

Е. В. СВЕШНИКОВА, Т. А. БУРОВА

**МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ ВЁЛЕРИТА И ТИТАН-РОЗЕНБУШИТ
ИЗ НЕФЕЛИНОВЫХ СИЕНИТОВ ЗААНГАРЬЯ**

Нефелиновые сиениты Заангарья (Свешникова, 1965) наряду с другими аксессуарными примесями (сфен, флюорит, апатит) содержат минералы группы вёлерита. Среди них при микроскопических исследованиях нами установлены вёлерит, ловенит, их титанистые разновидности, а также титан-розенбушит. Эти минералы относятся к цирконосиликатам с общей формулой $(\text{Na}, \text{Ca})_3(\text{Zr}, \text{Ti}, \text{Nb})\text{Si}_2\text{O}_7(\text{O}, \text{OH}, \text{F})_2$ (Мамедов и др., 1959). Они отличаются друг от друга по внешнему виду, оптическим свойствам и химическому составу. Приведем краткие характеристики каждого из минералов, а затем — сравнительные данные для всех этих разновидностей, отличающие их от аналогичных минералов, встречающихся в других регионах.

Вёлерит распространен в микроклинизированных разностях нефелиновых сиенитов. Он образует мелкие сноповидные или спутанно-волокнистые сростки, расположенные между табличками микроклина (рис. 1, а). Размеры кристалликов небольшие: в длину 0,1—2 мм, в поперечнике 0,01—0,1 мм. Сингония моноклиновая. Форма кристалликов призматическая с ромбическим сечением, грани головки наблюдать не удалось (рис. 1, б); гониометрические измерения вследствие малых размеров и неровных поверх-

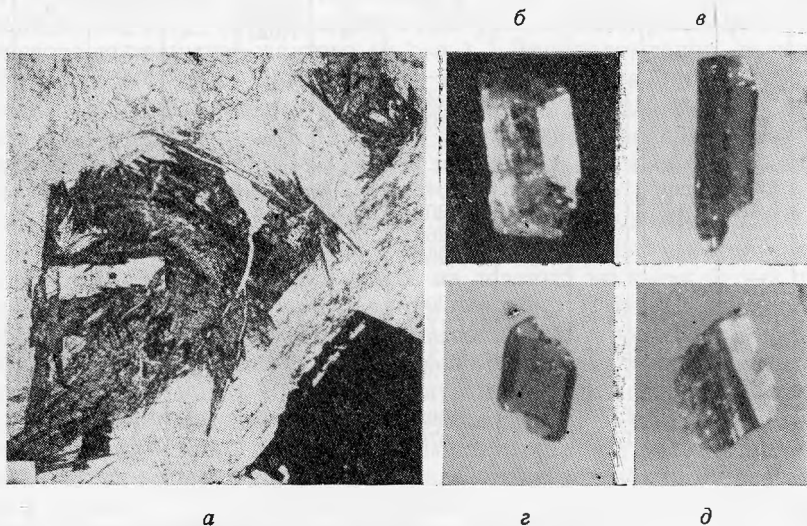


Рис. 1. Формы кристалликов и их сростков

а — сростки вёлерита в промежутках между табличками микроклина в нефелиновом сиените. Увел. 20; б — белый вёлерит. Увел. 35; в — бурый ловенит. Увел. 35; г — оранжево-коричневый титан-ловенит. Увел. 35; д — розово-бурый титан-розенбушит. Увел. 35

