

Исходя из общего правила номенклатуры всех минералов, членов бинарных рядов твердых растворов, к синхизиту следует относить составы $TR_{Ce} > Y + TR_Y$, а к довериту $Y + TR_Y > TR_{Ce}$. Рассмотрение имеющихся к настоящему времени данных также позволяет надежно отличить паризит и минералы ряда синхизит—доверит (табл. 1). Рентгенограммы паризита и синхизита очень похожи, но визуальное сравнение рентгенограмм, полученных фотометодом, позволяет очень легко их различить. По цифровым данным эти различия не столь очевидны, в том числе и из-за обычного плохого качества рентгенограмм. Только интенсивные отражения 3,24 и 3,00 синхизита отличаются от сходных слабых линий паризита. На рентгенограмме кристалла паризита из Мюзо, кроме того, обнаружена индивидуальная сильная линия 4,15 Å неясной природы, отсутствующая на рентгенограмме синхизита.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Flink G.* On the minerals from Narsarsuk on Firth of Tunugdii arfik in South Greenland. — Medd. Grønland, 1901, vol. 24.
2. *Roberts W.L.* et al. Encyclopedia of Minerals, 1974.
3. *Ofstedal J.* Über Parisit, Synchisit und Kordilit. Röntgenographische Untersuchungen. — Ztschr. Kristallogr., 1931, 79.
4. *Söhnge P.G.* The structure, one genesis and mineral sequense of the cassiterite in the Zaai-plaats Tin mine, Potgietersrust District, Transvaal. — Trans. Geol. Surv. South Africa, 1944, vol. 47.
5. *Pecora W.T.* Carbonatites. — Bull. Geol. Surv. Amer., 1956, vol. 67, N 11.
6. *Dyckey F.* et al. The Chilwa series of Southern Nyasaland. — Nyasaland Geol. Surv., Bull., 1955, vol. 5.
7. *Garson M.S.* The Tundulu carbonatite ring complex of Southern Nyasaland. — Mem. Malawi Geol. Surv., 1963, vol. 2.
8. *Parker R.L., Branderberger E.* Notiz über den Synchisit von Val Nalps. — Schweiz. miner. und petrogr. Mitt., 1946, vol. 26, Hf. 1.
9. *Iitaka Y., Stalder H.A.* Synchisit und Bastnäsit aus dem Druckschach: des Krafwerkes Oberaart. — Ibid., 1961, vol. 26, Hf. 2.
10. *Weibel M.* Scheelit und Synchisit aus dem Tavetsch. — Ibid., 1964, vol. 44, Hf. 1.
11. *Fray A.* Synchisit aus dem Unterwallis. — Ibid., 1977, vol. 4, Hf. 5.
12. *Stalder H.A.* et al. Die Mineralien des Binnentalen. 1978.
13. *Donney G., Donney J.* The Crystallography of bastnesite, parisite, roentgenite and synchisite. — Amer. Miner., 1953, N 11—12.
14. *Lozinski J.* Synchisite from fossil bones. — Miner. Pol., 1971 (1973), N 2.
15. *Семенов Е.И.* О возможном новом фторкарбонате редких земель. — Тр. ИМГРЭ, 1959, вып. 2.
16. *Гуров Е.П., Гурова Е.П.* Иттросинхизит из камерных пегматитов. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, 1975, вып. 24.
17. *Минеев Д.А.* Лантаноиды в рудах. М.: Наука, 1974.
18. *Александрова И.Т., Сидоренко Г.А.* Фазовые превращения иттросинхизита при термической обработке. — Рентгенография мин. сырья. 1977, № 11.
19. *Хомяков А.П., Семенов Е.И.* Гидротермальные месторождения фторкарбонатов редких земель. М.: Наука, 1971.
20. *Костылева Е.Е.* и др. Минералогия Хибинского массива. М.: Наука, 1978, т. 2.
21. *Джамалетдинов Н.К.* О находке синхизита в гранитоидах Западного Узбекистана. — Зап. Узб. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, 1978, № 31.
22. *Дэна Дж.* и др. Система минералогии. 1953, т. 2, полуготом 1.
23. *Ларсен Е., Берман Г.* Определение прозрачных минералов под микроскопом. 1937.
24. *Винчелл А.Н., Винчелл Г.* Оптическая минералогия. М.: Изд-во иностр. лит., 1953.
25. *Van Landuite J., Amelinckx S.* Multiple beam direct Lattice inaging of new mixed-layer compounds of bastnesite-synchisite series. — Amer. Miner., 1975, vol. 60, N 5/6.
26. *Levinson A.A., Borup R.A.* Doverite from Cotopaxi, Colorado. — Ibid., 1962, vol. 47, N 3/4.
27. *Smith W.L., Stone J., Ross D.R., Levine H.* Doverite, a possible new fluocarbonate from Dover, Morris County, New Jersey. — Ibid., 1960, vol. 45, N 1—2.

УДК 549.612

В.Г. ФЕКЛИЧЕВ, Т.Н. ИВАНОВА, Г.Е. ЧЕРЕПИВСКАЯ,
И.Б. НИКИТИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОСТАВ—СВОЙСТВА У МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ТУРМАЛИНА

Исследованию зависимостей между составом и физическими свойствами у минералов группы турмалина посвящено огромное количество работ, анализ которых показал, что в группе турмалина в целом зависимости между химическим составом и химическими свойствами не могут быть выражены простыми графиками, за исключением, пожалуй, магнитной восприимчивости, хорошо коррелирующей с содержанием суммар-

Т а б л и ц а 1

Типы важнейших минералов в группе турмалина

Название минерала	Химическая формула (атомы распределены по позициям в кристаллической структуре)							
	X	Y	Z	B	Si	O	ОН, О	ОН, F
Безнатровый дравит	H	Mg ₃	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)
Безнатровый шерл	H	Fe ₃	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)
Дравит	Na	Mg ₃	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)
Шерл	Na	Fe ₃ ³⁺	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)
Увит	Ca	Mg ₃	Al ₃ Mg	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(F, ОН)
Тсилаизит	Na	Mn ₃	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(F, ОН)
Эльбаит	Na	Al _{1,68} Li _{1,32}	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) _{2,64} O _{0,36}	(F, ОН)
Лиддиокотит	Ca	Li _{1,74} Al _{1,26}	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) _{2,48} O _{0,52}	(F, ОН)
Fe ³⁺ -турмалин	Na	Mg ₃	Fe ₆ ³⁺	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)
Бюргерит	Na	Fe ³⁺	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7} O ₃		(ОН, F)
Хром-турмалин (Y)	Na	Cr ₃ ³⁺	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7} O ₃		(ОН, F)
Ванадий-турмалин (Y)	Na	V ₃ ³⁺	Al ₆	B ₃	Si ₆	O _{2,7} O ₃		(ОН, F)
Хромтурмалин (Z)	Na	Mg ₃ или (Fe ₃ ²⁺)	Cr ₆ ³⁺	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)
Ванадий-турмалин (Z)	Na	Mg ₃ или (Fe ₃ ²⁺)	V ₆ ³⁺	B ₃	Si ₆	O _{2,7}	(ОН) ₃	(ОН, F)

ного железа [1]¹. Все это объясняется необычным многообразием атомов и их позиций в сложной структуре турмалина.

Указанное обстоятельство позволяет использовать в качестве математической модели зависимостей состав-свойства систему уравнений множественной регрессии. Для этой модели необходимо было отобрать возможный минимум связываемых химических компонентов и физических констант.

