

- данные о минералах СССР. М.: Наука, 1969, вып. 19.
13. Цветков А.И., Вальяшихина Е.П., Пилюян Г.О. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов. М.: Наука, 1964.
 14. Буссен И.В., Ганнибал Л.Ф., Гойко Е.А. и др. Ильмайокиит — новый минерал из Ловозерских тундр. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1972, сеп. П, ч. 101, вып. 1.
 15. Мерьков А.Н., Буссен И.В., Гойко Е.А. и др. Раит и зорит — новые минералы из Ловозерских тундр. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, 1973, сеп. П, ч. 102, вып. 1.
 16. Еськова Е.М., Семенов Е.И., Хомяков А.П. и др. Лапландит — новый минерал. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1974, ч. 103, вып. 5.
 17. Еськова Е.М., Семенов Е.И., Хомяков А.П. и др. Сажинит — новый силикат натрия и редких земель. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1974, ч. 103, вып. 3.
 18. Хомяков А.П., Купцов В.В., Щепочкина Н.И. и др. Явление сверхбыстрого гидролиза ультращелочных титано- и цирконосиликатов. Экспериментальная проверка. — ДАН СССР, 1978, т. 243, № 4.
 19. Капустин Ю.Л., Пудовкина З.П., Быкова А.В. Цирсиналит — новый минерал. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1974, ч. 103, вып. 5.
 20. Минералогия Хибинского массива. М.: Наука, 1978, т. 2.
 21. Дорфман М.Д., Абрашев К.К. О гипергенном фосфате натрия в Хибинском массиве нефелиновых сиенитов. — В кн.: Минералы СССР. Изд-во АН СССР, 1963, вып. 14.
 22. Дорфман М.Д., Бурова Т.А. Гипергенный барит в Хибинском щелочном массиве. — В кн.: Минералы СССР, 1963, вып. 14.
 23. Борнеман-Старынкевич И.Д. О химической природе мурманита. — В кн.: Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. — В кн.: Сб. посвящен акад. А.Е. Ферсману. М.: Изд-во АН СССР, 1946.

УДК 549.091.5 (549.221)

Е. М. ЕСЬКОВА, С. И. ЛЕБЕДЕВА, Л. С. ДУБАКИНА

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УРАЛЬСКОМ БАОТИТЕ

Баотит — очень редкий титано-ниобосиликат бария, содержащий хлор и имеющий оригинальную структуру из четырех колец кремнекислородных тетраэдров [1], известен в настоящее время в трех месторождениях мира (Байюнь-Обо, КНР; Равали Каунти, США; Урал, СССР). В Советском Союзе баотит был впервые обнаружен А.Ф. Ефимовым и Е.М. Еськовой в щелочно-базальтоидных метасоматитах западного склона Урала, но из-за ограниченных количеств материала диагностирован лишь рентгеноструктурно и оптически [2].

Проведенные авторами настоящей статьи дополнительные исследования уральского баотита показали, что он по физическим и оптическим свойствам занимает промежуточное положение между китайским [3] и монтанским [4] баотитом (табл. 1, 2). Зерна минерала размером 0,2–0,5 мм, запрессованные и отполированные в брикете, изучались в отраженном свете с темнопольным приспособлением при увеличениях до $500\times$. Было установлено, что большинство зерен имеет микронеоднородное строение: наблюдается повсеместное замещение по спайности прозрачных бесцветных зерен первичного баотита мутной полупрозрачной разновидностью бурого цвета; обе разновидности различаются и по микротвердости. Микротвердость неизмененного прозрачного баотита, измеренная на приборе ПМТ-3, находится в пределах 681–797 кгс/мм², средние значения $H_{ср1} = 682$ и $H_{ср2} = 761$; вычисленный по формуле [5] коэффициент анизотропии твердости 2-го рода $K_{H_2} = \frac{H_{max}}{H_{min}} = 1,12$, нагрузки $P = 50, 70, 100$ гс. В бурых разновидностях баотита установлена более низкая микротвердость: 644–712 кгс/мм², $H_{ср1} = 650$ и $H_{ср2} = 711$ кгс/мм².

Первичный баотит, образующий отдельные бесцветные кристаллики, а чаще — участки и зоны, сохранившиеся во вторичном баотите, имеет подчиненное распространение; вторичный бурый баотит метасоматически развивается по первичному и преобладает.