Таблица 1

Межплоскостные расстояния минералов группы вёлерита из Заангарья

Вёлерит (1) (не прокален)		Вёлерит (1) (прокален при 800°C в течение 30 мин)		Титан-вёлерит (2) (прокален при 800°C в течение 30 мин)		Ловенит (3) (прокален при 800°C в течение 2 час)		Титан-ловенит (4) (не прокален)		Титан-розенбу- шит (5) (прокален при 800°C в течение 1 час)	
<i>I</i>	d_{α}	<i>I</i>	d_{α}	<i>I</i>	d_{α}	<i>I</i>	d_{α}	<i>I</i>	d_{α}	<i>I</i>	d_{α}
—	—	1	4,48	2	4,43	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	4	4,20	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	5	2,98	2	3,94	—	—
2	3,54	3	3,57	6	3,54	3	3,52	2	3,55	—	—
1	3,37	—	—	—	—	1	3,33	—	—	—	—
6	3,20	7	3,23	9	3,21	8	3,21	9	3,21	9	3,28
—	—	1	3,05	—	—	1	3,07	—	—	4	3,07
7	2,94	9	2,94	9	2,95	10	2,89	9	2,87	10	2,98
10	2,81	10	2,81	10	2,82	10	2,82	10	2,81	10	2,85
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	2,64
3	2,47	4	2,48	6	2,48	3	2,48	1	2,44	5	2,48
3	2,40	3	2,40	7	2,40	2	2,42	—	—	3	2,42
—	—	—	—	—	—	3	2,38	2	2,35	—	—
—	—	1	2,29	—	—	1	2,28	2	2,28	—	—
2	2,21	1	2,21	5	2,22	4	2,20	4	2,17	—	—
7	2,00	7	2,01	10	2,00	7	2,01	4	2,01	8	2,02
—	—	—	—	—	—	2	1,970	2	1,970	—	—
—	—	1	1,937	6	1,931	—	—	—	—	—	—
—	—	1	1,894	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1	1,875	—	—
—	—	1	1,853	—	—	—	—	—	—	6	1,832
3	1,812	2	1,817	4	1,820	1	1,817	—	—	—	—
3	1,785	3	1,787	6	1,783	6	1,787	—	—	6	1,800
—	—	—	—	4	1,757	7	1,761	2	1,764	—	—
2	1,745	2	1,754	—	—	6	1,747	8	1,731	—	—
—	—	—	—	—	—	2	1,716	—	—	—	—
9	1,677	9	1,680	10	1,687	7	1,690	8	1,690	9	1,690
—	—	—	—	—	—	6	1,649	7	1,629	—	—
3	1,581	3	1,581	6	1,585	5	1,578	—	—	—	—
9	1,527	9	1,528	10	1,525	3	1,558	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	3	1,538	1	1,533	9	1,537
—	—	—	—	—	—	4	1,522	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1	1,512	—	—
4	1,447	3	1,442	5	1,447	2	1,497	3	1,480	—	—
—	—	4	1,406	7	1,406	2	1,430	1	1,423	—	—
5	1,400	—	—	—	—	2	1,410	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2	1,396	—	—	—	—
3	1,349	2шр	1,349	6	1,348	3	1,375	3	1,384	—	—
1	1,315	1	1,315	3	1,309	1	1,351	2	1,359	—	—
1	1,267	1	1,267	3	1,266	—	—	—	—	—	—
4	1,239	3	1,236	5	1,237	3	1,241	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2	1,224	—	—	—	—
1	1,200	2	1,200	5	1,200	1	1,199	—	—	—	—
4	1,174	3	1,175	5	1,175	2	1,184	—	—	—	—
2	1,147	3	1,144	7	1,147	—	—	—	—	—	—
2	1,130	3	1,130	7	1,130	—	—	—	—	—	—
—	—	3	1,117	7	1,114	—	—	—	—	—	—
2	1,096	2	1,093	5	1,093	—	—	—	—	—	—
2	1,082	3	1,079	5	1,079	—	—	—	—	—	—

ностей граней не производились. Минерал бледно-желтый или белый, полупрозрачный до прозрачного, в шлифе бесцветный, твердость 5—6, спайность незаметна, блеск стеклянный, удельный вес 3,316. Оптические свойства: отрицательный, двухосный ($2V = -75^\circ$), удлинение отрицательное, $c:n_p \sim 20^\circ$, $n_g = 1,725$, $n_p = 1,712$.

Дебаеграмма вёлерита (табл. 1) сопоставлялась с эталонной (норвежский вёлерит; Семенов и др., 1958). Выяснилась их полная аналогия. В химическом составе вёлерита (табл. 2) кроме общих для группы минералов элементов заметную роль играет ниобий; встречается примесь редких земель (1,12% в окислах). В шлифах вёлерит обычно свежий или имеет очень тонкую более рыхлую корочку, которая в шлифе непрозрачна (тонкозернистый изотропный агрегат).

В эндоконтактной зоне массива нефелиновых сиенитов обнаружена кремово-желтая титанистая разность вёлерита. По размерам и форме кристалликов, а также по физическим и оптическим свойствам она идентична вышеописанному вёлериту, а близость их заметна при сравнении дебаеграмм (см. табл. 1). Удельный вес 3,20; химический состав титан-вёлерита отличается высоким содержанием окиси титана (10,49%) при пониженном окиси циркония (см. табл. 2).

