506—514.
- Saxbo P. C. A short comment on some Norwegian mineral deposits within the igneous rock complex of the Oslo region // *Norsk. Geol. Tidsskrift.* 1966. Vol. 46. P. 260—261.
- Stewart D. B. Narsarsukite from the Sage Creek, Sweetgrass Hills, Montana // *Amer. miner.* 1959. Vol. 44. N 3—4. P. 265—273.
- Upton B. C., Macdonald R., Hill P. C., Jefferies B., Ford C. E. Narsarsukite: a new occurrence in peralkaline trachite, South Greenland // *Miner. Mag.* 1976. Vol. 40. N 315. P. 737—746.
- Wagner C., Parodi G. C., Semet M., Robert J.-L., Berrahma M., Velle D. Crystal chemistry of narsarsukite // *Eur. J. Mineral.* 1991. Vol. 3. P. 575—585.

Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН
Москва

Поступила в редакцию
6 октября 1993 г.

УДК 549.623.54.01 : 552.321.1

© ЗВМО, № 4, 1994 г.

Н. И. ПОНОМАРЕВА, д. чл. И. А. ЖУКОВА, В. В. БУТОРИН

ОБ УСЛОВИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ ЛИТИЕВО-ЖЕЛЕЗИСТЫХ СЛЮД В РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ГРАНИТОИДАХ

N. I. PONOMAREVA, I. A. ZHUKOVA, V. V. BUTORIN. ABOUT CONDITIONS OF THE
Li—Fe MICAS FORMATION IN RARE-METAL GRANITOIDS

On the base of chemical thermodynamic data, effect of the silicic acid activity varieties upon the stability of Li-Fe micas under temperature 500—300 °C and 1 kbar pressure was studied. It is shown that zinnwaldite is presented in the mineral associations with low activity of silicic acid (less than 10^{-3}). An increase of the acid activity makes stable such the micas as protolithionite, lepidolith and cryophyllite (respectively, with pH decrease).

Ранее (Пономарева и др., 1993) были рассмотрены условия образования лепидолита, протолитионита, циннвальдита в гранитных пегматитах. Анализ минеральных равновесий показал, что эволюция состава слюд отражает изменение температуры, активностей ионов лития, железа, фугитивности фтора, кислотности—щелочности среды минералообразования. Однако вариации активности кремнекислоты не учитывались, кремнезем при этом рассматривался как избыточный компонент, что, по-видимому, допустимо для гранитных пегматитов. В настоящем сообщении на основе методов расчетной термодинамики оценено влияние изменения активности кремнекислоты на устойчивость слюд (лепидолита, криофиллита, протолитионита, циннвальдита) в редкометалльных гранитоидах с учетом возможного участия в реакциях минералообразования как пневматолитовой фазы, так и водных растворов.

Анализ минеральных равновесий производился для 500—300 °C, $P_{\text{общ}} = 1$ кбар с использованием известных методов химической термодинамики (Николаев, Доливо-Добровольский, 1961; Доливо-Добровольский, 1965; Булах, 1968; Гаррелс, Крайст, 1968; Булах, Кривовичев, 1985). Расчеты выполнены на ЭВМ с помощью программы, написанной на языке Turbo-Pascal 6.0. Термодинамические константы слюд вычислены по методам, предложенным разными исследователями (Ермолаев, 1966; Наумов и др., 1971; Говоров, 1979).