Химический состав обеих разновидностей уральского баотита, а также характер распределения в них главных элементов (Si, Ti, Nb, Ba и Cl) исследовались с помощью электронно-рентгеновского микроанализатора УХА-3А фирмы "YEOU" при напряжении 20 кВ и силе тока 20 (табл. 3). Эталонами для количественного микроанализа Si, Nb и Ti служили чистые металлы, а для Ba — химически чистый кристалл барита. Расчет концентраций проводился методом гипотетического состава по Боровскому и Рьднику [6]. Аналитическими линиями являлись: K_{α_1} — при определении Si, L_{α_1} — при определении содержаний Nb, K_{β_1} — при определении содержаний Ti и L_{β_1} — при определении бария. Учитывались поправки только на "атомный номер" и "поглощение".

Таблица 1

Сравнительная характеристика баотита различных парагенетических ассоциаций

Свойства	Урал, СССР [2]	Монтана, США [4]	Баюнь-Обо, КНР [3]
Тип образования	Участки карбонатизации в микроклинитах и эгирин-полевошпатовых апокарбонатных метасоматитах	Карбонатные жилы карбонатитовой формации в докембрийских роговообманковых гнейсах	Кварцевые жилы в связи с граносиенитами в кварцитах
Минеральная ассоциация	Кальцит, сидерофиллит, барит, монацит, пандиаит, бербанкит, бастнезит, анкилит и (пирит, галенит, сфалерит)	Кальцит, барит, доломит, кварц, биотит, ортит, анкилит, колумбит, эшинит, монацит, ферсмит	Эгирин, щелочной амфимит, альбит, пирит, галенит
Форма выделения	Призматически-тетрагональные кристаллы до 0,5 мм	Изометрично-призматические кристаллы до 4 мм	Изометричные выделения до 10 мм
Структура	—	—	Тетрагон. с. $C_{4h}^6 - 14^{1/0}$
$a_0, \text{Å}$	19,70	19,68	19,20
$c_0, \text{Å}$	5,89	5,88	5,98
$c_0 : a_0$	1 : 0,299	1 : 0,299	1 : 0,312
Цвет	От бесцветного до серовато-бурого	Черный	Светло-коричневый до черного
Микротвердость	681–797 (бесцветный); 644–712 (бурый)	—	769
Удельный вес	4,61–4,65	4,71	4,42
Оптическая характеристика	Одноосный (+)	Одноосный (+)	Одноосный (+)
Плеохроизм	Светло-бурый, зеленовато-желтый (<i>Ne</i>) и почти бесцветный (<i>No</i>)	Темно-красно-коричневый, черный (<i>Ne</i>) и коричневый (<i>No</i>)	Черно-коричневый (<i>Ne</i>) до зеленовато-желтого, почти бесцветного (<i>No</i>)
<i>Ne</i>	2,12	2,00	2,16
<i>No</i>	1,98	1,94	1,94
<i>Ne–No</i>	0,14	0,06	0,22

Таблица 2

Межплоскостные расстояния (в Å) баотита из различных типов щелочных комплексов

<i>nkl</i>	Урал, СССР		Монтана, США		Баюнь-Обо, КНР	
	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
101	40	5,94	—	—	—	—
—	—	—	2	5,685	—	—
—	—	—	1	4,995	—	—
400	500	4,53	—	—	—	—
321	60	4,11	50	4,023	—	—
411	—	—	4	3,739	—	—
440	60	3,58	90	3,516	90	3,56
431	40	3,35	70	3,298	30	3,35
521	90	3,17	100	3,138	60	3,18
611	—	—	4	2,909	—	—
202	80	2,89	70	2,854	80	2,89
222	—	—	5	2,752	50	2,78
631	40	2,67	30	2,693	30	2,70
800	100	2,51	30	2,503	—	—
—	—	—	3	2,463	—	—
422	30	2,35	—	—	—	—
602	100	2,24	90	2,234	80	2,24
642	50	2,05	40	2,091	30	2,04
732	50	1,965	40	1,982	40	2,00
213	—	—	35	1,944	30	1,963
802	—	—	20	1,913	—	—

