

Шерл, фойтит и дравит в пегматити от метаморфната мантия на Планския плутон, Югозападна България

Васил Арnaudов, Светослав Петрусенко, Чавдар Каров

Arnaudov, V., S. Petrussenko, Ch. Karov. 2003. Schorl, foitite and dravite in pegmatites from the metamorphic mantle of the Plana pluton, SW Bulgaria. *Geochem. Mineral. Petrol.*, **40**, 97-107.

Abstract. Two compositional groups of tourmaline, schorl-foitite and schorl-dravite, occur in the primitive Paleozoic granitic pegmatites hosted by biotite and two mica gneisses, coexisting with Al-saturating phases. Black zoned crystals of tourmaline, associated with quartz, plagioclases, K-feldspar and muscovite, were found in pegmatite vein, 3.5 m long and 1-1.2 m wide, located on the top of the Markova Trapeza hill, near the town of Samokov. Typical accessory minerals are andalusite, corundum, zircon, apatite, garnet and titanite. Tourmaline at Markova trapeza pegmatite evolved through the following sequence of crystallization from the peripheral graphic (1) to the central blocky (2) zone: Mg-rich schorl → Mg and Al-rich schorl → Al-rich schorl (1) → Al-rich schorl → schorl-foitite → foitite-schorl → Na-rich foitite (2). The main compositional trend in this tourmaline sequence is an increasing of Al and X-site vacancy, and decreasing of Mg throughout the process of crystallization. Documented weak Fe-enrichment in the late tourmaline varieties is probably due to the crystal-chemical control; moreover, high activity of Fe is maintained throughout the tourmaline crystallization. Black to brown tourmaline of the schorl - dravite group is presented by Fe-rich dravite in primitive, non differentiated pegmatites at Vouin Dol near the village of Dolni Okol, and by schorl-dravite and dravite-schorl at the location Stipon, near the town of Ihtiman.

Key words: schorl, foitite, dravite, primitive granitic pegmatites

Addresses: V. Arnaudov - Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria; E-mail: arnaudov@geology.bas.bg; S. Petrussenko and Ch. Karov - National Museum of Natural History, 1000 Sofia, Bulgaria

Увод

На много места сред скалите на старопалеозойския (480-485 Ма, Арnaudов и др., 1989) метаморфен комплекс в Централното Средногорие, се разкриват богати на мусковит олигоклазови и микроклин-олигоклазови пегматити, в които един от най-често срещаните акцесорни минерали е турмалинът. Нерядко, в пегматитови жили, прослойващи и пресичащи биотитови и двуслюдени гнайси, особено в Ихтиманското Средногорие, турмалинът образува големи натрупвания, като в отделни пегматитови зони количеството му достига

значения на скалообразуващ минерал. Оскъдните публикации за турмалини от пегматитите във високометаморфните скали на Софийското и Ихтиманското Средногорие съдържат данни предимно за тяхната морфология (Бончев, 1923; Николов, 1935; Бресковска, Ескенази, 1961; Петрусенко, 1981). Микросондовите определения на химичния състав на турмалини от няколко известни пегматитови находища в метаморфната рамка на Планския плутон, които са изложени в настоящото съобщение, дават

възможност да се уточни тяхното класификационно положение.

Геоложка ситуация и находища на турмалин

Преобладаващата част от метаморфните скали в мантията на Планския плутон, между с. Кокаляне и с. Долни Окол, са мигматизирани двуслюдени гнайси, сред които се наблюдават тънки прослойки от биотитови, мусковитови и амфибол-биотитови гнайси, и амфиболити. Кожухаров и др. (1980) отнасят тези скали към т. нар. от тях Планска метаморфна серия. На изток, в района на Ихтиман-Мухово-Белица, се разкриват по-ниско лежащите в метаморфния профил скали на Гарванишката серия, сред които преобладават относително слабо мигматизирани биотитови гнайси, мусковитови и двуслюдени шисти и гнайсошисти, прослоени от неголеми тела и лещи от метаморфозирани ултрабазити. Освен различни пегматити с турмалин, сред скалите на тази серия се срещат често и турмалинсъдържащи кварцови жили (Кожухаров и др., 1980). Тези автори, както и други изследователи на кристалина от Средногорската зона (Кожухаров и др., 1980) приемат, че възрастта на скалите от високометаморфния комплекс е архайска. К-Аг възраст на мусковит от пегматитови късове в ранопалеозойския конгломерат на Лозен планина, много сходни по състав с пегматитите от кристалина между Лозен и Плана планина, е 310-330 Ма (Арнаутов, Лилов, 1978). Подобни са и моделните възрастови стойности, 290-320 Ма, изчислени по изотопите на оловото в калиеви фелдшпати на пегматити от метаморфния комплекс в Централното Средногорие (Amov et al., 1976).

Изследвани са турмалини от пегматитови жили залягащи сред биотитови и двуслюдени гнайси в непосредствена близост с магмените скали на Планския плутон, при Маркова трапеца и с. Долни Окол, Самоковско. В светлината на предложеното от Selway & Novák (1997) допълнение към

приетата номенклатура на турмалините, са разгледани отново публикуваните данни за химизма на турмалини в микроклин-албитови пегматити от местността Стипон, намираща се на ~3 km североизточно от град Ихтиман (Петрусенко, Арнаутов, 1996).

