

Г. Ш. БАРСАНОВ, М. Е. ЯКОВЛЕВА

ЭЛЬБАИТ И НЕКОТОРЫЕ
РЕДКИЕ РАЗНОВИДНОСТИ ТУРМАЛИНА

Эльбаит

В предыдущих статьях авторами описаны дравит и шерл (Барсанов, Яковлева, 1964, 1965), условные границы которых по химическому составу были приняты равными: для дравита 6—15% MgO и до 7,5% суммы окислов хромофоров, для шерла 0—14% MgO и 7—24% суммы окислов хромофоров.

В настоящей работе обобщен накопленный в литературе фактический материал по группе турмалина эльбаитового состава, имеющего, как известно, низкое содержание магнезии и суммы окислов хромофоров, но характеризующегося высоким содержанием глинозема.

Химические анализы эльбаита, нанесенные на график с координатами, отражающими весовые содержания магнезии и суммы окислов хромофоров, принятые для разграничения дравита и шерла (рис. 1), разместились обособленно вблизи начала координат. Граница между эльбаитом и шерлом выявляется достаточно четко. Она проходит в интервале 7—8% суммы окислов хромофоров. Турмалины, анализы которых попадают в этот интервал, макроскопически описываемые как черные, относятся обычно к шерлу, а зеленые и синие — к эльбаиту. Необходимо еще раз отметить, что приводимое в литературе определение цвета субъективно, поэтому граница эльбаит—шерл несколько растянута, однако она отбивается более отчетливо по сравнению с условно принятой границей между дравитом и шерлом. В содержании магнезии между эльбаитом и дравитом существует разрыв.

Турмалин эльбаитового состава подразделяется на две основные разновидности: 1) окрашенный в розовые и красные цвета разной интенсивности рубеллит и бесцветный ахроит, содержащие не более 2% MgO и не более 2,6% суммы окислов хромофоров; 2) окрашенный в зеленый цвет верделит и в синий цвет индиголит, содержащие 2—8% суммы окислов хромофоров и в основном около 2% MgO¹.

Обе эти разновидности образуют и самостоятельные кристаллы, и зонарно окрашенные кристаллы. В последних, так называемых полихромных турмалинах, смена цветов происходит и по вертикали кристалла,

¹ Только в № 32 сумма хромофоров снижается до 1,53% и в № 43 MgO повышается до 3,92%.

Состав и свойства

Окислы	1	2	2а	3	3а	4	5
SiO ₂	38,01	38,26	38,38	39,84	38,64	37,19	39,14
TiO ₂	—	—	—	—	—	Сл.	—
B ₂ O ₃	10,51	9,29	9,72	9,02	10,04	11,01	9,63
Al ₂ O ₃	41,48	43,97	42,48	42,50	41,14	41,92	42,64
Fe ₂ O ₃	—	—	—	0,80	0,64	0,09	0,07
FeO	0,27	—	—	0,14	0,14	0,16	0,13
MnO	1,48	1,53	1,53	0,08	0,17	0,58	0,26
MgO	—	1,62	1,62	1,48	1,82	0,35	0,24
CaO	0,57	0,62	0,62	2,36	3,89	1,26	0,74
Li ₂ O	1,75	0,48	0,50	0,60	0,50	0,13	0,23
Na ₂ O	2,17	1,53	1,53	2,83	2,54	1,39	3,19
K ₂ O	0,21	0,21	0,23	—	—	0,04	0,16
H ₂ O ⁺	3,18	2,49	3,41	0,44	0,59	5,33	2,98
H ₂ O ⁻	—	—	—	—	—	0,07	—
F ⁻	0,96	0,70	—	—	—	0,96	0,32
С у м м а	100,59	100,70	100,02	100,09	100,11	100,48	99,73
Уд. вес	3,006	3,082	3,064	—	—	3,024—3,035	—
<i>N_g</i>	1,639	—	—	—	—	—	—
<i>N_p</i>	1,618	—	—	—	—	—	—
<i>N_g—N_p</i>	0,021	—	—	—	—	—	—
Сумма хромофоров	1,75	1,53	1,53	1,02	0,95	0,83	0,46

Окислы	11	11а	12	13	13а	14	15	16
SiO ₂	37,89	38,85	38,06	36,70	36,33	37,19	38,19	38,07
TiO ₂	0,04	—	0,02	—	—	—	—	—
(Ti ₂ O ₃)	—	—	—	—	—	—	—	—
B ₂ O ₃	10,28	9,52	10,88	10,76	9,79	10,06	9,97	9,99
Al ₂ O ₃	43,85	44,05	41,78	42,99	40,99	42,43	42,63	42,24
Fe ₂ O ₃	—	—	0,035	—	—	Нет	—	—
FeO	0,11	—	—	1,35	1,35	0,52	—	0,26
MnO	0,11	0,92	0,45	0,28	0,37	0,79	1,94	0,35

1 — красный; СССР, Урал, Мурзинна; пегматиты (Ферсман, 1925; Kunitz, 1929); в оригинале сумма 1917; Ферсман, 1925); 3 — белый с зеленоватым и розоватым оттенком; 3а — розовый; СССР, Казахстан, повоочный край, Моховое; пегматиты в гранитах (Агафонова, 1947, 1949); 5 и 5а — розовый; СССР, Фонова, 1947, 1949); 6 — бледно-розовый; 6а — розовый, 6б — буровато-красный; СССР, Борщовочный Сибирь, Нерчинск (Kunitz, 1929); 8 — красный; Чехословакия, Сушице; пегматиты в магнезиаль-ная, Рожнов; пегматиты в кристаллических сланцах (Sekanin, 1928; Kunitz, 1929; Ферсман, 1960);

Таблица 1

эльбанга (вес. %)

5а	6	6а	6б	7	8	9	10
37,21	38,32	37,34	37,48	37,68	38,49	37,73	37,37
Сл.	0,02	0,02	Сл.	—	—	—	—
11,25	10,20	10,80	10,00	10,58	8,25	10,24	10,08
42,81	44,42	43,70	43,63	40,05	41,49	41,22	41,07
Нет	0,10	0,08	0,17	—	—	—	—
0,22	—	0,04	—	0,52	0,35	1,21	0,52
0,47	0,01	0,54	0,85	2,04	0,60	0,94	1,67
0,61	0,30	0,26	0,35	0,28	—	—	0,12
1,35	0,36	0,29	0,62	1,13	0,82	0,87	0,90
0,14	1,12	1,43	1,34	1,62	1,68	1,38	1,43
1,16	1,56	2,41	2,18	2,36	1,32	2,04	2,56
0,09	0,31	0,15	0,20	0,19	2,14	0,53	—
4,15	1,49	2,12	1,69	3,04	4,61	3,16	3,44
0,09	0,03	—	—	—	—	—	—
0,80	1,60	0,88	0,10	1,06	0,43	0,64	0,81
100,35	99,84	100,06	98,61	100,55	100,18	99,96	99,97
3,052—3,061	3,041	3,043	3,049	3,014	2,913	3,004	3,020
—	1,6385	1,6403	1,6390	1,642	—	—	1,642
—	1,6180	1,6199	1,6187	1,621	—	—	1,623
—	0,0205	0,0204	0,0203	0,021	—	—	0,019
0,69	0,13	0,68	1,02	2,56	0,95	2,15	2,19

Таблица 1 (продолжение)

17	18	19	19а	20	21	22	23	24
37,57	37,54	37,72	37,78	37,06	37,52	37,29	37,58	39,07
—	—	—	—	—	—	—	0,59	—
10,65	9,12	9,58	9,46	11,03	10,70	10,05	10,01	—
42,18	43,46	41,14	41,25	40,53	40,08	38,91	40,22	41,25
—	2,60	0,65	0,42	0,40	0,40	0,78	0,50	—
0,19	—	—	—	—	—	—	0,12	0,19
0,24	—	1,72	1,83	1,23	0,63	0,52	0,65	0,54

100, 49%; 2 и 2а — красный; СССР, Урал, Шайтанна; пегматиты в змеевиках (Hintze, 1897; Doelter, Калбинский хребет; пегматиты в гранитах (Шавло, 1958); 4 — розовый; СССР, Восточная Сибирь, Бор-Борщовичский край, Усовское; пегматиты в контакте биститовых гнейсов и жилы спессартина (Ага-вряж; пегматиты (Сливко, 1955), 6б — в оригинале сумма 100, 64%; 7 — темно-красный; СССР, Восточ-ных мраморах (Scharizer, 1889); SnO₂ — следы; 9 — светло-розовый; Чехословакия, Западная Мора-10 — красный; ГДР, Верхняя Саксония, Цениг; пегматиты в гранулитях (Hintze, 1897; Kunitz, 1929;

	11	11a	12	13	13a	14	15	16
MgO	—	0,20	0,02	0,10	0,16	Нет	0,39	0,07
CaO	0,07	—	0,72	0,60	0,95	0,57	0,45	0,56
Li ₂ O	1,66	1,22	1,55	0,89	1,31	1,73	1,17	1,59
Na ₂ O	2,43	2,00	2,48	3,36	3,04	2,24	2,60	2,18
K ₂ O	—	1,30	0,25	0,49	0,50	0,23	0,68	0,44
H ₂ O ⁺	3,47	2,41	3,02	2,75	4,02	3,90	2,00	4,26
H ₂ O ⁻	—	—	Нет	0,24	0,45	—	—	—
F	0,10	0,70	0,92	0,10	0,39	—	1,18	0,28
Сумма	100,01	101,17	100,185	100,61	99,65	99,66	101,20	100,29
Уд. вес	3,05	3,022	3,025	—	—	3,028	3,019	2,997
<i>Ng</i>	1,651	—	1,6391	—	—	—	—	—
<i>Np</i>	1,630	—	1,6205	—	—	—	—	—
<i>Ng—Np</i>	0,021	—	0,0186	—	—	—	—	—
Сумма хромофоров	0,26	0,92	0,505	1,63	1,72	1,31	1,94	0,61