Таблица 2 (окончание)

hkl	Урал, СССР		Монтана, США		Баюнь-Обо, КНР		
	I	d	I	d	I	d	
—	—	—	20	1,872	—	—	
322	40	1,826	—	—	20	1,832	
842	—	—	45	1,792	—	—	
523	70	1,767	95	1,763	60	1,779	
613	50	1,716	80	1,705	50	1,720	
445	40	1,663	30	1,665	—	—	
862	—	—	5	1,549	—	—	
763	40	1,477	50	1,448	—	—	
424	—	—	50	1,422	—	—	
604	40	1,364	80	1,371	—	—	
624	—	—	90	1,351	40	1,361	
644	70	1,336	100	1,334	100	1,340	
804	30	1,301	80	1,295	—	—	
—	40	0,980	—	—	50	0,982	
—	20	0,916	—	—	40	0,939	
—	20	0,858	—	—	—	—	
—	30	0,833	—	—	50	0,835	
Аналитик Р.А. Александрова			—			Н.Г. Баталиева	
Литературный источник		[2]	[4]		[3]		

Таблица 3

Химический состав баотита (вес. %)

Компонент	Урал, СССР (микронзондовые анализы)					Баюнь-Обо, КНР		Монтана, США	
	1	Атомные количества	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	14,7	0,2446	14,7	14,8	12,7	14,3	14,17	13,20	12,00
TiO ₂	36,7	4593	32,2	26,7	27,7	32,8	29,33	33,65	Не опр.
Nb ₂ O ₅	7,3	550	7,9	12,5	12,0	13,3	11,55	10,80	"
Ta ₂ O ₅ *	Не обн.	—	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не опр.	Не опр.	"
Fe ₂ O ₃	"	—	"	"	"	"	3,07	1,75	"
Al ₂ O ₃	"	—	"	"	"	"	1,62	Сл.	"
Cr ₂ O ₃	"	—	"	"	"	"	0,05	Не опр.	"
MgO	"	—	"	"	"	"	0,20	"	"
CaO	"	—	"	"	"	"	0,41	"	"
BaO	39,1	2549	37,0	34,6	30,7	41,4	37,55	38,60	"
K ₂ O	Не опр.	—	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,13	Не опр.	"
Na ₂ O	"	—	"	"	"	"	0,20	"	"
H ₂ O	"	—	"	"	"	"	0,52	"	"
Cl**	2,25	637	"	"	"	"	2,01	2,17	0,40
	(выч.)								
Сумма	100,05		91,8	88,6	83,1	101,8	100,76	100,17	—
-O=Cl ₂	0,52	—	—	—	—	—	0,45	0,50	—
	99,53	—	—	—	—	—	100,31	99,67	—
Литературный источник	Материал авторов					[3]		[4]	

* Остальные элементы, начиная с магния в периодической системе Менделеева, не обнаружены при чувствительности микроанализа ~ 0,0n%.

** Присутствие Cl установлено лишь качественно (см. рис. 2); содержание получено расчетным путем пропорционально количеству бария по формуле Ba₄(Ti, Nb)₄Si₂O₂₄Cl.

Примечание. 1 — прозрачное неизмененное зерно первичного баотита; 2 — прозрачные участки первичного баотита в частично измененных зернах; 3 — нацело измененное зерно вторичного баотита; 4, 5 — бурые мутные зоны и участки в частично измененных зернах первичного баотита.