Находище Маркова трапеца (Николов, 1935) се намира на билото на едноименна височина, която е част от рида Шипочан, на десния бряг на р. Искър, на около 2 km северно от Самоков. В стар изкоп може да се проследи приблизителната морфология на неголяма, дълга около 3,5 m и дебела 1-1,2 m, лещообразна микроклин-олигоклаз-албитова пегматитова жила, изградена от външна, графична кварц-олигоклаз-микроклинова зона, с мусковит, биотит, турмалин ± албит, и вътрешна, блокова кварц-микроклинова зона, с албит, мусковит, андалузит и турмалин. В акцесорната минерализация са установени гранат, апатит, циркон, корунд, титанит, магнетит, рутил и епидот (Петрусенко, 1981). В графичната зона черен турмалин заедно с кварц образуват агрегати, заместващи предимно калиеви фелдшпат. Турмалиновите индивиди в тези агрегати са преобладаващо дългопризматични, често недобре остенени, достигащи на дължина до 7-8 cm, при ширина до 1,5 cm. Около дългопризматичните турмалинови шокове, изградени от субпаралелни индивиди, в централните части на които нерядко присъстват включения от кварц, калиев фелдшпат и мусковит, се наблюдават лещи от дребнозърнест турмалин и кварц, наподобяващи графичната структура на приконтактната зона на пегматита. В блоковата зона турмалинът образува отделни призматични кристали с дължина от 2-3 cm до 25 cm и дебелина от 0,5 до 5-6 cm, оформени от {1010}, при слабо участие на {1120} (Петрусенко, 1981). Често турмалиновите индивиди са покрити с мусковитови кори. Наблюдават се и кристали напълно псевдоморфозирани от дребнолюспест мусковит (Николов, 1935; Бресковска, Ескенази, 1961; Петрусенко, 1981).

Находище Вуин дол. Североизточно от с. Долни Окол, по склона на левия бряг на р. Вуин дол, сред биотитови, а на места и двуслюдени гнайси, се разкриват мусковит-съдържащи олигоклазови и микроклин-олигоклазови, предимно послойни, по-рядко секущи, силно огънати, на места катаклазиращи, пегматитови жили, с дължина до 8-10 m и дебелина до 1 m. Обикновено пегматитите са недиференцирани, изградени от среднозърнест олигоклаз-албит (1-4 mm), средно до едрозърнест кварц (1-15 mm), дребнолюспест мусковит, и обилен биотит в залбандните части. Много рядко се срещат зонални пегматити, оформени обикновено от следните зони: външна, дребнозърнеста, кварц-олигоклазова, следвана от пегматоидна среднозърнеста до грубозърнеста, олигоклаз-микроклин-кварцова $\pm$ албит, и най-вътрешна, кварцова, представена от сив, блоков кварц. В контактните части с биотитовите гнайси се наблюдават ивици с дебелина до 5-10 cm, изградени само от биотит. Често кварцът заема залбандните части на жилите. Заедно с кварца се наблюдават обилни маси от предимно зърнест, или дългопризматичен, кафяво-черен до черен турмалин. В някои пегматити, дребнозърнести кварц-турмалинови агрегатни маси и гнездовидни образувания, изградени от влакнести прозрачни кафяви турмалинови индивиди, заедно с биотит, образуват кантове и прожилки около кварцовите ядра, замествайки фелдшпатите. Акцесорноминералната асоциация на олигоклазовите и микроклин-олигоклазовите пегматити е представена от магнетит, апатит, циркон, аланит, гранат, титанит, рутил и пирит. В единични жили са намерени още, корунд, монацит и циртолит.

Находище Стипон. В околностите на кариера Стипон, в която сред оталкозени метаултрабазити се разкриват десилицирани пегматити с обилна дравитова минерализация (Петрусенко, Арнаудов, 1996), маломощни, 30-60 cm, дълги до 2-3 m, слюдоносни албит-микроклинови пегматитови жили, прослойват биотитови и двуслюдени гнайси. Кафяво-черни призма-

тични турмалинови кристали, описани като шерли (Петрусенко, Арнаудов, 1996), с дължина до 12-15 cm и дебелина до 4-5 cm, са оформени от $\{10\bar{1}0\}$, $\{11\bar{2}0\}$ и $\{10\bar{1}1\}$. Турмалинът кристализира предимно с кварц и дребнолюспест мусковит, често в асоциация с едрокристален (4-5 cm) гранат и апатит (4-5 $\times$ 0,5-1 cm). Сред акцесорните минерали преобладават магнетит, циркон, рутил и епидот.

Химизъм на турмалините

Химичният състав на анализирания турмалини в изследваните находища определя принадлежността им към няколко вида и разновидности: Маркова трапеца - богат на Mg шерл, богат на Mg и Al шерл, дефицитен на алкалии, богат на Mg и Al шерл, богат на Al шерл, шерл-фойтит, фойтит-шерл и богат на Na фойтит; Стипон - богат на Al шерл-дравит и дравит-шерл; Вуин дол - богат на Fe дравит (табл. 1, фиг. 1a). Тези названия са съобразени със споменатата по-горе добавка към номенклатурата на турмалините, предложена от Selway & Novák (1997). Тя дава възможност за по-точна ориентировка в систематиката на минералите от турмалиновата група и има генетично значение за тълкуване еволюцията в химизма на флуидите, от които кристализират турмалините.