В настоящее время в группе турмалина мы можем выделить 14 наиболее важных минералов (табл. 1). Из них безнатровые дравит и шерл получены искусственно [3]. Шерл, дравит, эльбаит, лиддиокотит, увит, бюргерит, тсилаизит встречаются в природе почти в чистом виде или получены искусственно [4–19].

Выделенный как особый турмалиновый минерал магнодравит [20] содержит 6 групп ОН в формуле, что плохо согласуется со структурой турмалина.

Природный турмалин типа "ferric iron" содержит до 25% соответствующего минерала [21, 22]. В. Кунитц [4] выделил минерал тсилаизит, хотя минимальное содержание MnO в турмалинах достигает 8,21% [4, 8, 23–26]. Искусственно тсилаизит был получен недавно [11, 14].

Высокие содержания хрома (минимально до 10,86% Cr₂O₃) отмечались в магнетиальных турмалинах неоднократно [27–30]. Относительно высокие содержания Al в них позволяют считать структуру соответствующего конечного члена близкой к бюргериту, хотя последние исследования [13] показали, что хром может располагаться и в позиции Z, замещая Al. Соответствующий конечный член должен иметь структуру дравита. Природа искусственного хромового турмалина [14] требует уточнения. Аналогичная ситуация и с ванадиевыми турмалинами, содержание V₂O₃ в которых может достигать 5,76% [29, 32–34]. Здесь также прежде всего обосновывается минерал со структурой бюргерита, но не исключается и минерал со структурой дравита. Cr и V также могут входить в позицию Z турмалинов типа "ferric iron", как это считает В.А. Корнетова [13], замещая Fe³⁺.

Описаны в литературе турмалины с повышенным содержанием никеля [30], цинка [22, 35–37], свинца [22, 38]. По-видимому, все эти атомы замещают Mg или Fe²⁺ в позиции Y, однако от выделения соответствующих минералов мы пока воздержимся, так как не ясна преобладающая структура, в которую они предпочтительнее входят. Еще менее ясна ситуация с турмалином, содержащим повышенное количество титана — до 3,81% TiO₂ [8].

¹ Установленное в работе [2] универсальное значение рентгеновского отражения {2132}, величина которого одновременно связана прямой зависимостью с содержанием алюминия и щелочей, прямой зависимостью — с содержанием марганца в эльбаитах, и обратной зависимостью — с содержанием марганца в шерлитах, требует подтверждения на большем количестве образцов.

Т а б л и ц а 2

Химический состав турмалинов и их пересчет на химическую формулу разными способами

Компо- нент	Увит № 3475 [13]				Дравит № 59296				Шерло-дравит № БО-2			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SiO ₂	36,20	0,60248	6,178	6,070	38,63	0,64292	6,276	6,131	35,71	0,594	5,945	5,834
TiO ₂	0,34	0,00425	0,044	0,043	0,40	0,00501	0,049	0,048	0,89	0,011	0,111	0,109
Al ₂ O ₃	25,25	0,49529	5,079	4,990	35,08	0,68881	6,718	6,569	32,44	0,636	6,365	6,246
Fe ₂ O ₃	5,32	0,06663	0,683	0,671	0,42	0,00526	0,051	0,050	2,87	0,036	0,359	0,353
FeO	4,66	0,06486	0,665	0,654	0,30	0,00418	0,041	0,040	3,21	0,047	0,447	0,439
MnO	0,01	0,00014	0,001	0,001	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—
MgO	10,01	0,24832	2,546	2,502	10,12	0,25105	2,451	2,394	8,81	0,219	2,186	2,145
CaO	5,33	0,09504	0,975	0,958	1,64	0,02924	0,285	0,279	1,73	0,031	0,308	0,303
Na ₂ O	0,36	0,01162	0,119	0,117	2,37	0,07648	0,747	0,729	2,40	0,077	0,774	0,760
K ₂ O	0,18	0,00382	0,039	0,039	0,36	0,00764	0,075	0,073	0,38	0,008	0,081	0,079
H ₂ O ⁻	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—	0,12	—	—	—
H ₂ O ⁺	1,99	0,22092	2,265	2,226	2,81	0,31196	3,045	2,975	2,59	0,288	2,876	2,823
Li ₂ O	Не опр.	—	—	—	0,0047	0,00031	0,003	0,003	0,09	0,006	0,060	0,059
F	0,23	0,01211	0,124	0,122	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—
B ₂ O ₃	10,12	0,29072	2,981	2,929	8,34	0,23959	2,339	2,285	9,33	0,268	2,681	2,631
Cs ₂ O	Не опр.	—	—	—	0,0068	0,00005	—	—	Нет	—	—	—
Rb ₂ O	Не опр.	—	—	—	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—
С у м м а	100,00				100,48				100,38			
O=F ₂	0,09				0,00				0,00			
С у м м а	99,91				100,48				100,38			
Аналитик	М.Е. Казакова, И.Б. Никитина				Г.Е. Черепивская				Г.Е. Черепивская			
П р и м е ч а н и е.	Графы: 1 -- вес. %; 2 -- атомное количество; 3 -- пересчет на 31 (O, OH, F); 4 -- пересчет по Хью.											

Т а б л и ц а 2 (продолжение)

Компо- нент	Шерло-дравит Ша-1				Дравито-шерл № 113				Дравито-шерл № 67-1-69			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SiO ₂	34,86	0,58018	5,922	5,705	36,51	0,60764	6,092	6,025	38,82	0,64609	6,049	6,254
TiO ₂	0,71	0,00889	0,091	0,087	0,91	0,01139	0,114	0,113	0,45	0,00563	0,055	0,055
Al ₂ O ₃	30,24	0,59317	6,055	5,833	33,64	0,65986	6,616	6,542	34,85	0,68359	6,748	6,618
Fe ₂ O ₃	5,69	0,07126	0,728	0,701	5,27	0,06600	0,662	0,654	0,69	0,00864	0,085	0,084
FeO	4,16	0,05790	0,591	0,569	4,21	0,05860	0,588	0,581	7,83	0,10898	1,076	1,055
MnO	He обн.	—	—	—	0,05	0,00070	0,007	0,007	0,04	0,00056	0,006	0,005
MgO	8,96	0,22227	2,269	2,186	4,29	0,10642	1,067	1,055	3,43	0,08509	0,840	0,824
CaO	1,28	0,02282	0,233	0,224	1,28	0,02282	0,229	0,226	0,60	0,01070	0,106	0,104
Na ₂ O	2,87	0,09261	0,945	0,911	2,12	0,06841	0,686	0,678	1,39	0,04485	0,442	0,434
K ₂ O	0,38	0,00807	0,083	0,079	0,47	0,00998	0,100	0,099	0,98	0,02081	0,205	0,201
H ₂ O ⁻	0,08	—	—	—	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—
H ₂ O ⁺	2,31	0,25645	2,617	2,522	2,66	0,29530	2,961	2,928	3,02	0,33527	3,310	3,246
Li ₂ O	Нет	—	—	—	0,0047	0,00031	0,003	0,003	0,005	0,00033	0,003	0,003
F	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—	0,10	0,00526	0,052	0,051
B ₂ O ₃	9,94	0,28555	2,621	2,808	9,17	0,26343	2,641	2,612	10,66	0,30623	3,023	2,964
Cs ₂ O	Нет	—	—	—	0,0068	0,00005	—	—	Нет	—	—	—
Rb ₂ O	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—
С у м м а	100,48				100,39				100,91			
O=F ₂	0,00				0,00				0,04			
С у м м а	100,48				100,39				100,87			
Аналитик	Г.Е. Черепивская				Г.Е. Черепивская				К.И. Каширцева, 0,04 вес. % P ₂ O ₅			