Ферсман, 1960); 11 — бледно-розовый; Италия, Эльба; перматиты в гранитах (Schaller, 1913; Doelter, 12 — красный; Швеция, Варутреск (Varutrask); перматиты в амфиболитах (Quensel, 1957); Rb₂O — сланцах (Holmqvist, 1910; Sjorgen, 1916); P₂O₅ — нет; в оригинале сумма 100, 70%; 13a — светло-серый, Минас-Жерайс; перматиты (Bauer, 1832; Riggs, 1888); 15 — красный; США, штат Мэн, Парис (Paris); дянх сланцах и гнейсах (?) (Riggs, 1888; Hintze, 1897; Dana, 1911); 17 — розовый; США, штат Кали 18 — розово-алый; США, полуостров Нижняя Калифорния у Сан-Диего; из слюдяных сланцев, иньс-сгоих, 1922); 19 — темно-красный; Антсунгумбату (Antsongombato); перматиты в известняках; 19a — Тсилаизина (Tsilaiizina); перматиты в кварцитах; 22 — красный; Антабуака (Antaboaka); перматиты 24 — розовый; Западная Австралия, Юго-Западный округ, Равинсторп (Ravensthorpe); перматиты

Таблица 2

Пределы содержания оксидов в рубеллите и ахронте (вес. %)

Оксиды	Пределы содержания	Преобладающие содержания	Оксиды	Пределы содержания	Преобладающие содержания
SiO ₂	36,33—39,84	37—38,5	MgO	0,02—1,82	0,02—0,5
TiO ₂	Сл.—0,02 (0,59) *	Нет	CaO	0,07—4,10	0,07—1,5
B ₂ O ₃	8,25—11,25	9—11	Li ₂ O	0,11—1,92	0,5—1,7
Al ₂ O ₃	38,91—44,42	40—44	Na ₂ O	0,80—3,36	1—2,5
Fe ₂ O ₃	Нет—0,80	Нет	K ₂ O	0,04—2,14	0,04—0,7
FeO	0,04—0,22	»	H ₂ O	0,44—5,33	1,5—4,5
MnO	0,01—2,04	До 10%	F	0,10—1,60	0,1—1,2
			Сумма хромофоров	0,13—2,60	Нет

* Одно определение.

Таблица 1 (окончание)

17	18	19	19a	20	21	22	23	24
—	0,27	0,24	0,20	0,43	0,39	0,30	0,07	0,10
1,20	0,64	0,90	1,03	2,58	2,44	4,10	4,00	0,29
1,92	0,56	1,13	1,01	0,41	0,66	1,03	0,71	1,28
2,05	2,51	2,12	2,39	0,80	1,58	0,76	1,72	2,32
—	1,58	0,09	0,08	0,43	0,09	0,10	0,24	0,20
3,38	1,87	4,16	4,08	4,02	4,14	4,39	3,13	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,39	0,12	0,78	0,81	1,23	1,05	1,40	0,98	—
99,77	100,27	100,23	100,34	99,55	99,68	99,63	100,52	—
3,04	3,116	3,0483	3,015	2,978	3,061	3,0474	3,052	3,01
1,647	—	1,6425	1,6391	1,6408	1,6374	1,6411	—	1,637
1,628	—	1,6231	1,6205	1,6246	1,6214	1,6256	—	1,619
0,019	—	0,0194	0,0186	0,0162	0,0160	0,0155	—	0,018
0,43	2,60	2,37	2,25	1,63	1,03	1,30	1,86	0,73

1917; Ферсман, 1960); 11a — красноватый; там же; пегматиты в гранитах (Hintze, 1897; Doelter, 1917); 0,01%; Cs₂O и Cr₂O₃ — нет; 13 — розовый; Швеция, о. Утё; пегматиты в гнейсах и кристаллических почти бесцветный; там же (Sjorgen, 1916); P₂O₅ — нет; 14 — бесцветный до розоватого; Бразилия, штат пегматиты в гранито-гнейсах (Dana, 1911); 16 — розовый; США штат Мэн, Рамфорд; пегматиты в слюфорния, графство Сан-Диего, Меса-Гранде; пегматиты в габбро (?) (Schaller, 1913, 1925; Ферсман, 1960); цированных пегматитами (Wittich, 1914; Bauer, 1932); 19—23 — Мадагаскар (Duparc и. а., 1913; Лавельно-красный; там же; 20 — розовый; Маруанду (Maroondo); пегматиты в кварцитах (?); 21 — розовый; в слюдяных сланцах; 23 — темно-красный; Анжанабууина (Anjanabouina); пегматиты в кварцитах; (Simpson, 1951).

зом, касситеритом и отчасти серицитом (Cissarz, 1927). Наконец, также зеленый турмалин (анализ 42) из Камполунго, Швейцария, описывается Энгельманном (Engelmann, 1878). По предположению Губелина (Gübelin, 1939), он генетически связан с кристаллическими сланцами.

По химическому составу турмалины Милдона, Кузнечихи и Камполунго не отличаются от таковых из пегматитов. В турмалине же из грейзенов Маунт-Бишоф сравнительно высоко содержание магнезии — 3,92%, тогда как обычно оно не поднимается выше 2,17%. Такое резкое увеличение магнезии связано, вероятно, с извлечением ее из вмещающих пород, тем более что турмалинизация даек более развита по контакту с боковыми породами. Однако данными о составе вмещающих пород авторы не располагают.

Приведенные выше данные, касающиеся химической характеристики турмалина эльбаитового состава, позволяют наметить некоторые выводы об особенностях его химизма по сравнению с описанными ранее шерлом и дравитом. Здесь же, исходя из положений, изложенных в предыдущих статьях (Барсанов, Яковлева, 1964, 1965), мы коснемся и ряда

Состав и свойства

Окислы	25	26	26а	27	27а	27б	28
SiO ₂	36,36	37,80	39,92	36,00	37,30	37,26	36,38
TiO ₂	Сл.	—	—	0,08	0,11	0,04	—
B ₂ O ₃	10,30	9,94	10,84	9,75	10,00	10,50	8,12
Al ₂ O ₃	40,48	36,00	36,54	36,89	37,93	41,48	39,77
Fe ₂ O ₃	—	4,72	3,52	3,58	3,33	0,95	—
FeO	3,64	0,15	0,34	2,14	1,74	0,12	4,17
MnO	1,05	0,28	0,18	1,40	0,78	0,93	2,83
MgO	0,09	1,93	2,14	1,84	0,65	0,38	—
CaO	0,67	3,41	3,33	0,27	0,55	0,53	—
Li ₂ O	1,27	0,12	0,24	1,25	1,56	1,64	1,54
Na ₂ O	2,20	3,60	3,20	2,41	2,62	2,71	1,93
K ₂ O	0,44	—	—	0,52	0,72	0,14	0,93
H ₂ O ⁺	3,64	0,19	0,30	2,00	2,57	2,06	4,29
H ₂ O ⁻	0,08	—	—	Нет	0,05	0,18	—
F	0,10	—	—	2,10	1,20	1,07	—
Сумма	100,32	98,14	100,55	100,23	101,11	99,99	99,96
Уд. вес	3,096	—	—	3,075	3,062	3,047	3,103
Ng	1,644	—	—	1,648	1,6370	1,6371	—
Np	1,623	—	—	1,621	1,6188	1,6191	—
Ng—Np	0,021	—	—	0,027	0,0182	0,0180	—
Сумма хромофоров	3,69	5,15	4,04	7,20	5,96	2,04	7,00

Окислы	32г	32д	32е	33	34	35	35а	36	36а
SiO ₂	37,05	37,74	36,91	36,00	36,96	38,46	38,39	38,14	37,85
TiO ₂	—	—	—	0,30	0,03	—	—	Нет	Нет
B ₂ O ₃	9,09	11,54	9,87	9,11	11,00	9,73	10,64	10,25	10,55
Al ₂ O ₃	40,03	38,43	38,13	46,54	39,56	36,80	36,37	39,60	37,73
Fe ₂ O ₃	—	1,58	0,31	—	—	—	—	0,30	0,42
FeO	2,36	1,93	3,19	1,21	2,14	6,38	5,48	1,38	3,88
MnO	2,35	1,25	2,22	0,02	2,00	0,78	1,08	1,38	0,51
MgO	0,32	0,06	0,04	0,45	0,15	1,88	0,14	Сл.	0,04
CaO	0,47	0,66	0,38	0,56	1,28	—	0,72	0,43	0,49
Li ₂ O	0,60	1,66	1,61	0,72	1,64	0,72	1,02	1,34	1,34
Na ₂ O	3,18	2,37	2,70	1,49	2,10	2,47	2,53	2,36	2,16
K ₂ O	Сл.	0,07	0,28	0,53	—	0,47	0,27	0,27	0,62
H ₂ O ⁺	3,23	3,21	3,64	1,56	3,10	2,31	3,94	4,16	4,18

Таблица 3

эльбанга (вес. %)