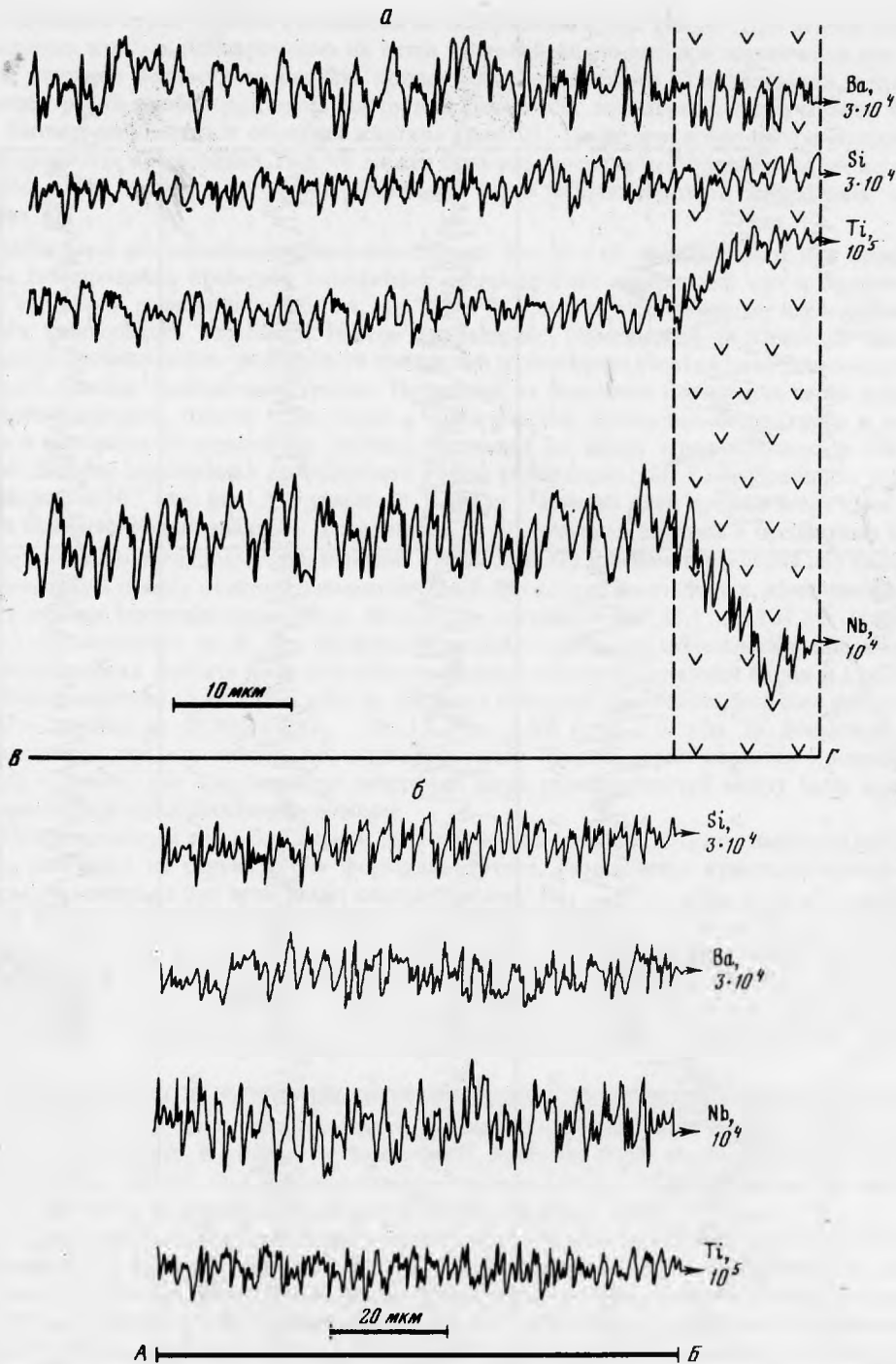


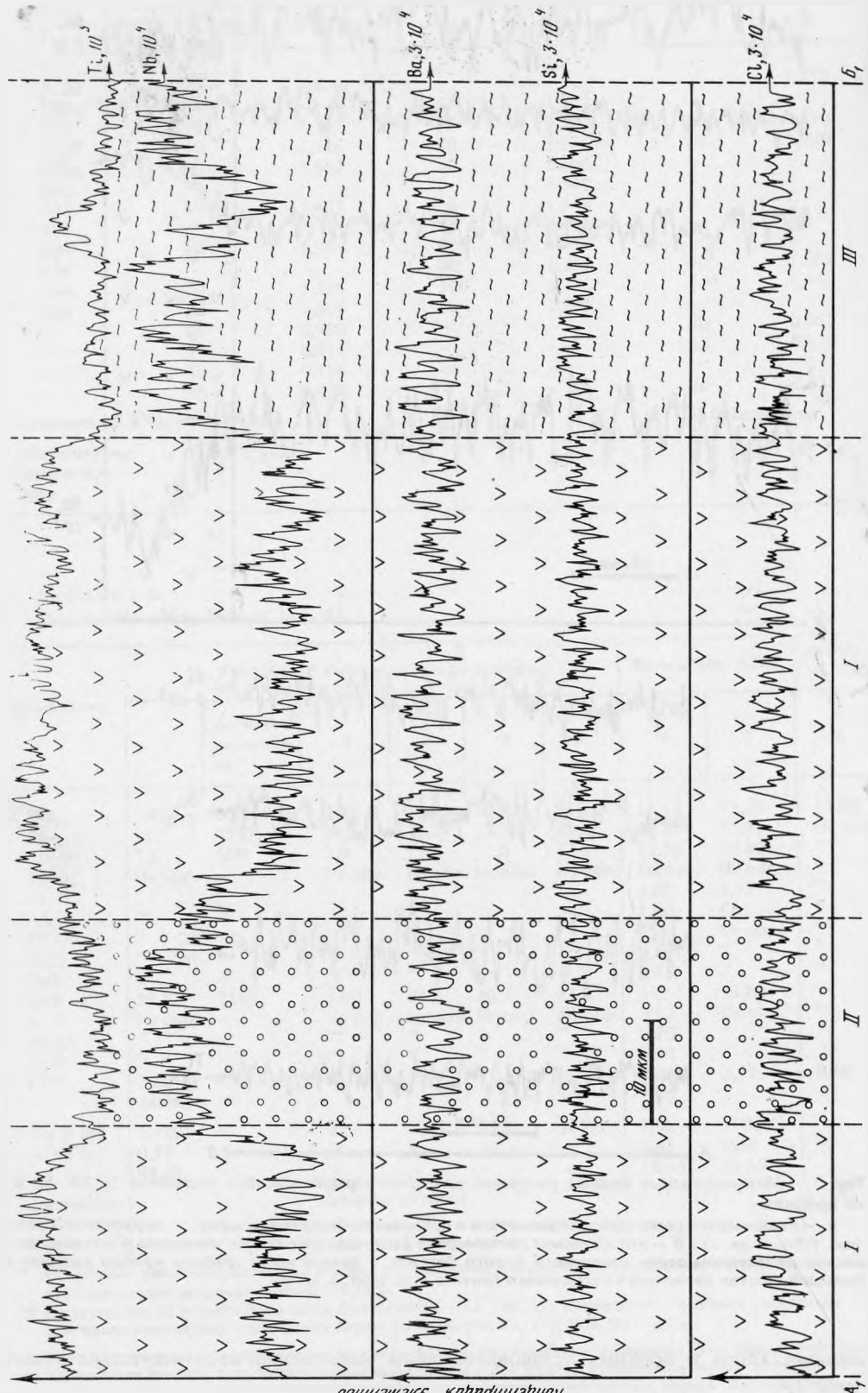
Рис. 1. Микрозондовые кривые распределения концентраций главных элементов Si, Nb, Ba и Ti по профилям

a — равномерное распределение элементов в прозрачном бесцветном зерне первичного баотита (см. табл. 3, ан. 1); *б* — относительно равномерное распределение тех же элементов в мутном, почти нацело измененном зерне вторичного бурого баотита. В правой части графика крпном выделен небольшой участок первичного бесцветного баотита (см. табл. 3, ан. 3)

Наличие хлора в образцах установлено лишь качественно из-за отсутствия эталона (рис. 2).

Сканирование различных по цвету зерен под электронным зондом при пересечении их в различных профильных направлениях показало, что две разновидности баотита —

Концентрация элементов



I II III I I

бесцветная и бурая — четко отличаются по содержанию в них Ti и Nb. При записи микрозондовых кривых одновременно на титан и ниобий видно, что при пересечении под зондом участков бесцветного баотита концентрационная кривая Ti повышается, а кривая концентраций ниобия при этом синхронно снижается; при пересечении участков бурого баотита наблюдается обратная картина (рис. 2). Такая зеркально-противоположная синхронность в поведении Ti и Nb может быть рассмотрена как подтверждение изоморфизма этой пары элементов, довольно часто наблюдаемого в природных минералах [7].