Находище Маркова трапеца. Турмалините и от двете зони на пегматитовата жила са черни, а в тънки прерези – тъмно-кафяви до кафяви. В няколко случая е наблюдавана зоналност в турмалина от кварц-турмалиновите агрегати в графичния пегматит. В прозрачни препарати, в централните части на индивидите, понякога асиметрично спрямо външните очертания на кристалите, се различават ядра с резки граници спрямо периферните части. Очертанията на ядрата не винаги отговарят на външните контури на кристалите. В пререзите, перпендикулярни на оста с, могат да се видят ядра с бобовидна или полуовална форма. Плеохроитните цветове

Таблица 1. Химичи състави на турмалини от Маркова трапеца, Вуин дол и Ступон, тегл. %

Table 1. Chemical compositions of tourmalines from Markova Trapeza, Vouin Dol and Stipon, wt. %

	Markova Trapeza - graphic zone						Markova Trapeza - blocky zone						Vouin Dol						Stipon	
	P-12		P-42		P-43		P-44		B-E		P-32		P-45		P-3		P-4		8	9
	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim		
SiO ₂	35,42	35,97	34,59	35,3	35,27	35,71	34,83	35,34	34,23	36,37	35,79	35,06	35,49	35,35	36,2	37,4	35,17	36,44	35,51	35,82
TiO ₂	0,72	0,15	0,73	0,72	0,85	0,94	0,71	0,33	0,38	0,33	0,24	0,40	0,13	0,32	1,07	0,45	0,92	0,73	0,32	0,52
Al ₂ O ₃	32,45	33,64	34,41	34,14	33,95	33,80	34,49	34,73	37,72	36,07	34,32	35,66	36,13	35,85	32,47	32,89	31,50	32,75	36,32	37,24
Cr ₂ O ₃	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,02	0,07	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,29	0,18	-	-
V ₂ O ₅	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,11	0,25	0,03	0,00	-	-
FeO	11,77	11,13	11,01	11,63	11,63	11,41	10,95	10,56	12,00	13,72	13,74	12,39	12,84	12,87	7,08	6,39	8,16	6,51	8,42	8,90
MnO	0,00	0,03	0,03	0,02	0,10	0,03	0,04	0,40	-	0,26	0,36	0,27	0,25	0,20	0,06	0,00	0,00	0,00	-	-
MgO	2,87	3,08	3,11	2,61	2,39	2,89	2,79	2,81	2,30	0,55	0,34	0,56	0,26	0,18	6,44	7,57	6,05	6,96	4,95	4,69
CaO	0,43	0,05	0,25	0,32	0,47	0,50	0,31	0,25	0,23	0,11	0,07	0,00	0,07	0,07	0,82	0,82	0,71	0,56	0,21	0,12
Na ₂ O	2,01	1,81	1,88	1,86	2,05	2,10	2,26	1,88	2,72	1,66	1,32	1,95	1,59	1,28	2,18	2,27	2,04	2,44	2,31	2,05
K ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,08	0,05	0,06	0,00	0,04	-	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	85,73	85,96	86,01	86,68	86,76	87,44	86,38	86,34	89,58	89,12	86,27	86,33	86,76	86,12	86,52	88,17	84,88	86,57	88,04	89,34
apfu																				
T: Si	5,95	5,98	5,76	5,85	5,85	5,87	5,78	5,85	5,52	5,89	5,99	5,84	5,87	5,89	5,90	5,96	5,89	5,92	5,70	5,67
Al	0,05	0,02	0,24	0,15	0,15	0,13	0,22	0,15	0,48	0,11	0,01	0,16	0,13	0,11	0,10	0,04	0,11	0,08	0,30	0,33
Z: Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Y: Al	0,37	0,57	0,52	0,52	0,49	0,42	0,53	0,62	0,68	0,77	0,76	0,84	0,92	0,93	0,14	0,14	0,10	0,19	0,57	0,62
Cr	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	0,02	-	-
V	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	-	-
Ti	0,09	0,02	0,09	0,09	0,11	0,12	0,09	0,04	0,05	0,04	0,03	0,05	0,02	0,04	0,13	0,05	0,12	0,09	0,04	0,06
Fe	1,65	1,55	1,53	1,61	1,61	1,57	1,52	1,46	1,62	1,86	1,92	1,73	1,78	1,79	0,97	0,85	1,14	0,88	1,13	1,18
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,06	-	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	-	-
Mg	0,72	0,76	0,77	0,64	0,59	0,71	0,69	0,69	0,55	0,13	0,08	0,14	0,06	0,04	1,57	1,80	1,51	1,68	1,18	1,11
X: Ca	0,08	0,01	0,04	0,06	0,08	0,09	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,14	0,14	0,13	0,10	0,04	0,02
Na	0,65	0,58	0,61	0,60	0,66	0,67	0,73	0,60	0,85	0,52	0,43	0,63	0,51	0,41	0,69	0,70	0,66	0,77	0,72	0,63
K	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	-	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
□	0,27	0,41	0,35	0,32	0,33	0,32	0,21	0,25	0,11	0,45	0,56	0,36	0,48	0,58	0,17	0,13	0,21	0,13	0,24	0,35

Образците от изследваните минерали се съхраняват в геоложките на ГИ БАН (М.1.2003.8; 1, 2)