Т а б л и ц а 2 (продолжение)

Компо- нент	Шерл № Мо-3				Шерл № 99-Г-69				Шерл № ЮЖ-1				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
SiO ₂	36,09	0,60065	6,164	5,953	36,44	0,57319	6,138	5,718	36,90	0,61413	6,244	6,133	
TiO ₂	0,37	0,00463	0,047	0,046	0,47	0,00589	0,060	0,059	0,32	0,00401	0,041	0,040	
Al ₂ O ₃	33,16	0,65044	6,675	6,446	33,11	0,64946	6,573	6,479	30,25	0,59336	6,033	5,925	
Fe ₂ O ₃	7,38	0,09243	0,948	0,916	0,62	0,00776	0,079	0,077	0,12	0,00150	0,015	0,015	
FeO	6,29	0,08755	0,898	0,868	10,79	0,15018	1,520	1,498	11,91	0,16577	1,686	1,655	
MnO	0,82	0,01156	0,118	0,115	0,12	0,00169	0,017	0,017	0,53	0,00747	0,076	0,075	
MgO	0,88	0,02183	0,224	0,216	2,63	0,06524	0,660	0,651	2,95	0,07318	0,744	0,731	
CaO	1,24	0,02211	0,227	0,219	0,45	0,00802	0,081	0,080	0,52	0,00927	0,095	0,093	
Na ₂ O	2,46	0,07938	0,814	0,787	1,74	0,05615	0,568	0,560	1,77	0,05712	0,581	0,570	
K ₂ O	0,26	0,00552	0,056	0,055	0,76	0,01614	0,163	0,161	0,29	0,00616	0,063	0,061	
H ₂ O ⁻	0,11	—	—	—	Нет	—	—	—	0,48	—	—	—	
H ₂ O ⁺	2,34	0,25978	2,665	2,574	3,01	0,33416	3,382	3,334	2,69	0,29863	3,036	2,982	
Li ₂ O	0,24	0,01607	0,164	0,159	0,006	0,00040	0,004	0,004	0,0053	0,00035	0,004	0,004	
F	0,38	0,02000	0,205	0,198	0,21	0,01105	0,111	0,110	0,27	0,01421	0,144	0,142	
B ₂ O ₃	8,47	0,24332	2,497	2,411	9,78	0,28095	2,844	2,803	11,05	0,31744	3,227	3,170	
Cs ₂ O	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—	< 0,0005	< 0,0000035	—	—	
Rb ₂ O	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—	0,0008	0,0000085	—	—	
С у м м а	100,49				100,14				100,05				
O=F ₂	0,16				0,09				0,11				
С у м м а	100,33				100,05				99,94				
Аналитик		Г.Е. Черепивская					К.И. Каширцева				И.Б. Никитина, С.И. Вронская (щелочи)		

Т а б л и ц а 2 (продолжение)

Компо- нент	Шерл № Д-1				Fe ³⁺ -турмалин № 51671 [22]				Индиголит № 205			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SiO ₂	40,06	0,66672	6,673	6,849	34,28	0,58218	5,925	5,735	37,64	0,62645	6,241	6,015
TiO ₂	0,84	0,01051	0,105	0,108	2,24	0,02804	0,285	0,276	0,09	0,00113	0,011	0,011
Al ₂ O ₃	28,69	0,56276	5,633	5,781	28,97	0,56826	5,783	5,598	36,76	0,72145	7,183	6,927
Fe ₂ O ₃	2,07	0,02592	0,259	0,266	9,15	0,11460	1,166	1,129	4,53	0,05673	0,565	0,545
FeO	6,93	0,09646	0,965	0,991	0,58	0,00807	0,082	0,080	2,71	0,03772	0,376	0,362
MnO	0,09	0,00127	0,013	0,013	0,14	0,00197	0,020	0,019	0,76	0,01071	0,107	0,103
MgO	5,88	0,14586	1,460	1,498	7,29	0,18084	1,840	1,781	0,31	0,00769	0,076	0,074
CaO	1,40	0,02496	0,250	0,256	1,55	0,02764	0,281	0,272	1,68	0,02996	0,298	0,288
Na ₂ O	1,63	0,05260	0,526	0,540	2,59	0,08358	0,851	0,823	3,11	0,10036	0,999	0,964
K ₂ O	Не опр.	—	—	—	0,33	0,00701	0,071	0,069	0,33	0,00701	0,070	0,067
H ₂ O ⁻	0,23	—	—	—	0,55	—	—	—	0,14	—	—	—
H ₂ O ⁺	3,02	0,33527	3,356	3,444	2,18	0,24202	2,463	2,384	2,29	0,25423	2,532	2,441
Li ₂ O	Нет	—	—	—	Не опр.	—	—	—	0,78	0,05221	0,520	0,501
F	Нет	—	—	—	0,18	0,00947	0,096	0,093	0,29	0,01526	0,151	0,147
B ₂ O ₃	9,34	0,26831	2,685	2,756	9,56	0,27463	2,795	2,705	9,06	0,26027	2,592	2,499
Cs ₂ O	Нет	—	—	—	Не опр.	—	—	—	0,0068	0,00005	—	—
Rb ₂ O	Нет	—	—	—	Не опр.	—	—	—	Нет	—	—	—
С у м м а	100,18								100,49			
O=F ₂	—								0,12			
С у м м а	100,18								100,37			
Аналитик	Т.М. Митюшина				М.Е. Яковлева, Г.А. Осолодкина, В.Б. Данилова				Г.Е. Черпивская			

Таблица 2 (продолжение)

Компонент	Верделито-индиголит № С-101				Верделит № Зе-4				Рубеллит № 206			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SiO ₂	33,90	0,56420	5,667	5,609	36,94	0,61480	6,072	5,855	39,92	0,66439	6,367	6,379
TiO ₂	0,30	0,00375	0,038	0,037	0,26	0,00325	0,032	0,031	Нет	—	—	—
Al ₂ O ₃	34,94	0,68536	6,884	6,814	38,16	0,74852	7,393	7,129	42,03	0,82443	7,900	7,915
Fe ₂ O ₃	0,09	0,00113	0,011	0,011	3,11	0,03895	0,384	0,371	0,31	0,00388	0,036	0,037
FeO	11,22	0,15617	1,569	1,553	2,76	0,03842	0,379	0,366	0,11	0,00153	0,014	0,015
MnO	0,83	0,01170	0,117	0,116	0,65	0,00916	0,091	0,087	0,28	0,00395	0,037	0,038
MgO	0,54	0,01340	0,135	0,133	0,27	0,00670	0,066	0,064	0,23	0,00571	0,055	0,055
CaO	0,60	0,01070	0,107	0,106	1,81	0,03228	0,320	0,307	1,59	0,02835	0,272	0,272
Na ₂ O	2,05	0,06615	0,655	0,658	2,17	0,07002	0,691	0,667	2,55	0,08229	0,789	0,790
K ₂ O	0,40	0,04331	0,085	0,431	0,77	0,01635	0,161	0,156	0,41	0,00870	0,083	0,084
H ₂ O ⁻	< 0,10	—	—	—	0,12	—	—	—	Нет	—	—	—
H ₂ O ⁺	3,24	0,35969	3,613	3,576	2,88	0,31973	3,158	3,045	2,92	0,33194	3,107	3,187
Li ₂ O	0,53	0,03548	0,357	0,353	0,80	0,05355	0,529	0,510	1,19	0,07966	0,763	0,765
F	0,57	0,03000	0,301	0,298	0,29	0,01526	0,151	0,145	0,31	0,01632	0,156	0,157
B ₂ O ₃	11,11	0,31916	3,206	3,173	9,26	0,26601	2,627	2,533	8,56	0,24591	2,356	2,361
Cs ₂ O	< 0,0011	—	—	—	Нет	—	—	—	0,014	0,00010	—	0,001
Rb ₂ O	0,0022	0,00002	—	—	Нет	—	—	—	Нет	—	—	—
Сумма	100,42				100,26				100,42			
O=F ₂	0,28				0,12				0,12			
Сумма	100,14				100,14				100,32			
Аналитик	И.Б. Никитина, С.Н. Вронская (щелочи)				Г.Е. Черепивская				Г.Е. Черепивская			