Ловенит — обычный акцессорный минерал нефелиновых сиенитов Заангарья, не затронутых послемагматическими преобразованиями. Он рассеян в виде мелких одиночных кристалликов (рис. 1, в) того же размера, что и вёлерит, а также волокнистых сростков. Цвет бурый или желтовато-бурый, полупрозрачный, блеск стеклянный, излом неровный, твердость 5—6, удельный вес 3,445, моноклинный. Оптические свойства: двухосный, отрицательный ($2V = -80^\circ$), удлинение отрицательное, $c:n_p \sim 20^\circ$, $n_g = 1,726—1,730$, $n_p = 1,698—1,710$ (рис. 2, а), слабый плеохроизм в желтых тонах. Иногда заметно полисинтетическое двойникование кристалликов параллельно их удлинению. Дебаеграммы заангарского ловенита (прокаленного при 800°C) и ловозерского (Семенов и др., 1958) весьма сходны.

Химический состав ловенита обычен (см. табл. 2), но он содержит больше марганца и железа, чем вёлерит. Заметно повышенное содержание кремнезема (34,09%, в ловозерском 30,94%) и пониженное кальция.

Кроме ловенита, обычного акцессорного минерала нефелиновых сиенитов Заангарья, здесь встречен также титан-ловенит, мелкие оранжево-коричневые кристаллики которого (рис. 1, г) рассеяны в нефелиновых сиенитах вблизи жил щелочных пегматитов. Минерал прозрачный, блеск яркий стеклянный, излом неровный, твердость 5—6, удельный вес 3,442. Титан-ловенит также оптически двухосен ($2V = -80^\circ$), удлинение отрицательное, $c:n_p = 20^\circ$, обладает очень резким плеохроизмом от темно-коричневого до оранжево-желтого ($n_g > n_p$). Двупреломление высокое: $n_g = 1,807$, $n_p = 1,741$ (рис. 2, б). Иногда наблюдаются двойники, причем двойниковые швы параллельны удлинению. Дебаеграммы титан-ловенита и ловенита очень близки (см. табл. 1). В составе титан-ловенита большую роль играет окись титана (15,78%), в нем также больше ниобия и меньше циркония, чем в обычном ловените.

Титан-розенбушит рассеян в прикровлевых ийолитах массива, а также совместно с вёлеритом в эндоконтактной части нефелин-сиенитового массива. Внешне минерал похож на ловенит, но имеет бурый цвет с розоватым оттенком; мелкие кристаллики его (рис. 1, д) полупрозрачные со стеклянным блеском, удельный вес невысокий (2,984—2,958). В шлифе (рис. 2, в) заметен слабый плеохроизм в розовато-желтых тонах; показатели преломления заметно ниже, чем у ловенита и вёлерита ($n_g = 1,675$, $n_p = 1,657$). Минерал триклинной сингонии, двухосный ($2V = +80^\circ$), удлинение отрицательное, $c:n_p = 8—10^\circ$. Дебаеграммы титан-розенбушита и норвежского розенбушита весьма близки. В составе титан-розенбушита заметна роль окиси титана (7,77—9,08) при пониженном содержании окиси циркония. Характерно также повышенное количество кальция ($\text{Ca}:\text{Na} = 1,6—1$). Отмечается примесь окислов редкоземельных элементов и урана.

Сравнение минералов группы вёлерита из Заангарья показывает близость форм их выделения и физических свойств, за исключением удельного веса. Оптические свойства минералов (плеохроизм, показатели преломления)

Химический состав минералов группы вёлерита и титан-розенбушита из Заангарья

Компоненты	Вёлерит (1)		Титан-вёлерит (2), вес. %	Ловенит (3)		Титан-ловенит (4)		Титан-розенбушит (5)		Титан-розенбушит (6), мес. %
	вес. %	атомн. отно- шения		вес. %	атомн. отно- шения	вес. %	атомн. отно- шения	вес. %	атомн. отно- шения	
SiO ₂	31,92	5316	—	34,09	5676	33,40	5561	34,65	5769	—
TiO ₂	2,07	0259	10,49	3,05	0382	15,78	1975	7,77	0973	9,08
Al ₂ O ₃	1,41	0276	—	0,40	0078	0,36	0070	0,36	0070	—
Fe ₂ O ₃	0,67	0084	2,25	3,15	0394	3,31	0414	1,03	0130	2,43
FeO	—	—	—	—	—	Нет	—	Нет	—	Нет
MnO	1,66	0234	0,63	7,93	1118	12,31	1736	2,27	0320	0,94
MgO	Следы	—	—	0,53	0132	0,42	0104	0,61	0051	—
CaO	24,97	4274	—	9,84	1755	14,05	2505	23,24	4144	—
Na ₂ O	7,99	2578	—	10,76	3472	9,48	3058	8,06	2600	—
K ₂ O	0,78	0166	—	0,23	0048	0,30	0064	2,91	0618	—
H ₂ O-	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O+	0,67	0744	—	0,63	0700	0,30	0334	0,23	0256	—
TR ₂ O ₃	1,12	0060	—	Нет	—	Нет	—	1,37	1522	—
ZrO ₂	16,35	1327	7,75	24,69	2005	3,21	0261	0,93	0058	—
Nb ₂ O ₅	8,35	0630	3,15	1,87	0200	4,05	0440	11,72	0952	13,35
Ta ₂ O ₅	0,73	0030	0,33	0,18	0020	0,24	0008	1,40	0150	1,47
PbO	0,06	0003	—	—	—	—	—	0,14	0008	0,62
SrO	0,07	0007	—	0,92	0089	0,39	0038	—	—	—
F	1,99	1047	—	3,48	1832	4,05	2132	0,32	0031	—
Сумма за вычетом F ₂ =O	99,97	—	—	100,29	—	100,32	—	99,49*	—	—