Остальные составляющие элементы баотита Ba, Si и Cl обнаруживают при профильном сканировании примерно одинаковое распределение содержаний как в бесцветной, так и в бурой разновидностях (см. рис. 1, б и 2). Однако в большинстве исследованных зерен наблюдалось настолько тонкое проращение (замещение) бесцветного баотита бурой разновидностью, что выделить полностью однородные участки даже для микрозондового анализа было весьма трудно. Например, из большого количества зерен удалось проанализировать только одно зерно и один участок полностью бесцветного и химически однородного первичного баотита. Основная же масса зерен оказалась в той или иной степени замещенная по спайности бурой разновидностью с образованием тонких "микросмесей" (см. рис. 2, 3 участок). В связи с этим из пяти приведенных нами полных микрозондовых анализов, основанных на 30 точечных замерах в бесцветных и бурых зернах баотита, только один анализ (табл. 3, ан. 1) в бесцветном зерне дал удовлетворительную сумму окислов элементов 97,8% без хлора; в остальных, измененных зернах, суммы проанализированных элементов составили от 83,1 до 101,8% (табл. 3, ан. 2–5). Несмотря на то, что профильное сканирование, как отмечалось выше, в обеих разновидностях баотита показало примерно одинаковые содержания бария и кремния, точечные анализы на Ba и Si в этих же участках показали достаточно большие разбросы: BaO — от 34,6 до 41,4%, а SiO₂ — от 12,7 до 14,8% (рис. 2 и табл. 3). Возможно, это объясняется тем, что каждое проанализированное "бурое" зерно является однородным лишь условно, так как размеры микрофаз двух разновидностей могут быть меньше разрешающей способности микрозонда.

Микрозондовый ан. 1 бесцветной разновидности (см. табл. 3), как наиболее полный, был рассчитан на структурную формулу баотита. Развернутая кристаллохимическая формула минерала при этом имеет следующий вид: Ba_{3,96}(Ti_{7,14}Nb_{0,86})₈Si_{3,80}O₂₂Cl (при V = 8,0). Сравнивая этот анализ с анализами зарубежных баотитов (см. табл. 3), можно отметить, что в уральском бесцветном образце установлены наибольшие количества титана (36,7%TiO₂) и наименьшие — ниобия (7,3%Nb₂O₅), барий и кремний обнаруживают довольно близкие с ними содержания; в уральском бесцветном баотите не обнаружено элементов-примесей при чувствительности микроанализа ~ 0,0л — 0,л%.

Таким образом, по составу данный образец является крайним титановым членом намечающегося Ti–Nb ряда разновидностей баотита. Изученные нами бурые разновидности вторичного баотита, в отличие от первичного, содержат более высокие количества ниобия (12,0–13,3% Nb₂O₅) и более низкие — титана (26,7 – 32,8%TiO₂), что приближает их по составу к зарубежным образцам из Баюнь-Обо (см. табл. 3).

Баотит является типоморфным минералом карбонатизированных участков эгирин-полевошпатовых апоглинисто-карбонатных метасоматитов [8], где ассоциирует с кальцитом, сульфидами, минералами редких земель и бария (бастнезитом, бербанкитом, анкилитом, баритом и др.). Ассоциация уральского баотита близка к ассоциации баотита из Монтаны. Возможно, что уральский первичный баотит образовался в более раннюю стадию щелочного метасоматоза (альбитизацию), а при карбонатизации он превращался во вторичный бурый баотит.

Рис. 2. Микрозондовые кривые распределения концентраций главных элементов Si, Ba, Nb, Ti и Cl по профилю А₁–Б, через частично измененное зерно баотита

I — неизменные участки бесцветного первичного баотита (см. табл. 3, ан. 2); II — участок бурого вторичного баотита (см. табл. 3, ан. 4); III — "микросмесь" — тонкие проращения вторичной бурой разновидности по первичному бесцветному баотиту