29	30	30а	31	32	32а	32б	32в
37.74	37.30	38.10	36.48	37.39	38.06	38.01	37,40
—	0.06	0.09	—	—	—	—	—
9.99	10.18	10.70	9.74	10.29	10.09	9.64	10.74
41.89	37.63	38.50	40.08	39.65	37.81	39.00	39.02
—	—	—	—	0.15	—	—	—
1.38	4.53	3.87	3.51	2.29	5.83	3.40	2.35
2.51	1.04	0.46	0.40	1.47	1.13	2.50	2.57
0.41	Нет	0.10	0.08	Нет	0.92	0.60	0.20
—	0.18	0.10	Сл.	0.49	—	—	0.60
0.74	1.05	1.52	1.11	1.71	1.30	1.30	1.33
2.40	4.24	2.93	2.99	2.42	2.21	2.21	3.59
0.34	0.10	0.21	0.86	0.25	0.42	0.42	0.29
2.60	2.80	2.69	3.85	3.63	2.23	2.92	3.08
—	Нет	Нет	0.17	—	—	—	—
0.50	0.77	0.77	0.40	0.32	0.70	0.70	0.98
100.50	99.88	100.04	99.67	100.06	100.70	100.70	102.15
—	3.110	3.065	—	—	3.107	—	3.029
—	1.6427	1.6423	—	—	—	—	—
—	1.6230	1.6224	—	—	—	—	—
—	0.0197	0.0199	—	—	—	—	—
3.89	5.63	4.42	3.91	3.91	6.96	5.90	4.92

Таблица 3 (продолжение)

36б	37	38	39	40	Окислы	41	42	43
36.26	36.72	37.88	36.08	37.92	SiO ₂	38.46	39.26	36.86
Нет	0.06	0.02	—	—	TiO ₂	0.22	—	—
9.94	10.60	10.80	10.32	—	B ₂ O ₃	9.86	9.40	10.56
36.68	41.27	38.75	39.73	39.18	Al ₂ O ₃	40.37	38.33	36.72
0.15	—	0.50	—	—	FeO	2.41	4.51	5.66
7.07	1.13	3.18	4.88	2.14	MnO	Сл.	1.12	0.66
0.72	1.48	0.63	0.72	1.34	MgO	2.17	1.02	3.92
0.16	—	0.69	0.82	0.40	CaO	0.59	—	0.34
0.17	0.87	0.70	0.37	0.22	Na ₂ O	1.80	2.43	3.57
1.05	1,76	1,44	1,23	1,24	K ₂ O	0,10	0,38	1,11
2.88	2.23	2.07	2.45	2.64	H ₂ O ⁺	4.26	2.41	1,16
0.44	—	0.13	0.32	0.42	H ₂ O ⁻	0.03	—	—
4.05	3.33	2.64	2.89	—	F	0.30	0.60	0,61

Окислы	32г	32д	32е	33	34	35	35а	36	36а
H ₂ O ⁻	—	—	—	—	—	—	—	—	—
F	1,15	0,57	0,14	—	1,13	0,55	—	0,62	0,62
С у м м а	99,83	101,07	99,42	98,49	101,09	100,55	100,58	100,23	100,39
Уд. вес	—	3,019	—	—	—	3,108	3,078	3,07	—
Ng	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Np	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ng—Np	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма хромофоров	4,71	4,76	5,72	1,53	4,17	7,16	6,56	3,06	4,81

25 — светло-зеленый; Англия, графство Девоншир, Милдон (Meldon); аплиты (Deer а. о., 1962); Казахстан, Калбинский хребет; натро-литиевые пегматиты в гранитах (Шавло, 1958); 27 — синевато-натро-литиевые пегматиты (Сливко, 1955); 28 — сине-зеленый; Чехословакия, Сушице; натро-литие-зеленый; Италия, Эльба; натро-литиевые пегматиты в гранитах (Hintze, 1897; Ферсман, 1960; Eskola, Фиболитах (Quensel, 1957); в обоих анализах отсутствуют Rb₂O, Cs₂O, Sr₂O₃; в анализе 30 отсутствуют цах (Holmquist, 1910; Sjorgen, 1916; Ферсман, 1960) P₂O₅ 0,17%; 32 — бледно-зеленый; Бразилия, штат 32б — зеленый; там же (Doelter, 1917); 32в и 32г — зеленый; там же (Jannasch, Calb, 1889; Hintze, Hintze, 1897); P₂O₅ 0,11%; 33 — бутылочно-зеленый; Бразилия, штат Минас-Жераис, Санта-Мария Коннектикут, Хаддам (Haddam); натро-литиевые пегматиты в гранитогнейсах (Penfield, Foote, 1899; пегматиты в слюдяных сланцах (Hintze, 1897; Emerson, 1898; Kunitz, 1929; Ферсман, 1960); 36 — бледно-литиевые пегматиты в гранитах и гранитогнейсах (Riggs, 1888; Hintze, 1897; Bastin, 1914; Ферсман, натро-литиевые пегматиты в габбро (?) (Schaller, 1913; 1925; Ферсман, 1960); 38 — светло-синий; Юго-Ферсман, 1960); 39 — светло-зеленый; Юго-Западная Африка, Усакас (?); натро-литиевые пегматиты: Западная Австралия, Юго-Западный округ, Равинсторп (Ravensthorpe); пегматиты (Simpson, 1951; 42 — зеленый; Швейцария, Камполунго (Engelmann, 1878; Gübelin, 1939); в кристаллических сланцах (?); низированных дайках кварцевого порфира.

типоморфных особенностей эльбаита, связанных с особенностями его химического состава.

Цвета турмалинов эльбаитового состава: рубеллита розовый до красного, верделита зеленый, индиголита синий, ахроит бесцветен. Причину окраски изучали многие исследователи. Квенсел и Габриельсон (Quensel, Gabrielson, 1939), сопоставляя химические анализы зеленых и красных литиевых турмалинов, пришли к выводу, что красный цвет вызывает марганец, обладающий более высокой степенью окисления, а зеленую окраску — закисное железо, но при этом марганец присутствует в двухвалентной форме. Т. Н. Агафонова (1947), основываясь на данных химического состава и окраски турмалина Борщовочного кряжа (розового, зеленого и черного), полагает, что кристаллохимическая роль Mn (т. е. валентность и положение в структуре) различна в разноокрашенных образцах.

Исследованием спектров поглощения турмалина эльбаитового состава занимались Кольбе (Kolbe, 1935), С. В. Грум-Гржимайло (1948, 1958), Бадли (Baueг а. о., 1953), М. М. Сливко (1952, 1955, 1957, 1959а).

С. В. Грум-Гржимайло и М. М. Сливко считают, что розовая окраска турмалина обусловлена трехвалентным марганцем, зеленая — двухвалент-

Таблица 3 (окончание)

366	37	38	39	40	Окислы	41	42	43
—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,71	0,31	1,16	1,01	—	—	—	—	—
100,28	99,76	100,59	100,82	—	С у м м а	100,57	99,46	100,17
—	3,053	—	3,086	3,04	Уд. вес	2,92	2,969	3,042
—	1,646	1,6394	1,646	1,634	<i>Ng</i>	1,636	—	—
—	1,628	1,6208	1,625	1,619	<i>Np</i>	1,613	—	—
—	0,018	0,0186	0,021	—	<i>Ng—Np</i>	0,023	—	—
7,94	2,67	4,33	5,60	3,48	Сумма хромо- форов	2,63	5,63	6,32

26 — темно-синий, зеленовато-синий; 26a — темно-зеленый, зеленый до розовато-зеленого; СССР, зеленый интенсивный; 27a — травяно-зеленый; 276 — желтовато-зеленый; СССР, Борщовочный край; вые пегматиты в магнезиальных мраморах (Scharizer, 1889; Ферсман, 1960); SnO_2 0,04%; 29 — светло-1962); 30 — синий; 30a — зеленый; Швеция, Варутреск (Varutrask); натро-литиевые пегматиты в ам-также Cu, Ni, Co; 31 — синий; Швеция, о. Утё; литиевые пегматиты в гнейсах и кристаллических слан-Минас-Жераис; пегматиты (Riggs, 1888; Bauer, 1932); P_2O_5 следы; 32a — зеленый; там же (Hintze, 1897); 1897; 32d — там же (Doelter, 1917); цвет не указан; P_2O_5 нет; 32e — оливково-зеленый (Riggs, 1888; у Суасуи; пегматиты (Coelho, 1948) в реферате сумма анализа не указана; 34 — зеленый; США, штат Ферсман, 1960); 35, 35a — зеленый; США штат Массачусетс, Честерфилд (Chesterfield); натро-литиевые зеленоватый; 36a — светло-зеленый; 366 — темно-зеленый; США, штат Мэн, Оберн (Auburn); натро-1960); P_2O_5 следы; 37 — бледно-зеленый; США, штат Калифорния, графство Сан-Диего, Меса-Гранде; Западная Африка, Усако; натро-литиевые пегматиты в биотитовых гнейсах (?) (Rath, Puchelt, 1957; в биотитовых гнейсах (?) (Kunitz, 1929; Ферсман, 1960); в оригинале сумма 100, 79; 40 — зеленый; 41 — зеленый (?); СССР, Урал, Кузнецка (Лазаренко, 1954; Сливко, 1955); в колчеданных залежах; 43 — светло-голубой; Тасмания, Маунт-Бишоф (Mount Bischoff) (Hintze, 1897; Cissarz, 1927); в грейзе-

ным железом, синия — одновременным влиянием двух- и трехвалентного железа. По мнению В. С. Соболева (1949), ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} в синих турмалинах занимают особые места в решетке и изоморфно не замещают друг друга. Бродли объясняют зеленую окраску также присутствием закисного железа, но розовая окраска турмалина, по их мнению, вызвана двухвалентным марганцем. В. М. Винокуров и М. М. Зарипов (1959), основываясь на магнитной восприимчивости розового турмалина, тоже пришли к заключению, что окрашивающим является двухвалентный марганец. Синюю окраску турмалина с Эльбы Карроби и Пиручини (Carrubi, Pieruccini, 1947) объясняют влиянием примеси меди; окраска усиливается при деформации иона Cu^{2+} , находящегося в позиции, аналогичной позиции Fe^{2+} .

Таким образом, все исследования сводятся к тому, что розовая окраска вызывается марганцем, о степени валентности которого мнения расходятся. Интенсивность розовой окраски, по данным М. М. Сливко (1955), в турмалинах Борщовочного края усиливается с увеличением содержания марганца.