* В том числе U₃O₈ 0,07%.

весьма специфичны для каждого из минералов. Различия химического состава (см. табл. 2) заключаются в содержании марганца и железа, кальция и натрия, циркония и ниобия, фтора. Титанистые разности отличаются высоким содержанием окиси титана. Из примесей постоянно присутствуют редкоземельные окислы (существенно церий-неодимового состава — 70—80% от общего количества), а также тантала и стронция.

Пересчет химических составов минералов на структурную формулу выявил заметную дефектность структур вёлерита: $A_{2,98}B_{1,02}Si_{2,14}O_{7,28} \times (O, OH, F)$ и ловенита: $A_{2,89}B_{1,11}Si_{2,34}O_{7,68} (O, OH, F)$. Менее дефектна структурная формула титан-розенбушита: $A_{2,98}B_{1,00}Si_2O_{7,00} (O, OH, F)_{2,00}$. В. И. Симонов (Симонов, Белов, 1960) предполагает наличие в структуре ловенита постоянного избыточного кремнезема и, кроме того, некоторое искажение структуры за счет крупных катионов кальция, находящихся в одной позиции с марганцем и железом. Намечается изоморфизм титана и циркония, а также $ZrF \rightarrow NbO$ (например, в вёлерите гораздо меньше фтора и циркония при повышенном содержании ниобия, см. табл. 2).

Описываемые заангарские минералы сопоставлялись с норвежскими, ловозерскими (Семенов и др., 1958) и тувинскими аналогами (Кудрина

* A-Ca, Na, Mn, K, Fe, TR, Mg, Sr; B-Zr, Nb, Ti, Al.



Рис. 2. Минералы в шлифах

а — ловенит. Увел. 30; *б* — титан-ловенит. Увел. 46; *в* — титан-розенбушит с вростками эгрина. Увел. 30

и др., 1965; Тихоненков, Казакова, 1962). Выяснилась близость заангарских вёлерита и розенбушита к норвежским и тувинским образцам. Ловенит и титан-ловенит Заангарья отличаются от норвежского и ловозерского минералов обогаченностью марганцем и максимальным содержанием титана в титан-ловените (15,78%). Заангарские ловениты в отличие от тувинских (Кудрина и др., 1965) не содержат редкоземельных элементов.

Литература

- Кудрина М. А., Кудрин В. С., Сидоренко Г. А., Дорофеева К. А. О ловените, содержащем редкоземельные элементы. — Новые данные о минералах СССР, вып. 16. Изд-во «Наука», 1965.
- Мамедов Х. С., Симонов В. И., Белов Н. В. О группах вёлерита—ловенита и ринкита—мозандрита. — Докл. АН СССР, 1959, 126, № 2.
- Семенов Е. И., Казакова М. Е., Симонов В. И. Новый циркониевый минерал сейдозерит и другие минералы группы вёлерита в щелочных пегматитах. — Записки Всес. мин. об-ва, 1958, серия 2, ч. 88, вып. 5.
- Тихоненков И. П., Казакова М. Е. Вёлерит из щелочных пегматитов Восточного Саяна. — Труды ИМГРЭ, 1962, вып. 9.
- Свешникова Е. В. Нефелин-сенитовый комплекс Заангарья (Енисейский кряж). — В кн. «Щелочной магматизм складчатого обрамления юга Сибирской платформы». Изд-во «Наука», 1965.
- Симонов В. И., Белов Н. В. Кристаллическая структура ловенита. — Докл. АН СССР, 1960, 130, № 6.