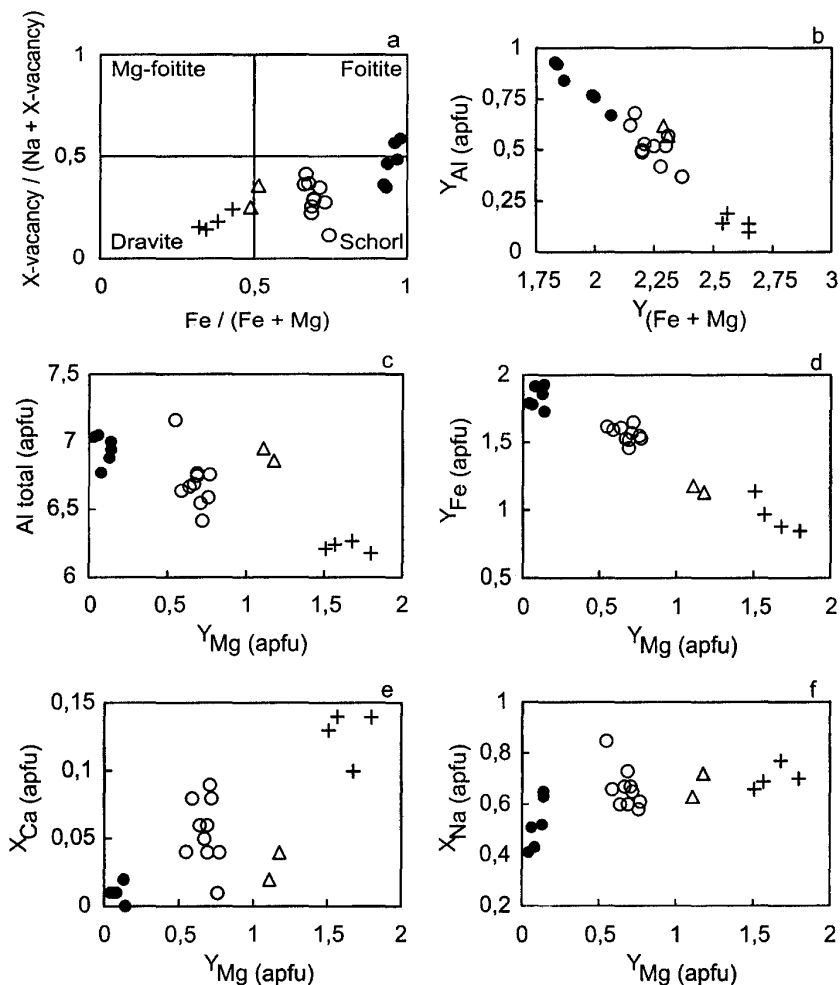
на турмалина от ядрата са най-често бледо-зеленикаво-сиви до сиво-сини, а на периферния турмалин - от светлозелено-кафяви до масленозелено-кафяви.

По химичен състав централните зони на изследваните турмалинови образци от графичния пегматит не се различават съществено от периферните части (табл. 1). По-често съдържанието на Fe, Ti и Mg слабо намалява, а това на Al слабо се увеличава към периферията на кристалите, но в някои образци, макар и рядко, тази тенденция при Ti и Mg е обратна. Високото съдържание на Mg определя в повечето случаи турмалина и от двете зони на индивидите като богат на Mg шерл. Характерно за всички анализирани шерли от графичния пегматит е относително високата сумарна стойност на Al (6,42-6,77 *apfu*), както и повишения дефицит на алкалиите ($X_{\square}$ 0,21-0,41 *apfu*). Високата стойност на Al (^YAl 0,62 > 20% от Σ *apfu* в позиция Y) в периферната зона на образец P-44 (табл. 1), е отражение на нарастващата роля на Al в процеса на минералообразуването. Съобразно с високите стойности на Mg и Al, на турмалина от периферията се дава названието богат на Mg и Al шерл. Тази тенденция се потвърждава от химичния анализ на турмалин от Маркова трапеза (В-Е, табл. 1), публикуван от Бресковска и Ескенази (1961). Мястото на този турмалин в пегматита не е известно, но по относително високата стойност на ^YAl (0,68 *apfu*), определяща го като богат на Al шерл, може да се предположи, че е кристализирал в графичната зона, по-късно от ранния турмалин. Нарастващото значение на Al в по-късните турмалинови генерации се илюстрира и от високата му стойност в турмалина от периферната част на образец P-12, което в съчетание със значителния дефицит на алкалии ($X_{\square}$ 0,41 *apfu*) и високото съдържание на Mg, го дефинират като дефицитен на алкалии, богат на Mg и Al шерл (табл. 1). Централната част на кристала обаче отговаря по химизъм на богат на Mg шерл. Този турмалинов кристал се е формирал в близост до блоковата зона

на пегматита, в която Al нараства още повече, а турмалиновата минерализация е представена от още по-богати на Al турмалинови видове и разновидности отколкото тези, в по-външните части на графичната зона на пегматита (табл. 1, фиг. 1b, c). В турмалините от блоковата зона сумарното съдържание на Al варира от 6,77 до 7,05 *apfu*.

Във вътрешните части на турмалиновите индивиди от блоковия пегматит не са наблюдавани ясно очертани ядра както в турмалините от графичния пегматит. Забелязват се обаче различно оцветени петнести участъци в прерези перпендикулярни на призматичните стени. В централните части на кристалите преобладават зони с бледо-кафеникаво-сиви до масленозелено-сиви плеохроитни цветове, които в периферията, както и около пукнатини, са в гълъбово-сиво-сини нюанси. Химичният състав на относително по-тъмнооцветените вътрешни зони ги характеризира като богат на Al шерл (^YAl 1,73 *apfu*), с ниска стойност на ^YMg (0,14 *apfu*) и относително нисък дефицит на алкалиите ($X_{\square}$ 0,36 *apfu*), с преходи към шерл-фойтит, в който нарастват стойностите на ^YFe (1,78-1,86 *apfu*), ^YAl (0,77-0,92 *apfu*) и $X_{\square}$ (0,45-0,48 *apfu*), а намалява стойността на ^YMg (0,13-0,06 *apfu*). В периферните части на кристалите намалява още повече стойността на ^YMg (0,08-0,04 *apfu*), увеличават се относително стойностите на ^YAl (0,76-0,93 *apfu*) и на ^YFe (1,79-1,92 *apfu*), нараства и $X_{\square}$ до 0,56-0,58 *apfu*, при много ниско съдържание на Ca (0,01 *apfu*) и отсъствие на K, което определя най-късно образуваните генерации турмалин в пегматита от Маркова трапеза като фойтит-шерл и богат на Na фойтит (табл. 1, фиг. 1a).