Зеленая окраска, по общему мнению, вызывается закисным железом, влияние которого, по данным М. М. Сливко (1955), сказывается даже

в том случае, когда содержание окисного железа во много раз превышает содержание закисного, что объясняется катализирующим влиянием натрия, усиливающим действие закисного железа; интенсивность зеленой окраски прямо пропорциональна содержанию FeO.

Сопоставление данных табл. 2 и 4 подтверждает вывод Квенсела и Габриельсона (Quensel, Gabrielson, 1939) о том, что содержание марганца и лития в розовых и в зеленых турмалинах колеблется в близких пределах. Однако их мнение, что в розовых турмалинах все железо представлено в окисной форме, не соответствует действительности. Из табл. 5, отображающей данные анализов, содержащих раздельные определения окисного и закисного железа, видно, что соотношения их колеблются в обеих разновидностях.

Таблица 4

Пределы содержания окислов в верделите и индиголите (вес. %)

Окислы	Пределы содержания	Преобладающие содержания	Окислы	Пределы содержания	Преобладающие содержания
SiO ₂	36,00—39,92	36—38,5	MgO	Нет—2,14	Нет
TiO ₂	Сл.—0,11 (0,30) *	Нет	CaO	Сл.—3,41	До 1,5
B ₂ O ₃	7,26—11,54	9,5—11	Li ₂ O	0,12—1,76	0,5—1,7
Al ₂ O ₃	36,00—46,54	36—42	Na ₂ O	1,49—4,24	2—3,5
Fe ₂ O ₃	0,15—4,72	Нет	K ₂ O	Сл.—0,93	0,1—0,9
FeO	0,12—7,07	»	H ₂ O	0,19—4,29	2—4,3
MnO	0,02—2,83	0,5—1,5	F	0,14—2,10	0,1—1,2
			Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	36,8—42,4	Нет
			Сумма хромо- форов	1,53—7,94	»

* Одно определение.

Турмалин зеленого и сине-зеленого цвета с преобладающим содержанием окисного железа над закисным был сопоставлен с дравитом, окрашенным в бурый и коричневые цвета и также содержащим больше окисного, чем закисного железа. Оказалось, что количество Na₂O у дравита колеблется в пределах 1,04—2,43% (Барсанов, Яковлева, 1964; химические анализы ¹/₇, ²/₁, ⁶/₁₄, ⁸/_{2а}, ⁹/₆), а у эльбаита — в пределах 2,41—3,60% (химические анализы 26, 26а, 27, 27а, 27б, табл. 3), что не противоречит высказыванию М. М. Сливко (1955) и В. С. Соболева (1949) о его катализирующем влиянии, усиливающим красящие свойства закисного железа. Однако возможно, что в возникновении зеленого цвета играет роль и марганец. Это можно проследить на следующих анализах: дравит (Барсанов, Яковлева, 1964; анализ ⁸/_{2а}) темно-бурый содержит 3,01% Fe₂O₃, 1,67% FeO, 0,04% MnO, 2,43% Na₂O и верделит (анализ 27а) травяно-зеленый: 3,33% Fe₂O₃, 1,74% FeO, 0,78% MnO, 2,62% Na₂O. То же подтверждают данные анализов 3 и 27б (табл. 5), у которых при близких содержаниях окисного и закисного железа турмалин с 0,08% MnO (анализ 3) бесцветен, а с 0,93% MnO (анализ 27б) желто-вато-зеленого цвета.

Существует предположение о связи окраски с соотношением между марганцем и железом (Riggs, 1888; Warner, 1935). При розовых и красных окрасках марганец преобладает над железом, при зеленых — наоборот. Все имеющиеся по этому вопросу данные приведены в табл. 6, из которой видно, что в рубеллите и ахроните соотношение железа и марганца колеблется от 12:1 до 1:16. При этом можно заметить общую тенденцию в образовании светлых окрасок при значительном преоблада-

нии железа над марганцем и более темных — при преобладании марганца над железом. В турмалине зеленого и синего цвета темные окраски отмечаются при значительном преобладании железа над марганцем; начиная с соотношения 9 : 1 окраска светлеет, и в двух случаях наблюдается преобладание марганца над железом. В интервале соотношений Fe : Mn от 10 : 1 до 1 : 2 отмечаются розовые, зеленые и синие окраски. При более высоком содержании железа отсутствуют розовые цвета, при более высоком содержании марганца — зеленые и синие.

Таблица 5

Окраска эльбаита и содержание хромофоров (в %)

Анализ	Окраска	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	TiO ₂
3	Почти бесцветный с розоватым и зеленоватым оттенком	0,80	0,14	0,08	—
3а	Розовый	0,64	0,14	0,17	—
23	Темно-красный	0,50	0,12	0,65	0,59 *
6а	Розовый	0,08	0,04	0,54	0,02
4	»	0,09	0,16	0,58	Сл.
5	»	0,07	0,13	0,26	—
5а	»	Нет	0,22	0,47	Сл.
26	Темно-синий, зеленовато-синий . .	4,72	0,15	0,28	—
27	Синеvато-зеленый интенсивный . .	3,58	2,14	1,40	0,08
26а	Темно-зеленый, зеленый до розовато-зеленого	3,52	0,34	0,18	—
27а	Травяно-зеленый	3,33	1,74	0,78	0,11
27б	Желтовато-зеленый	0,95	0,12	0,93	0,04
38	Светло-синий	0,50	3,18	0,63	0,02
36а	Светло-зеленый	0,42	3,88	0,51	Нет
32е	Оливково-зеленый	0,31	3,19	2,22	—
36	Бледно-зеленый до бесцветного . .	0,30	1,38	1,38	Нет
32	Бледно-зеленый	0,15	2,29	1,47	—
36б	Темно-зеленый	0,15	7,07	0,72	Нет

* В темно-красном рубеллите, Урал (№ 5423), по данным спектрального анализа, содержится 0,00n % Ti, 0,2n % Mn и 0,2n % Fe.

Следовательно, если связывать окраску турмалина с соотношением железа и марганца, то только в отмеченных интервалах, т. е. при преобладании железа над марганцем, начиная от 10 : 1 и выше, наблюдается зеленая и синяя окраска, а при преобладании марганца, начиная от 1 : 2 и выше, — розовая и красная. В интервале между этими соотношениями окраска может быть розовой, зеленой, синей. Это, как нам кажется, может свидетельствовать о различной валентности марганца при розовой окраске, с одной стороны, и при зеленой и синей — с другой. Это же, может быть, приводит к тому, что при незначительном колебании состава раствора в пограничных областях при росте турмалина появляется возможность образования многократно зональных полихромных разновидностей.

Как показал М. М. Сливко (1952), температура, при которой кристаллизуется турмалин, не является решающей в характере его окраски.

Химическая природа турмалина эльбаитового состава и его структура так же сложны, как дравита и шерла. Структура рубеллита из Бразилии изучалась Ито и Саданага (Ito, Sadanaga, 1951), которые формулу его изображают в следующем виде:



Сопоставление цвета с соотношением железа и марганца в эльбаите

Анализ	Цвет	Fe : Mn (атомные количе- ства)	Анализ	Цвет	Fe : Mn (атомные количе- ства)
3	Почти бесцветный с розовым и зеленым оттенками	12 : 1	33	Бутылочно-зеленый	57 : 1
6	Бледно-розовый	10 : 1	26а	Темно-синий	21 : 1
3а	Розовый	8 : 1	26	Темно-зеленый, зеленый до розовато-зеленого	17 : 1
13	»	1,5 : 1			
13а	Светло-серый, почти бесцветный	1,4 : 1	36б	Темно-зеленый	10 : 1
9	Светло-розовый	1,3 : 1	36а	Светло-зеленый	9 : 1
22	Красный		35	Зеленый	8 : 1
11	Бледно-розовый	1 : 1	30а	»	7,5 : 1
17	Розовый	1 : 1,1	39	Светло-зеленый	6,7 : 1
4	»	1 : 1,2	27а	Травяно-зеленый	6,6 : 1
5а	»	1 : 1,3	38	Светло-синий	6 : 1
16	»		32а	Зеленый	5,4 : 1
21	»		35а	»	5 : 1
19	Темно-красный		30	Синий	4,5 : 1
14	Бесцветный до розового	1 : 1,6	27	Синева-зеленый интенсивный	3,7 : 1
8	Красный		25	Светло-зеленый	3,5 : 1
5	Розовый	1 : 2,2	32	Бледно-зеленый	1,6 : 1
4	»	1 : 2,5	32е	Оливково-зеленый	
20	»	1 : 3	40	Зеленый	
10	Красный	1 : 3,3	28	Сине-зеленый	1,5 : 1
7	Темно-красный	1 : 4	32б	Зеленый	1,4 : 1
19а	Светло-красный	1 : 4,1	36	Бледно-зеленый до бесцветного	1,2 : 1
6б	Буровато-красный	1 : 6			
6а	Розовый	1 : 7,5	27б	Желтовато-зеленый	1 : 1
1	Красный	1 : 9	32в	Зеленый	
12	»	1 : 16	32г	»	
			34	»	
			37	Бледно-зеленый	1 : 1,3
			29	Светло-зеленый	1 : 1,9

М. М. Сливко (1962) формулу эльбаита изображает так: $\text{Na Li Al}_5 [(\text{B}, \text{Al})_6 (\text{Si}, \text{Al})_6 (\text{O}, \text{OH}, \text{F})]_{30}$, а Дир с соавторами (Deer а. о., 1962) следующим образом: $\text{Na} (\text{Li}, \text{Al})_3 \text{Al}_6 \text{B}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{27} (\text{OH}, \text{F})_4$.