Таблица 2 (окончание)

Компонент	Рубеллит № 73623				Лиддикватит [17]			
	1	2	3	4	1	2	3	4
SiO ₂	37,41	0,62262	5,994	5,793	37,7	0,62745	6,019	5,957
TiO ₂	0,01	0,00013	—	0,001	0,38	0,00476	0,046	0,045
Al ₂ O ₃	41,92	0,82227	7,916	7,651	37,9	0,74342	7,132	7,058
Fe ₂ O ₃	< 0,01	< 0,00013	—	0,001	—	—	—	—
FeO	0,64	0,00891	0,085	0,083	0,83	0,01155	0,111	0,110
MnO	0,09	0,00127	0,012	0,012	0,27	0,00381	0,037	0,036
MgO	0,40	0,00992	0,095	0,092	0,11	0,00273	0,026	0,026
CaO	1,39	0,02479	0,238	0,231	4,21	0,07507	0,720	0,713
Na ₂ O	1,55	0,05002	0,481	0,465	0,88	0,02840	0,272	0,270
K ₂ O	0,42	0,00892	0,085	0,083	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	0,89	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	2,14	0,23758	2,287	2,211	2,69	0,29863	2,845	2,835
Li ₂ O	1,42	0,09506	0,915	0,884	2,48	0,16601	1,593	1,576
F	0,31	0,01632	0,156	0,152	1,72	0,09053	0,869	0,860
B ₂ O ₃	11,43	0,32835	3,165	3,055	10,89	0,31284	3,001	2,970
Cs ₂ O	< 0,001	< 0,00001	—	—	—	—	—	—
Rb ₂ O	0,0017	0,00002	—	—	—	—	—	—
С у м м а	100,01				100,06			
O=F ₂	0,15				0,72			
С у м м а	99,86				99,34			

Аналитик

И.Б. Никитина, С.И. Вронская (щелочи)

Таблица 3

Химические формулы турмалинов в расчете на 31 (O, OH, F)

№ 3475 (Na_{0,12}K_{0,04}Ca_{0,81})_{1,00}(Ca_{0,13}Mg_{2,55}Fe_{0,28}²⁺Ti_{0,04}³⁺)_{3,00}(Al_{5,08}Fe_{0,38}²⁺Fe_{0,68}³⁺)_{6,14}B_{2,98}Si_{6,18} ×
× (O_{28,61}(OH)_{2,27}F_{0,12})_{31,00}

№ 59296 (Na_{0,75}K_{0,07}Ca_{0,18})_{1,00}(Ca_{0,10}Mg_{2,45}Fe_{0,04}²⁺Fe_{0,05}³⁺Ti_{0,05}³⁺Al_{0,31})_{3,00}Al_{6,00}(B_{2,34}Si_{0,69})_{3,03} ×
× (Si_{5,59}Al_{0,41})_{6,00}(O_{27,95}(OH)_{3,05})_{31,00}

№ Бю-2 (Na_{0,77}K_{0,08}Ca_{0,31})_{1,16}(Mg_{2,19}Fe_{0,45}²⁺Fe_{0,36}³⁺Ti_{0,11}³⁺Li_{0,06}Al_{0,36})_{3,15}Al_{6,00}(B_{2,68}Si_{0,32})_{3,00} ×
× (Si_{5,62}Al_{0,38})_{6,00}(O_{28,12}(OH)_{2,88})_{31,00}

№ Ша-1 (Na_{0,94}K_{0,08})_{1,02}(Ca_{0,23}Mg_{2,27}Fe_{0,59}²⁺Ti_{0,09}³⁺)_{3,18}(Al_{5,27}Fe_{0,73}³⁺)_{6,00}(B_{2,62}Si_{0,38})_{3,00} ×
× (Al_{0,78}Si_{5,54})_{6,32}(O_{28,38}(OH)_{2,62})_{31,00}

№ 113 (Na_{0,69}K_{0,10}Ca_{0,23})_{1,02}(Mg_{1,07}Mn_{0,01}Fe_{0,59}²⁺Fe_{0,66}³⁺Ti_{0,11}³⁺Al_{0,56})_{3,00}Al_{6,00}(B_{2,64}Si_{0,14})_{2,78} ×
× (Si_{5,94}Al_{0,06})_{6,00}(O_{28,04}(OH)_{2,96})_{31,00}

№ 67-Г-69 (Na_{0,44}K_{0,21}Ca_{0,11})_{0,76}(Mg_{0,84}Mn_{0,01}Fe_{1,08}²⁺Fe_{0,08}³⁺Ti_{0,05}³⁺Al_{0,75})_{2,81}Al_{6,00}B_{3,02}Si_{6,05} ×
× (O_{27,64}(OH)_{3,31}F_{0,05})_{31,00}

№ Мо-3 (Na_{0,81}K_{0,06}Ca_{0,13})_{1,00}(Ca_{0,10}Mg_{0,22}Mn_{0,12}Fe_{0,90}²⁺Fe_{0,95}³⁺Ti_{0,05}³⁺Al_{0,50}Li_{0,16})_{3,00}Al_{6,00} ×
× (B_{2,50}Si_{0,34})_{2,84}(Si_{5,82}Al_{0,18})_{6,00}(O_{28,13}(OH)_{2,67}F_{0,20})_{31,00}

№ 99-Г-69 (Na_{0,57}K_{0,16}Ca_{0,08})_{0,71}(Mg_{0,66}Mn_{0,02}Fe_{1,52}²⁺Fe_{0,08}³⁺Ti_{0,06}³⁺Al_{0,57})_{2,91}Al_{6,00}(B_{2,84}Si_{0,14})_{2,98} ×
× Si_{6,00}(O_{27,51}(OH)_{3,38}F_{0,11})_{31,00}

№ ЮЖ-1 (Na_{0,58}K_{0,06})_{0,64}(Ca_{0,09}Mg_{0,74}Mn_{0,08}Fe_{1,69}²⁺Fe_{0,02}³⁺Ti_{0,04}Al_{0,03})_{2,69}Al_{6,00}B_{3,23}Si_{6,24} ×
× (O_{27,82}(OH)_{3,04}F_{0,14})_{31,00}

№ Д-1 (Na_{0,53}Ca_{0,05})_{0,58}(Mg_{1,46}Ca_{0,20}Mn_{0,01}Fe_{0,96}²⁺Ti_{0,11}³⁺)_{2,74}(Al_{5,63}Fe_{0,26}³⁺)_{5,89}(B_{2,69}Si_{0,31})_{3,00} ×
× Si_{6,36}(O_{27,64}(OH)_{3,36})_{31,00}

№ 51671 (Na_{0,85}K_{0,07}Ca_{0,08})_{1,00}(Mg_{1,84}Ca_{0,20}Mn_{0,02}Fe_{0,08}²⁺Fe_{0,66}³⁺Ti_{0,28}³⁺)_{3,08}(Al_{5,49}Fe_{0,51}³⁺)_{6,00} ×
× (B_{2,79}Si_{0,21})_{3,00}(Si_{5,71}Al_{0,29})_{6,00}(O_{28,44}(OH)_{2,46}F_{0,10})_{31,00}