Сравнението на микросондовите данни за турмалините от Маркова трапеза очертава ясна и устойчива тенденция в изменението на химичните им състави. От по-рано образуваните се турмалини в графичната зона, към по-късните генерации в блоковата зона, от богатия на Mg шерл, към богатия на Na фойтит, нарастват



Фиг. 1. Номенклатурна диаграма (а) и композиционни диаграми (b, c, d, e, f) на турмалини от Маркова трапеца (○ графична зона, ● блокова зона), Вуин дол (+), Стипон (Δ)

Fig. 1. Nomenclature diagram (a) and compositional diagrams (b, c, d, e, f) of tourmalines from: Markova Trapeza (○ graphic zone, ● blocky zone), Vouin Dol (+), Stipon (Δ)

стойностите съответно на: $Y_{Fe^{2+}}$, от 1.46-1.65 до 1.73-1.92 *apfu*, Y_{Al} , от 0.37-0.68 до 0.76-0.93 *apfu*, Y_{Mn} , от 0.00-0.06 *apfu* (средна стойност 0.01 *apfu*), до 0.03-0.05 *apfu* (средна стойност 0.04 *apfu*) и на $X_{\square}$, от 0.11-0.41 до 0.36-0.58 *apfu*. В същата посока намаляват стойностите на: Y_{Mg} , от 0.77-0.55

до 0.14-0.04 *apfu*, Y_{Ti} , от 0.12-0.02 до 0.05-0.02 *apfu*, X_{Na} , от 0.85-0.58 до 0.63-0.41 *apfu*, X_{Ca} , от 0.09-0.01 до 0.02-0.00 *apfu*; К е епизодичен и с много ниско съдържание (0.00-0.1 *apfu*), както в турмалините от графичния пегматит, така и в тези от блоковия пегматит (табл. 1, фиг. 1a-f). В зонал-

ните шерлови индивиди от графичната зона обаче се запазва тенденцията за намаляване съдържанието на Fe към периферните части на турмалиновите индивиди, при променлива насоченост в изменението на Al и Mg.

Находище Вуин дол. По химичен състав турмалинът от пегматитите, които залягат сред метаморфните скали във Вуин дол, се различава съществено от турмалините в Маркова трапеза. Преобладаващото съдържание на Mg (Mg/Fe 1,3-2,1 *apfu*), при високо съдържание на Fe (0,85-1,14 *apfu*) и ниско на Al (0,10-0,19 *apfu*), го определят като богат на Fe дравит (табл. 1, фиг. 1a-d). Трябва да се отбележи повишеното съдържание на Ca (0,10-0,14 *apfu*) и относително високият дефицит на алкалии ($X_{\square}$ 0,13-0,21 *apfu*), (табл. 1, фиг. 1e). Очертава се тенденция, която е характерна за повечето зонални турмалини от редицата шерл - дравит: от центъра към периферията на кристалите намалява съдържанието на Fe, Ti и $X_{\square}$, и се увеличава това на Mg и Al.

Находище Стипон. Отчитайки различията в съдържанията на Fe, Mg и Al, анализирани по-рано два турмалинови образеца от пегматит в това находище, наречени шерли (Петрусенко, Арнаудов, 1996), сега определяме като богат на Al шерл-дравит (N 9) и дравит-шерл (N 8). Основание за това е, че те заемат по химизъм място точно по средата на изоморфната редица шерл - дравит (табл. 1, фиг. 1a). Стойността на YAl *apfu* в дравит-шерла (N 8) е висока и близка до тази в богатия на Al шерл-дравит (N 9), но е малко по-ниска (19,5%) от граничните 20% от $^Y\Sigma$ *apfu* (Selway, Novák, 1997), поради което, формално, на турмалин N 8 не даваме определението богат на Al дравит-шерл. И двата турмалина имат ниски съдържания на Ti и Ca и доста голям дефицит на алкалии ($X_{\square}$ 0,24-0,35) (табл. 1).

Обсъждане

Турмалините от изследваните пегматити се характеризират с различни химични състави и тенденции в изменението им в рамките

на изоморфните редици шерл - фойтит (Маркова трапеза) и шерл - дравит (Стипон). Анализирани досега турмалинови образци от недиференцираните, олигоклазови и микроклин-олигоклазови пегматити от Вуин дол, се отличават с постоянен състав, отговарящ на богат на Fe дравит. Образоването на турмалини с различни състави в трите находища се контролира от един основен механизъм на заместване в позиция Y, очертан добре от отрицателната корелация между стойностите на Al *apfu* и $\Sigma(Fe+Mg)$ *apfu* (фиг. 1b). Постъпателното във времето нарастване на стойността на Al за сметка на Fe и Mg, проличава добре в пегматита от Маркова трапеза, в който кристализацията на шерл-фойтит, фойтит-шерл и фойтит, като периферни зони на богат на Al шерл, бележи пиковите съдържания на Al при образуването на турмалиновата последователност: богат на Mg шерл → богат на Mg и Al шерл → дефицитен на алкалии богат на Mg и Al шерл → богат на Al шерл → шерл-фойтит → фойтит-шерл → богат на Na фойтит. Фойтитът, $\square(Fe^{2+}_2Al)Al_6Si_6O_{18}(BO_3)_3(OH)_4$, определен не много отдавна от MacDonald et al. (1993) като отделен минерален вид в групата на турмалина, е описан по-късно, предимно в редкометални гранитни пегматити с Li-съдържащи минерали, от Novák & Taylor (1996, 2000), Pezzotta et al. (1996), Novák & Selway (1997), Hawthorne & Henry (1999), Novák & Staněk, 1999; Aurisicchio et al. (1999), Deutrow & Henry (2000) и др. Пегматитите в които е открит са представители предимно на т. нар. комплексни, добре диференцирани, зонални пегматити, към които се отнасят лепидолитовият и елбаитовият подтип пегматити (Novák, Povondra, 1995). Фойтит е намерен и в метаморфни скали; Henry et al. (2002) описват фойтит от кварц-турмалинови жили, секущи кварцити в Tauern Window, Източни Алпи.