Как видно из приведенных выше данных, описываемая группа турмалина характеризуется в сравнении с дравитом и шерлом более высоким содержанием глинозема и лития, причем наиболее «частый» эльбаит, т. е. содержащий незначительные количества железа и магния, представлен преимущественно бесцветными, а также розовыми и светлыми желтовато-зелеными разностями, тогда как зеленые и синие являются переходными к шерлу. Последнее отражено на рис. 1, показывающем, что по содержанию хромофоров шерл переходит в эльбаит, в котором сумма окислов хромофоров не превышает 8%.

Из табл. 7, отражающей содержание некоторых окислов условно «чистых» разностей турмалина (дравита, шерла и эльбаита), видно, что эльбаит более обогащен глиноземом и кремнеземом, чем шерл. Содержание в шерле окиси лития в основном колеблется от следов до 0,4%

(65 химических анализов) и только в единичных случаях (пять анализов) колеблется от 0,56 до 0,84%, в то время как в эльбаите по основной массе анализов (53 анализа) содержание Li_2O от 0,48 до 1,92% и только в единичных анализах (шесть анализов) — от 0,11 до 0,24%.

Таким образом, в эльбаите как конечном члене изоморфного ряда все октаэдры в основном заселены глиноземом (анализ 4, табл. 1) или глиноземом и литием (анализ 17) и в подчиненном количестве присутствуют двухвалентные катионы: Mg, Mn, Fe, а также Fe^{3+} . Промежуточные разновидности — зеленый и синий эльбаит — содержат больше двухвалентных катионов в октаэдрических позициях. Следовательно, изоморфный ряд шерл—эльбаит характеризуется тем, что в шерле (конечном члене) октаэдрические позиции заняты в основном Al^{3+} и Fe^{2+} , причем последнее

Таблица 7

Содержание некоторых окислов в конечных членах дравита—шерла—эльбаита (в %)

	SiO_2	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	FeO	MgO	CaO	Na_2O	Li_2O
Mg-дравит	35—39	28—33,5	До 1	11—15	0,4—5	0,2—4,4	—
Fe^{2+} -шерл	34—36	33—39	10,7—15	До 1	Нет—1,4	0,3—3,6	Сл.—0,8
Эльбаит	37—39	41—44	До 0,5	До 0,6	0,3—4	1—3	0,1—1,9

занимает немногим больше пятой части позиций; в эльбаите же (конечном члене) либо октаэдры заняты в основном только глиноземом, который, однако, заполняет не более четырех пятых октаэдрических позиций, либо вместе с глиноземом участвует литий, занимающий максимально только седьмую часть позиций. Содержание двухвалентных катионов, занимающих октаэдрические позиции, колеблется в рубеллите от 0,22 до 2,3% FeO + MnO + MgO (поднимаясь в анализе № 2 до 3,15%), а у верделита и индиголита — от 2,36 до 5,45% (в анализах 276 и 33), снижается соответственно до 1,43% у темновато-зеленого и 1,68% у бутылочно-зеленого и поднимается в анализе 366 до 7,95% у темно-зеленого эльбаита. В общем количество двухвалентных катионов увеличивается от рубеллита—ахроита через верделит—индиголит к шерлу, и основной изоморфизм в ряду эльбаит—шерл заключается в замещении двухвалентного железа в октаэдрической позиции шерла глиноземом и литием в эльбаите как конечных членах ряда. Верделит же и индиголит, промежуточные члены этого ряда, сравнительно резко отграничены от рубеллита—ахроита (см. рис. 1) и имеют с шерлом несколько более расплывчатую границу. Отличия рубеллита-ахроита от верделит—индиголита заключаются в том, что последние содержат меньше глинозема и больше железа, в содержании же других окислов они характеризуются близкими значениями.

Удельный вес, свето- и двупреломление эльбаита. По Диру (Deer а. о., 1962) для всей группы эльбаита характерны: удельный вес 3,03—3,10; $N_g = 1,640—1,655$; $N_p = 1,615—1,620$; $N_g - N_p = 0,017—0,024$. Согласно собранным нами данным, у рубеллита—ахроита удельный вес 2,913—3,116; $N_g = 1,6374—1,651$; $N_p = 1,618—1,630$; $N_g - N_p = 0,0155—0,024$; у верделита—индиголита удельный вес 3,019—3,110; $N_g = 1,6370—1,648$; $N_p = 1,6188—1,623$; $N_g - N_p = 0,018—0,027$.

Рис. 2 показывает, что увеличение суммы окислов хромофоров в эльбаите не сопровождается увеличением свето- и двупреломления, но удельный вес возрастает.

Интересно отметить, что в дравите, характеризующемся теми же пре-

делами содержания суммы хромофоров, что и эльбаит, отмечается общая тенденция возрастания значений оптических констант и удельного веса с увеличением содержания суммы хромофоров и постепенный переход в шерл. Такой переход оптических констант от эльбаита к шерлу не наблюдается. Это вместе с отмеченной ранее сравнительно резкой сменой окраски турмалина в интервале 7—8% суммы хромофоров позволяет высказать предположение о существовании разрыва в эльбаит-шерловом изоморфном ряду.

Формы выделения эльбаита разнообразны: он встречается в виде зерен, призм, игл и кристаллов; образует радиально-лучистые,

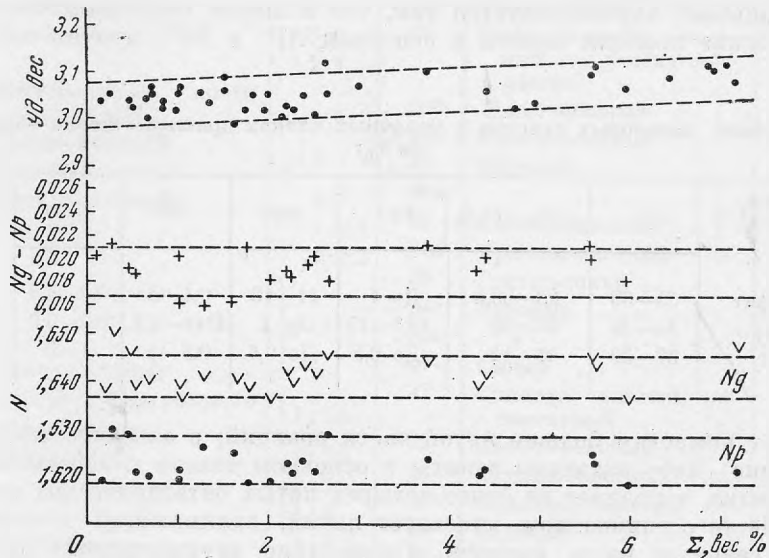


Рис. 2. Зависимость удельного веса, светопреклонения (N) и дупреклонения ($N_g - N_p$) эльбаита от суммы окислов хромофоров

параллельно-шестоватые и лучисто-шестоватые сростки. Крупный параллельно-шестоватый сросток многих кристаллов полихромного турмалина, имеющих общее основание, описан из пегматитовых жил Сибири. Размер сростка — до 14 см по длинной оси при поперечнике в основании кристалла 5,5 см и весе 1,1 кг (Тарновский, 1961). Лучисто-шестоватый сросток полихромного турмалина из пегматитов Борщовочного кряжа (Восточное Забайкалье) достигает в длину 17 см, поперечник в нижней части сростка равен 3 см, в верхней 6 см, вес — около 1 кг (Тарновский, 1954). В коллекции Минералогического музея шестоватый сросток кристаллов рубеллита имеет 18 см в длину, 11 см в основании сростка и 9 см в верхней части.

Хорошо ограненные кристаллы встречаются одно- и двухконечные. На примере турмалина Борщовочного кряжа (Забайкалье) М. М. Сливко (1952) установил, что зеленые кристаллы богаче гранями, чем розовые и многоцветные; число граней головки возрастает с увеличением интенсивности зеленой окраски; небольшое число граней головки кристаллов — характерная черта турмалина из натро-литиевых пегматитов. Г. Н. Тарновский (1961) отмечает, что в полихромных турмалинах с преобладающим развитием зеленой окраски более богат кристаллографическими формами антилогичный полюс, а с преобладающим развитием розовой окраски — аналогичный полюс. Уменьшение числа граней у розового турмалина в сравнении с зеленым отмечено также для Липовки на Урале (Ферсман, 1920, стр. 128).

Генетический тип пород, с которыми связан турмалин эльбаитового состава, весьма постоянен. Это гранитные пегматиты натро-литиевого типа (V тип по Ферсману), характеризующиеся широко раз-витыми процессами замещения, ко времени проявления которых и при-урочено выделение эльбаита. Минералы, ассоциирующиеся с эльбаитом: кварц, клевеландит, сподумен, поллуцит, петалит, колумбит, берилл, ортоклаз, касситерит, амблигонит, микролит, лепидолит.

Образование эльбаита в пегматитах, по данным М. М. Сливко (1952), может протекать в гидротермальную стадию, тогда как А. Е. Ферсман (1960) относит его к пневматолитовой фазе. Последовательность выделе-ния разноокрашенного эльбаита такова: в пегматитах, содержащих цвет-ные турмалины, чаще отмечается более ранняя кристаллизация верделита и индиголита, чем рубеллита и ахроита (Scharizer, 1889; Heinrich, 1948; Staatz a. oth., 1955; Ферсман, 1960; Сливко, 1957), однако наблюдаются и отклонения. Например, в пегматитах Варутреска, Швеция (Quensel, 1957), верделит начинает выделяться в более раннюю литиевую стадию замещения, а рубеллит и индиголит — в более позднюю натровую стадию замещения, к которой относится также полихромный турмалин, имею-щий красное ядро и зеленую оболочку. Следовательно, зеленым эльбаи-том заканчивается кристаллизация цветного турмалина. В пегматитах Калбинского хребта (Шавло, 1958) индиголит сменяется верделитом, затем следует ахроит, после которого кристаллизуется рубеллит; в то же время в полихромном турмалине рубеллитовое ядро окружено ахроитовой зоной, переходящей в верделитовую оболочку. В пегматитах Борщовочного кряжа (Сливко, 1955) турмалин кристаллизуется в сле-дующем порядке: черный, зеленый, розовый, зеленый, розовый. Темпера-тура гомогенизации включений в первом зеленом турмалине 281—276°, во втором розовом 270—240°.