№ 205 (Na_{1,00}K_{0,07})_{1,07}(Ca_{0,30}Mg_{0,08}Mn_{0,11}Fe_{0,38}²⁺Fe_{0,56}³⁺Ti_{0,01}³⁺Li_{0,52}Al_{1,04})_{3,00}Al_{6,00}(B_{2,59} ×
× Si_{0,38})_{2,97}(Si_{5,86}Al_{0,14})_{6,00}(O_{28,32}(OH)_{2,53}F_{0,15})_{31,00}

№ С-101 (Na_{0,66}K_{0,09}Ca_{0,11})_{0,86}(Mg_{0,13}Mn_{0,12}Fe_{1,57}²⁺Fe_{0,01}³⁺Ti_{0,04}³⁺Li_{0,36}Al_{0,75})_{2,98}Al_{6,00}B_{3,00} ×
× (Si_{5,67}B_{0,20}Al_{0,13})_{6,00}(O_{27,09}(OH)_{3,61}F_{0,30})_{31,00}

№ 3е-4 (Na_{0,69}K_{0,16}Ca_{0,15})_{1,00}(Ca_{0,17}Mg_{0,07}Mn_{0,09}Fe_{0,38}²⁺Fe_{0,38}³⁺Ti_{0,03}³⁺Li_{0,53}Al_{1,35})_{3,00}Al_{6,04} ×
× (B_{2,63}Si_{0,07})_{2,70}Si_{6,00}(O_{27,69}(OH)_{3,16}F_{0,15})_{31,00}

№ 206 (Na_{0,79}K_{0,08}Ca_{0,13})_{1,00}(Ca_{0,14}Mg_{0,05}Mn_{0,04}Fe_{0,01}²⁺Fe_{0,04}³⁺Li_{0,76}Al_{1,90})_{2,94}Al_{6,00} ×
× (B_{2,36}Si_{0,37})_{2,73}Si_{6,00}(O_{27,74}(OH)_{3,11}F_{0,15})_{31,00}

№ 73623 (Na_{0,48}K_{0,08}Ca_{0,24})_{0,80}(Mg_{0,09}Mn_{0,01}Fe_{0,09}²⁺Li_{0,92}Al_{1,92})_{3,03}Al₆B_{3,15}(Si_{5,99}B_{0,01})_{6,00} ×
× (O_{28,56}(OH)_{2,29}F_{0,15})_{31,00}

Лиддиокатит (Na_{0,27}Ca_{0,72})_{0,99}(Mg_{0,03}Mn_{0,04}Fe_{0,11}²⁺Ti_{0,05}³⁺Li_{1,59}Al_{1,13})_{2,95}Al_{6,00}B_{3,00}Si_{6,02} ×
× (O_{27,29}(OH)_{2,84}F_{0,87})_{31,00}

Из рассмотренных химических минералов мы ограничились наиболее важными (шерл, дравит, эльбаит, лиддиокатит, увит, бюргерит, Fe³⁺-турмалин, безнатровый дравит, безнатровый шерл), в состав которых входят следующие элементы: H, Na, Ca, Mg, Fe²⁺, Fe³⁺, Al, B, Si, O, F, Li. Соответственно были отобраны для исследования образцы преобладающе указанного состава.

Основным материалом для исследований послужили образцы из коллекции В.Г. Фекличева и Т.Н. Ивановой, собранные на Урале, Калбе, Восточном Саяне. Дравит № 59296 и рубеллит № 73623 были представлены из фондов Минералогического музея АН СССР. Химические анализы этих образцов выполнены Г.Е. Черепивской (ИМГРЭ, 8 анализов), И.Б. Никитиной, С.И. Вронской (ИГЕМ, 3 анализа), образцы с химическими анализами для исследования были предоставлены В.А. Корнетовой (увит № 3475), шерл № Д-1 – В.Г. Демидовым, дравито-шерл № 67-Г-69 и шерл № 99-Г-69 – Г.Н. Гамяниным, Fe³⁺-турмалин № 51671 – М.Е. Яковлевой. Анализ лиддиокатита взят из работы [17].

Анализы были пересчитаны двумя способами: на 31 анион (O, OH, F) и по методу Хей (табл. 2). Результаты расчетов мало расходятся, но пересчет на 31 анион все же лучше позволяет распределить атомы по позициям, чтобы количества их в каждой позиции были близки к целым числам (табл. 3). Соответствующие формульные количества атомов и были взяты для построения модели состав-свойства.

У проанализированных образцов изучены физические свойства (табл. 4). Измерения удельного веса турмалинов выполнялись Т.Н. Ивановой методом гидростатического взвешивания с точностью 0,005–0,01. Образец ЮЖ-1 измерен В.Недобой тем же методом, с той же точностью. Измерение микротвердости (в кгс/мм²) проводилось Т.Н. Ивановой на приборе ПМТ-3 при нагрузке 150 г в аншлифах из случайно ориентированных осколков кристаллов, запрессованных в полистирол. Число замеров колебалось от 5 до 30. Из полученных замеров вычислялось среднее. Большинство измерений выполнено Т.Н. Ивановой, часть из них опубликована. Для трех образцов (обр. ЮЖ-1, 73623, 51671) измерения микротвердости выполнены И.Е. Максимюк (ИМГРЭ). Перевод значений микротвердости на шкалу Мооса проводился с помощью графика, построенного по измеренным значениям микротвердости минералов шкалы Мооса по данным С.И. Лебедевой [39]. Параметры элементарной ячейки измерялись по отражениям, полученным на приборе ДРОН-1 в Институте экспериментальной минералогии АН СССР (отфильтрованное излучение $\text{CuK}\alpha$, внутренний стандарт – отражение (220) Si, кювета 0,1 мм, ϕ кюветы 10 мм). Для определения параметра a_0 использовалось отражение (820), для параметра c_0 – (003). Точность измерения параметра a_0 – 0,004 Å, параметра c_0 – 0,003 Å. Параметры элементарной ячейки трех турмалинов (ЮЖ-1, С-101, 73623) измерены в монокристалльных зернах на приборе Sintex на кафедре кристаллографии МГУ. Точность измерения параметра a_0 – 0,008 Å, параметра c_0 – 0,003 Å. Параметры элементарной ячейки обр. 3475, 51671, лиддикоатита взяты из работ [13, 17, 22], в которых опубликованы их химические анализы. Магнитная восприимчивость (в см³/г) турмалинов измерялась по методу Фарадея на установке кафедры грунтоведения В.А. Соколовым. Три образца (73623, ЮЖ-1, 51671) измерены Н.В. Добровольской (ВИМС) тем же методом. Показатели преломления измерялись В.Г. Фекличевым и Т.Н. Ивановой методом фокального экранирования и на приборе ППМ-1, а два темноокрашенных малопрозрачных образца – методом Бекке в иммерсии при увеличении 20–40. Плеохроизм определялся в мелких зернах в иммерсии параллельно с показателем преломления. Светопреломление обр. 3475, а также светопреломление и плеохроизм обр. 51671 и лиддикоатита взяты из первоисточников [13, 17, 22].