Между шерла и фойтита съществува редица от твърди разтвори, чиито членове в посока към фойтита се характеризират с нарастващ дефицит на алкалиите, силно преобладаване на Na над K и Ca,

повишаващи се стойности на Al, а понякога и на Fe^{2+} , при много ниски и намаляващи съдържания на Mg. Схемата на заместване по която се формират турмалиновите състави в тази редица е: ${}^{[X]}\square + {}^{[Y]}\text{Al} \leftrightarrow {}^{[X]}\text{Na} + {}^{[Y]}\text{Fe}^{2+}$.

Пегматитът от Маркова трапеза има проста вътрешна структура и може да се отнесе към т. нар. примитивни пегматити, с относително ограничена еволюция на минералообразуването. В него не са открити досега литиеви, или богати на Li минерали. Последователността при кристализацията на турмалиновите минерали в пегматита от Маркова трапеза се различава от последователността при формирането на фойтитсдържащите турмалинови асоциации в комплексните, често камерни, литиеви пегматити. В описаните в литературата зонални пегматити с литиева минерализация, например от находищата Laštovičky, Dobrá Voda, Rožná, Dolní Bory, в Чехия, и от Red Cross Lake в Манитоба, Канада (Selway et al., 1999), най-ранната турмалинова генерация е представена често от фойтит, или негови разновидности - фойтит-шерл и шерл-фойтит. По-късно кристализират не толкова богати на Fe вариетети на шерла: богат на Al шерл($\pm$ Mg), шерл ($\pm$ Mg), шерл-елбаит ($\pm$ Mg) и др., последвани обикновено от разновидности на елбаита, а понякога и от други пералуминиеви турмалини, като лидиокоатит и росманит и техни разновидности (Pezzotta et al., 1996; Novák, Selway, 1997; Aurisicchio et al., 1999; Selway et al., 1999; 2000; Dutrow, Henry, 2000). Трендът на изменение на турмалиновите състави в пегматита от Маркова трапеза е близък до характерната за примитивните пегматити последователност на кристализация на турмалиновите минерали. Обикновено, в просто устроените с бедна акцесорна минерализация гранитни пегматити, турмалиновите разновидности варират от шерл до богат на Al шерл и богат на Al и Fe дравит (Povondra, 1981; Novák et al., 1997), или, при обратната последователност, от членове, богати на Mg, близки до дравита, до състави с преобладаване на Fe, нарастващо съдър-

жание на Al и със значителен дефицит на алкалии, както е случаят с турмалиновата минерализация в пегматитова жила при село Mušenes, южно от град Писек, в Чехия (Novák et al., 1997); в турмалинови агрегати, преминаващи от графичната зона в кварцовото ядро на блоковата зона, последователно нарастват дравит-шерл, богат на Mg шерл и шерл-фойтит. Турмалините в Маркова трапеза са по-богати на Al, а финалът на турмалиновата минерализация, която започва с богат на Mg шерл, се бележи от фойтит-шерл и богат на Na фойтит. Очевидно фойтитът е най-късно-образуваната се и вероятно най-нискотемпературна турмалинова разновидност; той кристализира в зоналните турмалини на блоковия пегматит след образуването на богат на Al шерл, шерл-фойтит и фойтит-шерл. Косвено потвърждение на възможността за нискотемпературна кристализация на фойтита от Маркова трапеза са експериментални работи на London et al. (1989) и Vidal & Goffé (1991), третиращи уловията на формиране на парагенетични с турмалина литиеви и други минерали. Основатайки се на тези изследвания, Novák & Taylor (2000) приемат, че фойтитът от диференцирания камерен пегматит с литиева минерализация в Dobrá Voda, Чехия, е образуван от хидротермални флуиди при температура под 400 °C, възможно даже при около 300 °C.

Характерна особеност на турмалиновата минерализация от Маркова трапеза е, че късните генерации са представени от по-богати на Al и Fe турмалини, докато по-рано кристализираните, в графичната зона на пегматита, турмалини, са богати на Mg разновидности на шерла (табл. 1, фиг. 1b, c, d). Тази кристализационна последователност проличава и при сравнение на съставите на зоналните турмалинови кристали (табл. 1). Повишените стойности на Fe в късните етапи на пегматитообразуването, демонстрирано от фойтита и близките до него турмалинови разновидности, не е изключение. Същият тренд на изменение се проследява, например, в просто устроената