ЛИТЕРАТУРА

1. *Симонов В.И.* Баотит—минерал с метасиликатными кольцами $[Si_4O_{12}]$. — Кристаллография, 1960, т. 5, вып. 4.
2. *Ефимов А.Ф., Еськова Е.М.* Минералогия щелочных метасоматитов Западного склона Урала. — В кн.: Новые данные по геологии, минералогии и геохимии щелочных пород. М.: Наука, 1973.
3. *Семшов Е.И., Дун-Вен-син, Капитонова Т.А.* О новом ниобиевом минерале баотите. — Докл. АН СССР, 1961, т. 136, № 4.
4. *Heinrich H.W., Bayer W.H., Crowley F.A.* Baotite from Ravalli counti, Montana. — Amer. Miner., 1962, vol. 47, N 78.
5. *Лебедева С.И.* Микротвердость минералов. М.: Недра, 1977.
6. *Боровский И.Б., Рыдник В.И.* К методике количественного локального рентгеноспектрального анализа. — Заводская лаборат., 1967, № 8.
7. *Пятенко Ю.Я., Воронков А.А., Пудовкина З.В.* Минералогическая кристаллохимия титана. М.: Наука, 1976.
8. *Еськова Е.М.* Щелочные редкометалльные метасоматиты Урала. М.: Наука, 1976.

УДК 549.531

Ю.Л. КАПУСТИН

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ РИНКОЛИТА ИЗ НЕФЕЛИН-СИЕНИТОВЫХ МАССИВОВ ТУВЫ

В Восточной Туве известно около 30 отдельных щелочных массивов площадью от 1 до 40 км², множество полей щелочных даек и проявлений интенсивной фенитизации с появлением фельдшпатоидов. Почти все массивы сложены типичными миаскитовыми породами, с коэффициентом агпаитности ≤ 1 . В качестве основных темноцветных минералов в них присутствуют биотит, гастингсит и геденбергит, реже — эгирин-геденбергит и лепидомелан. Однако в наиболее крупных штоках нефелиновых сиенитов или вблизи от них известны мелкие тела типичных фойяитов, пегматитовые жилы и метасоматиты с эгирином и арфведсонитом или лепидомеланом. Коэффициент агпаитности фойяитов и таких пегматитов — 1,1–1,3, а в меланократовых биотит-эгириновых метасоматитах, бедных полевыми шпатами, он достигает 2–3 при содержании (%) Na_2O — до 6, K_2O — 0,5–2 и Al_2O_3 — 2–4.

На примере тувинских массивов наглядно иллюстрируется влияние коэффициента агпаитности на состав редкометальной минерализации. Этот фактор, на который постоянно обращал внимание исследователей академик А.Е. Ферсман, является решающим в распределении редкометальной минерализации и полностью определяет минеральные формы таких типоморфных для щелочных пород металлов, так Ti, Zr, TR и в меньшей степени — Sr, Nb и Ta. При коэффициенте агпаитности пород < 1 в них встречаются акцессорные минералы: сфен, циркон, пирохлор, ильменит; при коэффициенте агпаитности > 1 акцессорные минералы: эвдиалит, ринколит, лампрофиллит, нептунит, лопарит, катаплеит, вадеит. В породах с коэффициентом агпаитности ~ 1 часто присутствуют и те и другие минералы, но встречаются также астрофиллит, велерит, ловенит, гетценит, лейкофан и бритолит [1].

Ринколит встречен в фойяитах Коргеретабинского и Дугдинского массивов, нефелин-сиенитовых пегматитах, альбититах и биотит-эгириновых метасоматитах. Пегматиты и альбититы с акцессорным ринколитом находят вне массивов (Коргеретаба, Пичехоль, Дугду), среди вмещающих сланцев и известняков, или внутри массивов (Пичехоль, Сайлык, Тарбагатай). Биотит-эгириновые метасоматиты развиты только среди вмещающих слюдястых сланцев, обогащенных графитом, пиритом и ильменитом (Дугду).

В пегматитах ринколит образует три генерации. Ринколит I генерации встречен в краевых зонах жильных и шпировых пегматитов (Коргеретаба) вместе с первичными породообразующими минералами—микроклином, нефелином, эгирином и арфведсонитом и акцессорными минералами — эвдиалитом, астрофиллитом или ловенитом. Этот ринколит образует характерные шестоватые или шестовато-улощенные кристаллы размером до 5x0,5x0,2 мм, врастающие в прочие минералы. Кристаллы ринколита с неровной поверхностью, без концевых граней, прозрачны и чисты.

Ринколит II генерации встречается в центральных зонах пегматитов в ассоциации с анальцимом, содалитом, катаплеитом и образует вытянуто-пластинчатые выделения размером до 1x0,5x0,2 см. Ринколит III генерации обнаружен в альбитизированных участках пегматитов и образует в массе пластинчатого или сахаровидного альбита от-
112