Большое разнообразие генетического положения образцов и соответствующих месторождений позволили собрать достаточно представительный материал для построения модели зависимостей состав-свойства турмалинов. Предварительные поиски более простых зависимостей, как и ожидалось, не привели к успеху. Проявилась только корреляция между суммой содержаний железа и магнитной восприимчивостью, несколько хуже – удельным весом, светопреломлением. Эти корреляции хорошо известны [1, 9, 40]. Ранее Т.Н. Ивановой [41] на этом же материале было выявлено, что простая корреляция с каким-либо одним химическим компонентом состава турмалинов у их микротвердости отсутствует.

Множественно-регрессионная модель в принципе не требует знания физической сущности зависимости между составом и свойствами. Правда, знание позиций, занимаемых атомами в структуре турмалина, могло бы быть использовано в уточненном варианте такой модели. Однако определение позиций всех атомов в структуре турмалина требует для каждого образца расшифровки кристаллической структуры, что очень трудоемко (см. [42]). Например, Fe^{2+} и Fe^{3+} могут распределяться по позициям Y и Z в разнообразном количественном соотношении, что доказано методом Мессбауэра [43, 44], но также по разным позициям может распределяться H, Mg, Al (реже Si и Ca). В свете сказанного в качестве компонентов состава для построения модели выбраны общие формульные количества: Al, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg, Ca, H, Li, F независимо от их положения в структуре. Выбранные компоненты лучше всего определяют химическую природу турмалина в кругу тех минералов, которыми мы ограничились.

Из физических свойств для построения модели отобраны важнейшие количественные свойства: твердость по Моосу, светопреломление n_o и n_e , удельный вес, магнитная восприимчивость/10⁻⁶, параметры элементарной ячейки a_0 и c_0 . Магнитная восприимчивость поделена на 10⁻⁶ для того, чтобы величина, характеризующая магнитность,

Таблица 4

Физические свойства турмалинов

Параметр	Увит № 3475	Дравит № 59296	Шерло-дравит № БО-2
Удельный вес	3,14	3,04	3,10
Микротвердость, кгс/мм ²	1222	1241	1143
Твердость по Моосу	7,33	7,38	7,09
Параметры элементарной ячейки			
a_0	15,981	15,900	15,947
c_0	7,220	7,171	7,189
Объем элементарной ячейки	1596,85	1569,97	1583,23
Магнитная восприимчивость, см ³ /г	$12,5 \cdot 10^{-6}$	$0,715 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$
Светопреломление			
n_o	1,660	1,638	1,652
n_e	1,639	1,616	1,623
Двупреломление $n_o - n_e$	0,021	0,022	0,029
Цвет в зернах	Зеленовато-коричневый	Желтовато-коричневый	Серовато-черный
Плеохроизм			
n_o	Сине-зеленый	Коричневато-желтый	Коричневато-зеленый
n_e	Розовато-коричневый	Бледно-желтый	Серовато-коричневый
Генетическое положение	Магнезиальный скарн		Плагиоклазит в змеевиках
Месторождение	Таежное, Якутия	Синтзян, КНР	Борзовка, Урал

Таблица 4 (окончание)

Параметр	Шерл ЮЖ-1	Шерл Д-1	Fe ³⁺ -турмалин № 51671
Удельный вес	3,14	3,20	3,12
Микротвердость, кгс/мм ²	1105	1122	1010
Твердость по Моосу	6,99	7,04	6,69
Параметры элементарной ячейки			
a_0	15,982	16,00	15,96
c_0	7,157	7,225	7,15
Объем элементарной ячейки	1583,11	1601,75	1577,21
Магнитная восприимчивость, см ³ /г	$21,15 \cdot 10^{-6}$	$24,9 \cdot 10^{-6}$	$21,8 \cdot 10^{-6}$
Светопреломление			
n_o	1,668	1,671	1,693
n_e	1,635	1,630	1,659
Двупреломление $n_o - n_e$	0,033	0,041	0,034
Цвет в зернах	Черный	Черный	Черный
Плеохроизм			
n_o	Темно-синий до черного	Коричнево-синий до черного	Темно-коричневый
n_e	Розовато-коричневый	Коричнево-зеленый	Светло-желтый
Генетическое положение	Кварц-мусковито-полевошпатовый гранитный пегматит	Околорудный метасоматит	Кварц-ортоклазовый с альбитом пегматит
Месторождение	Южаково, Урал	Дарасун, Забайкалье	Юго-западная Африка

Шерло-дравит № Ша-1	Дравито-шерл № 113	Дравито-шерл № 67-Г-69	Шерл № Мо-3	№ 99-Г-69
3,09	3,16	3,10	3,18	3,17
1182	1071	1245	1122	1237
7,22	6,89	7,39	7,04	7,37
15,975	15,897	15,907	15,876	15,908
7,207	7,169	7,160	7,135	7,156
1592,77	1568,94	1568,94	1557,38	1568,26
$11,9 \cdot 10^{-6}$	$13,1 \cdot 10^{-6}$	$14,5 \cdot 10^{-6}$	$18,7 \cdot 10^{-6}$	$19,7 \cdot 10^{-6}$
1,657	1,661	1,658	1,660	1,662
1,627	1,630	1,621	1,629	1,624
0,030	0,031	0,037	0,031	0,038
Зеленовато-черный	Черный	Темно-коричневый	Черный	Синевато-черный
Коричневато-синий	Темно-зеленовато-коричневый	Зеленовато-бурый	Серовато-синий	Синевато-коричневый
Розовато-коричневый	Светло-коричневый	Бледно-розовато-коричневый	Светло-коричневый	Светло-красновато-коричневый
Хлоритовая порода в талькитах	Кварц-полево-шпатовый гранитный пегматит	Околорудный метасоматит	Миаролоносный гранитный пегматит	Околорудный метасоматит
Шабры, Урал	Калба, Восточный Казахстан	Барышлы-Элах, Якутия	Мокруша, Урал	Барышлы-Элах, Якутия

Индиголит № 205	Верделито-индиголит № С-101	Верделит № Зе-4	Рубеллит		Лиддиксоатит
			№ 206	№ 73623	
3,12	3,14	3,08	3,03	3,00	3,02
1061	1105	1177	1178	1294	-
6,86	6,99	7,20	7,20	7,54	7,5
15,808	15,978	15,808	15,753	15,835	15,867
7,109	7,143	7,127	7,090	7,105	7,135
1538,44	1579,22	1542,33	1523,67	1542,84	1555,6
$13,3 \cdot 10^{-6}$	$16,25 \cdot 10^{-6}$	$5,5 \cdot 10^{-6}$	$0,73 \cdot 10^{-6}$	$-0,09 \cdot 10^{-6}$	-
1,654	1,660	1,643	1,637	1,642	1,637
1,624	1,630	1,623	1,619	1,623	1,621
0,030	0,030	0,020	0,018	0,019	0,016
Синий	Голубовато-темно-зеленый	Зеленый	Розовый	Малиновый	Коричневый
Голубовато-синий	Коричневато-зеленый	Голубовато-зеленый	Светло-фиолетовый	Синевато-розовый	Темно-коричневый
Бледно-голубой	Розовато-голубой	Бледно-зеленый	Желтовато-розовый	Светло-голубой до бесцветного	Светло-коричневый
Альбитизированный гранитный пегматит	Альбитизированный гранитный пегматит	Альбитизированный гранитный пегматит	Альбитизированный гранитный пегматит	Миаролоносный гранитный пегматит	Обломочные осадки
Калба, Восточный Казахстан	Восточный Саян	Калба, Восточный Казахстан	Калба, Восточный Казахстан	Борщевочный кряж, Забайкалье	Мадагаскар

Т а б л и ц а 5

Матрицы данных, послужившие для расчета систем уравнений регрессии, моделирующих зависимости состав-свойства турмалинов