Таким образом, смена зелено-синих турмалинов бесцветно-розовыми может иногда повторяться в одной и той же последовательности или мо-жет закончиться вновь образованием зеленого турмалина.

Турмалин зеленого и голубого цвета найден также в аплитах, в кол-чеданных залежах, в грейзенизированных дайках кварцевого порфира и предположительно в кристаллических сланцах, но из-за недостаточ-ности материала нельзя выявить какие-либо отличительные особенности у турмалина неpegmatитового генеза от турмалина, кристаллизующегося в пегматитах.

Марганцевый турмалин — т с и л а и з и т

Тсилаизит встречается сравнительно редко. Он подробно рассмотрен М. М. Сливко (1959а, 1962), который отмечает, что по составу тсилаизит наиболее близок к эльбаиту и занимает промежуточное положение между эльбаитом и шерлом. Формуле его М. М. Сливко придает следую-щий вид: $\text{NaMnAl}_5 [(\text{B}, \text{Al})_6 (\text{Si}, \text{Al})_6 (\text{O}, \text{OH}, \text{F})_{30}]$.

Содержание марганца в группе турмалина колеблется в пределах: в дравите 0—1,36% MnO , в шерле от следов до 2,68% MnO , в эльбаите 0,01 до 2,83% MnO .

Дравит с самым высоким содержанием MnO (1,36%) присутствует в грейзенизированных порфировидных гранитных дайках, развитых вблизи контакта с известняками в Приханкайском районе Южного При-морья (Руб, 1960; Барсанов, Яковлева, 1964). Шерл с содержанием более 1% MnO встречается только в пегматитах (Барсанов, Яковлева, 1965). Эльбаит по содержанию MnO постепенно переходит в тсилаизит, поэтому условно все разности, содержащие более 3% MnO , мы отнесли к тсилаи-зиту, а менее — к эльбаиту. В связи с этим два химических анализа шерла (№ 59 с 3,75% MnO и № 77 с 5,39% MnO) должны быть отне-сены к тсилаизиту.

Состав и свойства марганцевого и цинкового турмалина

Окислы	44	45	45а	45б	45в	45г	46	47	48	48а	48б	49	50
SiO ₂	36,29	35,61	34,91	36,00	35,58	36,34	36,02	38,36	36,77	35,79	35,54	37,02	36,88
TiO ₂	Нет	0,13	0,26	0,24	0,23	0,18	—	0,13	—	—	—	0,11	—
B ₂ O ₃	7,50	10,04	9,63	10,16	10,64	10,31	—	9,54	9,90	10,22	10,97	10,39	7,26
Al ₂ O ₃	37,72	38,64	37,67	38,64	37,69	37,33	37,61	40,10	39,12	30,06	37,43	39,08	45,08
Fe ₂ O ₃	Сл.	0,79	6,14	0,20	0,39	1,28	—	0,24	0,58	0,61	4,07	0,63	0,30
FeO	1,60	0,33	1,16	1,91	1,99	1,29	—	0,58	—	—	—	0,17	0,30
MnO	4,10	4,52	3,27	5,13	6,29	4,72	8,21	4,06	5,14	5,85	5,69	4,86	—
MgO	0,20	0,61	0,40	0,54	0,50	0,57	—	0,48	0,21	0,19	0,13	0,07	0,35
CaO	3,24	0,85	0,85	0,78	0,58	0,86	0,73	1,69	0,77	0,90	0,58	2,86	0,50
Li ₂ O	1,75	0,30	0,30	0,12	0,18	0,15	0,78	0,45	0,59	0,18	0,11	0,51	—
Na ₂ O	3,45	3,30	1,60	1,96	1,29	1,60	2,58	0,24	1,47	1,22	1,43	1,01	1,75
K ₂ O	0,33	0,42	0,20	0,13	0,09	0,03	—	2,20	0,10	0,10	0,10	0,19	0,47
H ₂ O ⁺	3,25	3,53	3,38	3,86	3,88	4,74	—	2,94	3,88	3,81	3,44	2,82	3,76
H ₂ O ⁻	Нет	—	—	0,03	0,04	0,10	—	—	—	—	—	—	—
F	0,88	0,76	0,41	0,64	0,77	0,80	—	0,56	1,24	0,90	0,73	0,81	—
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,85
С у м м а	100,31	99,83	100,18	100,34	100,14	100,30	85,93	101,57	99,77	99,83	100,22	100,53	99,50
У д . в е с	—	—	—	3,111—3,112	3,105—3,114	3,105—3,096	3,135	—	3,402	—	3,1269	3,092	—
<i>N_g</i>	—	—	—	—	—	—	1,6546	—	1,6430	1,6470	1,6525	—	1,643
<i>N_p</i>	—	—	—	—	—	—	1,6298	—	1,6224	1,6244	1,6279	—	1,623
<i>N_g—N_p</i>	—	—	—	—	—	—	0,0248	—	0,0206	0,0226	0,244	—	0,020
Сумма хромофоров	5,70	5,77	10,83	7,48	8,90	7,47	—	5,01	5,72	6,46	9,76	5,77	0,60

44 — розовый; СССР, Северная Карелия, Плотная Ламбина; литиевые пегматиты в амфиболсодержащей толще (Никитин, Саухатас, 1957); внешняя зона полихромного турмалина: центр — черный, далее сине-зеленый, зеленый, бледно-желтый, розовый, бесцветный; 45, 45а, б, в, г — зеленый; СССР, Борщовочный край, Усовское; натро-литиевые пегматиты в контакте биотитовых гнейсов и жилы спессартина (Агафонова, 1947); 45в — в оригинале сумма 100,10%; 46 — темно-желтый; СССР, Нерчинск (Kupitz, 1929); в оригинале суммы нет; 47 — розовый; СССР, Борщовочный край, Урульга; натро-литиевые пегматиты (Doelger, 1917; Сливно, 1955); P₂O₅ 0,56%. 48 — соломенно-желтый, 48а — коричневый, 48б — черный; Мадагаскар, Тсилаизина (Tsilaisina); натро-литиевые пегматиты (Diparc u. a., 1913; Lasroix, 1922); 49 — темный зеленовато-желтый; Мадагаскар, Анжанабунуина (Anjanabouina); натро-литиевые пегматиты в кварцитах (Lasroix, 1922); 50 — синий; Конго Майка (Mika); литиевые (?) пегматиты, содержащие амблигонит (Jedwab, 1962); в статье сумма 100,20%.

В табл. 8 приведены химический состав, удельный вес и оптические свойства тсилаизита с трех месторождений. Содержание марганца в тсилаизите колеблется в основном от 3,27 до 6,29% MnO и только в одном анализе достигает 8,21 MnO¹. Цвет тсилаизита розовый, желтый, зеленовато-желтый, коричневый, зеленый, черный. Причина окраски подробно разобрана М. М. Сливко (1959а).

Генетически тсилаизит связан с гранитными пегматитами, причем тсилаизит, близкий к эльбаиту, встречается только в пегматитах натролитиевого типа, тогда как для тсилаизита, близкого к шерлу (Барсанов, Яковлева, 1965; анализы 59 и 77), тип пегматита остался неустановленным.

Редко встречающиеся разновидности турмалина

К очень редко встречающимся разновидностям турмалина относятся хромовый, ванадиевый, цинковый, свинцовый, титановый. Состав этих турмалинов, кроме цинкового, подробно рассмотрен М. М. Сливко (1959б).

Хромовый турмалин с высоким содержанием окиси хрома представлен только одним полным химическим анализом, приведенным в табл. 9.

Таблица 9

Состав и свойства хромового турмалина

Окислы	1	2	Окислы	1	2
SiO ₂	36,79	—	Na ₂ O	1,36	—
TiO ₂	—	0,24	K ₂ O	Сл.	—
B ₂ O ₃	9,51	—	H ₂ O ⁺	2,25	—
Al ₂ O ₃	30,56	—	F	0,65	—
Cr ₂ O ₃	10,86	2,73			
Fe ₂ O ₃	—	3,84	Сумма	100,08	—
FeO	2,91	1,02			
MnO	Сл.	Нет	Уд. вес	3,12	3,093
MgO	4,47	9,50			
CaO	0,72	1,20			
			<i>N_g</i>	1,687	1,648
			<i>N_p</i>	1,641	1,618

1 — темно-зеленый до черного; СССР, Урал, Нижне-Исетский район, около дер. Шабры (Hintze, 1897); 2 — СССР, Урал (Сливко, 1955).

Более низкие содержания Cr₂O₃ (4,32, 2,73, 1,60, 1,166%) наблюдаются в турмалине, богатом MgO, и отнесены нами к дравиту (Барсанов, Яковлева, 1964; анализ 3 в табл. 4, анализы 2 и 8 в табл. 8). Частичный анализ турмалина (анализ 1а в табл. 9), в данных которого в статье о дравите допущены ошибки, вновь повторен в табл. 9.