пегматитова дайка при село Mušenes, Чехия (Novák et al., 1997). Необичайна за пегматитите тенденция за повишена активност на Fe при кристализацията на някои минерали в най-вътрешните, най-късно образувани зони на пегматитови тела (Černý, 1991; Černý et al., 1995), е отбелязана от редица автори и за турмалини (Novák, Taylor, 1996; 2000; Pezzotta et al., 1996; Tonarini et al., 1998; Aurisicchio et al., 1999; Selway et al., 1999; Dutrow, Henry, 2000). Всички описани случаи се отнасят за комплексни пегматити, които съдържат литиеви минерали. При това, обогатяването на Fe се определя обикновено от присъствието на фойтит, или близка негова разновидност, т. е. турмалини, които по конституция са богати на Fe. Така например последователността на кристализация в зонален турмалин от празнини в централната част на пегматит от Dobrá Voda е: елбаит → росманит → Fe-съдържащ елбаит → фойтит с много висок дефицит на алкалии ($X_{\square} 0,78 \text{ apfu}$) (Novák, Taylor, 1996; Selway et al., 1999). Според някои автори (Tonarini et al., 1998; Aurisicchio et al., 1999; виж в: Novák, Taylor, 2000), кристализацията на богати на Fe турмалини в празнини на комплексни литиеви пегматити, е свързана с въздействието на късни, обогатени на Fe флуиди. Aurisicchio et al. (1997) предполагат че това са богати на Fe и бедни на Na остатъчни хидротермални флуиди, привързани към диференцирани магми, които проникват по пукнатини в пегматитите. Обогатяването с Fe на късните хидротермални флуиди обаче не се дължи на реакции с по-рано образувани Fe-съдържащи минерални фази, тъй като Fe-съдържащите акцесории не са кородирани (Aurisicchio et al., 1997; Selway et al., 1999). Според Černý (1991) и Černý et al. (1995), късното обогатяване с Fe в централните зони на пегматитите е свързано с инфилтрирането на компоненти от околните скали след термичното улавяване на пегматитите с вместващите скали. Много от тези пегматити обаче залягат в богати на Mg скали, поради което би било необичайно

инфилтрирането от тях в пегматитите само на Fe, освен ако Mg е напълно неподвижен; късните турмалинови генерации, за които става дума че са богати на Fe, както в тези пегматити (Novák, Taylor, 2000), така и в пегматита от Маркова трапеца (табл. 1, фиг. 1d), почти не съдържат Mg. Не е ясно в тези случаи дали заедно с фойтита се образуват и други, съществено железни, или обогатени с Fe минерали.

Късното обогатяване с Fe в крайните етапи на формиране на пегматитите от флуиди свързани с пегматитогенериращи магми, или образувани във вместващите скали, е възможно, но надали е задължително условие за появата на фойтит. Кристализацията на фойтита, като завършек на турмалинообразуването в примитивния пегматит от Маркова трапеца, при нарастващата роля на Al от графичната към блоковата зона, и слабото увеличение на Fe съдържание в този турмалин, се дължи най-вероятно на кристалохимичния контрол, при условията на рязко намаляване на Na поради масовото образуване на албит в блоковата зона. При това, Fe е доминиращ елемент през цялото време на формиране на турмалиновата последователност в пегматита от Маркова трапеца.

Турмалините в пегматитите от Вуин дол и Стипон, които са маломощни, недиференцирани, с проста морфология и осъдна акцесорна минерализация, са преобладаващо магнезиални - богат на Fe дравит (Вуин дол), и шерл-дравит/дравит-шерл (Стипон). Зоналността в турмалиновите индивиди от Вуин дол е слабо изразена, което е характерно за съставите в редицата шерл - дравит в примитивни метаморфни пегматити, залягащи в шисти и гнайси. В централните части на кристалите преобладава Fe, а стойностите на Mg нарастват в периферните части, при много ниски и слабо вариращи съдържания на ^YAl (табл. 1). Високото съдържание на Fe в дравита от Вуин дол се обяснява с високото му съдържание в пегматитовите флуиди, възникнали при процесите на метаморфизъм в богати на Fe и Mg скали, за което свидетелства и

кристализацията на късна генерация биотит, който заедно с дребнокристален турмалин и дребнозърнест кварц пресича по-рано образувалите се фелдшпати, кварц и едрокристален турмалин.

Заклучение

Турмалините от изследваните примитивни гранитни пегматити, залягащи в скали от амфиболитов фацис на кристалина от Софийското и Ихтиманското Средногорие, са продукт на В-съдържащи флуиди, претърпяли относително слаба степен на фракциониране. От една страна кристализират членове на редицата шерл - дравит, а от друга, на редицата шерл - фойтит (фиг. 1а). Може да се приеме, че твърдите разтвори в редицата шерл - фойтит, представители на които са турмалините от Маркова трапеца, бележат по-напреднал стадий на фракциониране на пегматитовия флуид, в сравнение с турмалинообразуването във Вуин дол и Стипон. Химизмът на турмалините от тези две находища показва определена зависимост от химизма на вместващите скали, богати на Fe, Mg и Al, характеризирани се и с присъствие на турмалин и наситени на Al минерални фази - кианит, силиманит и ставролит.