Параметр	3475	59296	БО-2	Ша-1	113	67-Г-69	Мо-3
Физические свойства							
Твердость по Моосу, H_M	7,33	7,38	7,09	7,22	6,89	7,39	7,04
Светопреломление							
n_o	1,660	1,638	1,652	1,657	1,661	1,658	1,660
n_e	1,639	1,616	1,623	1,627	1,630	1,621	1,628
Удельный вес, d	3,14	3,04	3,10	3,09	3,16	3,10	3,18
Магнитная восприимчивость/ $/10^{-6}, M$	12,5	0,715	6,8	11,9	13,1	14,5	18,7
Параметр элементарной ячейки							
a_o	15,981	15,900	15,947	15,975	15,897	15,907	15,876
c_o	7,220	7,171	7,189	7,207	7,169	7,160	7,135
Компоненты состава (формульные количества)							
Al	5,079	6,718	6,365	6,055	6,616	6,748	6,675
Fe ³⁺	0,683	0,041	0,359	0,728	0,662	0,085	0,948
Fe ²⁺	0,665	0	0,447	0,591	0,588	1,076	0,898
Mg	2,546	2,451	2,186	2,269	1,067	0,840	0,224
Ca	0,975	0,285	0,308	0,233	0,229	0,106	0,227
N	2,265	3,045	2,876	2,617	2,961	3,31	2,665
Li	0	0,003	0,060	0	0,003	0,003	0,164
F	0,124	0	0	0	0	0,052	0,205

не отличалась сильно по порядку величин от других физических констант. По той же причине величины микротвердости переведены на шкалу Мооса с повышенной точностью. Недостающее значение магнитной восприимчивости лиддикоатита принято как $1 \cdot 10^{-6}$, что соответствует значениям магнитной восприимчивости эльбаитов с аналогичным содержанием железа.

Массивы данных, взятых для расчета, представлены в табл. 5. Количество компонентов состава взято на единицу больше количества физических констант. Из восьми выбранных компонентов состава семь являются независимыми (количество их равно количеству физических констант, восьмой компонент является зависимым, так как F и Li связаны сильной корреляцией при их значительном содержании [45]). Согласно теории [46] количество независимых компонентов состава должно быть равно количеству независимых физических констант в построенной системе. Степень корреляции между светопреломлением, удельным весом и магнитной восприимчивостью в турмалинах такого же уровня как между Fe²⁺ и 1/Mg и Al и 1/Li, т.е. разброс точек около графика связи достаточно широкий. Поэтому мы используем эти свойства.

Расчет коэффициентов системы уравнений множественной регрессии велся по составленной нами программе [46] для машины "Наири-2" в вычислительном центре ВИЭМС МГ СССР. Полученная система уравнений представлена ниже. Она является весьма грубой моделью зависимостей состав-свойства, позволяющей, однако, представлять по совокупности свойств достаточно точно близость турмалина к тому или иному минеральному виду или разновидности изоморфной группы.

Система уравнений множественной регрессии состав-свойства турмалинов

$$Al = -0,1811377 H_M + 15,4636104 n_o - 44,2818980 n_e - 1,2702639 d - 0,0202861 M + 1,1003857 a_o - 15,6072716 c_o + 152,7890434;$$

$$Fe^{3+} = -1,6103406 H_M - 10,4047613 n_o + 32,3610811 n_e - 1,4036577 d + 0,0208090 M - 4,2546015 a_o + 7,4508067 c_o - 12,2348253;$$

$$Fe^{2+} = 0,5206775 H_M - 20,5006322 n_o - 15,3774852 n_e + 1,9094986 d + 0,0679016 M + 5,6202347 a_o - 8,0228074 c_o + 17,1527907;$$

$$Mg = -0,2726024 H_M + 85,8847560 n_o - 26,7646372 n_o + 1,4328027 d - 0,1530787 M - 1,9617397 a_o + 24,2125375 c_o - 240,4351844;$$

99-Г-69	ЮЖ-1	Д-1	51671	205	С-101	Зе-4	206	73623	Лидди-коатит
Физические свойства									
7,37	6,99	7,04	6,69	6,86	6,99	7,20	7,20	7,54	7,50
1,662	1,668	1,671	1,693	1,654	1,660	1,643	1,637	1,642	1,637
1,624	1,635	1,630	1,659	1,624	1,630	1,623	1,619	1,623	1,621
3,17	3,14	3,20	3,12	3,12	3,14	3,08	3,03	3,00	3,02
19,7	21,15	24,9	21,8	13,3	16,25	5,5	0,73	-0,09	1
5,908	15,982	16,000	15,96	15,808	15,978	15,808	15,753	15,835	15,867
7,156	7,157	7,225	7,15	7,109	7,143	7,127	7,09	7,105	7,135
Компоненты состава (формульные количества)									
6,573	6,033	5,633	5,783	7,183	6,884	7,393	7,900	7,916	7,132
0,079	0,015	0,259	1,166	0,565	0,011	0,384	0,036	0	0
1,520	1,686	0,965	0,082	0,376	1,569	0,379	0,014	0,086	0,111
0,66	0,744	1,460	1,840	0,076	0,135	0,066	0,055	0,095	0,026
0,081	0,095	0,250	0,281	0,298	0,107	0,320	0,272	0,238	0,720
3,382	3,036	3,356	2,463	2,532	3,163	3,158	3,107	2,287	2,865
0,004	0,004	0	0	0,520	0,357	0,529	0,763	0,915	0,593
0,111	0,144	0	0,096	0,151	0,301	0,151	0,156	0,156	0,868

$$\text{Ca} = 0,1451926 H_M - 42,4164142 n_o + 46,6687040 n_e - 0,54766335 d + 0,0287644 M - 1,5238672 a_o + 4,9388680 c_o - 16,2051970;$$

$$\text{H} = - 0,3313614 H_M - 1,4244966 n_o - 39,0369048 n_e - 0,6559073 d + 0,0299387 M + 3,7379136 a_o - 4,9727529 c_o + 49,0155992;$$

$$\text{Li} = 0,1750663 H_M - 56,5319557 n_o + 39,8401255 n_e - 1,9280869 d + 0,0457260 M + 2,2661681 a_o - 7,5940774 c_o + 51,5785417;$$

$$\text{F} = 0,1304535 H_M - 39,0359501 n_o + 27,5923471 n_e - 0,9748389 d + 0,0393242 M + 2,3060265 a_o - 4,2967533 c_o + 15,5899102.$$