Генетически хромовый турмалин связан с ультраосновными породами, богатыми хромом. Так, «в Нижне-Исетском районе Урала, близ дер. Шабры, в трещинах среди залежей хромистого железняка и на границах их с тальковыми сланцами были обнаружены довольно крупные (до нескольких сантиметров в длину и до 1 см в поперечнике) кристаллы хромового турмалина темно-зеленого или почти черного цвета. Развиты также лучистые и шестоватые агрегаты» (Ветехтин, 1950, стр. 749). В США, в штате Мериленд, в поместье Колумбос Граффит, темно-зеленый хорошо ограниченный турмалин размером 2 × 1 см развит на поверхности хромовой залежи в серпентините (Hintze, 1897; Барсанов,

¹ В натро-литиевых пегматитах Сибири тсилаизит коричневого цвета содержит 4,62% MnO и 0,43% TiO₂ (устное сообщение М. Б. Чистяковой). Зеленовато-желтый турмалин с Эльбы содержит 3,89% MnO (обр. № 13752, Минералогический музей).

Яковлева, 1964, стр. 62). Хромсодержащий турмалин встречается также в кварцевых обособлениях, залегающих в хлоритовых сланцах, например на горе Точильной на Урале (Ауэрбах, 1868; Барсанов, Яковлева, 1964, стр. 55), образуя шаровидные лучистые сростки.

Ванадиевый турмалин установлен только в двух местах: в Темур-Кабуже, где он слагает зальбанды кварцевых жил и скопления в кварцитах недалеко от кварцевых жил (Бадалов, 1951а, б; содержание V_2O_3 5,76%) и в Танганьике в Гереви-Хилс в гнейсах (Bassett, 1953; V_2O_3 1,50%). Так как в обоих случаях турмалины высокомагнезиальны, их химические анализы приведены в статье о дравите (Барсанов, Яковлева, 1964; анализы 6 и 2 в табл. 2 и 4; в анализе 2 следует читать: V_2O_3).

Цинковый турмалин описан только из амблигонитсодержащего пегматита Конго, Мюика (Jedwab, 1962), где он образует радиально-волоконистый агрегат синего цвета (табл. 8, анализ 50); плеохроизм — от синего до бесцветного.

Свинцовый турмалин описан из гранитных пегматитов хребта Малый Хинган, Дальний Восток (Лебедев, 1937). Он содержит 1,16% PbO (определение дано в виде $PbS = 1,25\%$). Так как в турмалине содержится 13,64% $Fe_2O_3 + FeO$, он отнесен нами к шерлу (Барсанов, Яковлева, 1965; анализ 45). Плеохроизм турмалина от бледно-голубовато-зеленого до темно-коричневого. Сопутствующие минералы: кварц, микроклин-пертит, альбит, мусковит, сфен, апатит, магнетит, циркон.

Титановый турмалин. Титан присутствует в шерле и в дравите преимущественно в количестве от 1,25% TiO_2 . Более высокое содержание встречается редко, поэтому условно к титановому турмалину отнесены шерл и дравит с содержанием более 1,5% TiO_2 , а именно: 1) турмалин дравитового состава из Монро (штат Коннектикут, США), входящий в состав хлоритовых сланцев, содержащий 1,61% TiO_2 (Барсанов, Яковлева, 1964; анализ 9а в табл. 6); 2) турмалин шерлового состава (Барсанов, Яковлева, 1965) из: а) пегматитов Ньюлин, штат Пенсильвания, США, содержащий 1,72% TiO_2 (анализ 77); б) кварц-турмалиновых жил Узбекистана с содержанием 1,76, 2,07, 2,16% TiO_2 (анализы 105, 107); в) серпентинитов Сысерти, Урал, с 2,52% TiO_2 (анализ 125); г) известняков (?) Цейлона с наивысшим содержанием TiO_2 3,81% (анализ 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа литературного материала по составу и генезису группы турмалинов можно сделать следующие выводы.

1. В турмалиновом минеральном виде типоморфны высокомагнезиальный дравит, эльбаит и его разновидности и хромовый турмалин. Шерл, как было показано в предыдущей статье (Барсанов, Яковлева, 1965), генетически связан с самыми разнообразными породами и минералообразующими процессами. Состав его чрезвычайно непостоянен, и поэтому он не может быть отнесен к типоморфным минералам.

2. Высокомагнезиальный дравит генетически связан с карбонатными породами, гипсами и породами ультраосновного и основного состава. Хромовый турмалин приурочен только к ультраосновным породам, богатым хромом. Эльбаит и его разновидности, богатые марганцем и цинком, связаны с гранитными пегматитами натро-литиевого типа.

3. Основной изоморфизм в шерл-дравитовом и в шерл-эльбаитовом рядах — изоморфизм между двух- (плюс литий в эльбаите) и трехвалентными катионами в октаэдрических позициях, причем чем проще состав турмалина, тем отчетливее проявляется эта взаимозависимость. Так, в дравите, обладающем относительно более простым составом, точки,

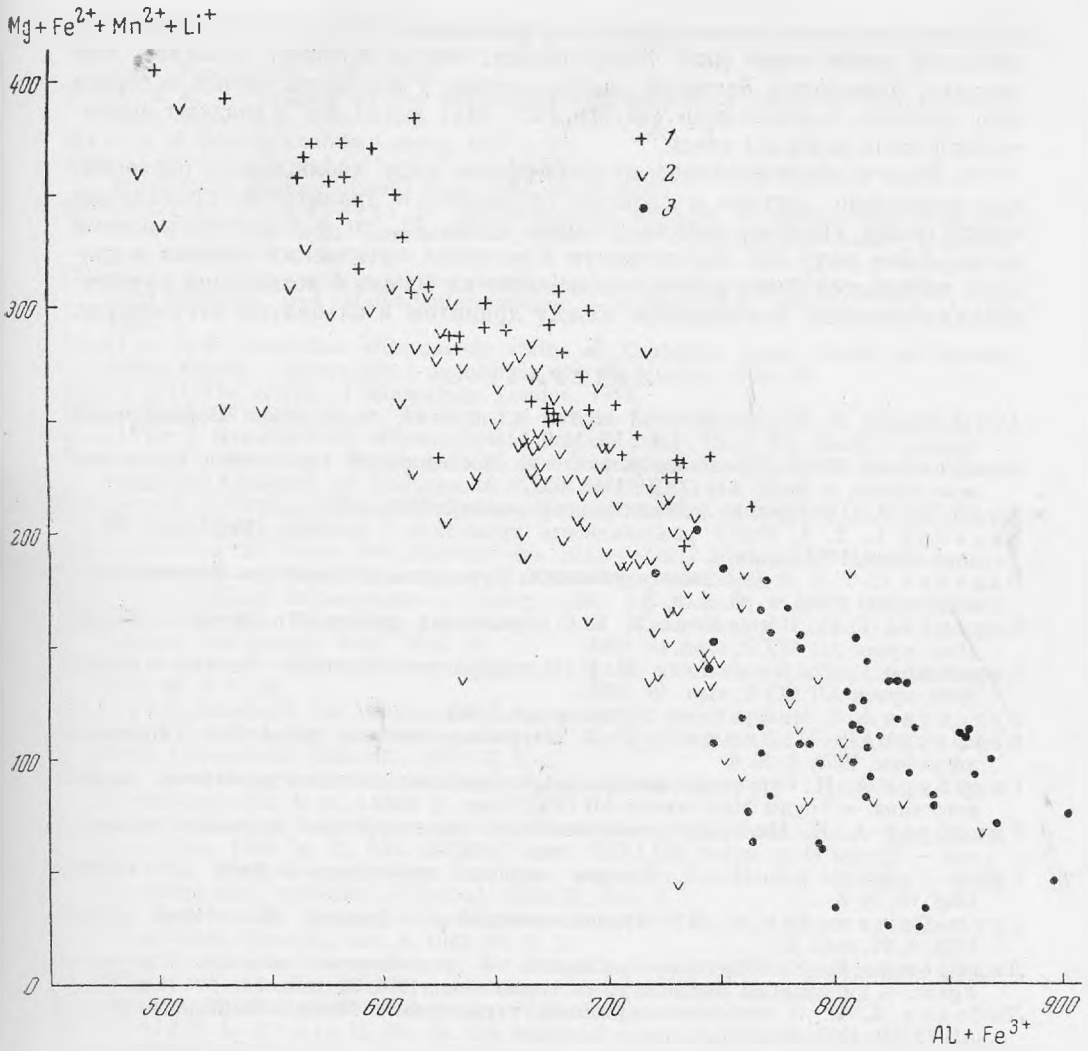


Рис. 3. Соотношение атомных количеств ($Al + Fe^{3+}$) и ($Mg + Fe^{2+} + Mn^{2+} + Li^{+}$) в группе турмалина
 1 — дравит, 2 — шерл, 3 — альбаит

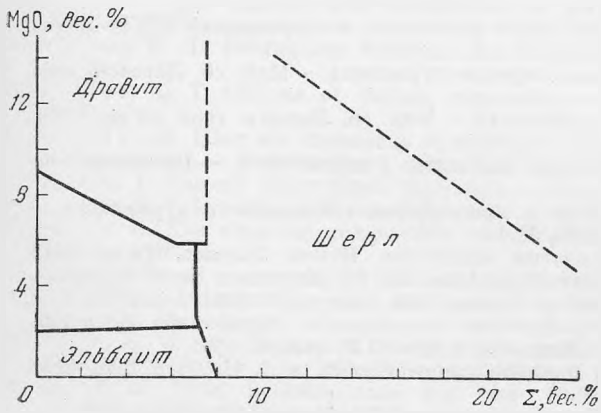


Рис. 4. Поля состава дравита, шерла и альбаита

По оси абсцисс — сумма окислов хромофоров

отражающие соотношение двух- и трехвалентных катионов, образуют довольно узкое поле (рис. 3); у шерла, состав которого сложнее, чем дравита, отмечается больший разброс точек; у эльбаита, состав которого еще сложнее, соотношения (Li , Mn , Fe^{2+} , Mg) и (Al , Fe^{3+}) создают значительное поле разброса точек.