Литература

- Арnaudов, В., П. Лилов. 1978. Калий-аргонова възраст на късове от младопалеозойския конгломерат при с. Долни Пасарел, Софийско. *Сп. Бълг. геол. д-во*, **39**, 3, 342-344.
- Арnaudов, В., Б. Амов, Е. Н. Бартницкий, М. Павлова. 1989. Изотопная геохронология магматических и метаморфических пород в Балканидах и Родопском массиве. *XIV Конгресс КБГА, София 1989, Тезисы докладов*, **4**, 1154-1157.
- Бончев, Г. 1923. Минералите в България. *Год. СУ, Физ.-мат. фак.*, **19**, 1, 1-212.
- Бресковска В., Г. Ескенази. 1961. Турмалин от някои български находища. *Год. СУ, Биол.-геол.-геогр. фак.*, **54**, 2, Геология, 15-48.
- Кожухаров, Д., Е. Кожухарова, Ст. Христов. 1980. Докамбрият от северните отдели на Плана планина и Вакарелския рид. *Сп. Бълг. геол. д-во*, **41**, 3, 212-222.
- Николов, Н. 1935. Пегматитът от Маркова трапеца, Самоковско. *Год. СУ, Физ.-мат. фак.*, **31**, 3, 139-150.
- Петрусенко, Св. 1981. Андалузит, корунд и турмалин от пегматитовото находище Маркова трапеца, Самоковско. *Геохим., минерал. и петрол.*, **14**, 73-82.
- Петрусенко, Св., В. Арnaudов. 1996. Десилицирани пегматити с дравит и корунд от Ихтиманска Средна гора. *Геохим., минерал. и петрол.*, **31**, 65-77.
- Амов, В., V. Arnaudov, Ts. Baldjieva, M. Pavlova. 1976. Isotopic composition and age of the granitoids from the Sredna Gora Mountains and the Western Balkan Range. *C. R. Acad. bulg. Sci.*, **29**, 7, 1027-1030.
- Aurisicchio, C., L. Ottolini, F., Pezzotta. 1999. Electron- and ion-microprobe analyses, and genetic inferences of tourmalines of the foitite-schorl solid solution, Elba Island, Italy. *Eur. J. Mineral.*, **11**, 217-225.
- Černý, P. 1991. Rare-element granitic pegmatites. I. Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geosci. Can.*, **18**, 49-67.
- Černý, P., J. Staněk, M. Novák, H. Baadsgaard, M. Rieder, L. Ottolini, M. Kavalova, R. Chapman. 1995. Chemical and structural evolution of micas in the Rožná and Dobrá Voda pegmatites, Czech Republic. *Mineral. Petrol.*, **55**, 177-202.
- Dutrow, B. L., D. J. Henry. 2000. Complexly zoned fibrous tourmaline, Cruzeiro mine, Minas Gerais, Brazil: A record of evolving magmatic and hydrothermal fluids. *Canad. Mineral.*, **38**, 131-143.
- Hawthorne, F. C., D. J. Henry. 1999. Classification of the minerals of the tourmaline group. *Eur. J. Mineral.*, **11**, 201-215.
- Henry, D. J., B. L. Dutrow, Jane Silverstone. 2002. Compositional asymmetry in replacement tourmaline: An example from the Tauern Window, Eastern Alps. *Geol. Mater. Res.*, **4**, 2, 1-18.
- London, D., G. B. Morgan, R. L., Hervig. 1989. Vapor-undersaturated experiments with Macusani glass + H₂O at 200 Mpa, and the internal differentiation of granitic pegmatites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **102**, 1-17.
- MacDonald, D. J., F. C. Hawthorne, J. D. Grice. 1993. Foitite, $[\text{Fe}^{2+}_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})]\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$, a new alkali-deficient tourmaline: Description and crystal structure. *Amer. Mineral.*, **78**, 1299-1303.

- Novák, M., P. Povondra. 1995. Elbaite pegmatites in the Moldanubicum: A new subtype of the rare-element class. *Mineral. Petrol.*, **55**, 159-176.
- Novák, M., J. B. Selway. 1997. Rožná near Bystřice nad Pernštejnem, Hradisko Hill: A large lepidolite subtype pegmatite dike. In: Field Trip Guidebook, Tourmaline 1997 Symposium (M. Novák, J. B. Selway, eds.). Nové Město na Moravě, Czech Republic, 23-38.
- Novák, M., J. B. Selway, J. Staněk. 1997. Myšenec near Protvín: Barren pegmatite with giant tourmaline aggregates. In: Field Trip Guidebook, Tourmaline 1997 Symposium (M. Novák, J. B. Selway, eds.). Nové Město na Moravě, Czech Republic, 105-110.
- Novák, M., J. Staněk. 1999. Lepidolite pegmatite from Dobrá Voda near Velké Meziříčí, Western Moravia. *Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol.*, **84**, 3-44.
- Novák, M., M. C. Taylor. 1996. New occurrences of foitite and its position in pegmatite evolution. *Geol. Assoc. Can. Mineral. Assoc. Can., Program Abstr.*, 21, A 70.
- Novák, M., M. C. Taylor. 2000. Foitite: Formation during late stages of evolution of complex granitic pegmatites at Dobrá Voda, Czech Republic, and Pala, California, USA. *Canad. Mineral.*, **38**, 1399-1408.
- Pezzotta, F., F. C. Hawthorne, M. A. Cooper, D. K. Teertstra. 1996. Fibrous foitite from San Piero in Campo, Elba, Italy. *Canad. Mineral.*, **34**, 741-744.
- Povondra, P. 1981. The crystal chemistry of tourmalines of the schorl-dravite series. *Acta Univ. Carol., Geol.*, 223-264.
- Selway, J. B., P. Černý, F. C. Hawthorne. 2000. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. XIV. Internal tourmaline. *Canad. Mineral.*, **38**, 877-891.
- Selway, J. B., M. Novák. 1997. Experimental conditions, normalization procedures and used nomenclature for tourmaline. In: Field Trip Guidebook, Tourmaline 1997 Symposium (M. Novák, J. B. Selway, eds.). Nové Město na Moravě, Czech Republic, 19-21.
- Selway, J. B., M. Novák, P. Černý, F. C. Hawthorne. 1999. Compositional evolution of tourmaline in lepidolite-subtype pegmatites. *Eur. J. Mineral.*, **11**, 569-584.
- Tonarini, S., A. Dini, F. Pezzotta, W. P. Leeman. 1998. Boron isotopic composition of zoned (schorl-elbaite) tourmalines, Mt. Cappane Li-Cs pegmatites, Elba, Italy. *Eur. J. Mineral.*, **10**, 941-951.
- Vidal, O., B. Coffé. 1991. Cookeite $\text{LiAl}_4(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$: Experimental study and thermodynamical analysis of its compatibility relations in the $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **108**, 72-81.

Принята в печать 2003 г.
Accepted December, 2003