ЛИТЕРАТУРА

- Добровольская Н.В., Кузьмин В.И. Магнитные свойства турмалина. — В кн.: Конституция и свойства минералов/Респ., межвед. сб. Киев, 1975, вып. 9.
- Волошин А.В., Латышева Л.Г. Корреляция химического состава турмалинов со структурными характеристиками. — В кн.: Конституция и свойства минералов/Республ. межвед. сб., 1977, вып. 11.
- Moro C., Caruba K. De l'existence de tourmalines asodiques. — Geme Reün. annu. sci. terre, Orsay, 1978. Paris, 1978.
- Kunitz W. Die Mischungsreihen in der Turmalin-gruppe und die genetischen Beziehungen zwischen Turmalinen und Glimmer. — Chem. Erde, 1930, Bd. 4, Hf. 2.
- Сливко М.М. Химический состав и изоморфные замещения в турмалинах. — Минерал. сб. Львовск. геол. об-ва, 1962, № 16.
- Барсанов Г.П., Яковлева М.Е. О турмалине дравитового состава. — В кн.: Новые данные о минералах. М.: Наука, 1964, вып. 15.
- Барсанов Г.П., Яковлева М.Е. О турмалине шерлового состава. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1965, вып. 16.
- Барсанов Г.П., Яковлева М.Е. Эльбаит и некоторые редкие разновидности турмалина. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, вып. 17.
- Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Д. Породообразующие минералы, т. 1. Турмалин. М.: Мир, 1965.
- Donnay G., Ingamells C.O., Mason B. Buergerite, a new species of tourmaline. — Amer. Miner., 1966, vol. 51, N 1/2.
- Tomisaka T. Syntheses of some end-members of the tourmaline group. — Miner. J., 1968, vol. 5, N 5.
- Перцев Н.Н. Парагенезисы борных минералов в магнезиальных скарнах. Наука, 1971.
- Корнетова В.А. О классификации минералов группы турмалина. — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1975, ч. 104, вып. 3.
- Воскресенская И.Е., Иванова Т.Н. Исследование турмалинов, полученных методом синтеза. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1975, вып. 24.
- Foit F.F., Rosenberg P.E. Coupled substitutions in the tourmaline group. — Contribs Mineral. and Petrol., 1977, vol. 62, N 2.

16. *Dunn P.J.* Uvite, a newly classified gem tourmaline. — *J. Gemmol.*, 1977, vol. 15, N 6.
17. *Dunn P.J., Appleman D.E., Nelen J.E.* Liddicoatite, a new calcium end-member of the tourmaline group. — *Amer. Miner.*, 1977, vol. 62, N 11/12.
18. *Сердюченко Д.П.* О химической конструкции турмалинов. — В кн.: Проблемы геологии редких элементов. М.: ИМГРЭ, 1978.
19. *Sahama Th.G., Knorring O., Törnroos R.* On Tourmaline. — *Lithos*, 1979, vol. 12, N 2.
20. *Hsin-Shang W., Hsueh-Yen H.* A new variety of dravite and its significance in mineralogy. — *Kexue Tongbao*, 1966, vol. 17, N 2.
21. *Fronde! C., Biede A., Ito J.* New tupe of ferric iron tourmaline. — *Amer. Miner.*, 1966, vol. 51, N 9/10.
22. *Яковлева М.Е., Осолодкина Г.А.* Турмалин. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1966, вып. 17.
23. *Prendel R.* Analyse des Turmalins von der Uralga (Sibirien). — *Ztschr. Kristallogr.*, 1822, Bd. 20.
24. *Duparc L., Wunder M., Sabot R.* Les minéraux des pegmatites des euviron d'Autsirabé à Madagascar. — *Mém. Soc. phys. etc., Genève*, 1910, vol. 36.
25. *Агафонова Т.Н.* Химический состав и цвет турмалинов Борщевочного кража. — Докл. СССР, 1947, т. 55, № 9.
26. *Сливко М.М.* О марганцевых турмалинах. — Минерал. сб. Львовского геол. об-ва, 1959, № 13.
27. *Cossa A., Arzruni A.* Ein Chromturmalin aus dem Chromeisenlagern des Ural. — *Ztsch. Kristallogr.*, 1883, Bd. 7.
28. *Шендорова А.Г.* О хромсодержащем дравите Криворожья. — Минералогич. сб. Львовского геол. об-ва, 1955, № 9.
29. *Peltola, Vuorelainen Y., Hakli T.A.* A chromian tourmaline from Outokumpu, Finland. — *Bull. Geol. Soc. Finl.*, 1968, N 40.
30. *Jan M.Q., Kempe D.R.C., Symes R.F.* A chromian tourmaline from Swat, West Pakistan. — *Miner. Mag.*, 1972, vol. 38, N 298.
31. *Dunn P.J.* Chromium in dravite. — *Miner. Mag.*, 1977, vol. 41, N 319.
32. *Бадалов С.Т.* О ванадиевых разновидностях турмалина и граната. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, 1951, ч. 80, вып. 3.
33. *Basset H.* A vanadiferous variety of tourmaline from Tanganyika. — *Rec. Geol. Surv. Tanganyika*, 1956, 3 (for 1953).
34. *Snetsinger K.G.* Barium-vanadium muscovite and vanadium tourmaline from Mariposa County, California. — *Amer. Miner.*, 1966, vol. 51, N 11/12.
35. *Jedwab J.* Turmaline zincifère dans une pegmatite do Muika (Congo). — *Bull. Soc. belge géol., paléontol. et hydrol.*, 1962, vol. 71, fasc. 1.
36. *Окулов Е.Н.* Цинкосодержащий турмалин в одном из месторождений пегматитов Средней Азии. — Узб. геол. журнал, 1973, № 2.
37. *Воскресенская И.В., Окулов Е.Н.* Редкая разновидность турмалина из клевеландитовых пегматитов. — *Минералог. сб. Львов*, 1974, № 28, вып. 1.
38. *Лебедев А.П.* О свинцосодержащем турмалине с малого Хингана. — Докл. АН СССР, 1937, т. 14, № 3.
39. *Лебедева С.И.* О микротвердости минералов. — Тр. ИМГРЭ, 1961, вып. 6.
40. *Сливко М.М.* Исследование турмалинов некоторых месторождений СССР. Львов: Изд-во ЛГУ, 1955.
41. *Иванова Т.Н.* О микротвердости минералов группы турмалина. — В кн.: Диагностика и диагностические свойства минералов. М.: Наука, 1981.
42. *Fortier S., Donnay G.* Schort refinement showing composition dependence of the Tourmaline structure. — *Canad. Miner.*, 1975, vol. 13, pt 2.
43. *Herman E., Simkin D.J., Donnay G., Muir W.B.* The Distribution of Fe²⁺ and Fe³⁺ in Iron — Bearing Tourmalines: A Mössbauer Study. — *Tschermaks miner. and petrogr. Mitt.*, 1973, Bd. 19, Hf. 2.
44. *Гореликов Н.В., Перфильев Ю.Д., Бабешкин А.М.* Распределение ионов железа в структуре турмалинов по данным мессбауэровской спектроскопии. — Зап. Всесоюз. минералог. об-ва, 1976, ч. 105, № 4.
45. *Nemes D.* Fluorine in Tourmalines. — *Contribs Miner. and Petrol.*, 1969, vol. 20, N 3.
46. *Фекличев В.Г.* Химическая диагностика и определение состава минералов по физическим свойствам на ЭВМ. — В кн.: Диагностика и диагностические свойства минералов. М.: Наука, 1981.

УДК 549.0

А.П. ХОМЯКОВ

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ ЛОВОЗЕРСКОГО МИНЕРАЛА НАТРОСИЛИТА В ХИБИНСКОМ МАССИВЕ И ХИБИНСКИХ МИНЕРАЛОВ ЦИРСИНАЛИТА И РАСВУМИТА В ЛОВОЗЕРСКОМ МАССИВЕ

Необычный по свойствам, легко растворимый в воде ультранатриевый силикат *натросилит* Na₂Si₂O₅ первоначально описан в 1975 г. в Ловозерском щелочном массиве [1]. Он был встречен в пегматоидном обособлении среди нефелиновых сиенитов горы Карнасурт в виде толстотаблитчатого кристалла и мелких неправильной формы зерен в тесных сростаниях с микроклином, уссингитом, анальцимом, натролитом, арфведсонитом, ломоносовитом и вуоннемитом.

В 1976 г. в пегматитах и гидротермалитах того же массива, залегающих ниже зоны поверхностного выветривания, И.М. Тимошенковым, В.П. Власюком и автором настоящей статьи были сделаны повторные находки натросилита, местами играющего