4. Если в шерл-дравитовом изоморфном ряду наблюдается постепенное изменение состава и свойств от шерла к дравиту и проводимая между ними граница весьма условна (рис. 4), то в шерл-эльбаитовом изоморфном ряду нет постепенного изменения оптических свойств и граница отбивается более резко, что наводит на мысль о возможном существовании разрыва. Изоморфизм между дравитом и эльбаитом отсутствует.

ЛИТЕРАТУРА

- Агафонова Т. Н. Химический состав и окраска турмалинов Борщовочного кряжа. — Докл. АН СССР, 1947, 55, № 9.
- Агафонова Т. Н. Кристаллографические исследования турмалинов Борщовочного кряжа. — Докл. АН СССР, 1949, 65, № 2.
- Ауэрбах А. О турмалине русских месторождений. СПб., 1868.
- Бадалов С. Т. 1. Новая разновидность турмалина. — Записки Узб. отд. Всес. мин. об-ва, 1951а, вып. 2.
- Бадалов С. Т. 2. О ванадиевых разностях турмалина и граната. — Записки Всес. мин. об-ва, 1951б, ч. 80, вып. 3.
- Барсанов Г. П., Яковлева М. Е. О турмалинах дравитового состава. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 15, 1964.
- Барсанов Г. П., Яковлева М. Е. О турмалинах шерлового состава. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 16, 1965.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.
- Винокуров В. М., Зарипов М. М. Магнитные свойства турмалина. — Кристаллография, 1959, 4, № 6.
- Гинзбург А. И. Структура минеральных агрегатов сложных пегматитов литиевого типа. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 1, 1949.
- Гинзбург А. И. Минералого-геохимическая характеристика литиевых пегматитов. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 7, 1955.
- Грум-Гржимайло С. В. Розовая окраска турмалинов. — Докл. АН СССР, 1948, 60, № 8.
- Грум-Гржимайло С. В. Окраска самоцветов. — Записки Всес. Мин. об-ва, 1958, ч. 87, вып. 2.
- Лазаренко Е. К. Нерудные минералы в колчеданных залежах Среднего Урала. — Уч. записки Львовск. ун-та, серия геол., 1954, 31, вып. 7.
- Лебедев А. П. О свинцовосодержащем турмалине с Малого Хингана. — Докл. АН СССР, 1937, 14, № 1.
- Матвеев К. К. Из наблюдений над многоцветными турмалинами. — Сб. «Вопросы минералогии, геохимии и петрографии». Изд-во АН СССР, 1946.
- Никитин Ю. В., Саухатас И. С. О литиевых пегматитах Северной Карелии. — Труды Лабор. геол. докембрия АН СССР, вып. 7, 1957.
- Руб М. Г. Гранитоиды Приханкайского района и основные черты их металлогенности. — Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 33, 1960.
- Сливко М. М. О полихромных турмалинах. — Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1952, № 6.
- Сливко М. М. Исследование турмалинов некоторых месторождений СССР. Изд-во Львовск. ун-та, 1955.
- Сливко М. М. Примеры изменения окраски турмалина. — Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1957, № 11.
- Сливко М. М. О марганцевых турмалинах. — Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1959а, № 13.
- Сливко М. М. Редкие и рассеянные элементы в турмалинах. — Проблемы геохимии, 1959б, вып. 1.
- Сливко М. М. Химический состав и изоморфные замещения в турмалинах. — Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, 1962, № 16.
- Соболев В. Введение в минералогия силикатов. Изд-во Львовск. ун-та, 1949.
- Тарновский Г. Н. Полихромные турмалины из пегматитовых жил Борщовочного кряжа (Восточная Сибирь). — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 6, 1954.
- Тарновский Г. Н. Кристаллографическое исследование турмалинов из пегматитовых жил Сибири. — Труды Мин. музея АН СССР, вып. 12, 1961.
- Ферсман А. Е. Драгоценные и цветные камни России, т. I, Пг., стр. 128; 1920; т. II, Л., 1925.
- Ферсман А. Е. Пегматиты. Избранные труды, т. VI. Изд-во АН СССР, 1960.

- Шавло С. Г. Пегматиты и гидротермалиты Калбинского хребта. Алма-Ата, 1958.
- Bassett H. A vanadiferous variety of tourmaline from Tanganyika. — *Rec. Geol. Surv. Tanganyika*, 1953 (1956).
- Bastin E. S. Geology of the pegmatites and associated rocks of Maine. — *Bull. Geol. Surv. U. S.*, 1911, N 445.
- Bauer M. *Edelsteinkunde*. Leipzig, 1932.
- Bradley J. E. S., Bradley O. Observation on the colouring of pink and green zoned tourmaline — *Mineral Mag.*, 1953, 30, N 220.
- Carrobi G., Pieruccini R. Spectrographic analysis of tourmalines from the Island of Elba with correlation of colour and composition. — *Amer. Mineralogist*, 1947, 32, N 3—4.
- Cissarz A. Übergangslagerstätten innerhalb der intrusiv-magmatische Abfolge. T. 1. Zinn-Wolfram- und Molybdenformationen. — *Neues Jahrb. Mineral Abt. A*, 56, 1927.
- Coelho J. S. Turmalina «fibrosa» da «Mina do Cruzeiro», Santa Maria do Suassui, Minas Gerais. — *Mineração e metalurgia*, Rio de Janeiro, 1948, 13.
- Dana J. D. *The system of mineralogy*. London, 1911.
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman J. *Rock-forming minerals*. 1. London, 1962.
- Doelter C. *Handbuch der Mineralchemie*. Leipzig, 1917.
- Duparc L., Wunder M., Sabot R. Die Mineralien der Pegmatite in der Umgebung von Antsirabé auf Madagascar. — *Z. Kristallogr.*, 1913, 52, H. 3.
- Emerson O. *Geology of old Hampshire, Massachusetts*. — *Monogr. U. S. Geol. Surv.*, 29, Washington, 1898.
- Engelmann Th. Über den Dolomit des Binnenthales und seine Mineralien verglichen mit dem des Campolungo. — *Z. Kristallogr.*, 1878, 2, H. 3.
- Eskola P. Elban kallioperusta. — *Geologi*, 1962, 14, N 8—9; *P. Ж.*, 1963, 9B, 378.
- Gübelin E. Die Mineralien im Dolomit von Campolungo (Tessin). — *Schweiz. mineral. und petrogr. Mitt.*, 1939, 19.
- Heinrich E. W. Pegmatites of eight mile park, Colorado. — *Amer. Mineralogist*, 1948, 33, N 9—10.
- Hintze C. *Handbuch der Mineralogie*. Leipzig, 1897.
- Holmquist P. J. The Archaean geology of the coastregions of Stockholm. — *Geol. fören. i Stockholm förhandl.*, 1910, 32, h. 4.
- Ito T., Sadanaga R. Fourier analysis of the structure of tourmaline. — *Acta crystallogr.*, 1951, 4, pt. 5.
- Jannasch P., Calb G. Ueber die Zusammensetzung des Turmalins. — *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 1889, Jg. 22, Sitz. 28, Mitt. 44.
- Jedwab J. Turmaline zincifère dans une pegmatite du Muika (Congo). — *Bull. Soc. belge géol., paléontol. et hydral.*, 1962, 71, fasc. 1.
- Kolbe E. Über die Farbung von Mineralien durch Mangan, Chrom und Eisen. — *Neues Jahrb. Mineral., Abt. A*, 1935, 69, H. 2.
- Kunitz W. Die Mischungsreihen in der Turmalin-Gruppe und die genetischen Beziehungen zwischen Turmalinen und Glimmer. — *Chem. Erde*, 1929, 4, H. 2.
- Lacroix A. *Minéralogie de Madagascar*. Paris, 1922.
- Penfield S. L., Foote H. W. On the chemical composition of tourmaline. — *Amer. J. Sci.*, 1899, 7, N 38.
- Quensel P., Gabrielson. Minerals of the Varuträsk pegmatite. XIV. The tourmaline group. — *Feol. fören. i Stockholm förhandl.*, 1939, 61, H. 1.
- Quensel P. The paragenesis of the Varuträsk pegmatite. — *Arkiv mineral. och geol.*, 1957, 2, h. 2.
- Rath R., Puchelt H. Indigolith von Usakos. — *Neues Jahrb. Mineral Monatsh.*, 1957, H. 9.
- Riggs R. B. The analysis and composition of tourmaline. — *Amer. J. Sci. Ser. 3*, 1888, 35, N 205.
- Schaller W. T. Beitrag zur Kenntnis der Turmalin-Gruppe. — *Z. Kristallogr.*, 1913, 51, H. 4.
- Schaller W. T. Genesis of lithium pegmatites. — *Amer. J. Sci.*, ser. 5, 1925, 10, N 57.
- Scharizer R. Über die chemische Konstitution und die Farbe des Turmalins von Schüttenhofen. — *Z. Kristallogr.*, 1889, 15, H. 4.
- Sekanin J. Nerosty moravských pegmatitu. — *Časopis Mor. Zem. Musea*, 1928, 26.
- Simpson E. S. *Minerals of Western Australia*, v. 2. Perth, 1951.
- Sjogren H. The chemical composition of tourmaline from Utö. — *Bull. geol. Inst. Upsala*, 1916, 15.
- Staatz M. H., Murata K. J., Glass J. J. Variation of composition and physical properties of tourmaline with its position in the pegmatite. — *Amer. Mineralogist*, 1955, 40, N 9—10.
- Warner T. W. Spectrographic analysis of tourmalines with co-relation of colour and composition. — *Amer. Mineralogist*, 1935, 20, N 7.
- Wittich E. Über Edelsteinfunde auf der Halbinsel Nieder-Kalifornien. — *Chl. Mineral, Geol. und Paläontol.*, 1914.